



Entwicklung der Zersiedelung in den letzten 40 Jahren in der UNESCO Biosphäre Entlebuch

Lilian Zihlmann

Betreuung:

Florian Knaus und Sarah Salvini

**Bachelorarbeit
Studiengang Umweltnaturwissenschaften**

März 2016



Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit setzt sich mit der Entwicklung der Zersiedelung der UNESCO Biosphäre Entlebuch (UBE) in den letzten 40 Jahren auseinander. Als Grundlage wurde die Messmethode von Jaeger, Bertiller, Schwick, Cavens, and Kienast (2010) verwendet, die Methode für eine regionale, detaillierte Analyse angepasst und in ArcGIS umgesetzt. Die Resultate zeigen eine Zunahme der zersiedelten Flächen in allen Gemeinden der UBE. Die durchschnittlichen Zersiedlungswerte, welche aufgrund der bestehenden Häuser berechnet wurden, haben hingegen nur wenig zugenommen. Für die UBE bedeutet die Zunahme der zersiedelten Flächen eine Gefährdung der wertvollen Lebensräume und Landschaften. Bei der Planung der Siedlungen sollte deswegen neben durchschnittlichen Zersiedlungswert auch das räumliche Ausmass der Zersiedelung berücksichtigt werden.

Dank

Ich bedanke mich herzlich bei meinen Dozenten Florian Knaus und Sarah Salvini, welche meine Bachelorarbeit betreut haben. Weiter danke ich dem Autor der grundlegenden Literatur der Arbeit Christian Schwick, welcher mir bei der Klärung meiner Fragen behilflich war. Zuvorkommend halfen mir Franziska Baumgartner und Daniel Trüssel im Umgang mit ArcGIS, vielen Dank dafür.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Fragestellung und Ziel	2
1.2	UNESCO Biosphäre Entlebuch (UBE)	3
2	Methodik	4
2.1	Messmethode der Zersiedelung	4
2.2	Vorgehen	6
2.3	Annahmen für eine regionale Analyse.....	7
2.4	Datengrundlage	8
2.5	Umsetzung der Messmethode in ArcGIS	10
2.6	Ansätze und Herausforderungen.....	12
3	Resultate.....	15
3.1	Zersiedelung in der UBE.....	15
3.2	Zersiedelung pro Gemeinde in der UBE.....	19
3.2.1	Doppleschwand	19
3.2.2	Escholz matt-Marbach.....	20
3.2.3	Entlebuch.....	21
3.2.4	Hasle	23
3.2.5	Romoos	24
3.2.6	Schüpfheim.....	25
4	Diskussion.....	27
4.1	Entwicklung der Zersiedelung in der UBE	27
4.2	Umsetzung der Messmethode.....	28
4.3	Messmethode und die UBE	30
5	Schlussfolgerung.....	32
5.1	Ausblick.....	32
6	Referenzen	33

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Dispersion, $g(DIS)$ und $g(AD)$ in Formeln zusammengefasst; Quelle: (Schwick, 2010).....	5
Tab. 2 Datengrundlage: Geodaten	9
Tab. 3: Datengrundlage: Historische Statistiken	9
Tab. 4: Prozessschritte mit den dazugehörigen Inputs und Tools für die Umsetzung der Messmethode in ArcGIS	10
Tab. 5: Anpassung der Gewichtungsfunktion $g(DIS)$	14
Tab. 6: Tabellen mit einzelnen Variablen der Messmethode zugehörig zu den Gemeinden	18

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Titelbild Quelle: UNESCO Biosphäre Entlebuch.....	1
Abb. 2: Übersichtskarte der Gemeinden der UBE	3
Abb. 3: Anteil der Siedlungsfläche und Landwirtschaftsfläche im Jahr 2012 zur gesamten Fläche; Quelle: © Bundesamt für Statistik.....	3
Abb. 4: Aspekte der Zersiedelung (Quelle Bild: (Schwick, 2011, p. 4)	4
Abb. 5: Zusammensetzung aller Variablen, wobei N_{EW+AP} die Zahl der Einwohner und Arbeitsplätze ist; Quelle Bild: (Schwick, 2011, p. 4).....	5
Abb. 6: Vergleich der originalen Gewichtung $g(DIS)$ mit der Angepassten	14
Abb. 7: Karte der räumlichen Verteilung der Zersiedlungswerte in der UBE 2012	17
Abb. 8: Entwicklung der Zersiedelung der Gemeinde Doppleschwand; dargestellt sind die Karten und Variablen der Zeitabschnitte.....	20
Abb. 9: Entwicklung der Zersiedelung der Gemeinde Escholz matt-Marbach; dargestellt sind die Karten und Variablen der Zeitabschnitte	21

Abb. 10: Entwicklung der Zersiedelung der Gemeinde Entlebuch; dargestellt sind die Karten und Variablen der Zeitabschnitte	22
Abb. 11: Entwicklung der Zersiedelung der Gemeinde Hasle; dargestellt sind die Karten und Variablen der Zeitabschnitte	23
Abb. 12: Entwicklung der Zersiedelung der Gemeinde Romoos; dargestellt sind die Karten und Variablen der Zeitabschnitte	25
Abb. 13: Entwicklung der Zersiedelung der Gemeinde Schöpfheim; dargestellt sind die Karten und Variablen der Zeitabschnitte	26

Abkürzungen

AD	Ausnützungsdichte
AP	Arbeitsplätze
BFS	Bundesamt für Statistik
DIS	Dispersion
DSE	Dispersionseinheiten
EW	Einwohner
LUSTAT	Statistik Luzern
RPG	Raumplanungsgesetz
UP	Urbane Permeation (urbane Durchdringung)
UBE	UNESCO Biosphäre Entlebuch

1 Einleitung

Die Landnutzung in der Schweiz wandelt sich seit Jahren und mit zunehmender Geschwindigkeit (Ewald, 1978). Wo einst Landwirtschaftsgebiet war, sind heute versiegelte Strassen, zusammengewachsene Dörfer und Agglomerationen. Um den Schutz von fruchtbarer Ackerfläche und von ökologisch wertvollen Lebensräumen zu gewährleisten, wurde 1979 das erste Raumplanungsgesetz (RPG) erarbeitet (Svizzera, 2006). Über dreissig Jahre später ist die Thematik aktueller denn je. Initiativen wie die Zweitwohnungsinitiative, die Kulturlandinitiative des Kantons Zürich oder die Landschaftsinitiative setzen sich für die Ausweitung des Schutzes ein und führten zur Revision des Raumplanungsgesetzes. Das neue RPG bestimmt eine Verkleinerung der Bauzonen und soll zu einer kompakteren Siedlungsentwicklung führen. Dadurch soll die Zersiedelung der Schweiz begrenzt werden ("Revision des Raumplanungsgesetzes (RPG) - 1. Etappe," 2016).

Die Thematik der „Zersiedelung“ wurde bereits von verschiedenen Autoren angegangen. Als Mass für den Zersiedlungsgrad wurde die verwendete Siedlungsfläche pro Einwohner verwendet. Diese Berechnung erfasst jedoch nicht das räumliche Ausmass. Um dies zu erfassen, haben Schwick et al. 2002 im Auftrag des Bundesamtes für Raumentwicklung und des Nationalfonds eine Vertiefungsstudie über die Zersiedelung in der Schweiz durchgeführt (Schwick, 2010). Sie haben eine Definition der Zersiedelung erstellt, darauf basierend eine Messmethode unter Berücksichtigung bestimmter Indikatoren entwickelt und daraus Prognosen für die Zukunft erarbeitet. Zurückzuführen ist die Messmethode auf verschiedene Publikationen wie „Zersiedelung der Schweiz – unaufhaltsam?“, „Suitability criteria for measures of urban sprawl“, „Urban permeation of landscapes and sprawl per capita: New measures of urban sprawl“ und „Zersiedelung messen und vermeiden“ (Jaeger, Bertiller, Schwick, Cavens, et al., 2010; Jaeger, Bertiller, Schwick, & Kienast, 2010; Schwick, 2010, 2011)

Die genannten Arbeiten von Schwick et al. beziehen sich auf eine nationale Analyse mit einem groben Detailgrad. Für einen Bezirk oder eine Gemeinde sind die nationalen Analysen zu ungenau. Da die Gemeinden zum Handeln bezüglich des Raumplanungsgesetzes verpflichtet sind, besteht die Nachfrage nach einer detaillierten Analyse des Zersiedlungsgrades der Gemeinden.

Die vorliegende Arbeit hat zum Ziel, die bestehende Datenlücke zu schliessen. Die Fragestellung richtet den Schwerpunkt auf die kommunale Ebene. Sie hat zum Ziel, die Messmethode von Schwick et al. anzupassen und darauf basierend den Detailgrad der

Messung der Zersiedelung zu erhöhen. Mit der Umsetzung der Messmethode in ArcGIS soll die Handhabung für verschiedene Gebiete möglich werden.

Die folgende Arbeit fokussiert die Analyseregion der UNESCO Biosphäre Entlebuch. Für diese Region ist es besonders wichtig, genaue Kenntnisse zum Zersiedlungszustand zu erhalten, weil das geschützte Gebiet einer konkreten Verantwortung bezüglich des Landschaftsschutzes unterliegt.

1.1 Fragestellung und Ziel

Aus der Literaturrecherche ergeben sich folgende Fragestellungen:

Wie lässt sich die Messmethode von Schwick et al. für die Berechnung des Zersiedlungsgrads einer Gemeinde anpassen und welche Daten sind dazu nötig?

Wie hat sich die Zersiedlung in der UNESCO Biosphäre Entlebuch entwickelt?

Ziel dieser Bachelorarbeit ist, die Entwicklung der Zersiedlung ausgewählter Gemeinden der UNESCO Biosphäre Entlebuch mit einer Anpassung der Messmethode von Schwick et al. in ArcGIS zu berechnen und visuell darzustellen.

1.2 UNESCO Biosphäre Entlebuch (UBE)



Die UBE umfasst die sieben Gemeinden Doppleschwand, Entlebuch, Escholz matt-Marbach, Flühli, Hasle, Romoos und Schüpfheim (siehe Abb. 2). Für diese Gemeinden soll eine Entwicklung der Zersiedelung ermittelt werden.

Zur UBE gehören 39'600 ha Land und diese beherbergt heute 16'504 Einwohner (Knaus, 2011). Die sieben Gemeinden haben sich zu einem Gemeindeverbund zusammengeschlossen, der das Biosphärenreservat offiziell betreibt und einen Teil des Budgets finanziert. Das Biosphärenreservat, auch UBE genannt, bezweckt unter anderem die Förderung einer nachhaltigen Entwicklung (Knaus, 2011). Dies bedingt auch den Schutz der wertvollen Lebensräume und Landschaften. Besonders charakteristisch ist für dieses Gebiet der grosse Anteil an Landwirtschaftsflächen (siehe Abb. 3) und das Vorhandensein von Streusiedlungen. Durch eine zunehmende Zersiedelung könnten diese gefährdet werden. Deshalb ist die Analyse der Entwicklung der Zersiedelung der UBE wesentlich.

Abb. 2: Übersichtskarte der Gemeinden der UBE

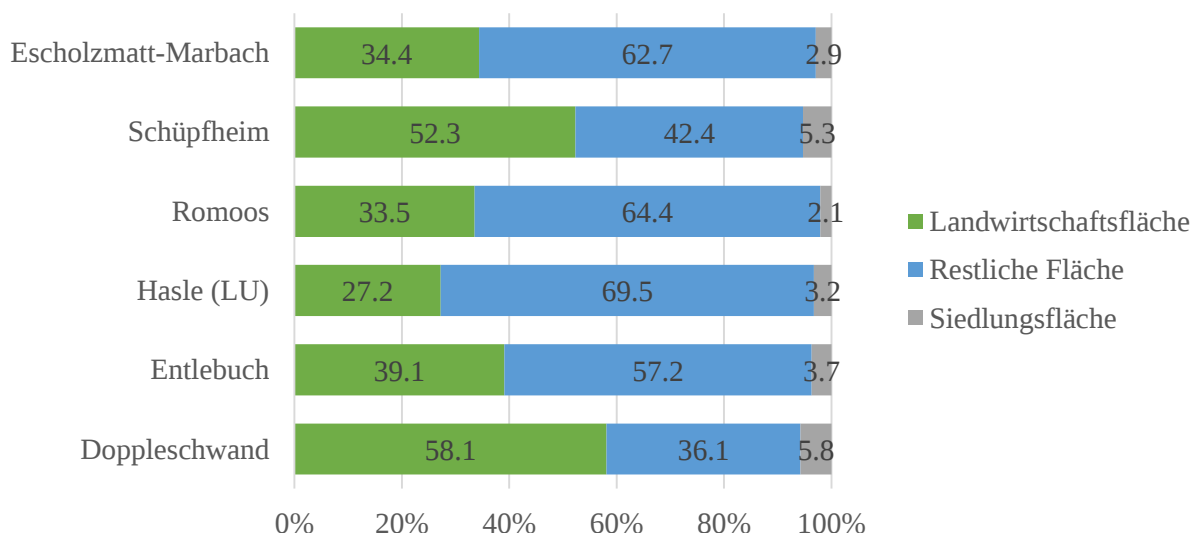


Abb. 3: Anteil der Siedlungsfläche und Landwirtschaftsfläche im Jahr 2012 zur gesamten Fläche; Quelle: © Bundesamt für Statistik

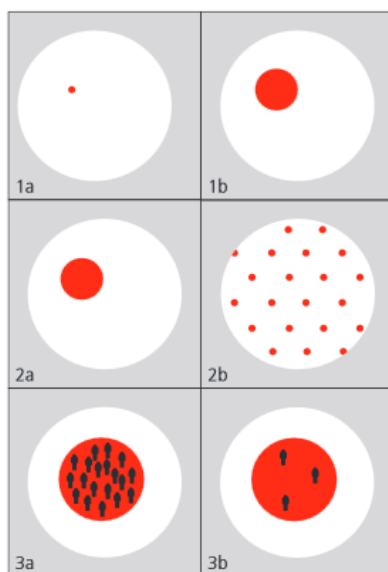
2 Methodik

2.1 Messmethode der Zersiedelung

Grundlage für die Analyse ist die Messmethode von Jaeger, Bertiller, Schwick, Cavens, et al. (2010). Diese Methode ist eine Methode zur Berechnung des Zersiedelungsgrades auf nationaler Ebene und wurde in Zusammenarbeit mit dem Raumplanungsdepartement entwickelt.

