

Landschaftszerschneidung Schweiz

Zerschneidungsanalyse 1885 – 2002 und Folgerungen für die Verkehrs- und Raumplanung

René Bertiller

Forstingenieur ETH, Wald – Natur – Landschaft,
Merkurstrasse 45, CH-8032 Zürich,
E-Mail rene@bertiller.ch, Tel. (+41) 43 / 268 83 35

Christian Schwick

Die Geographen Schwick & Spichtig,
Hildastrasse 11, CH-8004 Zürich,
E-Mail schwick@hispeed.ch, Tel. (+41) 79 / 638 64 09

Dr. Jochen Jaeger

ETH Zürich, Departement für Umweltwissenschaften D-UWIS, Institut für
Terrestrische Ökosysteme ITES, Gruppe für Ökosystemmanagement,
CHN F 73.2, Universitätstrasse 22, CH-8092 Zürich,*
E-Mail: jochen.jaeger@env.ethz.ch, Tel. (+41) 44 / 623 08 26

Zitierweise:

Bertiller, R., Schwick, C., Jaeger, J. (2007): Landschaftszerschneidung Schweiz.
Zerschneidungsanalyse 1885 – 2002 und Folgerungen für die Verkehrs- und
Raumplanung. ASTRA-Bericht, Bern.

* Neue Adresse ab August 2007: Concordia University, Department of Geography, Planning and Environment, 1455 de Maisonneuve Blvd. W., Suite H1255, Montréal, QC, Canada H3G 1M8, Tel. (+1) 514 / 848 24 24 extension 2050.

Inhalt

Vorwort	5
Zusammenfassung	6
Résumé	7
Riassunto	8
Summary	9
Dank	10
1. Einleitung	11
1.1 Ziele und Fragestellungen des Projekts	12
1.1.1 Ursprung und politische Zielerklärungen	12
1.1.2 Ziele	13
1.1.3 Grenzen der Untersuchung	15
1.1.4 Fragestellungen	15
1.2 Umfeld der vorliegenden Studie	16
1.2.1 Europäische Ebene	16
1.2.2 Korridore für Wildtiere in der Schweiz	17
1.2.3 Nationales ökologisches Netzwerk <i>REN</i>	17
1.2.4 Monitoring der nachhaltigen Entwicklung <i>MONET</i>	18
1.2.5 Netzwerk Umweltdaten <i>NUD</i>	18
1.2.6 Biodiversitätsmonitoring <i>BDM</i>	18
1.3 Zum Begriff „Landschaftszerschneidung“	18
1.3.1 Definition	18
1.3.2 Problemlage	20
1.3.3 Zusammenhang zwischen Siedlungsfläche und Verkehr	21
1.4 Bisherige Studien zur Landschaftszerschneidung	22
1.5 Folgen der Landschaftszerschneidung auf Natur und Landschaft	24
2. Methoden	29
2.1 Datengrundlagen und Datenbeschaffung	29
2.1.1 Zerschneidungsgeometrien	29
2.1.2 Aktueller Zustand	30
2.1.3 Historische Daten	34
2.2 Datenauswertungen	37
2.2.1 Berechnung der effektiven Maschenweite m_{eff}	37
2.2.2 Effektive Maschendichte s_{eff}	39
2.2.3 Anzahl und Flächenanteil unzerschnittener verkehrsarmer Räume n_{UVR}	40
2.2.4 Mittelpunkt-, Ausschnide- und Grenzverbindungsverfahren	42
2.2.5 GIS-Tool zur Berechnung	42
2.3 Erweiterung der bestehenden Methode: Behandlung des Gebirges	43
2.3.1 Verschiedene methodische Möglichkeiten	43
2.3.2 Wahl einer Methode	44
2.4 Auswerteeinheiten	44
2.5 Trendfortschreibung	45
3. Ergebnisse der Zerschneidungsanalyse	46
3.1 Aktueller Zustand	46
3.1.1 Schweiz insgesamt	46
3.1.2 Naturräume	47
3.1.3 Biogeographische Regionen	50
3.1.4 Kantone	50
3.1.5 Bezirke	51
3.1.6 BLN-Gebiete	52
3.2 Historische Entwicklung der Landschaftszerschneidung	54
3.2.1 Schweiz insgesamt	54

3.2.2	Naturräume	56
3.2.3	Biogeographische Regionen.....	60
3.2.4	Kantone.....	66
3.2.5	Bezirke	73
3.2.6	BLN-Gebiete	75
3.3	Trendextrapolation für die Jahre 2020 und 2050	77
3.3.1	Schweiz insgesamt.....	78
3.3.2	Naturräume.....	80
3.3.3	Kantone.....	84
4.	Diskussion	87
4.1	Methodenkritik	87
4.1.1	Strassenklassen	87
4.1.2	Verkehrsstärken	88
4.1.3	Umklassierungen.....	89
4.1.4	Stichstrassen	89
4.1.5	Berücksichtigung von Rückbauten.....	90
4.1.6	Einfluss von weiteren Faktoren auf die Landschaftszerschneidung.....	91
4.2	Verwendung von effektiver Maschenweite oder effektiver Maschendichte?	92
4.3	Bezüge zu anderen Untersuchungen und Umweltbeobachtungssystemen	94
4.3.1	Vergleich mit anderen Arbeiten zur Landschaftszerschneidung	94
4.3.2	Vergleich mit anderen Ländern in Europa	97
4.3.3	Verwendung der effektiven Maschenweite im MONET und BDM	97
4.3.4	Verwendung der effektiven Maschenweite im NISTRA.....	101
4.3.5	Wildtierkorridore	101
4.3.6	Nationales ökologisches Netzwerk (REN)	103
4.3.7	Landschaft 2020.....	104
4.3.8	Landschaftsmonitoring	104
5.	Zur Frage von Ziel-, Grenz- und Richtwerten für die Landschaftszerschneidung	106
5.1	Einführung	106
5.2	Bisherige Vorschläge	110
5.3	Pro- und Kontra-Argumente	111
5.3.1	Pro-Argumente	111
5.3.2	Kontra-Argumente.....	112
5.4	Vorschläge für die Schweiz	113
5.4.1	Grundsätzliches Vorgehen.....	113
5.4.2	Beispiel: Richtwerte für BLN-Gebiete.....	114
6.	Massnahmen.....	116
6.1	Einleitung	116
6.2	Massnahmen mit direktem Bezug zur effektiven Maschenweite bzw. Maschendichte	117
6.2.1	Tunnels und Querungshilfen.....	117
6.2.2	Rückbau von nicht mehr dringlich benötigten Verkehrswegen.....	118
6.2.3	Bündelung von Verkehrswegen.....	119
6.2.4	Ortsnahe Linienführung von Umfahrungsstrassen.....	120
6.2.5	Ausbau vor Neubau.....	121
6.2.6	Oasenkonzept	121
6.2.7	Änderung des Ausbaustandards von Strassen bei abnehmendem Verkehr, Flurwege.....	122
6.2.8	Sanierung der beeinträchtigten Wildtierkorridore von überregionaler Bedeutung und Stärkung des REN.....	123
6.3	Raumordnungs- und Verkehrspolitik	123
6.3.1	Nationale Strategie zur „Defragmentierung“	123
6.3.2	Kantonale Konzepte, Sach- und Richtpläne	123
6.3.3	Siedlungsbegrenzung und überörtliche Standortplanung	124
6.3.4	Landmanagement	124
6.3.5	Ökologische und landschaftliche Aufwertungen.....	124
6.3.6	Raumbewachung (Monitoring)	124
6.3.7	Langfristige Siedlungs- und Infrastrukturplanung	125

7. Anwendung der Ergebnisse und Ausblick.....	126
7.1 Verwendung der Resultate	126
7.2 Nutzen der $m_{\text{eff}}/s_{\text{eff}}$ -Methode als Analyseinstrument	127
7.3 Weiterer Forschungsbedarf.....	129
8. Literatur	133
9. Anhang.....	143
9.1 Zerschneidungskarten Schweiz 1885.....	143
9.2 Zerschneidungskarten Schweiz 1935.....	144
9.3 Zerschneidungskarten Schweiz 1960.....	146
9.4 Zerschneidungskarten Schweiz 1980.....	147
9.5 Zerschneidungskarten Schweiz 2002.....	149
9.6 Kantone.....	151
9.7 Effektive Maschenweiten der Schweiz und Kantone von 1885 bis 2002.....	204
9.8 Effektive Maschenweiten der Naturräume und der biogeographischen Regionen von 1885 bis 2002	205
9.9 Effektive Maschenweiten der Bezirke von 1885 bis 2002.....	208
9.10 Effektive Maschenweiten der BLN-Gebiete von 1885 bis 2002	214
9.11 Effektive Maschenweiten der Moorlandschaften von 1885 bis 2002	220
9.12 UZR in der Schweiz und in den Naturräumen von 1885 bis 2002	225
9.13 Siedlungsflächen und Verkehrsweglängen von 1885 bis 2002	228

Vorwort

Verkehrswege sind wichtige Träger der wirtschaftlichen Entwicklung. Die Siedlungsentwicklung und die Ausgestaltung des Verkehrsnetzes stehen in enger Wechselwirkung. Verkehrswege zerschneiden die Landschaft. Für Mensch und Tier können sie – besonders die eingezäunten Nationalstrassen und Hochgeschwindigkeitsstrecken der Eisenbahnen – zu kaum überwindbaren Hindernissen werden. Mit Unter- und Überführungen wird diesem Umstand jedoch mit zunehmendem Masse Rechnung getragen. Für Kleintiere und Insekten wirken bereits wenig befahrene Lokalstrassen als Barriere. Relevant ist zudem, wie gross die einzelnen Freiflächen (Flächen ohne Bauten und Anlagen) sind und ob bzw. wie gut sie mit benachbarten Flächen verbunden sind. Dies ist von Bedeutung, weil jede Tierart auf Minimumareale angewiesen ist, die für ein dauerhaftes Überleben notwendig sind. Landschaftszerschneidung gilt als eine wesentliche Ursache des Rückgangs von Tierpopulationen, der Gefährdung und des Verlustes von Arten und der Verkleinerung der Erholungsräume in Mitteleuropa. Auch die Eigenart und der Charakter von Landschaften und ihre Erholungsqualität sind von der Zerschneidung betroffen. Diese Effekte quantitativ zu erfassen ist das Ziel der vorliegenden Arbeit.

Das "Monitoring der nachhaltigen Entwicklung der Schweiz" (MONET) misst mittels Indikatoren die nachhaltige Entwicklung von sozialen, wirtschaftlichen und ökologischen Aspekten in der Schweiz. Um der Entwicklung der Landschaftsqualitäten gerecht zu werden, reichen jedoch die bestehenden Indikatoren nicht aus. Der im Rahmen der vorliegenden Studie erhobene Zerschneidungsgrad (effektive Maschenweite und effektive Maschendichte) unserer Schweizer Landschaften ergänzt das bestehende Indikatorenset ideal.

Der Zerschneidungsgrad wird auf der Basis eines mathematischen Modells ermittelt, kann Aussagen zur Gesamtschweiz aber auch zu Teilräumen machen und er ist international vergleichbar. Da die Ausgangslage dafür die Landeskarten der Schweiz sind, konnte er auch rückwärts bis in die Jahrhundertwende des vorletzten Jahrhunderts erfasst werden. Erstmals in Europa wird somit der Zerschneidungsgrad in seiner Entwicklung in den letzten 120 Jahren für ein Land komplett dargestellt. Die Resultate geben einen guten Eindruck über die ausgesprochen starke Siedlungsentwicklung der Schweiz in den letzten 50 Jahren. Betrachtet man die Autobahnen und die 1.- und 2.-Klass-Strassen, Schienen und Siedlungen als Trennelemente und bezieht die natürlichen Barriereeffekte ein, so beträgt die effektive Maschenweite für die Schweiz insgesamt 213.1 km². Mit den 3.-Klass-Strassen reduziert sie sich auf 133.3 km². Im Mittelland z.B. beträgt die effektive Maschenweite der verkehrs- und siedlungsfreien Flächen unter diesen Bedingungen noch gerade 9.9 km². Im Lauf der letzten 120 Jahre hat die effektive Maschenweite in der Schweiz um 56% bis 70% abgenommen (je nach betrachteter Zerschneidungsgeometrie).

In der Begleitgruppe zum Projekt waren vier Bundesämter und fünf weitere Institutionen vertreten. Die Zusammenarbeit zwischen dem Bundesamt für Strassen (ASTRA) und dem Bundesamt für Umwelt (BAFU) hat sich beim Thema der Wildtierkorridore und Wildtierpassagen bewährt. Dies gibt Hoffnung, auch die weiteren Auswirkungen der Zerschneidung von Landschaften künftig verstärkt zu thematisieren, z.B. den Zusammenhang zwischen der Siedlungsentwicklung und der Landschaftszerschneidung, und die bestehenden Probleme zu lösen. Die Studie richtet sich deshalb an alle Akteure in Politik, Verwaltung und Planungsbüros, die in der Raum- und Verkehrsplanung in der Schweiz tätig sind.

An dieser Stelle sei dem Forscherteam und allen weiteren Mitwirkenden, welche zum guten Gelingen der Studie beigetragen haben, herzlich gedankt.

Dr. Gilbert Thélin
Präsident der Begleitkommission

Zusammenfassung

„Landschaftszerschneidung Schweiz: Zerschneidungsanalyse 1885-2002 und Folgerungen für die Verkehrs- und Raumplanung“

Forschungsauftrag ASTRA 2004/012 auf Antrag des Bundesamtes für Strassen (ASTRA)

Die Zerschneidung von Landschaften durch Verkehrswege hat zahlreiche ökologische und ästhetische Auswirkungen. Sie beeinflusst die Landschaftsstruktur, das Landschaftsbild und die Erholungsqualität, den Wasserhaushalt und das Mikroklima. Ausserdem ist sie eine wichtige Ursache für den starken Rückgang und Verlust von Wildtierpopulationen und der Lebensraumvielfalt sowie für die Gefährdung der Artenvielfalt in Europa, z. B. durch die Zerstückelung von Populationen und Isolation von Habitatflächen. Eine starke Zerschneidung von Landschaften gefährdet daher die Nachhaltigkeit der Landnutzung.

Die Landschaftszerschneidung hat in der Schweiz in den letzten Jahrzehnten in fast allen Landesteilen stark zugenommen. Um die Entwicklung genauer abzuschätzen und zwischen verschiedenen Regionen vergleichen zu können, werden quantitative Daten zum Zerschneidungsgrad benötigt. Daher besteht in der Schweiz und in vielen anderen Ländern ein zunehmendes Interesse daran, Indikatoren für die Landschaftszerschneidung in Beobachtungssysteme für nachhaltige Entwicklung aufzunehmen, z. B. in das schweizerische Indikatorensystem zum Monitoring der Nachhaltigen Entwicklung (MONET).

Das hier vorgestellte Projekt hat methodische Grundlagen und Daten zum Zerschneidungsgrad der Landschaften in der Schweiz erarbeitet. Das Projekt ermittelte Zeitreihen von 1885 bis 2002 auf sieben Betrachtungsebenen: für die Schweiz insgesamt, für die fünf grossen Naturräume, die 33 biogeographischen Regionen, die 26 Kantone, die 181 Bezirke sowie für die Moorlandschaften und die BLN-Gebiete, d. h. die besonders erhaltenswerten Landschaften und Naturdenkmäler von nationaler Bedeutung (zum Vergleich mit den Werten der Landschaft ausserhalb der BLN-Gebiete). Zudem identifizierte das Projekt die bisherigen Entwicklungstrends und extrapolierte sie in die Zukunft. Zur Quantifizierung des Zerschneidungsgrades wurden die effektive Maschenweite (m_{eff}) und die effektive Maschendichte ($s_{\text{eff}} = 1/m_{\text{eff}}$) eingesetzt.

Vier unterschiedliche Zerschneidungsgeometrien wurden verwendet. Jede von ihnen verbindet verschiedene vom Menschen errichtete und zum Teil auch natürliche Trennelemente und ist daher für bestimmte Fragestellungen jeweils am besten geeignet. Für das MONET sind die Werte aus Zerschneidungsgeometrie 4 am sinnvollsten, in der sich die Untersuchungsregionen auf die Landflächen unterhalb von 2100 m beschränken (und die Gewässer und die Gebirgsflächen > 2100 m ausklammern). In dieser Zerschneidungsgeometrie hat die effektive Maschenweite in der Schweiz seit 1885 um 70% abgenommen (von 580 km² auf 176 km²). Entsprechend hat die effektive Maschendichte in diesem Zeitraum um 230% zugenommen (von 17.2 Maschen pro 10'000 km² auf 56.7 Maschen pro 10'000 km²). Bei der Interpretation dieser Zahlen ist zu beachten, dass die Zerschneidung im Mittelland und im Jura weitaus stärker ist als in den Alpenregionen.

Die Zeitreihen zum Zerschneidungsgrad eignen sich als ein Indikator für die Gefährdung der Arten- und Lebensraumvielfalt (Biodiversität), als Indikator für die Beeinträchtigung der Nachhaltigkeit und als Grundlage, um quantitative Ziele für die Planung und Politik zu setzen und geeignete Massnahmen zu entwickeln. Ähnliche Untersuchungen zum Zerschneidungsgrad mit derselben Methode wurden in Baden-Württemberg, Hessen, Bayern und Südtirol durchgeführt. Dies erlaubt einen Vergleich der Ergebnisse aus der Schweiz mit den Werten der anderen Regionen. Auf der Grundlage der Resultate zieht das Projekt Schlussfolgerungen für die Verkehrs- und Raumplanung.

Parallel zum ausführlichen Bericht erscheint eine Kurzfassung, die wichtige Resultate und Schlussfolgerungen des Projektes zusammenfasst (herausgegeben vom Bundesamt für Statistik).

Résumé

«Morcellement du paysage en Suisse: Analyse du morcellement 1885-2002 et implications pour la planification du trafic et l'aménagement du territoire»

Projet de recherche ASTRA 2004/012 sur demande de l'Office fédéral des routes (OFROU)

Le morcellement du paysage par les infrastructures routières a de nombreuses répercussions tant sur le plan écologique que sur le plan esthétique. Il influence la structure, l'aspect et la qualité de récréation d'un paysage, ainsi que son équilibre hydrologique et son microclimat. De plus, le morcellement du paysage est une des principales causes de la diminution et de la disparition de certaines populations d'animaux sauvages et de la perte de la diversité des habitats. En entraînant le morcellement des populations et l'isolement des taches d'habitat, il met en danger la diversité des espèces en Europe. Un morcellement prononcé du paysage compromet donc le développement durable de l'utilisation du territoire.

Ces dernières décennies, le morcellement du paysage s'est fortement intensifié dans toutes les régions de la Suisse. Afin d'évaluer plus précisément son évolution et afin de comparer le degré de morcellement entre les différentes régions, des données quantitatives sont nécessaires. C'est pourquoi, tant en Suisse qu'à l'étranger, des indicateurs de morcellement du paysage sont de plus en plus introduits dans les systèmes de monitoring du développement durable, p. ex. en Suisse dans le système d'indicateurs MONET.

Le projet présenté dans ce document a établi des fondements méthodiques et a rassemblé des données numériques concernant le degré de morcellement des paysages en Suisse. Par conséquent, il a établi des séries chronologiques de 1885 à 2002 en considérant sept plans différents: la Suisse dans son ensemble, les cinq grandes écorégions, les 33 régions biogéographiques, les 26 cantons, les 181 districts, les sites marécageux ainsi que les régions de l'IFP (Inventaire fédéral des paysages, sites et monuments naturels d'importance nationale) en comparaison avec les régions non-IFP. En plus, ce projet a su identifier les tendances évolutives et les a extrapolées dans le futur. Pour quantifier le degré de morcellement, les concepts du maillage effectif (m_{eff}) et de la densité de mailles effectives ($s_{\text{eff}} = 1/m_{\text{eff}}$) ont été utilisés.

Quatre géométries de morcellement ont été employées. Chacune prend en considération différents éléments «fragmenteurs», anthropogènes ou naturels. Ainsi, en combinant les résultats obtenus par chacune de ces géométries, il est possible de répondre à divers types de questions. Pour le système d'indicateurs MONET, les données les plus utiles sont celles issues de la géométrie N° 4 qui n'examine que les surfaces de terre ferme en-dessous de 2100 m (c'est-à-dire qui exclut les cours d'eau, les lacs ainsi que les régions montagneuses au-dessus de 2100 m). Dans cette géométrie de morcellement, le maillage effectif en Suisse s'est diminué de 70% depuis 1885 à nos jours (de 580 km² à 176 km²). Dans cette période de temps, la densité de mailles effectives s'est donc accrue de 230% (de 17,2 mailles par 10'000 km² à 56,7 mailles par 10'000 km²). Dans l'interprétation de ces données il faut faire attention au fait que le morcellement en Plaine et dans le Jura est nettement plus grand que celui dans les régions alpines.

Les séries chronologiques du degré de morcellement se prêtent comme indicateur de la menace de la diversité des espèces et des habitats (biodiversité) et de l'atteinte au développement durable. De plus, elles servent de base non seulement à la fixation d'objectifs quantitatifs pour la planification et pour la politique mais aussi au développement de mesures adéquates. Des recherches similaires, qui ont utilisé les mêmes méthodes, ont été effectuées à Baden-Wurtemberg, en Hesse, en Bavière et dans le Haut-Adige. Il est donc possible de comparer les résultats obtenus en Suisse avec ceux obtenus dans d'autres régions. À partir de ces résultats, des conclusions concernant la planification des réseaux routiers et ferroviaires ainsi que de l'aménagement du territoire peuvent être tirées.

En plus du rapport détaillé, un résumé regroupant les résultats les plus importants ainsi que les conclusions sera publié (éditeur: Office fédéral de la statistique).

Riassunto

„Frammentazione del paesaggio in Svizzera: analisi della frammentazione del paesaggio nel periodo 1885-2002 e conseguenze per la pianificazione del traffico e del territorio“

Incarico di ricerca ASTRA 2004/012 su mandato dell' Ufficio Federale delle Strade (USTRA)

La frammentazione del paesaggio causata dalle infrastrutture del traffico ha effetti ecologici ed economici. Questo fenomeno influenza la struttura del paesaggio, lo scenario paesaggistico e la qualità della sua funzione ricreativa, le riserve idriche ed il microclima. Oltre a ciò la frammentazione del paesaggio è un'importante causa della forte diminuzione e rispettivamente della sparizione di popolazioni di animali selvatici, della molteplicità degli spazi di vita (habitat) così come della molteplicità delle speci in Europa (per esempio attraverso la frammentazione spaziale di popolazioni e l'isolamento degli habitat). Una forte frammentazione mette quindi in pericolo la sostenibilità dell'uso dei paesaggi.

Questo fenomeno è aumentato negli ultimi decenni in pressochè tutte le regioni Svizzere. Per stimarne in modo esatto lo sviluppo ed al fine di permettere un paragone tra le diverse regioni Svizzere, sono necessari dati quantitativi che esprimano il grado di frammentazione. Per questa ragione in Svizzera ed in altri paesi è presente un forte interesse nello sviluppo di indicatori della frammentazione del paesaggio da inserire in sistemi di monitoraggio dello sviluppo sostenibile (MONET).

In questo progetto sono state elaborate le basi metodologiche ed i dati riguardanti il grado di frammentazione dei paesaggi in Svizzera. Nell'ambito di questo progetto è stato esaminato il grado di frammentazione di paesaggi su sette scale analitiche differenti – cioè le cinque principali regioni naturali Svizzere, le 33 regioni biogeografiche, i 26 Cantoni, 181 distretti, le zone palustri ed i paesaggi dell' IFP (inventario federale dei paesaggi di importanza nazionale) – in sequenze temporali comprese tra il 1885 ed il 2002. Inoltre il progetto identifica i trends che hanno caratterizzato finora la frammentazione del paesaggio ed estrapola i trends futuri relativi a questo sviluppo. Per la quantificazione del grado di frammentazione è stata utilizzata la dimensione effettiva delle maglie (m_{eff}), così come la densità effettiva delle maglie ($s_{eff} = 1/m_{eff}$).

Sono state utilizzate quattro differenti geometrie di frammentazione. Ognuna di queste geometrie si presta a collegare sia elementi di separazione introdotti dagli esseri umani sia in parte elementi di separazione naturali e si mostra particolarmente adatta per l'elaborazione di specifiche domande di lavoro. Per il sistema di monitoraggio MONET i valori che risultano dalla geometria di frammentazione nr. 4 si dimostrano particolarmente adeguati poichè solamente aree (corsi d'acqua e bacini idrici esclusi) al di sotto del 2100 m di altitudine vengono selezionati per l'analisi (neppure le superfici montane, i corsi d'acqua ed i bacini idrici al di sopra die 2100 m vengono inclusi nell'analisi). Considerando questa geometria di frammentazione si osserva in Svizzera una diminuzione del 70% (da 580 km² a 176 km²) della dimensione effettiva delle maglie. Analogamente la densità effettiva delle maglie aumentata del 230% nello stesso periodo (da 17.2 maglie ogni 10'000 km² a 56.7 maglie ogni 10'000 km²). Da considerare è inoltre il fatto che la frammentazione del paesaggio nell' Altipiano e nel Giura è molto più elevata rispetto a quella dei paesaggi nella regione Alpina.

Le sequenze temporali del grado di frammentazione sono adatte quale indicatore del grado di pericolo in cui si trovano la molteplicità delle speci e degli spazi di vita (biodiversità), quale indicatore del grado di alterazione della sostenibilità e quale base per lo sviluppo di valori quantitativi da porre come obiettivo nella pianificazione e nella politica, nonchè per la formulazione di misure adeguate. Studi analoghi sul grado di frammentazione con l'utilizzo dello stesso metodo sono stati effettuati per il Baden-Württemberg, Hessen, Baviera e Alto Adige. Sulla base dei risultati ottenuti il progetto presentato in questo fascicolo permette di trarre conclusioni utili alla pianificazione del traffico e del territorio.

Oltre al rapporto dettagliato apparirà una versione accorciata che riassume i più importanti risultati e le più importanti conclusioni del progetto (edita dall' Ufficio Federale di Statistica).

Summary

„Degree of Landscape fragmentation in Switzerland: Quantitative analysis 1885-2002 and implications for traffic planning and regional planning“

Research project ASTRA 2004/012 on request by the Swiss Federal Roads Authority (FEDRO)

The fragmentation of landscapes due to transportation infrastructure has a number of ecological and aesthetic effects. It affects landscape structure, landscape scenery and recreational quality, water regime, and local climate. In addition, it is an important cause of the marked decline and loss of wildlife populations and habitat diversity and of the endangerment of biodiversity in Europe, e.g., by the fragmentation of populations and the isolation of habitats. Therefore, a high fragmentation of landscapes is a threat to the sustainability of human land use.

During the last decades, the fragmentation of landscapes in Switzerland has strongly increased in almost all parts of the country. To assess this development in more detail and to compare among various regions, quantitative data on the degree of landscape fragmentation are needed. Therefore, there is increasing interest in Switzerland and in many other countries to include indicators of landscape fragmentation in monitoring systems of sustainable development, e.g., in the Swiss indicator system for monitoring sustainable development (MONET).