Schwick et al. (2010, S. 21) haben folgende Definition für die Zersiedelung festgelegt:

„Zersiedelung ist ein Phänomen, das in der Landschaft optisch wahrnehmbar ist. Eine Landschaft ist umso stärker zersiedelt, je mehr Fläche bebaut ist, je weiter gestreut die Siedlungsflächen sind und je geringer deren Ausnützung für Wohn- oder Arbeitszwecke ist.“



Die Definition greift verschiedene Aspekte auf, welche in der Messmethode vorhanden sind. Zur Zunahme der Zersiedelung führen: Erstens eine zunehmende Siedlungsfläche, zweitens eine grössere Streuung der Siedlungsfläche und drittens eine abnehmende Ausnützung der Siedlungsfläche (Schwick, 2010). Diese Aspekte sind in der Abb. 4 bildlich dargestellt. Darüber hinaus wird in der Definition von der optischen Wahrnehmung von Siedlungen in einer Landschaft gesprochen. Diese wird durch einen Beobachtungshorizont in die Berechnung miteinbezogen.

Detailliert besteht die Berechnung des Zersiedelungswertes

Abb. 4: Aspekte der Zersiedelung (Quelle: Bild: (Schwick, 2011, p. 4)) laut (Schwick, 2010) aus drei Variablen. Die urbane Durchdringung ist die erste Variable. Sie sagt einerseits etwas über die Grösse der Siedlungsfläche und andererseits über ihre Streuung aus. Diese Variable macht die Gemeinden vergleichbar. Die zweite Variable ist die Gewichtung der Dispersion. Diese verstärkt eine grössere Streuung. Die letzte Variable ist die Gewichtung der Ausnutzungsdichte $g(AD)$. Diese begünstigt eine höhere Ausnutzung pro Siedlungsfläche durch Einwohner und Arbeitsplätze. Die Zusammensetzung aller Variablen ist in Abb. 5

dargestellt. Unterschiedlich ist in dieser Darstellung die Flächeninanspruchnahme, welche dem Kehrwert der Ausnützungsdichte entspricht.

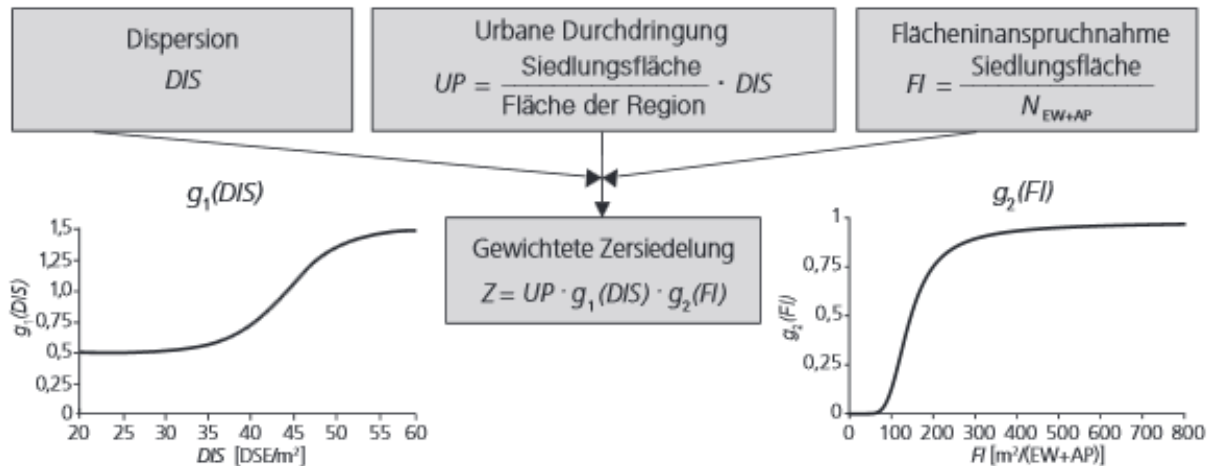


Abb. 5: Zusammensetzung aller Variablen, wobei N_{EW+AP} die Zahl der Einwohner und Arbeitsplätze ist; Quelle Bild: (Schwick, 2011, p. 4)

In der Darstellung sind die Dispersion und die Gewichtungsfunktionen nicht ausgeführt. Diese werden in Tab. 1 vereinfacht zusammengefasst.

Tab. 1: Dispersion, $g(DIS)$ und $g(AD)$ in Formeln zusammengefasst; Quelle: (Schwick, 2010).

DIS =	$\sqrt{(2 \cdot \text{mittlere_Distanz}) / \text{Siedlungsfläche}}$
$G(DIS) =$	$0.5 + (e^{0.294432 \cdot DIS - 12.955} / (1 + e^{0.294432 \cdot DIS - 12.955}))$ Steigung der Funktion; x-Achsenverschiebung
$G(AD) =$	$e^{4.159 - 0.0068125 \cdot AD} / (1 + e^{4.159 - 0.0068125 \cdot AD})$ Steigung der Funktion; x-Achsenverschiebung

Mit mittlerer Distanz ist die durchschnittliche Distanz von einer Siedlungsflächenzelle zu den Anderen im Umkreis des Beobachtungshorizontes gemeint. Dieser wurde von Schwick et al. auf 2000m gesetzt. Für die Dispersion spielt das $\sqrt{(2 \cdot \text{mittlere_Distanz})}$ eine wesentliche Rolle. Dieser Teil der Formel sorgt dafür, dass einerseits die Streusiedlungen nicht als zersiedelt gelten und andererseits die Durchsiedlungseinheit (DSE) entsteht (Schwick, 2010).

Die Dispersionsgewichtung wurde von Schwick et al. so gebildet, dass der schweizerische Durchschnitt von 1960 als neutral gilt, also weder verstärkend, noch schwächend wirkt. Die Werte von $g(DIS)$ sind zwischen 0.5 und 1.5. Eine sehr starke Streuung hat somit den Wert 1.5 und verstärkt den Zersiedelungsgrad. Eine schwache Streuung schwächt den Zersiedelungsgrad mit einem Wert von 0.5 ab (Schwick, 2010).

Die Gewichtung der Ausnützungsdichte $g(AD)$ wurde von Schwick et al. so gesetzt, dass eine hohe Ausnützungsdichte mit über 100 Einwohner und Arbeitsplätze pro Hektare, wie sie in Städten zu finden ist, beinahe den Wert Null erreicht. Bei einer geringen Ausnützung der Siedlungsfläche, welche weniger als 40 Einwohner und Arbeitsplätze pro Hektare beträgt, erreicht die Gewichtung der Ausnützungsdichte $g(AD)$ den Wert 1 oder nahezu 1 (Schwick, 2010).

Wesentlich für die Messmethode ist, dass einerseits dicht bebaute Flächen, wie sie in Städten vorkommen und andererseits Streusiedlungen als nicht zersiedelt gelten.

2.2 Vorgehen

Zu Beginn wurden die Analyseregion und die Messmethode festgelegt. Damit eine Entwicklung dargestellt werden konnte, war es notwendig, verschiedene Zeitabschnitte festzulegen. Die Wahl dieser Zeitabschnitte wurde einerseits nach dem historischen Kontext und andererseits nach dem Vorhandensein der historischen Daten getroffen. Die Siedlungen und die Infrastruktur haben durch den Wachstumsaufschwung, sowie durch eine starke Bevölkerungszunahme nach dem zweiten Weltkrieg zugenommen. Die nötigen historischen Statistiken wie die Arealstatistik, die Pendlerstatistik oder Karten waren nur für bestimmte Zeitabschnitte erhoben worden. Aufgrund des bestehenden Materials wurden die Analysen für die Gemeinden im Bezirk Entlebuch für die Zeitabschnitte um 1975, 1995, 2012 vorgenommen.

Zur Erstellung einer regionalen Analyse mussten die Daten detaillierter sein, als jene der nationalen Analyse. In Betracht dessen wurde demnach nach eine möglichst genaue Auflösung der Karten gewählt, somit 1:25'000. Daraufhin wurden die zu Verfügung stehenden verschiedenen historischen Karten auf Swisstopo verglichen und unter Berücksichtigung der vorhandenen Zeitabschnitte ausgewählt (siehe A 2, S.38). Anschliessend wurden die Häuser der gewählten alten und neuen Pixelkarten digitalisiert. Dabei war der Umriss eines Hauses entscheidend. Bei Reihenhäuser oder Industriegebäuden konnte aufgrund der Form der Gebäude der Mittelpunkt nicht genau bestimmt werden und wurde deshalb grob festgelegt.

Die für die Messmethode nötigen Statistiken wurden beim Bundesamt für Statistik (BFS) entnommen und in Excel zusammengefasst, um diese anschliessend in ArcGIS verwenden zu können (siehe A 2, S. 38).

Anschliessend wurden die einzelnen Prozessschritte zur Berechnung des Zersiedlungsgrades in ArcGIS umgesetzt. Dabei wurden verschiedene Ansätze gewählt, welche zu verschiedenen Herausforderungen geführt haben. Diese sind im Unterkapitel 2.6 (S. 12) ausgeführt. Die endgültig verwendete Zusammensetzung der Tools ist im Unterkapitel 2.5 (S. 10) detailliert beschrieben. Letztlich wurden einerseits die Durchschnittswerte der Variablen in ArcGIS berechnet und in Diagrammen dargestellt. Zusätzlich wurden Karten mit den Zersiedlungswerten für den Bezirk Entlebuch, sowie für die einzelnen Gemeinden erstellt.

2.3 Annahmen für eine regionale Analyse

Es bestehen folgende Unterschiede zur nationalen Analyse von Schwick (2010):

- (1) Der Massstab für die regionale Darstellung der Zersiedelung ist 1:25'000 statt 1:100'000.
- (2) Die durchschnittliche Distanz ist für die regionale Analyse mit digitalisierten Häusern statt mit digitalisierten Siedlungsflächen berechnet worden.
- (3) Die Einzelgebäude, welche im Umkreis von 50m kein weiteres Gebäude hatte, wurden aus dem Datensatz ausgeschlossen, um eine Verfälschung durch Nullwerte zu verhindern.
- (4) Der Beobachtungshorizont beträgt für die regionale Berechnung der Zersiedelung 200m statt 2'000m.
- (5) Die Gewichtung der Dispersion wurde durch eine Verschiebung auf der X-Achse der durch den geänderten Beobachtungshorizont veränderten Dimension angepasst.
- (6) Die Berechnungen wurden für jede Gemeinde einzeln vorgenommen. Dadurch sind jedoch die Randgebiete, anders als in der nationalen Analyse, nicht miteinbezogen.
- (7) Die Siedlungsfläche wurde aus Arealstatistik verwendet und hat dadurch eine andere Definition als die von Schwick et al. digitalisierte Siedlungsfläche.
- (8) Die besiedelbare Fläche wurde bei der Berechnung des Zersiedlungswertes miteinbezogen, weil der Bezirk Entlebuch sehr ländliche Gebiete beinhaltet. Dies war

ein Vorschlag von Schwick (2010), wurde aber in der nationalen Analyse nicht miteinbezogen. Dabei wurden die Siedlungsfläche und die Landwirtschaftsfläche ohne Alpwirtschaftsflächen als besiedelbare Fläche verwendet.

2.4 Datengrundlage

Für die Arbeit sind verschiedene Datensätze verwendet worden. Einerseits wurden historische Karten der Gemeinden als Grundlage zum Digitalisieren der Häuser der jeweiligen Gemeinden verwendet. Andererseits sind historische Statistiken der Gemeinden bezüglich Einwohner, Arbeitsplätze, Siedlungsfläche und besiedelbare Fläche für die Berechnung und Darstellung der Zersiedelung verwendet worden (siehe

Tab. 3). Welche Daten für welches Jahr verwendet worden sind, kann im Anhang (siehe A 2, S. 38) entnommen werden. Für das Erstellen der Karten sind neben den erwähnten Quellen auch weitere Geodaten verwendet worden (siehe Tab. 2).

Genauigkeit:

Die ungenauesten verwendeten Geodaten sind die manuell digitalisierten Häuser der Pixelkarten mit einer Genauigkeit von $\pm 30\text{m}$. Die anderen Geodaten sind weit genauer. Lediglich das Geländemodell, welches zur Darstellung der Daten verwendet wurde ist mit einer Zellgrösse von $25\text{m} \times 25\text{m}$ ungenau. Dies hat jedoch auf die Berechnungen an sich keinen Einfluss.

Die verwendeten historischen Statistiken wie die Pendlerstatistik, Volkszählung, Anzahl Erwerbstätige und die Bevölkerungszahlen sind auf Einzelpersonen genau angegeben. Die verwendeten Daten der Zeitabschnitte waren jedoch nicht immer für das ausgewählte Jahr vorhanden. Deshalb kann die Erhebung der Daten bis zu fünf Jahren von dem gewählten Zeitabschnitt entfernt sein. Die Arealstatistik ist in ha genau angegeben und somit für die Genauigkeit der Analyse relevant.

Tab. 2 Datengrundlage: Geodaten

Filename	Datenformat	Inhalt	Urheber/ Quelle	Auflösung
Alte Pixelkarten	TIFF	Historische Kartenblätter	© swisstopo	Zellgrösse: 1.25m*1.25m
Aktuelle Pixelkarten	TIFF	Historische Kartenblätter	© swisstopo	Zellgrösse: 1.25m*1.25m
SwissBoundaries	Raster Dataset	Gemeindegrenzen	© swisstopo	0.5m
DHM25	Raster Dataset	Geländemodell	© swisstopo	Zellgrösse: 25m*25m
TLM3d	Vektordaten	Strassen	© swisstopo	0.2-1.5m
Karte_UBE	TIFF	Karte UBE	© swisstopo	Zellgrösse: 1.25m*1.25m

Tab. 3: Datengrundlage: Historische Statistiken

Filename	Datenformat	Inhalt	Urheber/ Quelle	Genauigkeit
Pendlerstatistik	Excel	Anzahl Arbeitsplätze je Gemeinde	BFS	Anzahl Personen
Erwerbstätige	Excel	Anzahl Erwerbstätige je Gemeinde	BFS	Anzahl Personen
Volkszählung	Excel	Anzahl Einwohner je Gemeinde	BFS	Anzahl Personen
Bevölkerungszahlen	Excel	Anzahl Einwohner je Gemeinde	LUSTAT Statistik Luzern	Anzahl Personen
Arealstatistik	Excel	Siedlungsfläche je Gemeinde	BFS	In ha

2.5 Umsetzung der Messmethode in ArcGIS

In diesem Kapitel wird die endgültige Umsetzung der Messmethode erst grob, dann detailliert beschrieben. Die während der Umsetzung verwendeten Ansätze und deren Herausforderungen sind im darauf folgenden Kapitel beschrieben.

Die Häuser der gewählten Gemeinden wurden für alle Zeitabschnitte digitalisiert und die Datenpunkte mit den Gemeindegrenzen auf jede Gemeinde zugeschnitten. Anschliessend wurden die Einzelhäuser, welche im Umkreis von 50m kein weiteres Haus hatten, aus dem Datensatz entfernt, um eine Verfälschung durch Nullwerte zu verhindern. Massgebend für die Wahl der Filtergrösse war eine Analyse der Mindestabstände der Häuser der Gemeinde Escholz matt-Marbach. Weiter wurde die mittlere Distanz berechnet, welche für die Berechnung der Dispersion nötig ist. Zur räumlichen Darstellung der Siedlungsfläche wurde aus der Siedlungsflächenzahl geteilt durch die Anzahl Häuser pro Gemeinde und Zeitabschnitt ein Radius berechnet. Die Berechnung der Siedlungsfläche im Umkreis des Beobachtungshorizonts (200m) um jedes Haus ist notwendig, um anschliessend die Dispersion und die urbane Durchdringung zu berechnen. Schliesslich wurden die Variablen Dispersion, urbane Durchdringung, die Gewichtung der Dispersion und Ausnützungsdichte, sowie der Zersiedlungswert berechnet und mit Hilfe einer Interpolation grafisch dargestellt.

Tab. 4: Prozessschritte mit den dazugehörigen Inputs und Tools für die Umsetzung der Messmethode in ArcGIS

Prozessschritt	Input und verwendete Tools (<i>kursiv</i>)
Gebäude digitalisieren	Input: historische Karten (alte und aktuelle Pixelkarten) • <i>Create Feature Class</i>: Geometry Type: Point; Template Feature Class: Jahr, Kartennamen, Kartennummer; Coordinate System: CH1903_LV03
Gebäude auf Gemeinde zuschneiden:	• <i>Clip</i>: Gebäude mit Gemeindegrenzen • <i>Add Field</i>: GDE • <i>Calculate Field</i>: GDE(Abkürzungen der Gemeindegarnen)
Gebäude begrenzen	• <i>Copy Features</i> • <i>Point Distance</i>: Input feature = Near feature; kein Search Radius • <i>Summary Statistics</i>: Statistics Field: Distance (MIN); Case Field: Input_FID

	• <i>Join Field</i>: Join Field: Min_Distance • <i>Select</i>: MIN_DISTANCE <=50 • <i>Copy Features</i>
Durchschnittliche Distanz berechnen:	• <i>Point Distance</i>: Input feature = Near feature; Search Radius= 200m • <i>Summary Statistics</i>: Statistics Field: Distance (Mean); Case Field: Input_FID • <i>Join Field</i>: Join Field: Mean_Distance
Radius der Siedlungsfläche berechnen / Tabellenwerte hinzufügen	• <i>Add Field</i>: Field Name: GDE • <i>Calculate Field</i>: GDE(Abkürzungen der Gemeindenamen) • <i>Summary Statistics</i>: Statistics Field: ObjectID (Count) • <i>Add Field</i>: Field Name: GDE • <i>Calculate Field</i>: GDE(Abkürzungen der Gemeindenamen) • <i>Join Field</i>: GDE • <i>Join Field</i>: Input/ Output Join Field: GDE; Join Table Statistische Daten • <i>Add Field</i>: Field Name:Radius_Siedlungsfläche • <i>Calculate Field</i>: Field Name:Radius_Siedlungsfläche; Expression: $\text{Sqr}([\text{SF}_{2004_09}] * 10000 / [\text{COUNT_OBJECTID}]/\pi)$
Siedlungsfläche pro Haus im Umkreis des Beobachtungshorizonts berechnen	• <i>2*Buffer</i>: Field (1): Radius_Siedlungsfläche; linear unit (2): 200m (Beobachtungshorizont) • <i>Intersect</i>: Features: 2 Buffer • <i>Summary Statistics</i>: Field:Shape_Area (SUM); Case field: ORIG_FID • <i>Make Feature Layer</i>:Buffer Beobachtungshorizont • <i>Add join</i> • <i>Copy Features</i>
Variablen berechnen: SF = Siedlungsfläche DIS = Dispersion UP = Urbane Durchdringung AD = Ausnützungsdichte Z = Zersiedelungswert GF = Gemeindefläche BF = Besiedelbare	• 6* <i>Add Field</i>: Field Name: DIS, UP, g(DIS), g(AD), Z; Field Type: Float • 5* <i>Calculate Field</i>: Expression: (1) GDE = Abkürzung der Gemeinde (2) DIS = $\text{Sqr}(2 * \text{Mean_Distance}) / \text{SF pro Patch}$ (3) UP = DIS * SF / GF (4) $g(\text{DIS}) = 0.5 + (e^{0.294432 * \text{DIS} - 1.955} / (1 + e^{0.294432 * \text{DIS} - 1.955}))$ (5) $g(\text{AD}) = e^{4.159 - 0.0068125 * \text{AD}} / (1 + e^{4.159 - 0.0068125 * \text{AD}})$ (6) Z = UP * g(DIS) * g(AD) * BF / GF

Fläche	
Feature abspeichern:	• <i>Copy Features</i> • <i>Feature to Point</i>
Interpolation:	• <i>IDW: Z value field: Z; Output cell size=5; Power=2; Radius=400; Smoothing factor=0.2</i> • <i>Extract by mask: Feature mask: Gemeindegrenzen</i>

2.6 Ansätze und Herausforderungen

Während dem Erstellen des Analysetools sind verschiedene Ansätze gewählt worden, welche zu unterschiedlichen Herausforderungen geführt haben. Die Gedankengänge im Bereich Datengrundlage, Dispersion, der Gewichtungsfunktion der Dispersion und der besiedelbaren Fläche sind folgend grob skizziert.

Datengrundlage:

Die gesamte UBE wurde als Analyseregion ausgewählt. Aufgrund fehlender historischer Karten der Gemeinde Flühli konnte für diese Gemeinde keine Analyse erstellt werden.

Die Siedlungsfläche wurde aus der Arealstatistik verwendet. Wegen fehlender Daten der Jahre 1941 und 1955, wurden diese Zeitabschnitte aus der Analyse ausgeschlossen.

Dispersion:

Zu Beginn wurde die Mittlere Distanz für Häuser im Radius 2000m um ein Haus (Radius wie Schwick et al. 2010b) durch gesamte Siedlungsfläche der Gemeinde geteilt (Tool *Point Distance* mit Radius 2000m). Einerseits zeigt diese Berechnung nur den Schwerpunkt der Häuserverteilung und andererseits ist wegen der grossen Dimension keine bessere Differenzierung möglich. Zusätzlich war der Beobachtungshorizont nicht miteinbezogen worden.

Basierend auf dieser Erkenntnis folgte der Ansatz, die Mittlere Distanz von einem Haus zu den anderen Häusern im Radius 500m durch die mittlere Siedlungsfläche pro Beobachtungsradius zu berechnen. Da gewisse Gebäude im Umkreis von 500m kein weiteres Haus hatten, entstanden in der Berechnung Nullwerte oder besonders kleine mittlere Distanzen, welche einerseits zu einer Fehlermeldung führten und andererseits die Analyse verfälschten.

Aufgrund dessen wurde mit *Extract by Mask* nur die Häuser, welche sich auf der als maximale Siedlungsfläche aus dem Richtplan befanden, analysiert. Fälschlicherweise war jedoch die maximale Siedlungsfläche aus dem Richtplan kleiner als die Siedlungsfläche der Arealstatistik aus dem Jahr 2012. Zusätzlich war die Analyse durch die Berechnung mit der Dispersion mit der durchschnittlichen Siedlungsfläche noch nicht genügend differenziert.

Deshalb entstand die Idee, die Einzelhäuser auszusortieren (*Summary Statistics*: *min_distance* aus *Point Distance* berechnen und mit *Select min_distance=50m* filtern), den Radius für Siedlungsfläche pro Haus zu berechnen (SF der Gemeinde/ Anzahl Häuser der Gemeinde) und somit die der Siedlungsfläche im Raum darzustellen.

Um die Siedlungsfläche im Beobachtungshorizont jedes Hauses zu berechnen, wurde zuerst ein Puffer mit Radius der Siedlungsfläche pro Haus um jedes Haus gesetzt und anschliessend die Fläche mit *Dissolve* vereint. Weiter wurde mit *Zonal Statistics* pro Haus aus dem Rasterdatensatz mit der Siedlungsfläche und mit einem Puffer um jedes Haus mit Beobachtungshorizont 100m die Siedlungsfläche berechnet. Wegen der Überschneidung der Siedlungsflächen jedes Hauses wurde nicht die gesamte Siedlungsfläche dargestellt. Zusätzlich zeigte sich, dass die Dimensionen der Dispersion aufgrund des gewählten Beobachtungshorizontes nicht passend waren. Auch ist das Tool *Zonal Statistik* nicht für überlappende Flächen anwendbar. Deshalb entstanden unrealistische Werte. Die Lösung war der Einsatz des Tools *Intersect* aus dem Puffer der Siedlungsfläche und dem des Beobachtungshorizontes. Die anschliessende Analyse mit dem Tool *Summary Statistics* brachte die gewünschten Resultate.

Bis zu diesem Zeitpunkt galten Streusiedlungen bei der Berechnung als zersiedelt. Mithilfe von $DIS = \sqrt{2 * \text{mean_distance}} / \text{Siedlungsfläche im Beobachtungshorizont jedes Hauses}$ beim Tool *Calculate Field*, wie es auch Schwick et al. (2010) verwendet haben, konnte dies korrigiert werden. Dennoch waren die Dimensionen der Dispersion bei der Gewichtung immer noch verschoben, weshalb die Gewichtung an den Beobachtungshorizont angepasst werden musste.

Gewichtung der Dispersion für verschiedene Beobachtungshorizonte:

Zur Anpassung der Funktion der Dispersionsgewichtung sollte einerseits die Analyse mit dem Beobachtungshorizont 2000m und mit 200m durchgeführt werden, um anschliessend die Gewichtungsfunktion bezüglich der X-Achse anzupassen. Die Leistung des Computers war nicht ausreichend, um das Tool *Intersect* mit so vielen Datenpunkten durchzuführen. Nur bis zu einem Beobachtungsradius von 500m war die Leistung ausreichend. Deshalb wurde die

Gewichtungsfunktion unter Vergleich verschiedener Werte manuell so angepasst, bis die gesamte Dimension von 7.7 bis 13 DSE/ha durch die Funktion abgedeckt war. Schliesslich wurde die Funktion mathematisch, wie in Tab. 5 dargestellt, angepasst. Grafisch zeigt sich die X-Achsenverschiebung in Abb. 6.

Tab. 5: Anpassung der Gewichtungsfunktion $g(\text{DIS})$

Ursprünglich	$g(\text{DIS}) = 0.5 + (e^{0.294432 * \text{DIS} - 12.955} / (1 + e^{0.294432 * \text{DIS} - 12.955}))$
Angepasst	$g(\text{DIS}) = 0.5 + (e^{0.294432 * \text{DIS} - 3.955} / (1 + e^{0.294432 * \text{DIS} - 3.955}))$

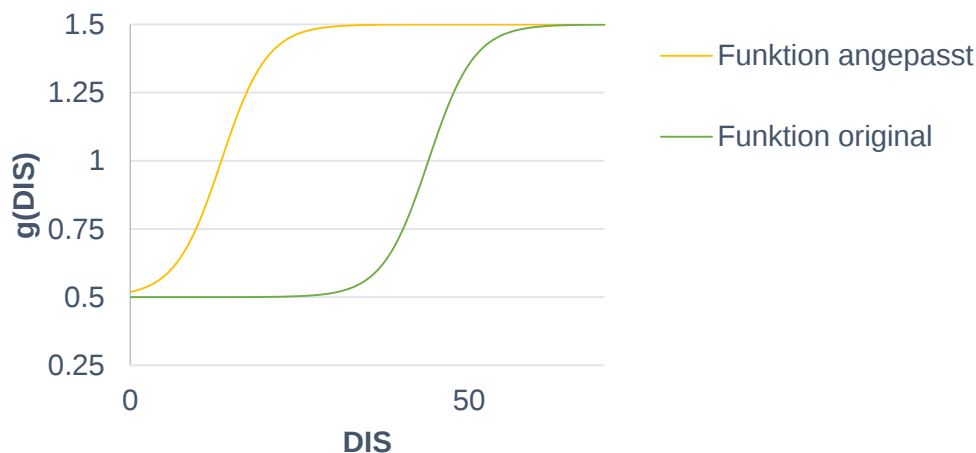


Abb. 6: Vergleich der originalen Gewichtung $g(\text{DIS})$ mit der Angepassten

Besiedelbaren Fläche:

Aufgrund des verschiedenen Anteils an Landwirtschaftsfläche und nicht nutzbare Fläche jeder Gemeinde wurde der Zersiedelungswert, wie von Schwick (2010) vorgeschlagen, durch den Anteil der besiedelbaren Fläche der Gemeinden geteilt. Als besiedelbare Fläche gelten laut *Arealstatistik Schweiz* (2005) die Siedlungs- und Landwirtschaftsfläche ohne Alpwirtschaftsflächen. Somit werden die Zersiedelungswerte der verschiedenen Gemeinden von der Dimension her vergleichbar.

3 Resultate

In diesem Kapitel ist erst der Bezirk Entlebuch mit einer Karte von 2012 und anschliessend mit den relativen Tabellenwerten in Diagrammen dargestellt und beschrieben. Anschliessend ist jede einzelne Gemeinde mit den drei Karten der Zeitabschnitte der Zersiedelungswerte und die jeweilige Tabelle mit den Variablen der Messgrösse abgebildet und ausgeführt. Besonders zu beachten ist die angepasste Abstufung der Einheiten bei den Resultaten der einzelnen Gemeinden. Sie dient einer differenzierten Betrachtung der Zersiedelungswerte. Weiter wird im Beschrieb der Resultate der Begriff „zersiedelte Fläche“ verwendet. Damit sind die Flächen gemeint, welche spezifisch bei jeder Gemeinde die höchsten Zersiedelungswerte aufweisen.

3.1 Zersiedelung in der UBE

Auf der Karte mit den Zersiedelungswerten für das Jahr 2012 (siehe Abb. 7) ist eine unterschiedliche Grundfärbung der Gemeinden zu erkennen. Die Dimension der Zersiedelungswerte der Gemeinden Romoos und Hasle, sowie die der Gemeinden Schüpfheim und Entlebuch sind im ähnlichen Bereich. Doppleschwand hat besonders hohe Z-Werte im Bereich zwischen 2 und 5 DSE/km² und Escholz matt-Marbach hat besonders kleine Z-Werte im Bereich zwischen 0.17 und 0.750 DSE/km². In den Gemeinden Romoos und Hasle sind aufgrund der Positionierung der Häuser besonders viele Streusiedlungen zu erkennen.

Die Tabellen (siehe Tab. 6) zeigen Durchschnittswerte der Variablen der Messmethode relativ zu den Werten von 1975. Die Zersiedelungswerte der Gemeinden Doppleschwand (+2.4%), Escholz matt-Marbach (+5.8%), Hasle (+2.6%) und Romoos (+3.3%) sind von 1975 bis 2012 gestiegen. Die Zersiedelungswerte der Gemeinden Entlebuch (-1.0%) und Schüpfheim (+/-1.4%) sind leicht gesunken. Escholz matt-Marbach hat die grösste und die Gemeinde Entlebuch die kleinste Veränderung des Zersiedelungsgrades seit 1975.