The project presented here has produced a method and data on the degree of landscape fragmentation in Switzerland. The project generated time series from 1885 to 2002 on seven levels of observation: on the national level, for the five large ecoregions, for the 33 biogeographic regions, for the 26 cantons, for the 181 districts, for the bog landscapes, and for the BLN areas, i.e., the landscapes and natural monuments that are particularly deserving preservation and are listed in the Inventory of the Landscapes and Natural Monuments of National Importance (for comparison with the values of the landscapes outside the BLN areas). The project also identified trends and extrapolated them into the future. For the quantification of the degree of fragmentation, the effective mesh size (m_{eff}) and the effective mesh density ($s_{\text{eff}} = 1/m_{\text{eff}}$) were used.

Four different fragmentation geometries were generated. Each of them combines various anthropogenic fragmenting elements, and in some cases, also natural fragmenting elements. Thus, each fragmentation geometry is suited for addressing particular questions. For MONET, the values from fragmentation geometry 4 are the most suitable where the reporting units are limited to the land areas below 2100 m (and the water bodies and mountain areas > 2100 m are excluded from the reporting units). In this fragmentation geometry, the effective mesh size in Switzerland has decreased by 70% since 1885 (from 580 km² to 176 km²). Accordingly, the effective mesh density has increased by 230% over that time period (from 17.2 meshes per 10'000 km² to 56.7 meshes per 10'000 km²). When interpreting these values, it is important to keep in mind that the degree of fragmentation is much higher in the Central Lowlands and in the Jura region than in the Alpes.

The time series of the degree of landscape fragmentation are useful as an indicator of the endangerment of species and habitat diversity (biodiversity), as an indicator of the restriction on sustainability, and as a basis to establish quantitative goals in planning and politics and to propose appropriate measures. Similar studies on the degree of landscape fragmentation using the effective mesh size method have already been conducted in Baden-Württemberg, Hesse, Bavaria und South Tyrol which allows comparing the results from Switzerland with the results from these regions. Based on the results, the project draws conclusions for traffic planning and regional planning.

In parallel to the long report, a short version is issued which summarizes the most important results and conclusions of the project (edited by the Swiss Federal Statistical Office).

Dank

Den Mitgliedern der Begleitkommission, Hans-Ulrich Aeberhard (Bundesamt für Strassen), Reto Camenzind (Bundesamt für Raumentwicklung), Dr. Otto Holzgang (Vogelwarte, Sempach), Patricia Jungo (Bundesamt für Statistik), Dr. Felix Kienast (Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Birmensdorf), Andreas Lienhard (Fachstelle Naturschutz, Kanton Zürich), Ueli Roth (Sigma-plan, Bern), Dr. Gilbert Thélin (Bundesamt für Umwelt), Laurent Zecha (Bundesamt für Statistik) und Kurt Zollinger (Abteilung Staatsstrassen, Kanton Zürich) danken wir für ihre Unterstützung des Projektes in den sechs Sitzungen der Begleitkommission und für die zahlreichen Kommentare, Anregungen und Verbesserungsvorschläge. Besonders herzlich danken wir Dr. Gilbert Thélin, der die Sitzungen als Präsident der Begleitkommission mit viel Engagement geleitet hat.

Herrn Prof. Dr. Klaus Ewald von der ehemaligen Professur für Natur- und Landschaftsschutz der ETH Zürich danken wir herzlich für das gute Umfeld, um den Projektantrag auszuarbeiten und das Projekt durchzuführen, und für seine Unterstützung unserer Arbeit. Herrn Prof. Dr. Jaboury Ghazoul, Professur für Ökosystemmanagement, sei für die Fortführung der Projektbegleitung nach der Emeritierung von Professor Ewald gedankt.

Frau Kalin Müller (Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Birmensdorf) und Heide Esswein (Universität Stuttgart) danken wir für ihre Unterstützung in technischen Fragen. Kalin Müller sind wir insbesondere für ihre Programmierung des AML-Skriptes zur Berechnung des Zerschneidungsgrades nach dem Grenzverbindungsverfahren dankbar.

Bei Ruth Rupp, ehemals Sekretärin der Professur für Natur- und Landschaftsschutz, und Ankara Chen, Sekretariat der Professur für Ökosystemmanagement, bedanken wir uns für ihre Unterstützung im administrativen Bereich.

Für die Übersetzung der Zusammenfassung ins Italienische und Französische danken wir Maria-Pia Gennaio und Dr. Pierre Funck.

Unsere Arbeit ermöglicht haben das Bundesamt für Strassen und das Bundesamt für Umwelt durch die Finanzierung des Projektes.

René Bertiller, Christian Schwick und Jochen Jaeger

Zürich, im März 2007

1. Einleitung

Die Landschaften in der Schweiz verändern sich rasch: Die landwirtschaftlich genutzten Flächen nehmen ab, während die Wald- und Siedlungsflächen zunehmen. „Jeden Tag verschwinden in der Schweiz 11 Hektaren Kulturland – das sind knapp 1.3 Quadratmeter pro Sekunde. Rund zwei Drittel davon werden – vorab im Mittelland – neu als Siedlungsflächen genutzt.“ (BUNDESAMT FÜR STATISTIK 2001: 4). Ein Bildpaar aus dem Kanton Basel-Landschaft zeigt diese Entwicklung eindrücklich (Abbildung. 1).

Ein Drittel der so genannten Siedlungsfläche entfällt auf Verkehrsflächen. Der Bau von Nationalstrassen entspricht einem vom Volk erteilten Verfassungsauftrag (Art. 83 Abs. 1 BV). Insgesamt sind in der Schweiz in zwölf Jahren 78 Quadratkilometer neue Verkehrsflächen – davon 12 Quadratkilometer Autobahnareal – entstanden; dies entspricht der dreifachen Fläche des Murtensees (BUNDESAMT FÜR UMWELT, WALD UND LANDSCHAFT 2002). Typischerweise findet in Gebieten, die neu mit leistungsfähigen Strassen erschlossen wurden, eine beschleunigte bauliche Entwicklung von Wohn-, Industrie- und Gewerbearealen statt.

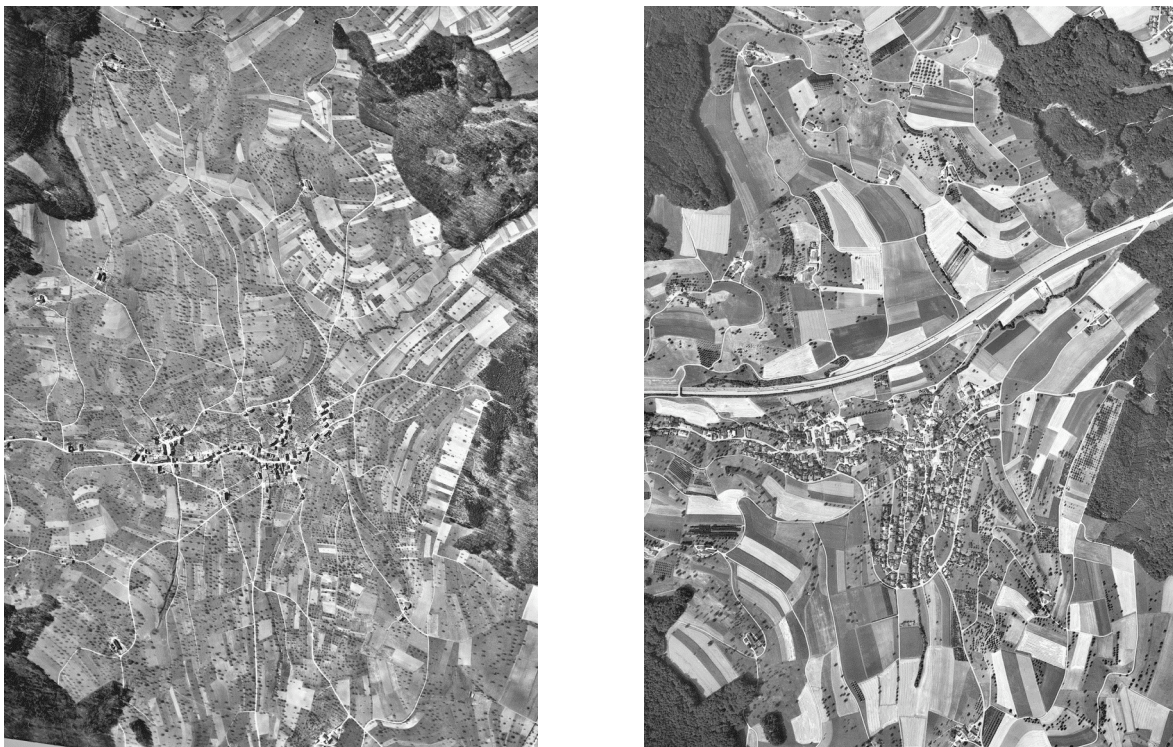


Abbildung 1: Luftbilder von Arisdorf (Kanton BL) aus den Jahren 1953 (links) und 1994 (rechts). Gut sichtbar sind die Zerschneidung durch den Autobahnbau und weitere grossflächige Landschaftsveränderungen wie Siedlungswachstum, Güterzusammenlegungen und Beseitigung von Bäumen in der Feldflur (Fotos aus TANNER 1999, © Aufnahmen des Bundesamtes für Landestopografie swisstopo).

Verkehrsstrecken, Wohnsiedlungen, Gewerbe- und Industrieflächen haben oft zur Folge, dass die Ökosysteme der betroffenen Landschaften beeinträchtigt werden und sie auch durch Renaturierungsmassnahmen nicht die ursprünglichen ökologischen Funktionen zurückgewinnen können. Die Länge und Anordnung der Verkehrswege in der Landschaft, d.h. der Grad der Landschaftszerschneidung, ist ausschlaggebend dafür, wie sich der Verkehr auf die Landschaft auswirkt. Die Zerschneidung und Zersiedelung der Landschaft gilt als eine wesentliche Ursache des Rückgangs von Populationen und des Verlustes von Arten in Mitteleuropa und somit als grosses Problem des Arten- und Biotopschutzes

(KAULE 1991, FORUM BIODIVERSITÄT SCHWEIZ 2004, ESSWEIN et al. 2002, KLAUS et al. 2001). Dabei kommt es nicht nur darauf an, wie viel Lebensraum den Tier- und Pflanzenpopulationen insgesamt zur Verfügung steht, sondern auch, wie die räumliche Verteilung der Lebensräume aussieht. Wichtig ist, wie gross die einzelnen Flächen sind, welche Qualitäten sie haben (z.B. wie stark gestört sie sind) und wie gut sie untereinander verbunden sind (RECK et al. 2005). Ein zweiter grosser Bereich von Auswirkungen betrifft das Landschaftsbild, den Landschaftscharakter und den Erholungswert von Landschaften. Zudem hat die Landschaftszerschneidung negative Auswirkungen auf Boden und Bodenbedeckung, Wasserhaushalt, Luftqualität, Kleinklima und für die Landnutzung.

Die Auswirkungen des Baus von Verkehrswegen werden meist lokal innerhalb eines Korridors entlang des Verkehrsweges untersucht und diskutiert. Die Landschaftszerschneidung ist aber kein örtlich und zeitlich begrenztes Problem (FORMAN et al. 2003, SCHUPP 2005). Es handelt sich um ein weiträumig wirksames und persistentes Umweltproblem, d. h. es weist einen anhaltenden Negativtrend auf, das in der Wahrnehmung der Öffentlichkeit häufig unterschätzt wird.

In einer zahlenorientierten Gesellschaft ist für eine politische Diskussion die weitest mögliche Quantifizierung eines Problems unabdingbar. Damit wird ein Problem besser fassbar, Vergleichbarkeit wird erreicht (z.B. Ländervergleiche) und zeitliche Entwicklungen (Zeitreihen) können aufgezeigt werden. Benötigt wird daher eine allgemein akzeptierte Messgrösse, die ein komplexes Problem möglichst gut und leicht verständlich abbildet: ein Indikator (ESSWEIN et al. 2003). Für das Messen der Landschaftszerschneidung eignet sich die Messgrösse der „effektiven Maschenweite“ (nach JAEGER 2000; siehe Abschnitt 2.2).

1.1 Ziele und Fragestellungen des Projekts

1.1.1 Ursprung und politische Zielerklärungen

Anstoss für die vorliegende Studie war die Beobachtung, dass die Zerschneidung der Landschaften in der Schweiz immer weiter voranschreitet – im offensichtlichen Gegensatz zu verschiedenen politischen Zielerklärungen für den Schutz der Landschaften – und dass Daten zur Entwicklung der Landschaftszerschneidung in der Schweiz bisher fehlten. Die Entwicklung der Messgrösse „effektive Maschenweite“ und ihre Anwendung in Baden-Württemberg (JAEGER et al. 2001, ESSWEIN et al. 2002) zeigten klar die Möglichkeit und den Nutzen einer quantitativen Erfassung der Zerschneidung auf.

Auch aus der Schweiz gibt es einzelne quantitative Untersuchungen zur Zerschneidung der Landschaft durch Verkehrswege und Siedlungen (z.B. FISCHBACHER 1995). Grosse Bekanntheit erlangten die Untersuchungen von OGGIER et al. (2001) und HOLZGANG et al. (2001). Sie zielen auf eine Bestandsaufnahme der Auswirkungen der Landschaftszerschneidung in der Schweiz und eine Darstellung der Wildtierkorridore und ihres Sanierungsbedarfs. Sie enthalten jedoch keine quantitativen Angaben zum Zerschneidungsgrad und keine Angaben zur zeitlichen Entwicklung der Zerschneidung.