Die Dispersion hat sich in den Gemeinden sehr unterschiedlich verändert. Auffallend ist eine Tendenz der zunehmenden Klumpenbildung. Lediglich in der Gemeinde Escholz matt-Marbach hat zwischen 1975 und 2012 die Streuung um 3.6% zugenommen. In den Gemeinden Doppleschwand, Entlebuch und Schüpfheim hat die Streuung um rund 15% abgenommen, in den Gemeinden Romoos und Hasle um 3.4%.

Die urbane Durchdringung ist in allen Gemeinden von 1975 bis 2012 gestiegen. Die grösste Veränderung der urbanen Durchdringung zwischen 1975 und 2012 zeigt die Gemeinde Doppleschwand mit einer Zunahme von 11.9%, die Geringste die Gemeinde Romoos mit 1.35%.

Der Wert der Dispersionsgewichtung ist tendenziell abnehmend. Alle Gemeinden ausser Romoos zeigen seit 1975 eine deutliche Abnahme des Werts Dispersionsgewichtung. Am deutlichsten ist die Abnahme in der Gemeinde Doppleschwand mit 7.7%. Romoos zeigt mit der Zunahme von 1.2% eine Ausnahme im Trend.

Der Wert der Gewichtung der Ausnützungsdichte verändert sich sehr schwach. Tendenziell ist eine Verstärkung der der Gewichtung der Ausnützungsdichte von bis zu 0.1% zu erkennen. Doppleschwand ist die einzige Gemeinde, welche mit -0.04% eine Abnahme der Gewichtung der Ausnützungsdichte zeigt. Grund für die geringe Veränderung ist, dass alle Gemeinden zu jedem Zeitabschnitt weniger als 40 Einwohner und Arbeitsplätze pro Hektare haben. Somit ist die Gewichtung der Ausnützungsdichte bei allen Gemeinden beinahe eins, das entspricht dem Maximalwert.

Zersiedlungswerte in der UBE 2012

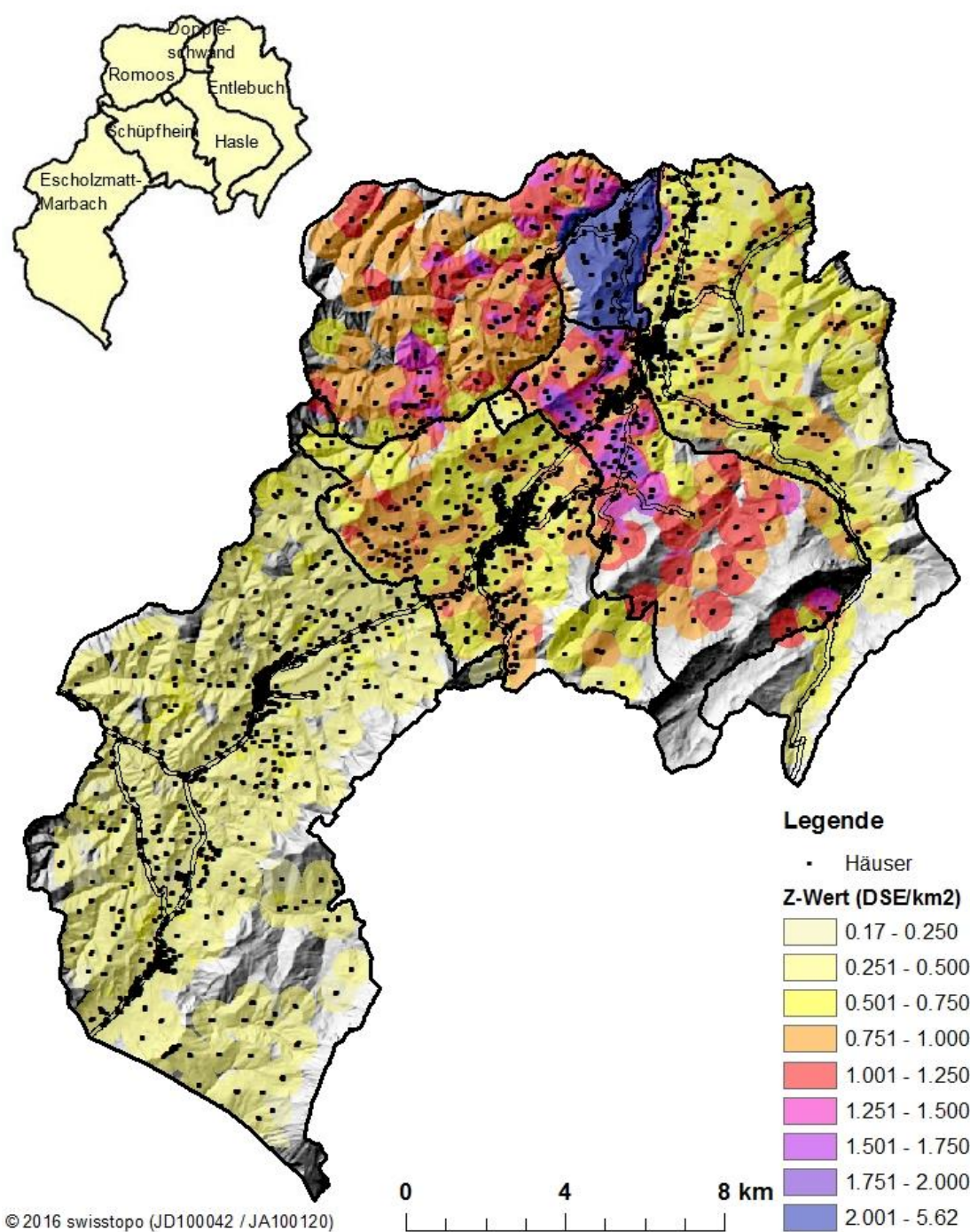
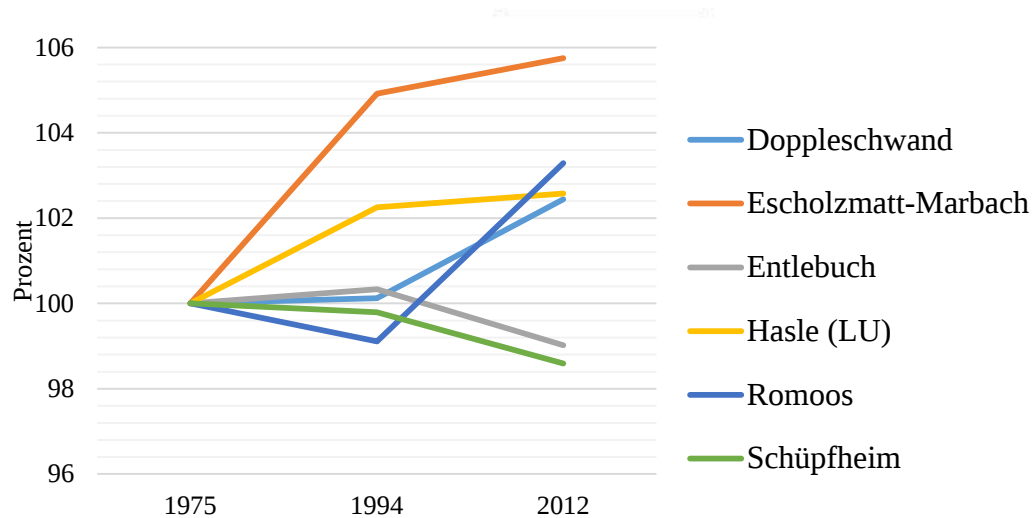
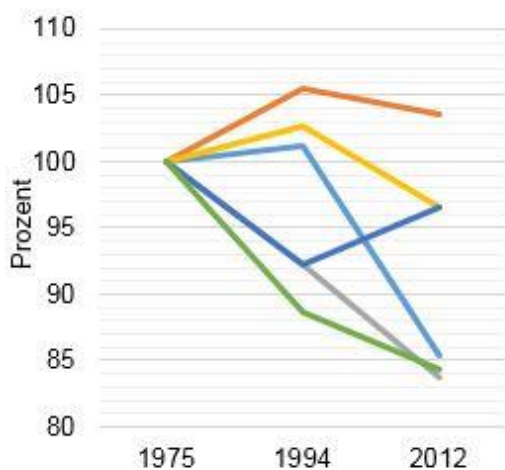


Abb. 7: Karte der räumlichen Verteilung der Zersiedlungswerte in der UBE 2012

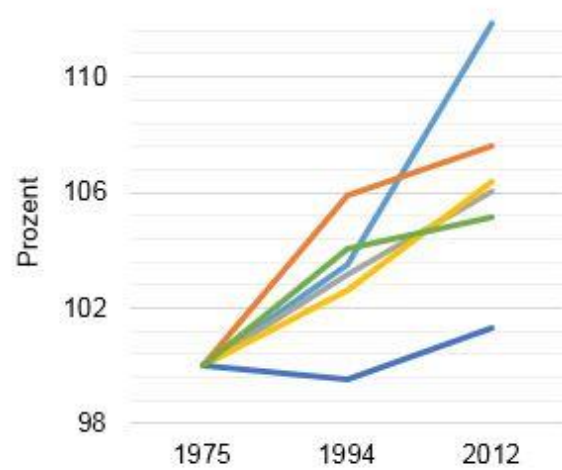
Tab. 6: Tabellen mit einzelnen Variablen der Messmethode zugehörig zu den Gemeinden
Zersiedlungswert



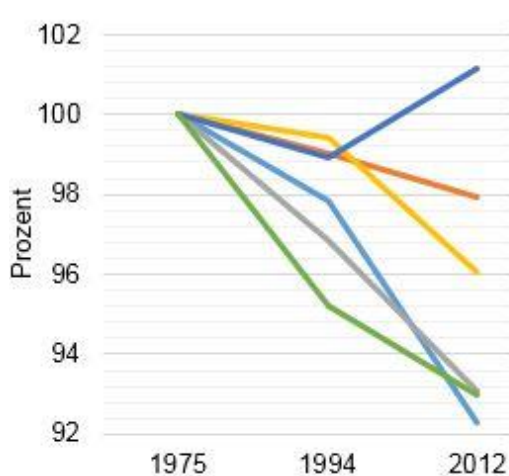
Dispersion



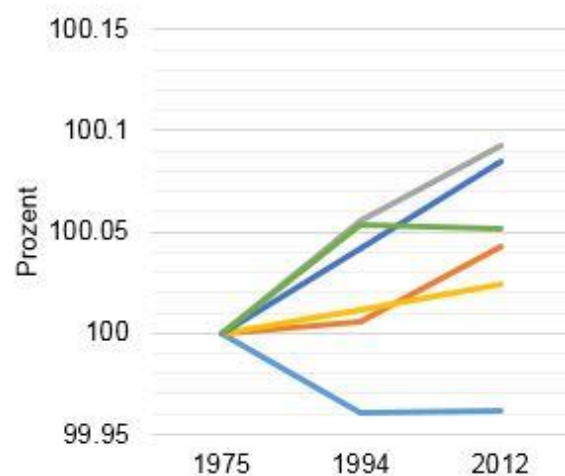
Urbane Durchdringung



Gewichtung der Dispersion



Gewichtung der Ausnützungsdichte



3.2 Zersiedelung pro Gemeinde in der UBE

Zur Erinnerung: Der Zersiedlungswert setzt sich aus den Variablen Urbane Durchdringung, der Dispersionsgewichtung und der Gewichtung der Ausnutzungsdichte zusammen. Die urbane Durchdringung sagt aus, wie gross der Anteil Siedlungsfläche pro Gemeindefläche ist und wie die Streuung der Häuser aussieht. Die Dispersionsgewichtung verstärkt den Zersiedlungswert bei einer grossen Streuung und schwächt diesen bei einer kleinen Streuung der Häuser. Die Gewichtung der Ausnutzungsdichte begünstigt eine hohe Nutzung der Siedlungsfläche, also eine hohe Anzahl Einwohner und Arbeitsplätze pro Siedlungsfläche. Eine Abnahme oder Zunahme der Gewichtungen ist somit auf eine veränderte Häufigkeitsverteilung zu schliessen.

3.2.1 Doppleschwand

Der durchschnittliche Zersiedlungswert der Gemeinde Doppleschwand hat seit 1975 um gut 2.4% zugenommen. Grund dafür ist die Zunahme der Siedlungsfläche, welche sich in der Erhöhung der urbanen Durchdringung (+11.9%) zeigt. Die Streuung der Häuser hat seit 1994 um 14.6% abgenommen.

Auf den Karten zeigt sich eine starke Zunahme der zersiedelten Fläche der Gemeinde besonders deutlich südlich des Dorfkerns. Weiter ist auf der Karte eine Zunahme der Häuser in der Nähe des Dorfkerns zu sehen. An der südlichen Gemeindegrenze ist seit 1994 eine zersiedelte Fläche etwas zurückgegangen (siehe Abb. 8).

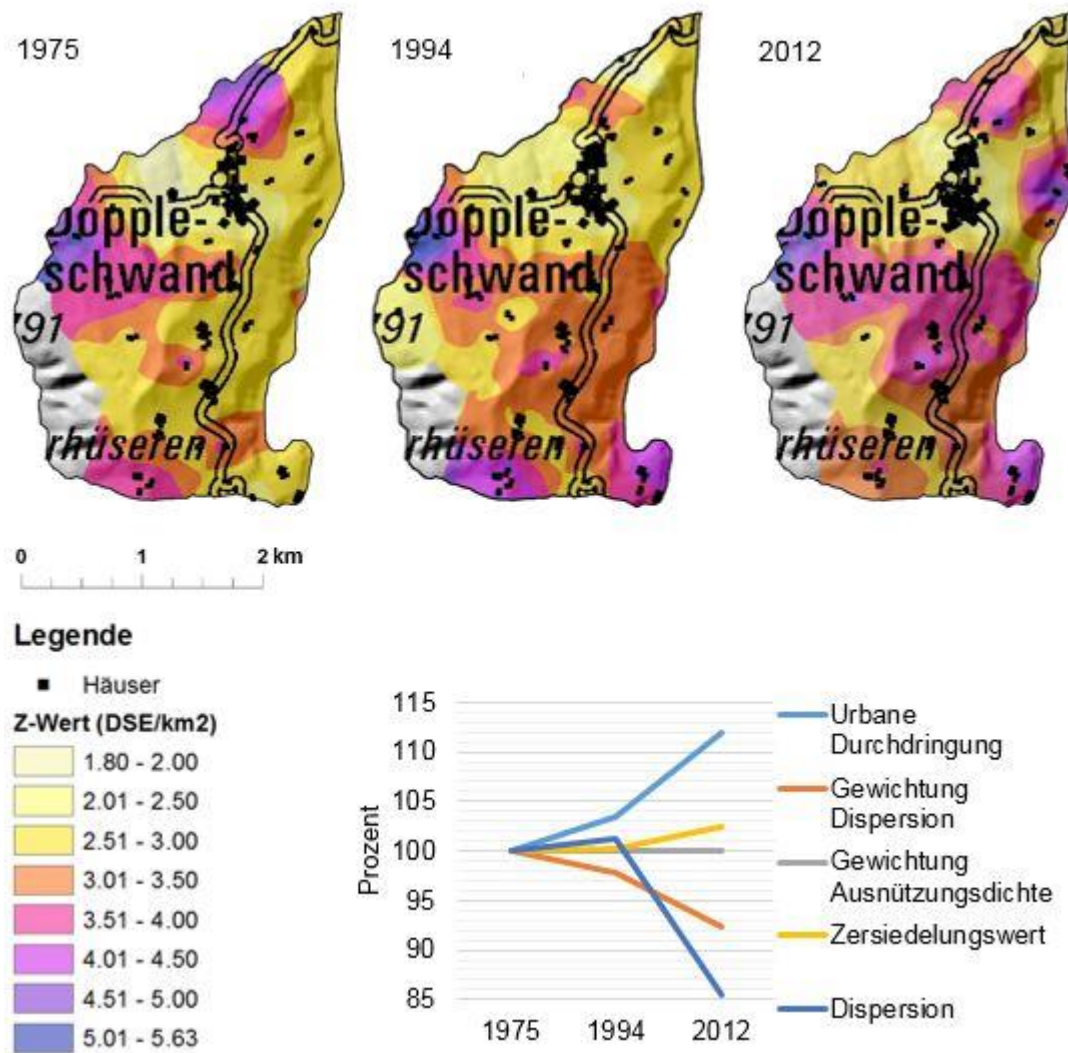


Abb. 8: Entwicklung der Zersiedelung der Gemeinde Doppleschwand; dargestellt sind die Karten und Variablen der Zeitabschnitte

3.2.2 Escholz matt-Marbach

Der durchschnittliche Zersiedelungswert der Gemeinde Escholz matt-Marbach hat seit 1975 um 5.8% zugenommen. Grund dafür ist die Zunahme der Dispersion (+3.6%), welche den Wert der urbanen Durchdringung um 7.6% erhöht. Die Dispersionsgewichtung nimmt aufgrund der zunehmenden Häufigkeit der tieferen Dispersionswerte (-2.1%) ab und schwächt somit die Zunahme des Zersiedelungswertes ab.

Die Karten zeigen, dass sich 1975 entlang der Strassen viel zersiedelte Fläche befunden haben. Einerseits hat die Bebauung in der Nähe der Streusiedlungen zwischen 1975 und 1994 zu flächenmässig vermehrter zersiedelter Fläche und einem Zusammenwachsen dieser geführt

und andererseits hat durch die anschliessende Bebauung in den Dorfkernen zu einer Verminderung der zersiedelten Fläche geführt. Zusätzlich zeigt sich eine starke Zunahme dieser in der Nähe der Strasse zwischen Marbach und Escholz matt und südlich und nordöstlich von Escholz matt. Eine Abnahme des Zersiedlungsgrades zeigt im Süden der Gemeinde aufgrund der verbesserten Streuung (siehe Abb. 9).

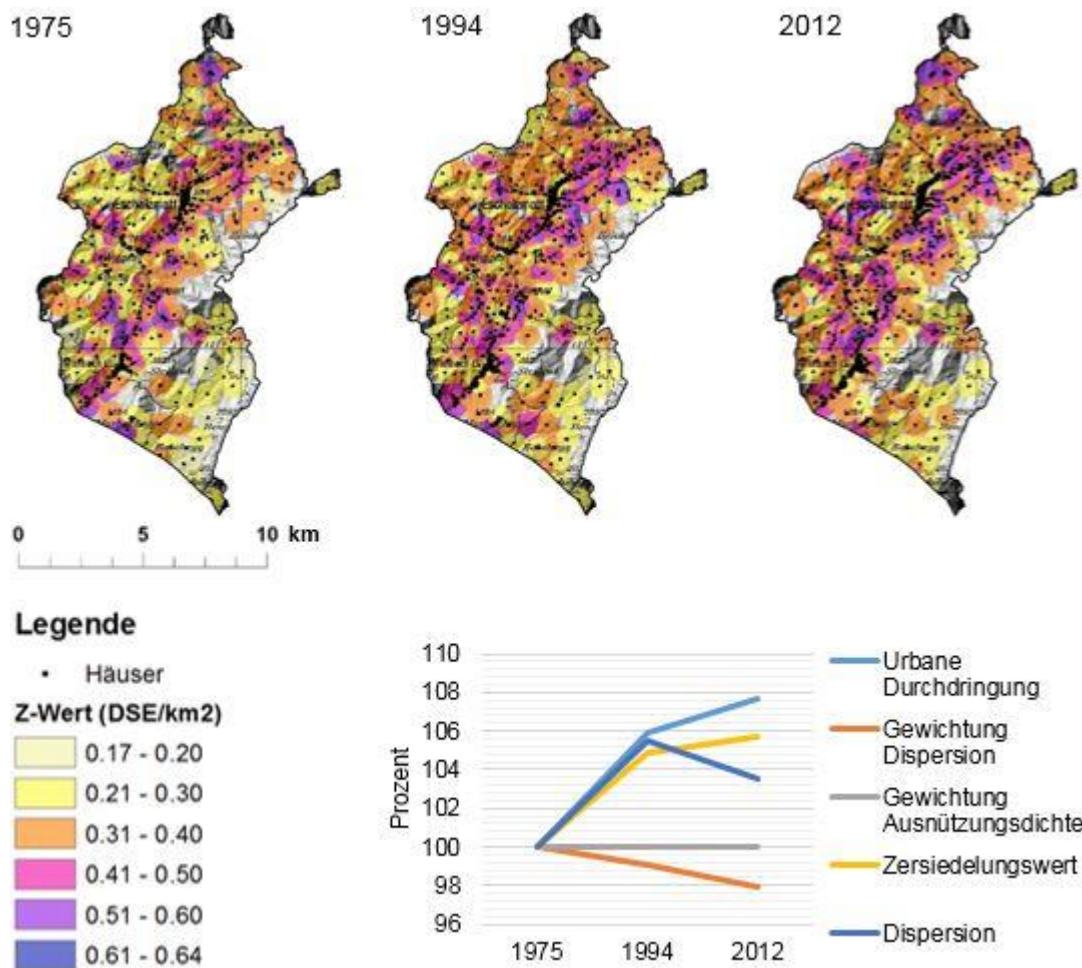


Abb. 9: Entwicklung der Zersiedelung der Gemeinde Escholz matt-Marbach; dargestellt sind die Karten und Variablen der Zeitabschnitte

3.2.3 Entlebuch

Der durchschnittliche Zersiedelungswert der Gemeinde Entlebuch hat seit 1975 um 1.0% abgenommen. Grund für die nur minimale Veränderung des Z-Wertes ist der Ausgleich der beiden Variablen urbane Durchdringung und der Dispersionsgewichtung. Einerseits hat die

urbane Durchdringung aufgrund der starken Zunahme der Siedlungsfläche um 6.1% zugenommen und andererseits hat die Gewichtung der Dispersion aufgrund der starken Abnahme der Dispersion um 6.9% abgenommen.

Auf den Karten ist eine Zunahme der Zersiedelten Fläche nördlich und südlich des Dorfkerns zu erkennen. Ansätze davon sind bereits 1975 feststellbar. Eine Abnahme des Zersiedlungsgrades seit 1994 zeigt sich an der nördlichen Grenze der Gemeinde (siehe Abb. 10).

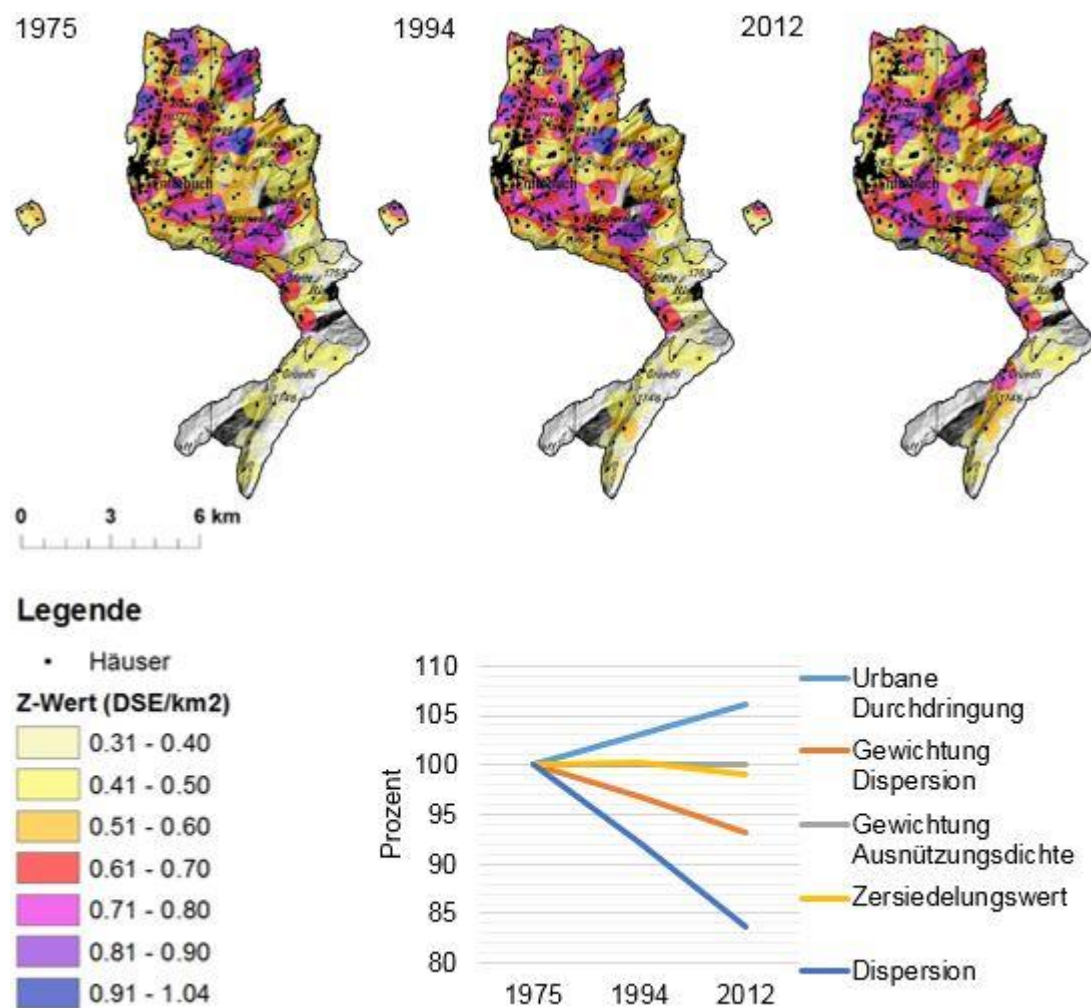


Abb. 10: Entwicklung der Zersiedelung der Gemeinde Entlebuch; dargestellt sind die Karten und Variablen der Zeitabschnitte

3.2.4 Hasle

Der durchschnittliche Zersiedelungswert der Gemeinde Hasle hat seit 1975 um 2,6% zugenommen. Grund dafür ist einerseits die starke Zunahme der urbanen Durchdringung (+6,4%) aufgrund der Zunahme der Siedlungsfläche. Abgeschwächt wird die Zunahme des Zersiedelungswertes durch die Gewichtung der Dispersion (-4,0%).

Auf den Karten zeigt sich seit 1975 deutlich die Zunahme von zersiedelter Fläche rund um den Dorfkern der Gemeinde. Weiter ist seit 1975 die Zunahme von zersiedelter Fläche in der Nähe von Streusiedlungen zu erkennen. An der südöstlichen Gemeindegrenze zeigt sich eine vorübergehende Veränderung des Zersiedlungsgrades (siehe Abb. 11).

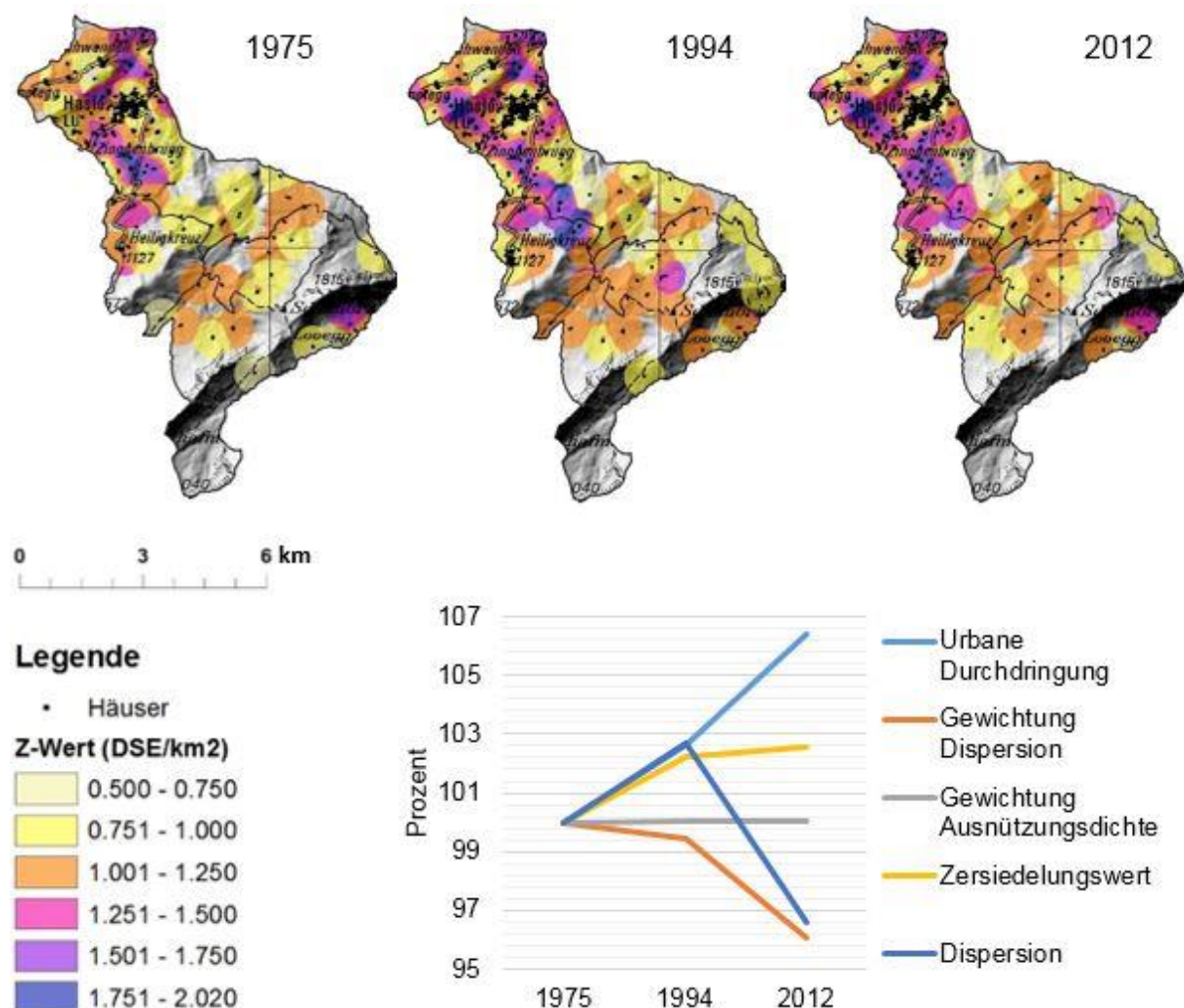


Abb. 11: Entwicklung der Zersiedelung der Gemeinde Hasle; dargestellt sind die Karten und Variablen der Zeitabschnitte

3.2.5 Romoos

Der durchschnittliche Zersiedelungswert der Gemeinde Romoos hat seit 1975 um 3.3% zugenommen. Grund dafür ist einerseits die urbane Durchdringung. Diese ist bestimmt durch den höheren Anteil an Siedlungsfläche. Andererseits hat die Gewichtung der Dispersion, welche durch die Zunahme der Häufigkeit der höheren Dispersionswerte bestimmt ist, zugenommen (+1.4%). Dies führt zu einer Verstärkung des Zersiedelungswertes.