PETER & MEIER (2003) haben den aktuellen Zerschneidungsgrad für den Kanton Aargau mit der effektiven Maschenweite errechnet und die Daten als Grundlage bei der Überarbeitung der kantonalen Richtplanung verwendet. Daraus ist ersichtlich, dass das Messen der Landschaftszerschneidung einem Wunsch der kantonalen Verwaltungen entspricht. Es scheint jedoch wenig sinnvoll, dass jeder Kanton diese Erhebungen getrennt für sein eigenes Gebiet durchführt. Eine einheitliche Studie zur Landschaftszerschneidung in der gesamten Schweiz war daher wünschenswert.

Auch auf der politischen Ebene ist Landschaftszerschneidung ein aktuelles Thema. Beispiele für politische Ziele mit direktem Zusammenhang zur Landschaftszerschneidung, die bereits in der Vergangenheit formuliert wurden, sind:

- Das *Landschaftskonzept Schweiz* fordert unter den allgemeinen Zielen zu Natur und Landschaft zum Thema „Nutzungen konzentrieren“: „Bauten, Infrastrukturen und andere Anlagen auf das notwendige Minimum beschränken, zusammenfassen und zusammenhängende Lebensräume schaffen.“ (BUNDESAMT FÜR UMWELT, WALD UND LANDSCHAFT & BUNDESAMT FÜR RAUMPLANUNG 1998: 7). Noch spezifischer ist eine Zielsetzung unter den Sachzielen zum

Verkehr: „Die Trennwirkung neuer und bestehender Verkehrsanlagen minimieren.“ (BUNDESAMT FÜR UMWELT, WALD UND LANDSCHAFT & BUNDESAMT FÜR RAUMPLANUNG 1998: 33).

- Der *Sachplan Verkehr*, Teil Programm, am 26. April 2006 vom Bundesrat genehmigt, formuliert das Ziel, Landschaften vor Beeinträchtigungen durch Verkehrsinfrastrukturen zu schützen (UVEK 2006).
- Die *Strategie Nachhaltige Entwicklung 2002* des Bundesrats kommt im Handlungsfeld 7 „Raum- und Siedlungsentwicklung“ zum Schluss, dass das anhaltende Wachstum der Siedlungsfläche pro Kopf der Wohnbevölkerung zu einem Wachstum der Siedlungsgebiete und einer anhaltenden Zersiedelung der Landschaft führt und somit eine ressourcenschonende Organisation des Verkehrs sowie die Erhaltung der urbanen Qualität gefährdet. Daher fordert der Bundesrat eine Begrenzung des Flächenbedarfs: „In Bezug auf den Leitindikator Flächenverbrauch verfolgt der Bundesrat die Zielvorstellung, die Siedlungsfläche pro Kopf auf dem heutigen Stand von rund 400 m² zu stabilisieren.“ (SCHWEIZERISCHER BUNDESRAT 2002: 27).
- *Landschaft 2020* ist die Grundlage für ein Leitbild des Bundesamts für Umwelt zu Natur und Landschaft und formuliert folgende Zielwerte für eine nachhaltige Entwicklung im Bereich Verkehr: „I) Unzerschnittene Areale der Grösse 50 km² und grösser sind vollumfänglich zu erhalten (keine Strassen der Kat. I und II). II) Mindestens 50 Ökobrücken im schweizerischen Mittelland. III) Landschaftskammern von mind. 5 km², die frei von Bauten und Anlagen sind, bleiben erhalten“ (STREMLow et al. 2003: 135).
- Aus dem allgemeinen Nachhaltigkeitsziel „Artenvielfalt erhalten“ leitet sich für die kantonale Richtplanung das raumplanerische Nachhaltigkeitsziel „unverbaute und naturnahe Landschaften vernetzen, erhalten und fördern“ ab (INFRAS et al. 2001: 22). INFRAS et al. (2001) erwähnen als geeignete Grösse zum Messen dieses Zieles die effektive Maschenweite nach JAEGER (2000).

Trotz dieser politischen Zielerklärungen hat die Zerschneidung und Zersiedelung der Landschaft in den letzten Jahren weiter zugenommen. Zudem fehlt eine *Zielvorgabe für die Begrenzung der Zerschneidung* für einzelne Landschaftsräume bzw. für die ganze Schweiz. Zur Frage, ob und wie eine solche Zielvorgabe gemacht werden kann, entwickelt der vorliegende Bericht mehrere Vorschläge.

Mit der vorliegenden Studie legen die Autoren erstmalig Zeitreihen zum Grad der Landschaftszerschneidung in der Schweiz und in allen Kanonen und Bezirken vor. Die Studie ermöglicht Vergleiche zwischen verschiedenen Regionen und stellt Daten für die Entscheidungsfindung und die Ausrichtung von Massnahmen im Bereich Verkehrs- und Raumplanung zur Verfügung. Zudem wird aufgezeigt, welchen Nutzen die vorgestellte Methode und die errechneten Werte für die Verkehrs- und Raumplanung haben. Eine einleitende Literaturübersicht und eine knappe Darstellung des aktuellen Wissens zur Thematik ermöglichen einen raschen Einstieg ins Thema. Trotz des mittlerweile recht breiten Wissens über die Problematik der Landschaftszerschneidung sind bis heute nur wenige konkrete Handlungsempfehlungen in die Planung umgesetzt worden. Dieser Bericht richtet sich an alle Akteure in Politik, Verwaltung und Planungsbüros, die in der Raum- und Verkehrsplanung in der Schweiz tätig sind. Er will einen Beitrag dazu leisten, das Problem der Landschaftszerschneidung stärker als bisher anzugehen und die Entwicklung in eine Richtung zu lenken, die unter Berücksichtigung aller Folgen wünschenswert ist, und damit helfen, Fehlentwicklungen zu vermeiden.

1.1.2 Ziele

Obwohl der Erhalt grosser unzerschnittener, verkehrsarmer Räume ein wichtiger Grundsatz in der Planung ist (vgl. STREMLow et al. 2003), hat die Landschaftszerschneidung in der Schweiz auch in den letzten zwanzig Jahren weiter zugenommen. Umso mehr besteht die Notwendigkeit, vergleichbare Daten über den Zustand und die Entwicklung der Landschaftszerschneidung zur Verfügung zu stellen, insbesondere im Vergleich von landschaftsbezogenen Raumkategorien. Unsere Untersuchung ermittelt die Entwicklung der Landschaftszerschneidung in der Schweiz von 1885 bis 2002 (Karte der verbliebenen unzerschnittenen Räume, Zeitreihen, räumliche Vergleiche) und zeigt Trends für die künftige Entwicklung auf. Auf dieser Grundlage ziehen wir Rückschlüsse für die Verkehrsplanung und

die Raumplanung und machen konkrete Vorschläge für die Steuerung der Landschaftszerschneidung. Die Studie soll spezifisch Nutzen in drei Bereichen erbringen:

1) Verkehrs- und Raumplanung

Eine Trendextrapolation zu den beobachteten Entwicklungen macht Aussagen über den künftig zu erwartenden Zerschneidungsgrad der Landschaften in der Schweiz für den Fall, dass die bisherige Entwicklung fortgesetzt wird. Wir skizzieren Vorschläge für die Steuerung dieser Entwicklung gemäss den Grundsätzen einer nachhaltigen Entwicklung (planerische und politische Zielfestlegungen und Massnahmen). Die Studie soll aufzeigen, wie die Resultate als Entscheidungsgrundlage in die Verwaltungsarbeit einbezogen werden können, d. h. wie der Aspekt der Landschaftszerschneidung in Raumplanungsinstrumente einfließen kann und wie die Landschaftszerschneidung bei der raumplanerischen Interessenabwägung eine stärkere Berücksichtigung finden kann, um die künftige Entwicklung der Landschaftszerschneidung besser zu steuern.

Eine Fortsetzung der Zeitreihen in regelmässigen Zeitabständen (z. B. alle vier bis sechs Jahre) ist mit relativ geringem Aufwand möglich. Sie zeigt, ob die vorhergesagten Entwicklungen eingetreten sind und wo Verbesserungen erzielt wurden. Dies ermöglicht gegebenenfalls eine Anpassung der Steuerungsstrategie. Die Zeitreihen dienen zudem als ein Indikator für die Gefährdung der Biodiversität und als Nachhaltigkeitsindikator (z.B. für das Monitoring der nachhaltigen Entwicklung MONET; siehe unten Abschnitt 1.2).

2) Natur- und Landschaftsschutz

Die Ergebnisse dieser Untersuchung lassen sich mit den Ergebnissen aus Studien zu verwandten Themen (Wildtierkorridore [HOLZGANG et al. 2001], MONET [BFS et al. 2003], REN [BERTHOUD et al. 2004], Sachplan Verkehr [UVEK 2006], Landschaft unter Druck [ARE & BUWAL 2001]) vergleichen und verknüpfen. Dadurch verbessert sich die Aussagekraft der verschiedenen Untersuchungen. Beispielsweise ist die Zunahme von 3.- und 4.-Kl.-Strassen, welche zur Landschaftszerschneidung beitragen, ein wichtiger Aspekt der Nutzungsintensivierung. Die Zielsetzung der seit 1984 periodisch nachgeführten Erhebung „Landschaft unter Druck“ besteht darin, die Veränderungen der Landschaft auf nationaler Ebene zu erfassen (ARE & BUWAL 2001).

Die neuen Daten liefern zudem eine Grundlage dafür, um die Aussage, dass Landschaftszerschneidung eine wesentliche Ursache für den Populationsrückgang und Artenverlust in Mitteleuropa ist, anhand von Arten aus der Schweiz künftig genauer quantitativ überprüfen zu können.

3) Öffentlichkeit

Um die künftige Zerschneidung der Landschaft einzudämmen, ist nicht zuletzt auch ein Umdenken in der Bevölkerung erforderlich. Solange der Bau von Gewerbegebieten „auf der grünen Wiese“ (z.B. Diskussion um die Ansiedlung eines Pharmakonzerns in Galmiz) und der Bau von Eigenheimen im Grünen vorangetrieben werden, die zu einem dispersen Siedlungswachstum führen und lange Anfahrtswege zum Einkaufen und Arbeiten erforderlich machen, wird eine Trendwende im Landverbrauch und in der zerschneidenden Wirkung der Verkehrsströme kaum möglich sein.

Die Öffentlichkeit soll durch die Ergebnisse der Studie auf die Problematik der Landschaftszerschneidung aufmerksam gemacht werden (Förderung des Problembewusstseins). Die Ergebnisse der Studie können eine wichtige Grundlage für ein Sensibilisierungsprogramm in der breiten Öffentlichkeit sein. Damit können die Ergebnisse im Idealfall Anstoss für ein Umdenken in der Gesellschaft sein. Neben der vorliegenden ausführlichen Publikation wird eine Kurzversion für ein breiteres Publikum erstellt (herausgegeben vom Bundesamt für Statistik; JAEGER et al. 2007).

Im gesamten Bericht sind so genannte Exkurse verteilt. Sie sollen der Leserschaft kurze Einblicke in aktuelle Forschungsfragen und neuste Erkenntnisse geben, die in einem engen Zusammenhang mit der Erfassung der Landschaftszerschneidung stehen.

1.1.3 Grenzen der Untersuchung

Die vorliegende Studie wendet eine Messgrösse für die Zerschneidung der Landschaft auf die ganze Schweiz an. Die gewählte Methode der effektiven Maschenweite ist ein Ansatz, der in der vorliegenden Anwendung gesamthafte Aussagen zum Zerschneidungsgrad macht, der vielfältige Auswirkungen auf die Landschaft hat. Davon sind viele Tierarten und zahlreiche landschaftliche Qualitäten betroffen. Somit liefert die Methode jedoch keine Werte für spezielle Tierarten oder für spezifische Landschaftseigenschaften.

Die Methode gibt die neue Qualität von Zerschneidungen, die durch Autobahnen und Hochgeschwindigkeitsstrecken der Eisenbahn erzeugt werden, nicht wieder. Diese bestehen vor allem im Mittelland und haben einen weiträumigeren Einfluss als die Verkehrswege, die vorher bestanden, z.B. da sie in der Regel in grösserer Unabhängigkeit von der Topographie durch die Landschaft geführt werden. Die Zerschneidungswirkung von Passstrassen hingegen ist, zumindest zeitweise, geringer als die von vielen anderen Strassen: Passstrassen sind im Winter grösstenteils geschlossen, wenn sie verschneit sind, und wirken dann in der Regel nicht als Barrieren (demnach wäre der Zerschneidungsgrad im Winter geringer als in der übrigen Zeit des Jahres). Stichstrassen werden durch die gewählte Methode nicht erfasst, da sie die betroffenen Flächen nicht durchschneiden und noch Verbindungsmöglichkeiten um die Stichstrassen herum bestehen bleiben. Allerdings haben die 3.-Klass-Stichstrassen im Alpenraum in den letzten 20 Jahren stark zugenommen, wie die Untersuchung „Landschaft unter Druck“ aufgezeigt hat (ARE & BUWAL 2001). Sie wirken sich insbesondere auf den Landschaftscharakter aus (z.B. Lärm) und führen infolge der besseren Erreichbarkeit der Gebiete oftmals zu verstärktem Wachstum der Siedlungsflächen, die ebenfalls den Landschaftscharakter verändern. Um diese Qualitätsunterschiede, die Stichstrassenproblematik und die Stärke der Trennwirkung (z.B. in Abhängigkeit vom Verkehrsvolumen einzubeziehen), sind Weiterentwicklungen der Methode möglich und sinnvoll (siehe Abschnitte 4.3.4 und 6.2.1).

Die Daten zur Ausstattung der Landschaft stammen aus Landeskarten, die ihrerseits die Wirklichkeit innerhalb bestimmter Grenzen wiedergeben. Damit die Karten lesbar sind, wird die Realität vereinfacht (generalisiert) wiedergegeben. Dadurch entstehen kleine Ungenauigkeiten, die aber aufgrund des Massstabes der Untersuchung tolerierbar sind.