Romoos hat nur einen kleinen Dorfkern und viele Streusiedlungen. Durch die Bebauung in der Nähe dieser Streusiedlungen sind Klumpen entstanden, welche immer mehr zusammenwachsen und dadurch eine zersiedelte Fläche bilden. Dies zeigt sich deutlich im nordöstlichen Gebiet der Gemeinde. Eine vorübergehende Veränderung des Zersiedlungsgrades zeigt sich zwischen 1994 an der südöstlichen Grenze der Gemeinde (siehe Abb. 12).

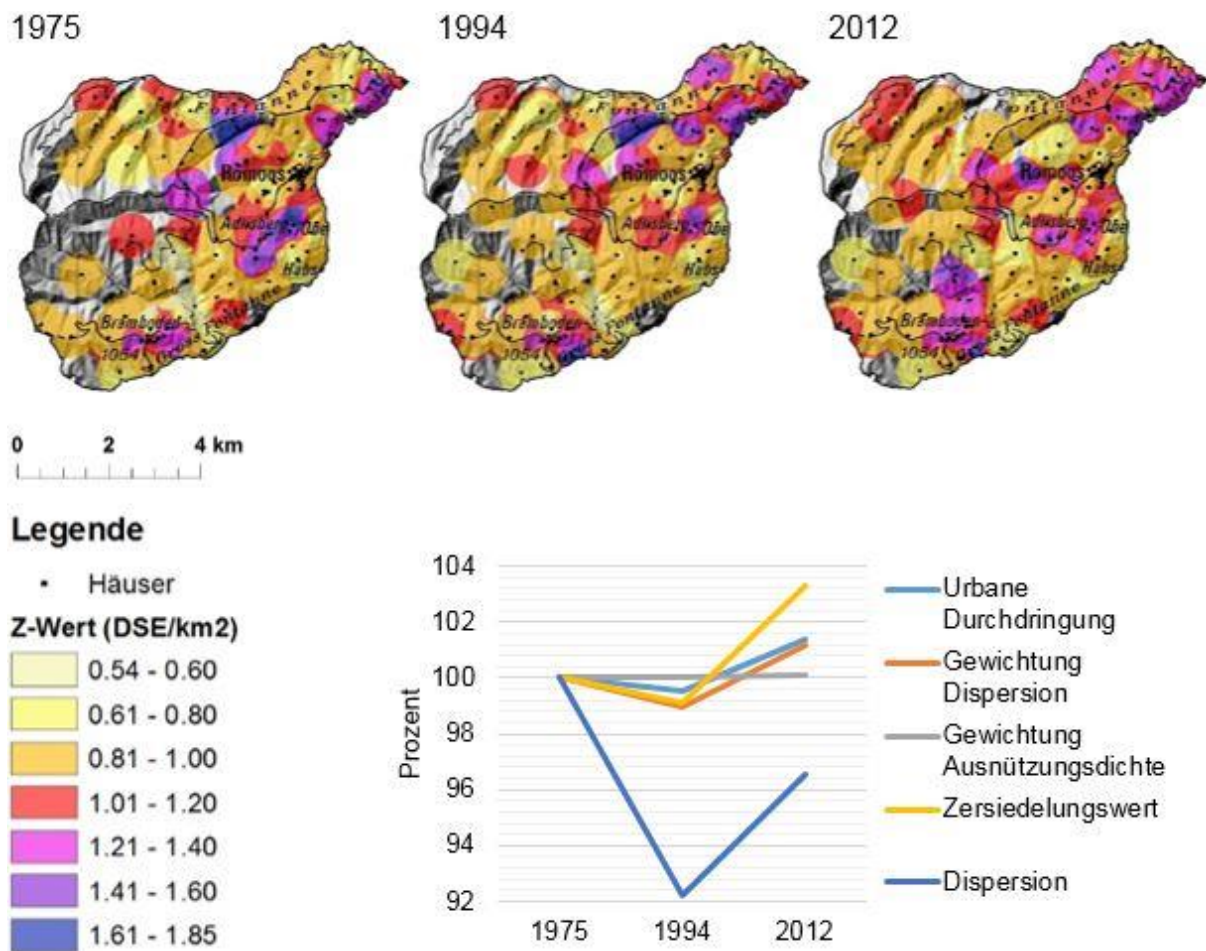


Abb. 12: Entwicklung der Zersiedelung der Gemeinde Romoos; dargestellt sind die Karten und Variablen der Zeitabschnitte

3.2.6 Schüpfheim

Der durchschnittliche Zersiedelungswert der Gemeinde Schüpfheim hat seit 1975 um 1.4% abgenommen. Grund dafür ist eine vermehrte Bebauung in der Nähe des Dorfkerns, was zu der Abnahme der durchschnittlichen Dispersion um mehr als 15.7% seit 1975 führte. Im Gegensatz dazu hat sich die urbane Durchdringung aufgrund der zugenommenen Siedlungsfläche um 5.1% erhöht.

Auf den Karten zeigt sich eine starke Zunahme der zersiedelten Fläche besonders westlich und südlich des Dorfkerns. Der Dorfkern an sich zeigt 2012 einen geringeren Zersiedelungsgrad als 1975. Grund dafür ist eine geringere durchschnittliche Streuung der Häuser, was an der Zunahme der Häuser im Dorfkern zu sehen ist (siehe Abb. 13).

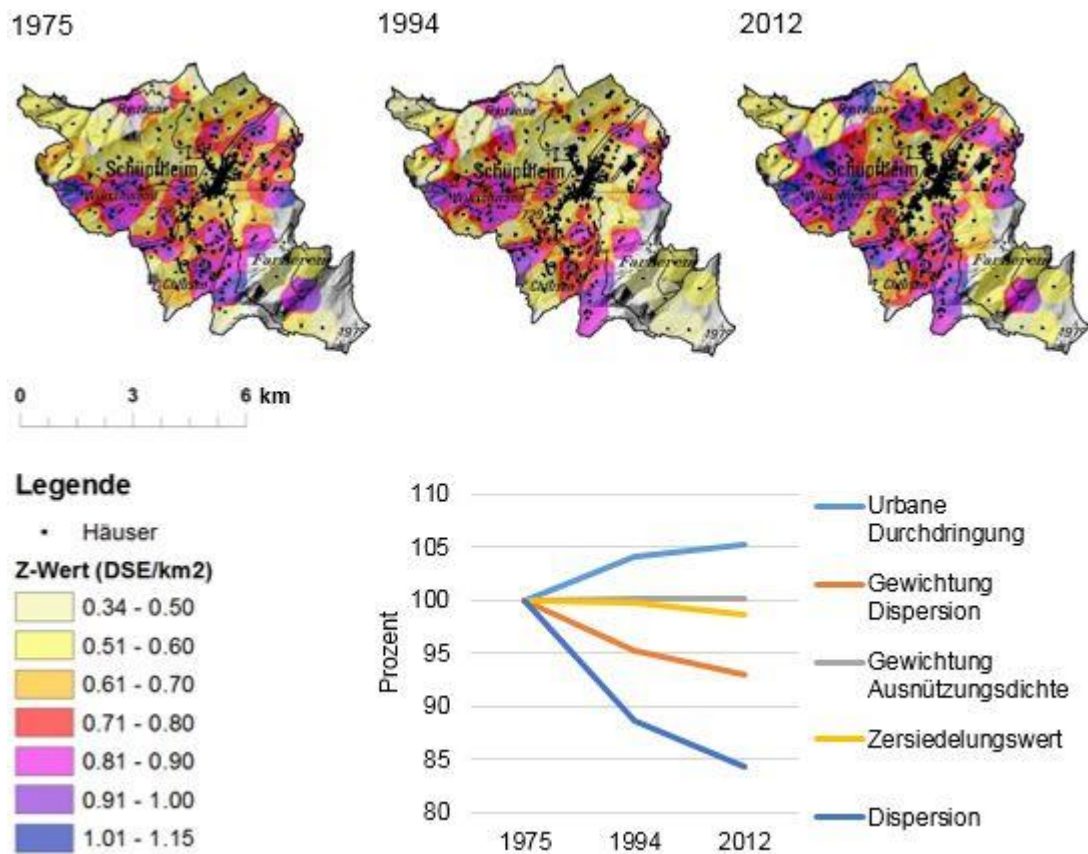


Abb. 13: Entwicklung der Zersiedelung der Gemeinde Schüpflheim; dargestellt sind die Karten und Variablen der Zeitabschnitte

4 Diskussion

4.1 Entwicklung der Zersiedelung in der UBE

Die Karten mit der räumlichen Verteilung des Zersiedlungswertes zeigen bei jeder Gemeinde eine flächenmässige Zunahme zersiedelter Flächen. Meist ist die Zunahme rund um den Dorfkern und entlang von grösseren Strassen zu verzeichnen. Die Dorfkern an sich vergrössern sich, weisen jedoch zunehmend eine Verminderung der zersiedelten Fläche auf. Dies könnte auf die Umsetzung des Raumplanungsgesetzes von 1979 zurück zu führen sein. Auch die Abnahme des durchschnittlichen Zersiedlungswertes der Gemeinden Entlebuch und Schüpfheim wäre damit erklärbar. Die Abnahme oder vorübergehende Veränderung des Zersiedlungsgrades an den Randgebieten, wie sie in den Gemeinden Doppleschwand, Entlebuch, Hasle und Romoos zu finden sind, können auf methodische Annahmen zu führen sein (siehe Kapitel 4.2).

Die unterschiedliche Ausgangsposition jeder Gemeinde zeigt sich in den Resultaten deutlich. Es bestehen Unterschiede beim Verhältnis Siedlungsfläche zu Landwirtschaftsfläche zu Gemeindefläche. Je grösser der Anteil an Landwirtschaftsfläche einer Gemeinde ist, desto kleiner ist der Anteil an Siedlungsfläche im Verhältnis zur Gemeindefläche. Dies beeinflusst direkt die urbane Durchdringung und führt zu kleinen Zersiedlungswerten unabhängig von der Dispersion. Deutlich wird diese Erkenntnis bei der Gemeinde Escholz matt-Marbach, welche Zersiedlungswerte im Bereich von 0.17-0.64 DSE/km² hat.

Die Zersiedlungswerte der Gemeinden haben zwischen 1975 und 2012 prozentual um bis zu 5.75% zugenommen. Am stärksten hat der durchschnittliche Zersiedlungswert in Escholz matt-Marbach zugenommen. Grund dafür ist neben der zugenommenen Siedlungsfläche die grosse Zunahme der Streuung. Dies steht in Zusammenhang mit dem Zusammenwachsen der Streusiedlungen. Im Gegensatz dazu hat der Zersiedlungswert der Gemeinde Schüpfheim im Vergleich zu den anderen Gemeinden am stärksten abgenommen. Grund dafür ist die grosse Abnahme in der Streuung der Häuser. Wenn die Karten in diesem Fall miteinbezogen werden, kann man sehen (siehe Abb. 13, S. 26), dass sich die Abnahme der Streuung lediglich auf den Dorfkern bezieht. Flächenmässig hat die zersiedelte Fläche rund um den Dorfkern, besonders dort wo früher Streusiedlungen waren, deutlich zugenommen. Somit kann eine Analyse des Zersiedlungswertes ohne Berücksichtigung des räumlichen Ausmasses der Zersiedelung zu falschen Schlüssen führen.

Die durchschnittliche Streuung der Häuser zeigt mit Ausnahme der Gemeinde Escholz matt-Marbach die Tendenz der Abnahme. Grund dafür könnte eine vermehrte Klumpenbildung in den Dorfkernen der Gemeinden sein. Dies weist auf eine konsequente Umsetzung des Raumplanungsgesetzes von 1979.

Die Dispersionsgewichtung zeigt mit Ausnahme der Gemeinde Romoos eine Abnahmetendenz. Romoos hat nur einen kleinen Dorfkern und sonst besonders viel Streusiedlungsfläche. Der Häuserbau hat kaum in der Nähe des Dorfkerns stattgefunden, sondern in der Nähe der Streusiedlungen. Die Zunahme der Dispersionsgewichtung kann auf diese Weise erklärt werden. Die Gemeinden Escholz matt-Marbach und Hasle wiesen 1975 ähnlich grosse Streusiedlungsflächen wie Romoos auf. Bei diesen Gemeinden wurde jedoch vermehrt im Dorfkern gebaut, weshalb die Gewichtung der Dispersion nicht zugenommen, sondern schwach abgenommen hat.

4.2 Umsetzung der Messmethode

Für die Analyse einer Gemeinde mit der angepassten Messmethode werden einerseits die Fläche und der Anteil Landwirtschaftsfläche ohne Alpwirtschaftsflächen der Gemeinde verwendet. Andererseits werden für jeden Zeitabschnitt die Einwohnerzahl, Anzahl Arbeitsplätze, die Siedlungsfläche und die digitalisierten Häuser benötigt. Im Vergleich zur nationalen Messmethode von Schwick (2010) werden nicht die digitalisierte Siedlungsfläche, sondern die digitalisierten Häuser und zusätzlich den Anteil an Landwirtschaftsfläche ohne Alpwirtschaftsflächen verwendet.

Durch die Anpassungen und Annahmen bei der Messmethode der Zersiedelung sind verschiedene Unterschiede erkennbar.

Den grössten Einfluss hat der Beobachtungshorizont, welcher von ursprünglich 2000m auf 200m gesetzt wurde. Dies wirkt sich einerseits auf die durchschnittliche Distanz von einem Haus zu den umliegenden Häusern und somit auf die Dispersion und die Siedlungsfläche des umliegenden Gebietes aus. Die urbane Durchdringung wird dadurch doppelt beeinflusst, die Dispersionsgewichtung nur einfach. Somit zeigen sich bei der urbanen Durchdringung niedrigere Werte. Die Dispersionsgewichtung führte zu Werten minimal über 0.5, dem niedrigsten möglichen Wert. Deshalb wurde die Dispersionsgewichtung angepasst.

Der Massstab der für die Digitalisierung der Häuser verwendeten Karten ist bei der regionalen Messmethode 1:25'000 statt 1:100'000. Daraus ergibt sich ein deutlich höherer Detailgrad.

Die Funktion der Dispersionsgewichtung wurde so angepasst, dass das ganze Datenspektrum für einen Beobachtungshorizont von 200m abgedeckt ist. Die Anpassung ermöglicht den verhältnismässigen Vergleich. Jedoch sollte sie durch den Vergleich der Resultate mit unterschiedlichen Beobachtungshorizonten und X-Achsen-Anpassungen noch validiert werden. Durch die Darstellung von Verhältnismässigkeiten und Entwicklungstendenzen statt absoluten Werten ist diese Methode vom Aufwand her angemessen.

Weiter sind die Quelle der Siedlungsfläche und die Berechnung der mittleren Distanz zu den umliegenden Häusern unterschiedlich. Schwick (2010) hat die Siedlungsfläche digitalisiert und die durchschnittliche Distanz von einer Zelle zu den anderen Zellen für die Dispersion verwendet. Bei der Anpassung wurde die Siedlungsfläche der Arealstatistik verwendet. Diese ist verhältnismässig etwas grösser als die digitalisierte Siedlungsfläche von Schwick (2010). Durch die Darstellung von relativen Werten lassen sich die Resultate dennoch vergleichen. Die Verwendung der Häuser für die mittlere Distanz führt zu einer realitätsgetreuen Darstellung. Zusätzlich erhöht diese Anpassung den Detailgrad deutlich und lässt eine Analyse der ländlichen Siedlungsstrukturen wie Streusiedlungen zu. Bei der nationalen Messmethode ist eine solche Analyse laut Schwick (2010) nicht möglich. Die Berechnung der Siedlungsfläche pro Haus ist eine Annäherung und entspricht nicht direkt der Realität. Beispielsweise ist die zusätzliche Infrastruktur, welche für die Erreichbarkeit der Streusiedlungen nötig ist, viel grösser als in dicht bebauten Dorfkernen. Dieser Unterschied müsste bei der Weiterentwicklung der regionalen Messmethode miteinbezogen werden.

Wegen der vollständigen Digitalisierung der Häuser sind auch Einzelhäuser wie Waldhütten oder Scheunen digitalisiert. Diese verfälschen oder stören bei der Berechnung, weil sie entweder keine Werte oder unrealistische Werte ergeben. Deshalb wurden Häuser, welche im Umkreis von 50m kein weiteres Haus hatten, von Anfang an aus dem Datensatz entfernt. Die Wahl eines grösseren Filters könnte die Resultate leicht verändern. Andererseits sind diese Einzelgebäude vermutlich nicht von grosser Bedeutung, denn falls in der Nähe dieser Gebäude gebaut würde, kämen sie bei den Resultaten der Karten zum Vorschein und würden in der Berechnung berücksichtigt.

Aufgrund der Eigenschaften der Analysegemeinden wurde der Anteil an besiedelbarer Fläche, wie von Schwick (2010) vorgeschlagen, miteinbezogen. Der Zersiedlungswert wurde am Schluss durch den Anteil an besiedelbarer Fläche geteilt. Dies gewährleistet einen besseren Vergleich der Gemeinden. Bei einer Analyse der Resultate ohne Berücksichtigung der besiedelbaren Fläche würde die Verhältnismässigkeit bestehen bleiben, das Resultat der Karte für die UBE jedoch viel weniger differenziert.

Die Gemeinden wurden einzeln analysiert. Dabei wurden die Randgebiete im Gegensatz zur ursprünglichen Messmethode von Jaeger, Bertiller, Schwick, Cavens, et al. (2010) nicht miteinbezogen. Grund dafür ist die unterschiedliche Ausgangsposition der Gemeinden. Die Streuung und Höhe der Zersiedelungswerte sind von Gemeinde zu Gemeinde unterschiedlich und würden bei Miteinbezug die Ergebnisse verfälschen. Diese Ungenauigkeit ist eine Herausforderung für die Weiterentwicklung der regionalen Messmethode.

Zusammenfassend besteht bei der regionalen Messmethode Verbesserungsbedarf oder Forschungsbedarf im Bereich der Anpassung der Dispersionsgewichtung an den Beobachtungshorizont, im Bereich der räumlichen Darstellung der Siedlungsfläche und dem Miteinbezug der Randgebiete.

4.3 Messmethode und die UBE

Die angepasste regionale Messmethode ist für die Analyse der UBE besonders geeignet, weil die Entwicklung der Streusiedlungen analysiert werden konnte. Mit der nationalen Methode von Schwick (2010) war die Analyse auf Grund der nur wenig digitalisierten Einzelgebäude nicht möglich.

Die Stärke der angepassten Messmethode liegt in der Analyse ländlicher Gebiete. Für die Analyse von urbanen Gebiete oder grösseren Flächen ist sie jedoch wegen eines grossen Aufwands zur Digitalisierung der Häuser nicht geeignet.

Es wäre von Vorteil die flächenmässige Zunahme der zersiedelten Fläche mit *Zonal Statistics* zu berechnen. Die Schwierigkeit besteht jedoch darin, die für alle Analysen passende Dimension auszuwählen. Aufgrund der verschiedenen Ausgangspositionen der Gemeinden weisen die Zersiedelungswerte unterschiedliche Grössenordnungen auf. Es müssten wenige Kategorien bestimmt werden, um die Entwicklung anschliessend grafisch darstellen zu können.

Der Einbezug der besiedelbaren Fläche hat den Vorteil, dass die Zersiedelungswerte der verschiedenen Gemeinden besser vergleichbar sind. Besonders für die Gemeinden der UBE, welche einen verhältnismässig grossen Anteil an nicht besiedelbaren Flächen, Alpwirtschaftsflächen oder Wald haben, ist die Berücksichtigung in der Berechnung zur anschliessenden Darstellung relevant.

Die Genauigkeit der Resultate ergibt sich aus den verwendeten Daten (siehe S. 8). Die Daten sind aufgrund der Arealstatistik auf die Hektare genau. Für die gewählten Zeitschritte waren

die Daten im Bereich von +/- 5 Jahre vorhanden. Dadurch ist auch eine gewisse Ungenauigkeit möglich.

Eine Zunahme des Zersiedlungswertes um maximal 6% pro Gemeinde ist im Vergleich zur Entwicklung von Agglomerationen vermutlich nicht viel. Es fehlen jedoch Vergleichswerte. Andererseits zeigen die Karten der Entwicklung der Zersiedelung eine deutliche Zunahme der zersiedelten Fläche. Somit sind für eine Analyse die Berücksichtigung der Zersiedlungswerte sowie die des Ausmasses der zersiedelten Fläche von Bedeutung.

Für die Planung der zukünftigen Siedlungsstruktur sollten die Gemeinden die Erkenntnisse dieser Arbeit miteinbeziehen. Die Gemeinde Schüpfheim hat sich schon über die Thematik der Zersiedelung Gedanken gemacht und dementsprechend ein Siedlungsleitbild erstellt und darin die Probleme und Potenziale dargestellt (Gemeinde Schüpfheim, 2011). Die Gemeinde Entlebuch hat ebenso ein Siedlungsleitbild entwickelt und dieses ist nun zur Meinungsäusserung ausgelegt (Gemeinde Entlebuch, 2016).

5 Schlussfolgerung

Die Entwicklung der Zersiedelung ist nicht nur durch einen durchschnittlichen Zersiedlungswert darzustellen, sondern bedingt zusätzlich die Darstellung des räumlichen Ausmasses. Deutlich wird diese Erkenntnis bei der Analyse der UBE. Die Zersiedlungswerte zeigen eine Zunahme von maximal 5.75%. Die Karten der Entwicklung der Zersiedelung zeigen eine deutliche Zunahme von zersiedelten Flächen. Besonders in einer ländlichen Region wie die UBE mit schützenswerten Lebensräumen und Landschaften ist die Ausmass der zersiedelten Fläche von Bedeutung. Somit sollten diese Resultate in der Planung der Siedlungen miteinbezogen werden.

Das Ziel, die Entwicklung der Zersiedelung unter Berücksichtigung der Anpassung der Messmethode zu berechnen und visuell darzustellen, ist erreicht worden. Mit der Anpassung der Messmethode ist es nun möglich, ländliche Gemeinden mit Streusiedlungscharakter zu analysieren.

5.1 Ausblick

Forschungsbedarf besteht im Bereich der Anpassung der Gewichtung der Dispersion auf den Beobachtungshorizont. Weiter wäre es interessant zu wissen, aufgrund welcher Indikatoren sich Gemeinden unterschiedlich entwickeln und welche Voraussetzungen einer Gemeinde dabei eine Rolle spielen.

6 Referenzen

Arealstatistik Schweiz : Zahlen, Fakten, Analysen. (2005). Neuchâtel: BFS.

Ewald, K. C. (1978). *Der Landschaftswandel : zur Veränderung schweizerischer Kulturlandschaften im 20. Jahrhundert* (Vol. Nr. 191): Birmensdorf : Eidgenössische Anstalt für das Forstliche Versuchswesen.

Gemeinde Entlebuch (2016). Öffentliche Mitwirkung: Siedlungsleitbild der Gemeinde Entlebuch.

Gemeinde Schüpfheim (2011). Siedlungsleitbild.

Jaeger, J. A. G., Bertiller, R., Schwick, C., Cavens, D., & Kienast, F. (2010). Urban permeation of landscapes and sprawl per capita: New measures of urban sprawl. *Ecological Indicators*, 10(2), 427-441. doi: 10.1016/j.ecolind.2009.07.010

Jaeger, J. A. G., Bertiller, R., Schwick, C., & Kienast, F. (2010). Suitability criteria for measures of urban sprawl. *Ecological Indicators*, 10(2), 397-406. doi: 10.1016/j.ecolind.2009.07.007

Knaus F. (2011). Monitoring der Natur und Landschaft in der UNESCO Biosphäre Entlebuch. Interner Bericht, Regionalmanagement UBE, Schüpfheim. Unveröffentlicht.

Revision des Raumplanungsgesetzes (RPG) - 1. Etappe. (2016). Retrieved 05.03.2016, from Bundesamt für Raumentwicklung ARE
<http://www.are.admin.ch/themen/recht/04651/index.html?lang=de>

Schwick, C. (2010). *Zersiedelung der Schweiz - unaufhaltsam? : quantitative Analyse 1935 bis 2002 und Folgerungen für die Raumplanung* (Vol. Band 26): Bern : Haupt.

Schwick, C. (2011). *Zersiedelung messen und vermeiden* (Vol. 47): Birmensdorf : Eidg. Forschungsanstalt WSL.

Svizzera. (2006). *Raumplanungsgesetz : Bundesgesetz vom 22. Juni 1979 über die Raumplanung (RPG)*. Bern: Stämpfli Verlag.

Anhänge

Tabellenverzeichnis Anhang

Tabelle 1: Zeitabschnitte mit Kartentypen.....	38
Tabelle 2: Herkunft der verwendeten Daten	39
Tabelle 3: Verwendete Daten für die Messmethode	40

Abbildungsverzeichnis Anhang

Abbildung 1: Zersiedlungswerte in der UBE 1995.....	35
Abbildung 2: Zersiedlungswerte in der UBE 1994.....	36
Abbildung 3: Zersiedlungswerte in der UBE 2012.....	37