Umklassierungen von Strassen auf den Kartengrundlagen (z.B. wenn aus einer 4.-Kl.-Strasse im Jahr 1980 eine 3.-Kl.-Strasse im Jahr 2002 wird) wurden grundsätzlich in die Zerschneidungsgeometrien übernommen, auch wenn sich an der tatsächlichen Situation möglicherweise nichts geändert hat. Weitere Angaben dazu befinden sich in Abschnitt 4.3.2.

Bei der Abgrenzung der Siedlungsflächen stützten wir uns auf die Datengrundlage VECTOR25. Zu den Schwierigkeiten und Einschränkungen aufgrund der verwendeten Datengrundlagen machen die Abschnitte 2.1.2 und 2.1.3 weitere Angaben.

1.1.4 Fragestellungen

Die vorliegende Arbeit gibt eine kurze Übersicht über das aktuelle Wissen zur Landschaftszerschneidung und beurteilt und vergleicht verschiedene Räume bezüglich ihres Zerschneidungsgrades. Die Forschungsfragen umfassen vier Hauptfragen mit dazugehörigen Unterfragen:

- 1) Wie stark zerschnitten ist die Schweiz heute?
 - Wie gross ist der Grad der Landschaftszerschneidung in der Schweiz? Welche Unterschiede bestehen zwischen den verschiedenen Regionen, Kantonen und Naturräumen?
 - Welchen Anteil an der Landesfläche haben die Flächen grösser als 100 km² und grösser als 50 km² heute noch?
 - Wie stark unterscheidet sich die effektive Maschenweite in der Schweiz von jener in Baden-Württemberg, Hessen, Bayern und Sachsen (bisherige analoge Untersuchungen)? Wie positioniert sich die Schweiz aufgrund des Zerschneidungsgrades innerhalb von Europa?
- 2) Wie hat sich der Zerschneidungsgrad der Schweiz seit 1885 entwickelt?

- Wann fanden die grössten Schübe der Landschaftszerschneidung statt? Welche Rolle spielten dabei der Bau von Verkehrswegen bestimmten Typs, z.B. der Autobahnbau und der Bau von 3.-Kl.-Strassen?
 - Wie stark fällt die Zunahme der Landschaftszerschneidung in den unterschiedlichen Regionen, Kantonen und Naturräumen der Schweiz aus?
 - Welche Regionen wurden bereits sehr früh und welche erst später zerschnitten?
- 3) Schlussfolgerungen: Welche Bedeutung haben die Resultate für Entscheidungsfindungen in der Praxis?
- Trendfortschreibung: Wie gross wäre der Zerschneidungsgrad, wenn sich die bisherigen Trends fortsetzen würden (effektive Maschenweite im Jahr 2020 und 2050)?
 - Was kann mit den Ergebnissen der Zerschneidungsanalyse gemacht werden? Wie kann man sie in Entscheidungsprozesse einbeziehen?
 - Gibt es bereits Beispiele, wie andere Länder solche Masse verwenden?
 - Wo bestehen heute Wissenslücken zu den Themen Zerschneidungseffekte und mögliche Lösungen (Hinweise zu Literatur)?
- 4) Was lässt sich ausserdem noch mit der effektiven Maschenweite analysieren?
- Lassen sich Ziel-, Richt- oder Grenzwerte der Landschaftszerschneidung für Schutzgebiete (z.B. BLN, Landschaftsparks) definieren?
 - Wie stark zerschnitten ist die Landschaft im Bereich der bedeutenden Wildwechsel: Überlagerung der Karte Landschaftszerschneidung mit den Wildtierkorridoren) nach HOLZGANG et al. (2001) bzw. BERTHOUD et al. (2004)?

1.2 Umfeld der vorliegenden Studie

Auf europäischer Ebene gibt es eine kleine Zahl von Organisationen, die sich mit der Landschaftszerschneidung befassen (Abschnitt 1.2.1). In der Schweiz bestehen Untersuchungen, die als „Gegenstücke“ zur Zerschneidung hergezogen werden können, da sie auf die Vernetzung von Lebensräumen zielen: Neben den Wildtierkorridoren handelt es sich v. a. um das REN (Réseau écologique national). Zudem bestehen drei Sets von Nachhaltigkeitsindikatoren, in denen die Landschaftszerschneidung künftig eine Rolle spielen kann, das so genannte MONET (Monitoring der Nachhaltigen Entwicklung), das NUD (Netzwerk Umweltdaten Schweiz) und das BDM (Biodiversitäts-Monitoring) (Abschnitte 1.2.2 bis 1.2.6).

1.2.1 Europäische Ebene

Zwei europäische Institutionen befassen sich gezielt mit dem Thema der Landschaftszerschneidung auf europäischem Massstab:

- Die europäische Umweltagentur (*European Environmental Agency*, EEA) ermittelt die Landschaftszerschneidung nach der Methode der effektiven Maschenweite für alle europäischen Länder einschliesslich der neuen Beitrittsländer (bisher nur grobe Abschätzung anhand der Hauptverkehrsachsen). Die Ergebnisse werden voraussichtlich im kommenden Umweltbericht der Europäischen Umweltagentur dargestellt, d.h. in einer Neuauflage zum Bericht der EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY (2002).
- Das europäische Netzwerk IENE (*Infra Eco Network Europe*) erarbeitet Massnahmen und Planungsstrategien zur Verringerung der negativen Auswirkungen von Verkehrswegen auf die Biodiversität. Dazu vermittelt sie Forschungsergebnisse zwischen den verschiedenen europäischen Ländern (LUELL et al. 2003, TROCMÉ 2003). Die Ergebnisse aus dem vorliegenden Projekt können auf diesem Wege in die anderen europäischen Länder getragen werden, wie es bereits mit dem schweizerischen COST-Bericht (OGGIER et al. 2001) erfolgte.

Für die Diskussion auf europäischer Ebene können die Resultate der vorliegenden Studie wichtige Impulse geben. Eine Übersicht zu den derzeitigen europäischen Anstrengungen gegen die voranschreitende Landschaftszerschneidung und ihre Auswirkungen gibt TILLMANN (2005).

1.2.2 Korridore für Wildtiere in der Schweiz

In der Schweiz besteht mit der Untersuchung der Wildtierkorridore (HOLZGANG et al. 2001) eine Studie, die das Ziel verfolgt, die bedeutenden Wildwechsel der Schweiz zu identifizieren und deren Zustand zu beschreiben. Diese Studie bedient sich der Methode der Expertenbefragung und stellt das so zusammengetragene Wissen dar. Hauptresultat ist die Karte der Wildtierkorridore von überregionaler Bedeutung.

Das vorliegende Projekt betrachtet das Problem der Landschaftszerschneidung aus einer anderen Perspektive als bei den Wildtierkorridoren. Die Karte der Wildtierkorridore zeigt heute oder früher benützte Korridore. Die Blockade von Korridoren ist das Resultat der fortschreitenden Landschaftszerschneidung. Die vorliegende Studie untersucht, in welcher Weise die Landschaft heute zerschnitten ist und wie diese Zerschneidung über die Zeit entstanden ist. Die Studie der Wildtierkorridore berücksichtigt von den linearen Elementen lediglich die Autobahnen als Barrieren. Die hier angewendete Methode ist deutlich detaillierter (Autobahnen, Strassen der Klassen 1 bis 3, Bahnlinien). Darüber hinaus ist die Arbeit über die Wildtierkorridore einzig auf die Einwirkung der Landschaftszerschneidung auf die Wandermöglichkeiten von Säugetieren ausgerichtet. Hier soll der Zerschneidungsgrad hingegen auch ein Mass für die Einwirkungen auf den Landschaftscharakter sein. Somit werden neben den Folgen für die Wandermöglichkeiten von Säugetieren auch andere Arten (z.B. Amphibien) und der Mensch (z.B. durch Aspekte wie Landschaftsbild und Erholungsattraktivität) sowie die Landschaft insgesamt angesprochen.

Die Kombination der Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung und die der Studie von HOLZGANG et al. (2001) ermöglichen ein tieferes Verständnis der Zerschneidung der Landschaft und ihrer Folgen für Wildtiere.

Die Resultate der Studie der Wildtierkorridore fliessen heute in die Planungs- und Verwaltungspraxis ein. So haben bereits 17 Kantone die Wildtierkorridore in ihren Richtplanungen berücksichtigt (HOLZGANG et al. 2005). Überdies werden die Korridore bei Umweltverträglichkeitsprüfungen als Grundlage berücksichtigt. In Absprache mit dem Bundesamt für Umwelt BAFU will das Bundesamt für Strassen ASTRA bis ins Jahr 2013 16 Bauwerke erstellen, die die Wildtierkorridore von nationaler Bedeutung wieder durchlässiger machen sollen (HOLZGANG et al. 2005).

1.2.3 Nationales ökologisches Netzwerk *REN*

Die wachsende Besorgnis über die Folgen der Habitatfragmentierung für die Biodiversität hat zur Naturschutzstrategie der Vernetzung geführt. Eine Übersicht zu ökologischen Netzwerken in Europa liefert TILLMANN (2005).

In der Schweiz will das Nationale ökologische Netzwerk REN (Réseau écologique national) auf Karten die ökologisch wertvollen Zonen und ihre bestehende und potenzielle Vernetzung ausweisen. Es ist eine direkte Folge aus dem BUWAL-Leitbild „Landschaft 2020“, in dem die Schaffung eines „Grünen Netzes Schweiz“ gefordert wird (BERTHOUD et al. 2004). Das REN ist der Beitrag der Schweiz an ein paneuropäisches ökologisches Netzwerk („réseau écologique paneuropéen“), das die Erhaltung der biologischen und landschaftlichen Vielfalt zum Ziel hat und von der paneuropäischen Ministerkonferenz 1995 gutgeheissen wurde (BERTHOUD et al. 2004). Die Untersuchung will „zur Ausarbeitung von Lösungen beitragen, welche der als Folge der fortschreitenden Fragmentierung der Landschaft stetigen Abnahme der Artenvielfalt entgegenwirken sollen“ (BERTHOUD et al. 2004: 16).

In den Karten wurden Autobahnen und die wichtigsten Strassen sowie die Eisenbahnlinien einbezogen. Die Kombination der REN-Daten mit unseren Ergebnissen liefert eine tiefer greifende Analyse der Vernetzungs- und Zerschneidungssituation in der gesamten Schweiz. Die Zeitreihen zur Landschaftszerschneidung ermöglichen zudem das Verständnis für frühere Vernetzungssituationen bzw. die Kenntnisse zu verbessern, wann welche Verbindungen verloren gegangen sind.

Ein ähnliches Grobkonzept gibt es neu auch für Deutschland. Die „Lebensraumkorridore für Mensch und Natur“ (BÖTTCHER et al. 2005, RECK et al. 2005) stellen eine Initiativeskizze dar zur Entwicklung

eines Netzes bundesweit bedeutsamer Lebensraumkorridore. Die Karte soll als Planungshilfe, z.B. bei strategischen Umweltprüfungen, eingesetzt werden.

1.2.4 Monitoring der nachhaltigen Entwicklung *MONET*

Das *Monitoring der nachhaltigen Entwicklung der Schweiz* (MONET) misst mittels Indikatoren die nachhaltige Entwicklung von sozialen, wirtschaftlichen und ökologischen Aspekten (BFS et al. 2003). Bisher fehlt ein einfacher und gut handhabbarer Indikator im MONET für die Zerschneidung der Landschaft. Das Mass für die Landschaftszerschneidung, die effektive Maschenweite, eignet sich als Nachhaltigkeitsindikator für die Bereiche Raumnutzung und Biodiversität. Die effektive Maschenweite erfüllt die Kriterien für die Indikatorenauswahl gemäss BFS et al. (2003: 31) (vgl. Kapitel 4.3.3).

Im Bereich „Raumnutzung“ sind als Indikatoren die Siedlungsfläche pro Kopf, landschaftliche Vielfalt bzw. Landschaftsbild, Siedlungsfläche und Zersiedelung vorgesehen; im Bereich „Biodiversität“ ist die Artenvielfalt ein wichtiger Indikator (BFS et al. 2003: 35). Alle diese Indikatoren stehen zwar in einem Zusammenhang mit der Landschaftszerschneidung, umschreiben aber nicht das Problem der Zerschneidung der Landschaft. Ein zentrales Ziel unseres Projektes ist es, die effektive Maschenweite als Nachhaltigkeitsindikator zum aktuellen Zustand und zur historischen Entwicklung der Landschaftszerschneidung in der Schweiz zu bearbeiten und die benötigten Daten zu liefern, die dann unter anderem im MONET verwendet werden können.

1.2.5 Netzwerk Umweltdaten *NUD*

Gemäss Artikel 44 Umweltschutzgesetz sind Bund und Kantone verpflichtet, Erhebungen über die Umweltbelastung durchzuführen. Das Projekt Netzwerk Umweltdaten Schweiz (NUD-CH) hat den Auftrag, die Schnittstellen von Bund und Kantonen im Bereich der Umweltbeobachtung zu klären. Es ist ein Teilprojekt des umfassenderen Projektes „Umweltdatenmanagement“ (UDM) des BAFU. Ziel ist, dass den zunehmenden Anforderungen an die Daten und Informationen der Umweltbeobachtung trotz Spardruck entsprochen werden kann.

Die hier vorgelegten Daten zum Zerschneidungsgrad können im NUD-CH direkt als Umweltindikator eingesetzt werden.

1.2.6 Biodiversitätsmonitoring *BDM*

Das Biodiversitätsmonitoring ist das Programm, mit dem das Bundesamt für Umwelt die biologische Vielfalt in der Schweiz überwacht (KOORDINATIONSSTELLE BIODIVERSITÄTSMONITORING SCHWEIZ 2006). Das BDM umfasst neben Zustands- und Massnahmenindikatoren auch Einflussindikatoren. Mit dem Einflussindikator 15 „Erschliessungsdichte“ soll der Einfluss der Landschaftszerschneidung gemessen werden. Dazu sind Daten in Vorbereitung (KOORDINATIONSSTELLE BIODIVERSITÄTSMONITORING SCHWEIZ 2006); hierfür können die Ergebnisse aus dem vorliegenden Bericht direkt verwendet werden.

Weitere Arbeiten, für die der Zerschneidungsgrad von Landschaften von Interesse ist, sind das NISTRA (Nachhaltigkeits-Indikatoren für Strasseninfrastrukturprojekte; Bundesamt für Strassen 2003), das Konzept „Landschaft 2020“ und das Landschaftsmonitoring (siehe Kapitel 4).

1.3 Zum Begriff „Landschaftszerschneidung“

1.3.1 Definition

Landschaftszerschneidung ist ein Teilprozess des Landschaftsverbrauchs (JAEGER 2002). Es werden eine strukturelle und eine funktionale Betrachtung unterschieden. In einer relativ weiten, *funktional* orientierten Betrachtung bezeichnet Landschaftszerschneidung das „Zerreißen von gewachsenen ökologischen Zusammenhängen“ zwischen räumlich verbundenen Bereichen der Landschaft (HABER 1993: 62, JAEGER et al. 2005).



Abbildung 2: Autobahnen sind in der Schweiz komplett eingezäunt – sie wirken z.B. auf Rehwild als unpassierbare Barriere (Foto: Kantonsarchäologie Zürich).

In *struktureller* Hinsicht bezeichnet Landschaftszerschneidung „vom Menschen geschaffene vorwiegend linienhafte Strukturen oder Materieströme, von denen Barriere-, Emissions- oder Kollisionswirkungen oder ästhetische Beeinträchtigungen ausgehen“ (SCHUMACHER & WALZ 2000: 135; Abbildung 2). Die geogene Zerschneidung schliesst die Trennwirkung von natürlichen Landschaftselementen ein, z.B. von Flüssen (noch verstärkt, wenn die Ufer steilwandig befestigt sind)¹ und steilen Felswänden (JAEGER 2004). Allgemeiner kann auch von Landschaftsfragmentierung gesprochen werden. Abbildung 3 zeigt die sechs Phasen der Landschaftszerschneidung bzw. -fragmentierung. Die Darstellung verdeutlicht, dass neben den linienhaften Elementen wie Strassen und Bahnlinien auch flächige Elemente zur Zerschneidung der Landschaft beitragen: Ein wachsendes Industriegebiet z.B. verkleinert den Lebensraum von Pflanzen und Tieren und wirkt als Barriere bei deren Ausbreitung bzw. trennt (Teil-) Populationen voneinander.

¹ Es besteht in der Schweiz heute nahezu flächendeckend eine ökomorphologische Kartierung der Fliessgewässer, die über diesen Aspekt Informationen liefert und in einer künftigen, detaillierteren Untersuchung der Landschaftszerschneidung einbezogen werden kann.

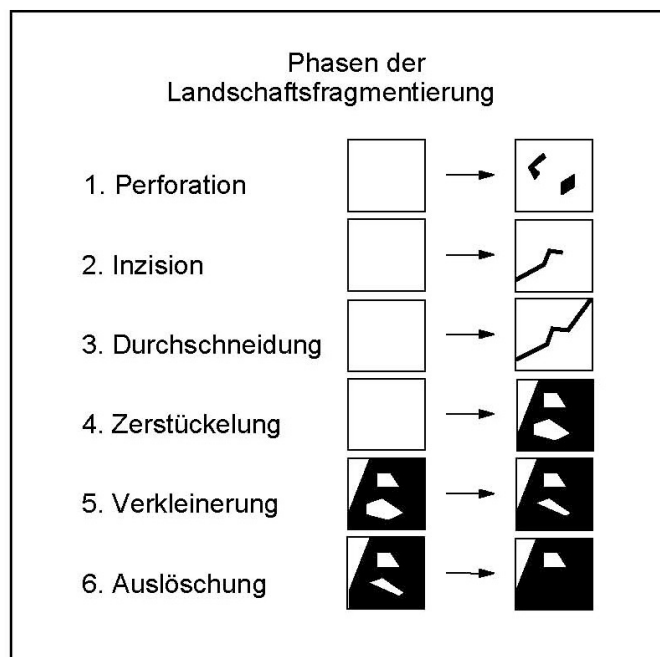


Abbildung 3: Die sechs Phasen der Landschaftsfragmentierung (erweitert nach FORMAN 1995: 407, aus JAEGER 2000: 116). Schwarz dargestellt sind Flächen, die für bestimmte Arten als Lebensräume ungeeignet sind und ein Hindernis für ihre Ausbreitung oder eine Lärm- und Unruhequelle darstellen.

In den 1950er Jahren trat das Problem der Landschaftszerschneidung zunächst im Zusammenhang mit dem Konflikt zwischen zunehmender Verkehrsstärke und Beeinträchtigung von Erholungsräumen auf (vgl. BECK 1956). Erst in den 1970er Jahren erschienen die ersten Publikationen, die sich mit dem Problem der Verinselung von Lebensräumen beschäftigten (BEHRENS 2006).

1.3.2 Problemlage

Von 1985 bis 1997 wuchs die Siedlungsfläche in der Schweiz von 246'409 ha auf 279'095 ha, d.h. um 13.3% (BUNDESAMT FÜR STATISTIK 2001). Mit 14.6% ist der Anteil dieser Flächen im Mittelland besonders hoch (Zunahme um 11.9%). Der Anteil von Siedlungsfläche beträgt im Jura 7.4% (Zunahme 14.5%), auf der Alpensüdflanke 4.3% (Zunahme 13.8%), auf der Alpennordflanke 4.0% (Zunahme 14.9%), in den westlichen Zentralalpen 2.9% (Zunahme 21.8%) und in den östlichen Zentralalpen 1.6% (Zunahme 12.8%) (BUNDESAMT FÜR STATISTIK 2001). Unter der „Siedlungsfläche“ sind im Rahmen der Arealstatistik Schweiz folgende Flächen zusammengefasst: Gebäudeareal, Industrieareal, besondere Siedlungsflächen, Erholungs- und Grünanlagen und Verkehrsflächen. Dabei machten die Verkehrsflächen im Jahr 2001 32% der „Siedlungsfläche“ aus (BUNDESAMT FÜR STATISTIK 2001).

Der Zuwachs der Siedlungs- und Verkehrsflächen an sich ist bereits beachtlich gross. Eine vergleichende Betrachtung alter und aktueller Landkarten zeigt darüber hinaus die räumliche Dimension des Anstiegs der Siedlungs- und Verkehrsflächen auf. Die Zerschneidung und Zersiedelung der Landschaft sind wie die Nutzungsintensivierung generell heute gewichtige Umweltprobleme in ganz Mitteleuropa (BAIER et al. 2006).

Das Strassennetz der Schweiz hat gegenwärtig eine Länge von ca. 71'000 km, davon sind gut 1'900 km National- und über 18'000 km Kantonsstrassen. Ausserdem gibt es in der Schweiz rund 5'000 km Schienenwege (seit 1950 nur wenig verändert, ausser durch BAHN 2000 und NEAT). Die Verkehrsfläche macht ca. 2% (808 km²) der gesamten Landesfläche aus und verteilt sich auf Strassen mit 88.7%, Bahnlinien mit 9.5% und Flugplätze mit 1.8%. Zwischen 1980 und 1999 hat das gebaute Nationalstrassennetz um 40% zugenommen (BUNDESAMT FÜR STATISTIK 2002). Das angestrebte Netz wurde bereits 1960 – also in Zeiten grosser Wachstumseuphorie und geringer Kenntnis der Zerschnei-

dungswirkungen – auf 1'855 km festgelegt (OGGIER et al. 2001). Heute ist es fast vollständig umgesetzt. Die Schweiz verfügt heute mit 2.69 km/km² über eines der dichtesten Verkehrsnetze von ganz Europa (STREMLow et al. 2003, OGGIER et al. 2001); in dieser Zahl sind National-, Kantons- und Gemeindestrassen sowie rund 40'000 km Privatstrassen berücksichtigt (d.h. totale Verkehrsweglänge = 111'000 km, OGGIER 2001: 28).

Ebenso wichtig wie die Frage, wie viel Freifläche in einem Land insgesamt zur Verfügung steht, ist die Frage, wie sie im Raum angeordnet ist. Relevant ist insbesondere, wie gross die einzelnen Freiflächen sind und ob bzw. wie sie mit benachbarten Freiflächen verbunden sind. Dies ist von Bedeutung, da jede Tierart auf Minimumareale angewiesen ist, die für ein Überleben notwendig sind. Zudem ist die Möglichkeit, sich zwischen geeigneten Lebensräumen bewegen zu können, für die Fortpflanzung, das Erschliessen neuer Lebensräume durch Jungtiere und die Wiederbesiedlung leer gewordener Lebensräume überlebenswichtig.

EXKURS 1: Was sind Landschaftsindizes?

Landschaftsindizes, auch Landschaftsmasszahlen oder Landschaftsstrukturmasse genannt, sind Messgrössen, mit deren Hilfe Landschaften bzw. deren Ausstattung beschrieben werden. Um die Struktur einer Landschaft zu erfassen, gibt es eine Vielzahl statistischer Messgrössen (MCGARIGAL & MARKS 1995, KÖHL & OEHMICHEN 2003). Landschaftsindizes können in acht Gruppen unterteilt werden: Flächenmasse, Patchdichtemasse, Kantenmasse, Formmasse, Kernflächenmasse, Nachbarschaftsmasse, Kontrastmasse, Zerteilungs- und Vernetzungsmasse (KÖHL & OEHMICHEN 2003). Eine umfangreiche Zusammenstellung zahlreicher Indizes geben MCGARIGAL & MARKS (1995).

Bei dem in dieser Untersuchung verwendeten Mass für die Zerschneidung der Landschaft, der effektiven Maschenweite m_{eff} , handelt es sich um ein Mass für die Zerteilung. Eine Einführung für die Entwicklung neuer Landschaftsmasszahlen geben JAEGER & BERTILLER (2006). Einige Landschaftsmasse können als Umweltindikatoren oder Nachhaltigkeitsindikatoren eingesetzt werden.

Indikatoren haben die Aufgabe, komplexe Sachverhalte auf nachvollziehbare Masse zu reduzieren (RENN et al. 2000a). Umweltindikatoren sollen in der Regel eine Reihe verschiedener Belastungsfaktoren zusammenfassen und die grobe Entwicklung der Umweltbelastung erkennbar machen (ESSWEIN et al. 2003). Indikatoren dienen dazu, Zustände und Trends von Veränderungen zu beschreiben und Entwicklungen zu diagnostizieren. Ausserdem können sie helfen, politische Entscheidungen vorzubereiten oder Evaluationen durchzuführen (STREMLow et al. 2003).

Die Wirkungen von Verkehrswegen auf Populationsdichten und Aussterberisiken sind erst wenig verstanden. Es gibt beispielsweise bisher kaum empirische Daten, ab welcher Verkehrsstärke eine Strasse für bestimmte Tierarten nicht mehr überquerbar ist. Hinzu kommt, dass Populationen mit bis zu Jahrzehnte dauernder Verzögerung auf eine Zunahme der Landschaftszerschneidung reagieren (z.B. FINDLAY & BOURDAGES 2000). Jeder einzelne Eingriff für sich mag harmlos erschienen („Marginalisierungsfalle“). Wegen der Zeitverzögerung und der Unklarheit der Auswirkungen wird die kumulative Wirkung aller Einzeleingriffe meistens aber stark unterschätzt (JAEGER et al. 2005).

1.3.3 Zusammenhang zwischen Siedlungsfläche und Verkehr

Die Siedlungsentwicklung hat grossen Einfluss auf den Berufsverkehr und die Einkaufswege. Laut dem UMWELTBUNDESAMT (2005) sind Wohnen, Arbeiten und Einkaufen in den letzten Jahrzehnten immer weiter auseinandergerückt. Während 1982 in Deutschland durchschnittlich noch 9.6 km pro Arbeitsweg zurückgelegt wurden, waren es 2002 bereits 15.0 km. Der durchschnittliche Einkaufsweg hat in der gleichen Zeit von 4.3 auf 6.4 km zugenommen, wohingegen der durchschnittliche Weg des Freizeitverkehrs lediglich von 12.2 auf 12.6 km zugenommen hat (UMWELTBUNDESAMT 2005). All dies hing damit zusammen, dass die Siedlungsfläche sich stark vergrösserte und die durchschnittliche Erreichbarkeit der verschiedenen Orte ohne Auto stark abnahm. Der Verkehr ist in den letzten 40 Jahren stark angewachsen – deutlich stärker als die Wirtschaftsleistung. Eine Trendwende ist laut dem UMWELTBUNDESAMT (2005) nicht in Sicht. Für die Schweiz ist die Situation ähnlich.

1.4 Bisherige Studien zur Landschaftszerschneidung

Die Landschaftszerschneidung gilt als eine wesentliche Ursache des Rückgangs von Tierpopulationen, und des Verlustes von Arten in Mitteleuropa (BLAB 1990, RECK & KAULE 1993, SETTELE et al. 1996, GLITZNER et al. 1999, STAUCH 1999, HOLZGANG et al. 2000, BAIER & HOLZ 2001). Hieran hat die Verkehrsinfrastruktur einen grossen Anteil, da die Verkehrswege starke Wirkungen auf viele Tierarten und zum Teil auch Pflanzenarten haben (MADER & PAURITSCH 1981, BAUR & ERHARDT 1995, SETTELE et al. 1996, HOLZGANG et al. 2000, FORMAN et al. 2003, JAEGER 2004, BAIER et al. 2006).