A 1 Zusätzliche Karten

Zersiedlungswerte in der UBE 1975

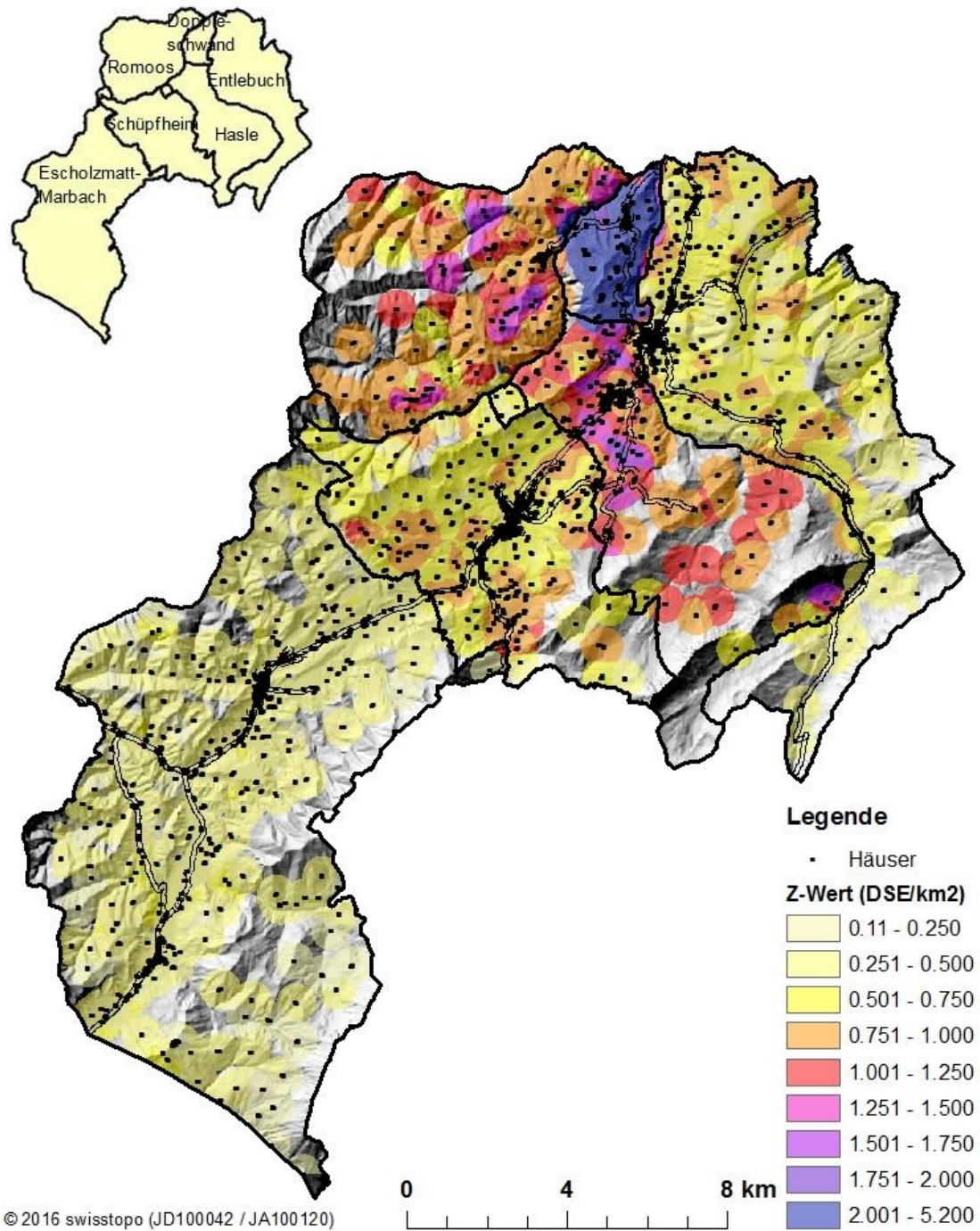


Abbildung 1: Zersiedlungswerte in der UBE 1995

Zersiedlungswerte in der UBE 1994

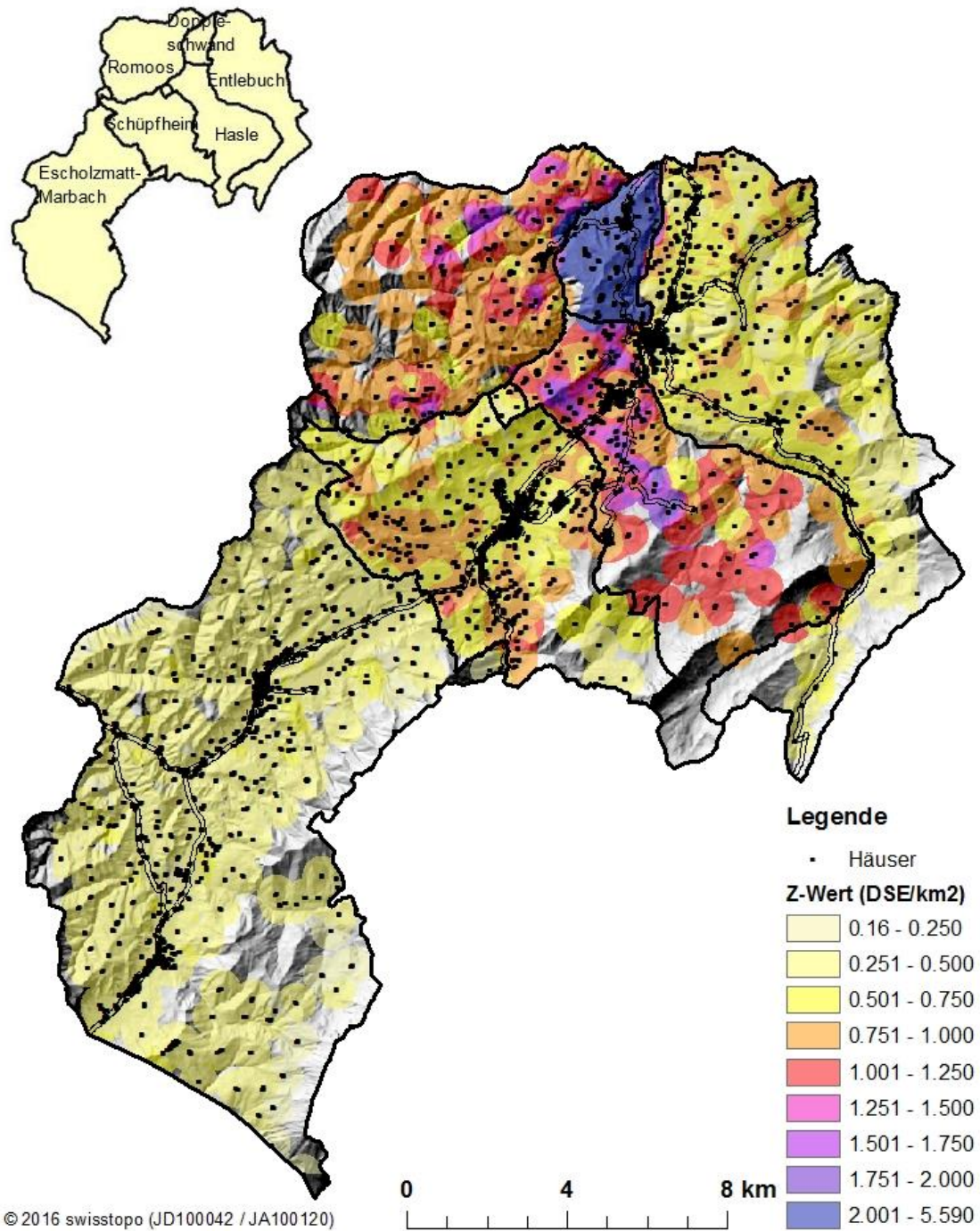


Abbildung 2: Zersiedlungswerte in der UBE 1994

Zersiedlungswerte in der UBE 2012

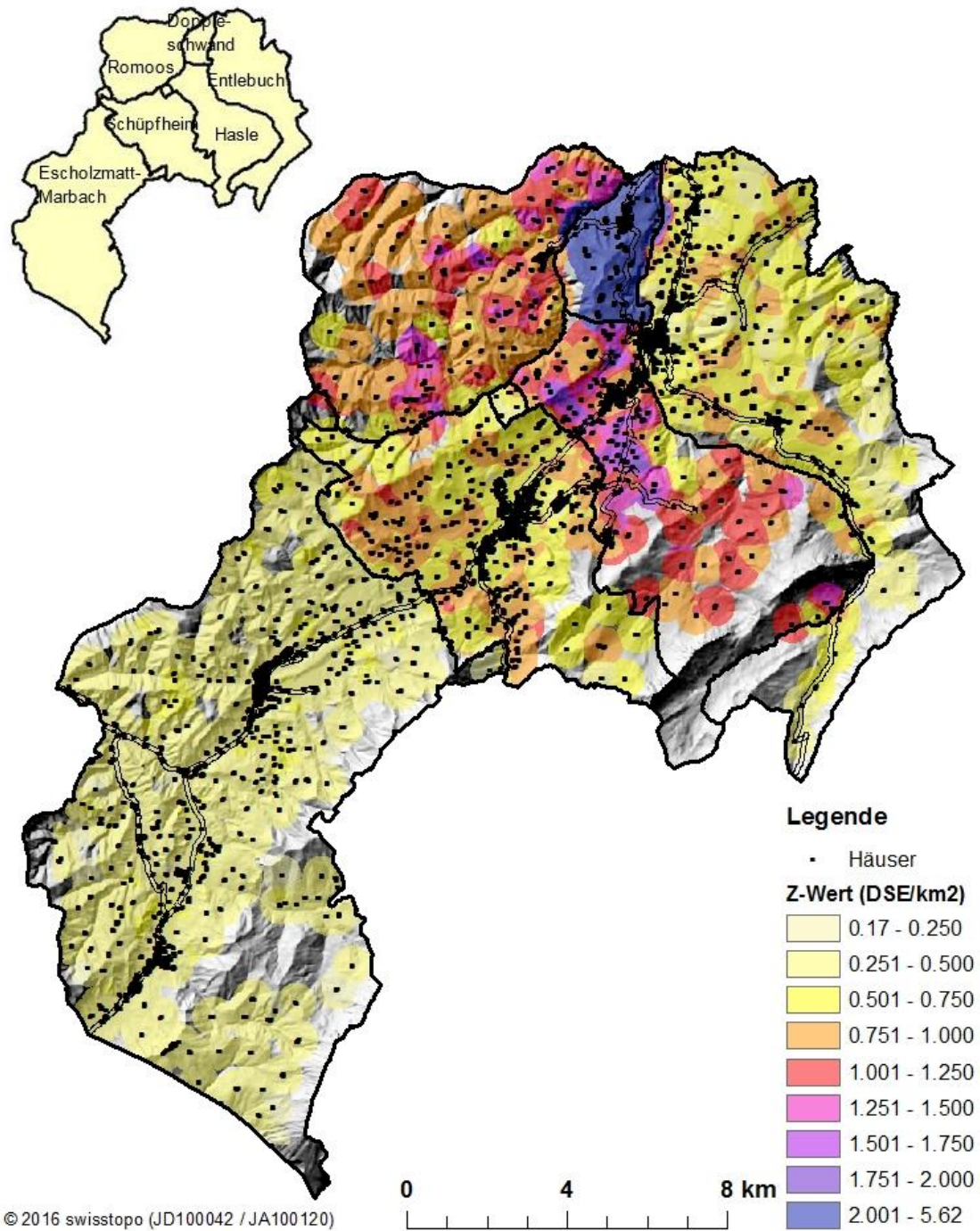


Abbildung 3: Zersiedlungswerte in der UBE 2012

A 2 Zusätzliche Tabellen

Tabelle 1: Zeitabschnitte mit Kartentypen

Jahr	Kartentyp
1975	Alte Pixelkarte
1993/94	Alte Pixelkarte
2012	Aktuelle Pixelkarte

Tabelle 2: Herkunft der verwendeten Daten

Jahr	Gebäude	Einwohner	Arbeitsplätze	Siedlungsfläche	Gemeindefläche	Besiedelbare Fläche
2012	Neue Pixelkarte 2012	Bevölkerungszahlen 2012	Erwerbstätige 2012	Arealstatistik 2004/09	Gemeindegrenzen 2012	Arealstatistik 2004/09
1995	Alte Pixelkarte 1993/94	Bevölkerungszahlen 1995	Erwerbstätige 1995	Arealstatistik 1992/97	Gemeindegrenzen 2012	Arealstatistik 2004/09
1975	Alte Pixelkarte 1975	Volkszählung 1970&1980 Mw	Pendlerstatistik Mw 1970&1980	Arealstatistik 1979/85	Gemeindegrenzen 2012	Arealstatistik 2004/09

Mw = Mittelwert

Tabelle 3: Verwendete Daten für die Messmethode

Gemeinde	GEM_FLAECH (ha)	SF 1979/85 (ha)	SF 1992/97 (ha)	SF 2004/09 (ha)	AD 1975 (pro ha)	AD 1995 (pro ha)	AD 2012 (pro ha)	Anteil bes_F
Escholz matt- Marbach	10640	248	282	310	24.56	24.12	21.02	0.373
Entlebuch	5690	159	198	210	30.84	26.44	23.50	0.428
Hasle (LU)	4031	103	124	131	21.56	20.60	19.57	0.305
Schüpfheim	3838	142	181	203	35.66	31.61	31.77	0.576
Romoos	3739	57	72	78	20.02	16.53	12.79	0.356
Doppleschwand	695	31	36	40	20.76	23.97	23.95	0.639

A 3 Datennutzungsvereinbarung



Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Ecole polytechnique fédérale de Zurich
Politecnico federale di Zurigo

Vereinbarung

zwischen der

ETH Zürich vertreten durch die Professuren Forstliches Ingenieurwesen und Waldökologie (nachstehend genannt Lizenznehmer)

und

Name:	Zihlmann
Vorname:	Lilian
Adresse:	Bäumliackerweg 8
PLZ / Ort:	5213 Villnachern

(nachstehend genannt Empfänger)

1. Die Professuren stellen dem Empfänger die unten aufgeführten digitalen Daten zur Nutzung im Rahmen der folgenden Arbeit zur Verfügung.

Arbeit:	Entwicklung der Zersiedelung in den letzten 40 Jahren in der UNESCO Biosphäre Entlebuch
Dauer:	05.03.2016
Betreuer:	Sarah Salvini, Florian Knaus
Extent:	Entlebuch
Daten:	- Siegfriedkarten © swisstopo (200, 201, 371, 372,373, 374,375, 384,385, 386, 387 von 1941) - SwissBoundaries © swisstopo - TLM3 © swisstopo - DHM25 © swisstopo - Karte_UBE © swisstopo - Pixelkarten © swisstopo (1149 von 1954, 75, 94, 2012) (1168 von 1955, 75, 93, 2012) (1169 von 1957, 75, 93, 2012) (1188 von 1957, 75, 93, 2012) (1189 von 1957, 75, 93, 2012) (1170 von 1954, 93,) - Exceldaten von bfs.admin.ch : - Pendlerstatistik: 1950,1960,1970,1980 - Erwerbstätige: 1995, 2012 - Volkszählung: 1940,1950,1960,1970,1980 - Arealstatistik: 1979/85, 1992/97, 2004/09 - Exceldaten von Lustat.ch : - ausgewählte Bevölkerungskennzahlen: 1995,2012

2. Die Daten dürfen nur im Rahmen der oben genannten Arbeit und während der festgelegten Zeitspanne genutzt werden.
3. Der Empfänger verpflichtet sich, sämtliche lokal auf Festplatten gehaltene Daten nach Arbeitsende zu löschen.

4. Die Weitergabe der digitalen Daten an Dritte (Studierende, Ingenieur- oder Softwarebüros, Verwaltungsstellen des Bundes, der Kantone und Gemeinden, andere Hochschulinstitute, Private etc.) ist untersagt. Der Empfänger trägt dafür die volle Verantwortung.
5. Jede offizielle Veröffentlichung der originalen oder daraus abgeleitete Daten, ob in Tabellenform oder als Grafik, ist nur mit vorgängiger Bewilligung der jeweiligen Datenherren zulässig. Dafür sind die Originalverträge der ETH Zürich mit den Dateneigentümern massgebend.
6. Verletzungen der zugrundeliegenden Verträge können disziplinarische und strafrechtliche Folgen haben.

Mit meiner Unterschrift bestätige ich, dass ich diese Vereinbarung gelesen und verstanden habe.

Datum:

Unterschrift:

05.03.2016

Z. H. Mann

A 4 Eigenständigkeitserklärung



Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Eigenständigkeitserklärung

Die unterzeichnete Eigenständigkeitserklärung ist Bestandteil jeder während des Studiums verfassten Semester-, Bachelor- und Master-Arbeit oder anderen Abschlussarbeit (auch der jeweils elektronischen Version).

Die Dozentinnen und Dozenten können auch für andere bei ihnen verfasste schriftliche Arbeiten eine Eigenständigkeitserklärung verlangen.

Ich bestätige, die vorliegende Arbeit selbständig und in eigenen Worten verfasst zu haben. Davon ausgenommen sind sprachliche und inhaltliche Korrekturvorschläge durch die Betreuer und Betreuerinnen der Arbeit.

Titel der Arbeit (in Druckschrift):

Entwicklung der Zersiedelung in den letzten 40 Jahren in der UNESCO Biosphäre Entlebuch

Verfasst von (in Druckschrift):

Bei Gruppenarbeiten sind die Namen aller Verfasserinnen und Verfasser erforderlich.

Name(n):

Zihlmann

Vorname(n):

Lilian Magdalena Sophie

Ich bestätige mit meiner Unterschrift:

- Ich habe keine im Merkblatt „Zitier-Knigge“ beschriebene Form des Plagiats begangen.
- Ich habe alle Methoden, Daten und Arbeitsabläufe wahrheitsgetreu dokumentiert.
- Ich habe keine Daten manipuliert.
- Ich habe alle Personen erwähnt, welche die Arbeit wesentlich unterstützt haben.

Ich nehme zur Kenntnis, dass die Arbeit mit elektronischen Hilfsmitteln auf Plagiate überprüft werden kann.

Ort, Datum

Villnachern, 05.03.2016

Unterschrift(en)

Zihlmann

Bei Gruppenarbeiten sind die Namen aller Verfasserinnen und Verfasser erforderlich. Durch die Unterschriften bürgen sie gemeinsam für den gesamten Inhalt dieser schriftlichen Arbeit.