Daneben trägt der Zerstückelungseffekt zur Veränderung des Landschaftscharakters bei und hat negative Auswirkungen für Erholungssuchende, da sie in ihrer Ungestörtheit und Bewegungsfreiheit beeinträchtigt werden und die Erholungsräume verkleinert werden (z.B. LASSEN 1990).

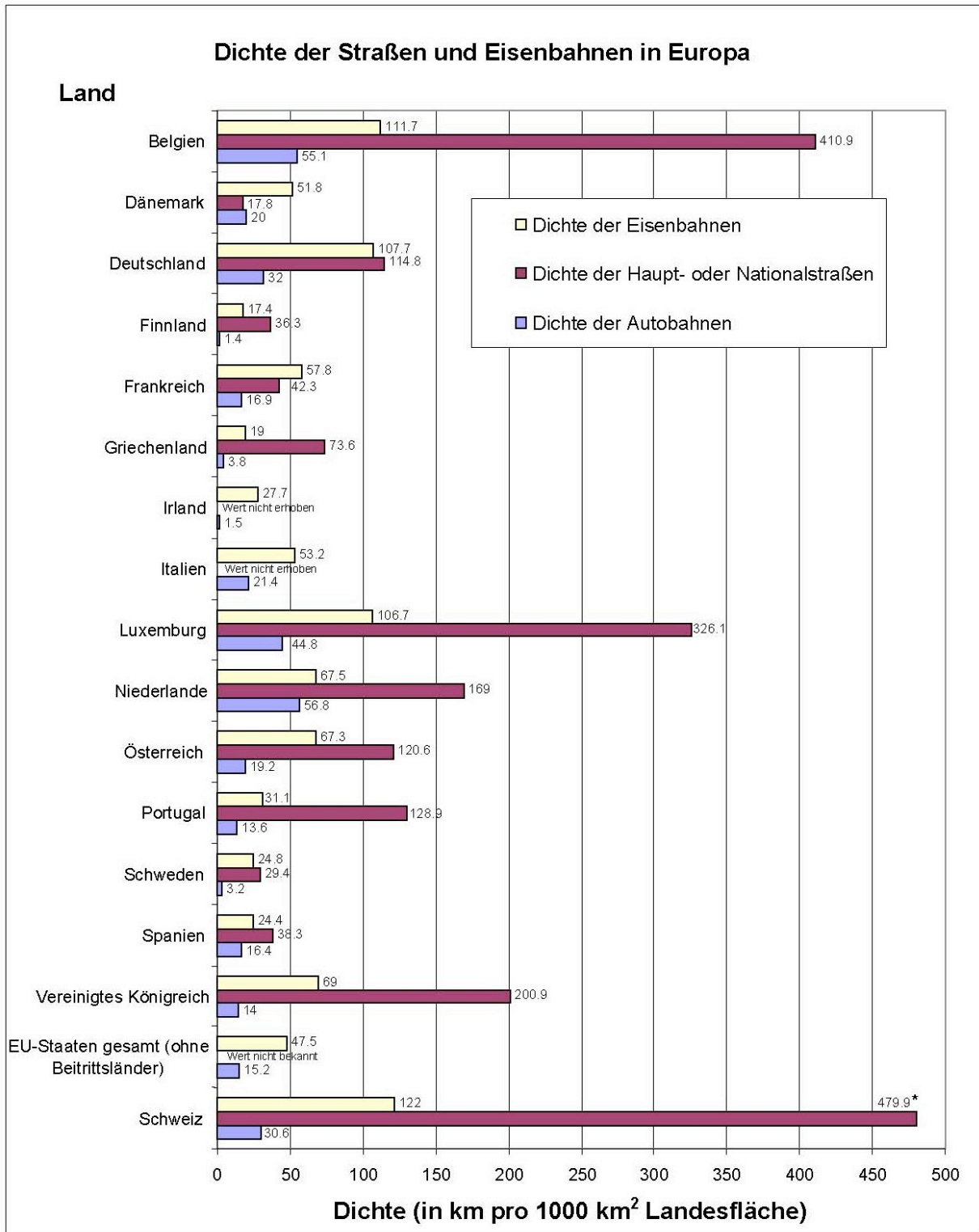
In der Fachliteratur finden sich seit etwa 20 Jahren zahlreiche Untersuchungen zu den Folgen der Landschaftszerschneidung (GLITZNER et al. 1999, HOLZGANG et al. 2000, OGGIER et al. 2001). Seit dem Anfang der 1990-er Jahre wird vermehrt auch an Indizes gearbeitet, mit denen sich die Landschaftszerschneidung quantitativ beschreiben lässt (TURNER & GARDNER 1991, MCGARIGAL & MARKS 1995, GUSTAFSON 1998, JAEGER 2000). Eine Methodenübersicht und ein Methodenvergleich finden sich bei JAEGER (2002: 118-168).

EXKURS 2: GAIA-Themenschwerpunktheft „Landschaftszerschneidung: von der Problemerkennung zum Handeln“

Die transdisziplinäre Zeitschrift „GAIA“ hat 2005 ein Themenschwerpunktheft „Landschaftszerschneidung: von der Problemerkennung zum Handeln“ herausgegeben (JAEGER et al. 2005). Das Heft dokumentiert ein zunehmendes Interesse am Thema Landschaftszerschneidung in der Wissenschaft, in den Verwaltungen, in der Planung und in der Öffentlichkeit. Weltweit werden derzeit Forschungsprojekte hierzu durchgeführt, vor allem in den Niederlanden, in Deutschland, in den USA, in Kanada und in Australien. Das Heft ist das erste Themenschwerpunktheft einer wissenschaftlichen Zeitschrift zum Problem der Landschaftszerschneidung. Es bringt erstmals verschiedene Perspektiven zu einer Gesamtschau zusammen, die eine Brücke schlägt zwischen den vielfältigen Auswirkungen und der politisch-planerischen Dimension des Problems. Das Heft vereint 17 Beiträge aus sieben Ländern. Die Beiträge reichen von der Verwendung des Zerschneidungsgrades als Umweltindikator, Modellsimulationen zu den Auswirkungen der Zerschneidung und landschaftlichen Wirkungen von Energiefreileitungen über grossflächige Planungen zur „Entscheidung“ und die rechtliche Sicherung von Freiräumen bis hin zu Fallbeispielen aus verschiedenen Ländern.

Die Zeitschrift „Naturschutz und Landschaftsplanung“ hat diesem Problemfeld im Jahr 2006 ebenfalls ein Themenheft mit dem Titel „Strassenökologie“ gewidmet (ROEDENBECK & JAEGER 2006).

Eine detaillierte Untersuchung der Entwicklung der Landschaftszerschneidung mit Zeitreihen wurde im deutschsprachigen Raum bisher lediglich für Baden-Württemberg (JAEGER et al. 2001, ESSWEIN et al. 2002, JAEGER et al. 2006), Hessen (ROEDENBECK 2005a, 2005b, ROEDENBECK et al. 2005) und Thüringen (VOERKEL 2005) durchgeführt. Die Erstellung der Zeitreihen erfolgte auf der Grundlage von historischen Landkarten. Weitere Untersuchungen zur Landschaftszerschneidung nach der Methode der effektiven Maschenweite existieren für Bayern (ESSWEIN & SCHWARZ-VON RAUMER 2003), Hessen (ESSWEIN & SCHWARZ-VON RAUMER 2004), Südtirol (MOSER et al. 2007), Sachsen (SCHERFKE 2002), Schleswig-Holstein (NEUMANN-FINKE 2004) und den Kanton Aargau (PETER & MEIER 2003).



* Wert für National- und Kantonsstrassen zusammen; der Wert für Nationalstrassen allein beträgt 39.7 km/1000 km²; beide Werte sind nicht direkt mit den Werten für die EU-Staaten vergleichbar.

Abbildung 4: Strassen- und Eisenbahndichten im europäischen Vergleich (aus JAEGER 2004).

Die vielfältige Literatur zu den ökologischen Folgen der Landschaftszerschneidung sowie die Untersuchungen, die in Mitteleuropa die Zerschneidung verschiedener Regionen messen, zeigen, dass die Landschaftszerschneidung ein Thema mit steigender Aktualität ist und die Verwaltungen daran interessiert sind, solche Masse für ihr Zuständigkeitsgebiet anzuwenden.

1.5 Folgen der Landschaftszerschneidung auf Natur und Landschaft

Die beiden wichtigsten Bereiche, in denen sich die Auswirkungen der Landschaftszerschneidung manifestieren, sind die Wirkungen auf Tiere, Pflanzen und Ökosysteme (d.h. Landschaft als Lebensraum für Tiere, Pflanzen und Lebensgemeinschaften) und die landschaftlichen Wirkungen.

Die landschaftlichen Wirkungen der Zerschneidung betreffen landschaftliche Qualitäten wie den Landschaftscharakter, das Landschaftsbild und die Erholungseignung. Die Zerschneidung verringert in der Regel die Attraktivität von Landschaften für Erholungssuchende stark. Je mehr Strassen, Siedlungen und Bahnlinien existieren, desto naturfremder ist der Landschaftsausschnitt und desto kürzer wird der freie, von anthropogenen Elementen ungestörte Blick. Der Gesamtcharakter der Landschaft wird durch ästhetische Brüche beeinträchtigt. Gleichzeitig nimmt mit zunehmender Landschaftszerschneidung auch die Verlärmung der Landschaft zu.

Verkehrsstrecken wirken auf vierfache Weise negativ auf Tierpopulationen: Sie erhöhen die Mortalitätsrate aufgrund der Kollision von Tieren mit Fahrzeugen, sie schränken die Fortbewegung der Tiere in der Landschaft ein (Barriereeffekt), sie verringern die verfügbare Habitatfläche und setzen die Habitatqualität in der Nachbarschaft der Verkehrswege herab (z.B. Emissionen von Lärm und Schadstoffen) und sie zerstückeln und isolieren die verbleibenden Habitate und Populationen (JAEGER et al. 2005; siehe unten). Diese Wirkungen stehen im Zusammenhang mit weiteren Beeinträchtigungen durch die Landwirtschaft und die Wohn- und Gewerbeflächen: „Durch die Intensivierung der Landwirtschaft, mit der Ausdehnung von Siedlungsräumen und Industriezonen sowie durch den Bau von Verkehrswegen wie Strassen, Auto- und Eisenbahnen wurden ehemals zusammenhängende Lebensräume der Tiere und Pflanzen nicht nur flächenmässig stark reduziert, sondern auch voneinander abgetrennt“ (KLAUS et al. 2001: 49). Die Wirkungen können für manche Arten auch positiv sein. Ein wichtiges Beispiel sind invasive (einwandernde) Pflanzenarten aus fremden Ländern. Sie profitieren von der Zerschneidung, da sie entlang von Strassenbegleitflächen in neue Gebiete eindringen, z.B. in Wälder, die sie sonst nicht oder nur sehr viel langsamer erreichen können. Allerdings ist das Vordringen von invasiven Arten aus Naturschutzsicht unerwünscht, da sie einheimische Arten verdrängen können.

Welche Folgen die Einwirkungen des Verkehrs haben, hängt von der Länge und Anordnung der Verkehrswege im Raum ab (d.h. vom Grad der Landschaftszerschneidung). Die Auswirkungen der Landschaftszerschneidung betreffen insgesamt sieben Problemfelder: Bodengefüge und -bedeckung, Kleinklima, Immissionen, Wasserhaushalt, Flora und Fauna, Landschaftsbild und Erholungsqualität, Beeinträchtigung der Landnutzung (KAULE 1998, JAEGER 2002; Tabelle 1).

Für die Schweiz erstellten OGGIER et al. (2001) eine Übersicht zu den Wirkungen von linearen Verkehrsinfrastrukturen (Strassen und Schienen) auf die Natur. Zudem zeigen die Autoren auf, welche Möglichkeiten bereits angewendet werden, um der Lebensraumzerschneidung durch Infrastrukturanlagen entgegenzuwirken. Vorgänger dieser Studie ist eine Zusammenstellung über Wildtiere, Strassenbau und Verkehr (SCHWEIZERISCHE GESELLSCHAFT FÜR WILDTIERBIOLOGIE 1995). Eine aktuellere Zusammenstellung des Wissens zum Thema Landschaftszerschneidung enthält ein Themenschwerpunktheft der GAIA (vgl. Exkurs 2). Die Auswirkungen der Landschaftszerschneidung sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Die vier Hauptwirkungen von Verkehrswegen sind (Abbildung 5):

1) *Habitatverlust*

Verkehrswege zerstören Habitatflächen am Ort des Strassenkörpers (direkte Flächeninanspruchnahme) und setzen in den angrenzenden Flächen die Habitatqualität herab (indirekter Habitatverlust durch Emissionen und Störungswirkungen).

2) *Verkehrsmortalität*

Verkehrswege erhöhen die Mortalität der Tiere, die versuchen, die Strasse zu überqueren (Kollision mit Fahrzeugen), vgl. Abbildung 6.

Tabelle 1: Auswirkungen der Landschaftszerschneidung (nach JAEGER 2003).

Problemfeld	Folgewirkungen von linienhaften technischen Infrastrukturanlagen	Typ des Landschaftsverbrauchs		
		Flächenbedarf		Strukturelle Veränderungen
		direkter	indirekter	
Flächenbelegung	• Flächenbedarf für Fahrbahn, Strassenkörper und Strassenbegleitflächen	X		
	• Bodenverdichtung, Bodenversiegelung	X		
	• Veränderungen in der Geomorphologie (z.B. Einschnitte, Dämme)	X		
	• Vegetationsbeseitigung bzw. -veränderungen	X		
Kleinklima	• veränderte Temperaturverhältnisse (z. B. Aufheizung der Strasse, grössere Temperaturschwankungen)	X		
	• Kaltluftstau an Strassendämmen (Kaltluftseen)		X	
	• Änderungen des Feuchtegrades (z. B. geringere Luftfeuchtigkeit aufgrund erhöhter Einstrahlung, Staunässe auf Strassenbegleitflächen infolge der Verdichtung)	X	X	
	• veränderte Lichtverhältnisse	X	X	
	• veränderte Windverhältnisse (z. B. Schneisen im Wald)	X	X	
	• Klimaschwelle	X		X
Immissionen	• Abgase, Schadstoffe, düngende Stoffe		X	
	• Staub (Reifenabrieb, Bremsbeläge)		X	
	• Öl etc. (z. B. bei Verkehrsunfällen)	X	X	
	• Streusalz		X	
	• Lärm		X	
	• optische Reize, Beleuchtung		X	
Wasserhaushalt	• Drainage, schnellerer Wasserabfluss	X		
	• Veränderung von Oberflächengewässern	X		X
	• Absenkung oder Anhebung des Grundwasserspiegels		X	
	• Wasserverunreinigungen		X	
Flora / Fauna	• Tierverluste durch Strassentod (z. T. auch infolge Lockwirkung: „Falleneffekt“)	X		
	• Unruhewirkung, Verlust von Rückzugsräumen		X	X
	• Habitatverkleinerungen und -verluste; z. T. auch Neuschaffung	X		
	• Veränderungen des Nahrungsangebotes (z. B. infolge von nächtlichen Kaltluftseen verringertes Nahrungsangebot für Fledermäuse)	X	X	
	• Barriereeffekt	X		X
	• Blockierung von Ausbreitungswegen, Verhinderung von Wiederbesiedelungen			X
	• Trennung und Isolation von (Teil-)Habitaten, Zerteilung von Populationen			X
	• Unterbrechung der Metapopulationsdynamik, genetische Isolation, Inzuchteffekte und verstärkte genetische Drift, Abbruch evolutionärer Entwicklungsprozesse			X
	• Unterschreitung von Minimalarealen, Artenverluste			X
	• Ausbreitungsbänder, Eindringen neuer Arten, z. T. als Infektionswege		X	X
• verringerte Wirksamkeit der natürlichen Feinde von Schädlingen in der Land- und Forstwirtschaft (d.h. Erschwerung der biologischen Schädlingsbekämpfung)			X	
Landschaftsbild	• Verlärmung, optische Reize		X	
	• „Verstrassung“, „Vermastung“ und „Verdrahtung“ der Landschaft		X	X
	• Gegensätze und Brüche; aber z. T. auch Belebung der Landschaft (z. B. durch Alleen)	X	X	X
Folgen für die Landnutzung	• Folgen der Erschliessung durch Strassen (z. B. Verkehrszunahme, erhöhter Siedlungs- und Mobilitätsdruck)		X	X
	• Flurbereinigung (v. a. Zweckflurbereinigung)		X	X
	• Qualitätsveränderungen des Erntegutes entlang von Strassen		X	
	• Verlärmung, Verkleinerung und Zerteilung von Erholungsgebieten		X	X
	• weitere Nutzungskonflikte		X	X

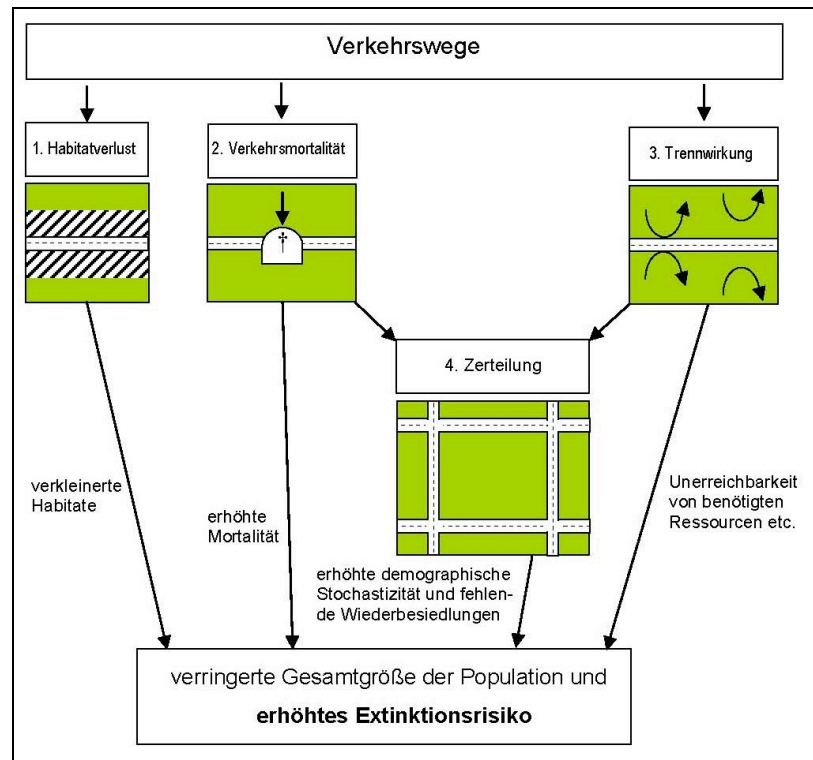


Abbildung 5: Die vier Hauptwirkungen von Verkehrsweegen (verändert nach JAEGER et al. 2005).

3) Trennwirkung

Verkehrswege erschweren oder verhindern die Möglichkeit, sich frei in der Landschaft zu bewegen, und den Zugang zu benötigten Ressourcen, z.B. bei Bedarf nach verstreut liegenden Nahrungsquellen oder unterschiedlichen Teillebensräumen, und zu neuen Lebensräumen, z.B. das Aufsuchen eines eigenen Territoriums durch Jungtiere (Trennwirkung), aber auch das Finden eines Partners für die Fortpflanzung.

4) Zerteilung

Verkehrswege zerteilen Populationen in kleinere, isolierte Teilpopulationen und unterbrechen dadurch die bestehenden Austauschbeziehungen (Verhinderung des Genaustauschs, Unterbindung von Wiederbesiedlungen); die kleinen Teilpopulationen sind einem höheren Extinktionsrisiko ausgesetzt, vor allem wenn die Flächen kleiner als die benötigten Minimumareale sind.

Die vier Einwirkungen sind je nach Tierart unterschiedlich gravierend. Beispielsweise ist die Hinderniswirkung für Säugetiere im Allgemeinen umso stärker, je kleiner die Tiere sind. Das Risiko, bei einem Überquerungsversuch von einem Fahrzeug erfasst zu werden, ist hingegen im Durchschnitt umso höher, je grösser die Tiere sind (VAN APeldoorn 1997: 122). Diese vier Wirkungen weisen Schwellenwerte auf, bei denen die Überlebenswahrscheinlichkeit von Populationen stark absinkt (JAEGER & HOLDEREGGER 2005). „Insbesondere Tierarten mit geringen Populationsdichten und grossen Streifgebieten verschwinden rasch aus einer fragmentierten Landschaft“ (KLAUS et al. 2001: 50).

Vier Beispiele zeigen auf, welchen Einfluss die Zerschneidung auf den genetischen Austausch zwischen Teilpopulationen hat:

1) Durch Autobahnen und Bahnlinien isolierte Grasfroschpopulationen

Autobahnen und Bahnstrecken erhöhen die genetische Distanz zwischen den Subpopulationen des Grasfrosches (*Rana temporaria*) signifikant (REH & SEITZ 1990). Das bedeutet, dass sie den genetischen Austausch unterbinden oder zumindest stark herabsetzen. Zudem belegen Untersuchungen von REH & SEITZ (1990), dass die Reinerbigkeit in den beiden untersuchten Subpopulationen signifikant erhöht war, wenn sie von Strassen und Bahnlinien umgeben waren. Dies zeigt

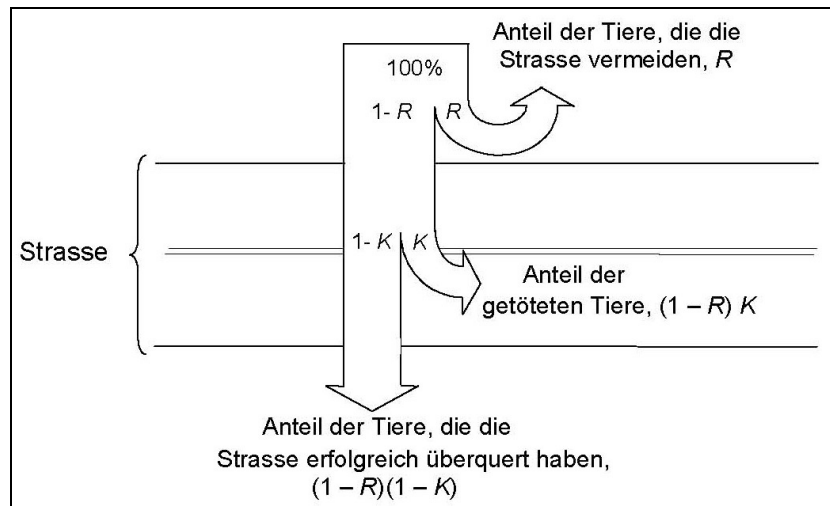


Abbildung 6: Modellierung des Verhaltens von Tieren an einer Strasse: Ein bestimmter Prozentsatz meidet die Strasse ($0 < R < 1$), ein gewisser Anteil der Tiere, die einen Überquerungsversuch machen, wird durch Fahrzeuge getötet ($0 < K < 1$). Eine erfolgreiche Überquerung der Strasse gelingt lediglich dem Anteil $(1-R) \cdot (1-K)$. Die Werte von R und K hängen von der Tierart, der Art der Strasse und dem Verkehrsaufkommen ab (aus JAEGER & FAHRIG 2004).

einen hohen Grad von Inzucht an. Mit zunehmender Isolation steigt die Wahrscheinlichkeit, dass verwandte Individuen miteinander Nachkommen haben.

2) Unterbrechung des Genaustausches durch Strassen bei Rötelmäusen

Populationen von Rötelmäusen (*Clethrionomys glareolus*) werden nicht nur durch geogene Barrieren wie den Rhein voneinander genetisch isoliert, sondern auch durch Autobahnen. Die durch eine Autobahn getrennten Populationen im Süden Baden-Württembergs zeigten bereits wenige Jahrzehnte nach dem Bau der Strasse genetische Unterschiede, die durch fehlenden oder stark eingeschränkten Genaustausch bedingt waren (GERLACH & MUSOLF 2000).

3) Verringerung der genetischen Vielfalt durch Strassen bei Laufkäfer

Teilpopulationen des Violetten Laufkäfers (*Carabus violaceus*) werden durch Strassen so stark voneinander isoliert, dass sie bereits nach wenigen Jahrzehnten deutliche genetische Unterschiede aufweisen. Die Stärke der Unterschiede spricht dafür, dass die Strassen absolute Barrieren für den Genaustausch dieser flugunfähigen Käferart darstellen (KELLER & LARGIADÈR 2003).

4) Inzucht und verringerte Fruchtbarkeit beim Deutschen Enzian und bei der Wiesen-Schlüsselblume

Pflanzen in kleinen Beständen des Deutschen Enzians (*Gentianella germanica*) produzieren weniger Samen als Pflanzen in grossen Populationen (FISCHER & MATTHIES 1998a). Gemessen an der Anzahl der Samen pro Pflanze war die Fruchtbarkeit in kleinen Populationen um das Vierfache niedriger als in grossen Beständen. In der Folge waren die Populationsgrössen der kleinen Bestände rückläufig, während sehr grosse Populationen weiter anwuchsen. Pflanzen aus Samen von grossen Populationen überlebten weit besser als Pflanzen aus Samen, die von kleinen Beständen kamen, wobei alle Samen unter einheitlichen Bedingungen ausgesät wurden. Die Vitalitätsunterschiede waren auf genetische Unterschiede zurückzuführen: Die genetische Variabilität war in kleinen Populationen deutlich geringer als in grossen Populationen. Die kleinen Bestände haben ihre genetische Vielfalt aufgrund der höheren Wahrscheinlichkeit, dass sich genetisch ähnliche Individuen miteinander fortpflanzen, weitgehend eingebüsst (FISCHER & MATTHIES 1998b). Bei der Wiesen-Schlüsselblume (*Primula veris*) fanden KÉRY et al. (2000) ebenfalls Vitalitätsunterschiede zwischen Samen aus kleinen Populationen und denjenigen grosser Populationen. Diese Ergebnisse stützen die These, dass Habitatfragmentierung zur Schwächung von kleinen Populationen durch Inzuchteffekte führt und das Fortbestehen von Pflanzenpopulationen gefährdet.

Bei Feldhasen gehören der Verkehr und die Fragmentierung des Raumes laut PFISTER et al. (2002) zu den bestandsbestimmenden Faktoren. Obwohl der Feldhase in der Schweiz insgesamt noch relativ häufig ist, ist er auf der Roten Liste, da sein Bestand seit ca. 50 Jahren rückläufig ist. Der von PFISTER et al. (2002) ermittelte Zusammenhang zwischen der zur Verfügung stehenden Arealfläche und der Populationsgrösse ist bis zu einem Areal von 1.5 km² linear, danach steigt die Populationsgrösse exponentiell an. Für den Feldhasen sind somit grössere zusammenhängende Räume überlebenswichtig (PFISTER et al. 2002).

EXKURS 3: Zäune – sinnvoll oder schädlich?

Zäune entlang von Verkehrswegen reduzieren die Verkehrsmortalität, erhöhen aber die Trennwirkung der Verkehrswege.

In der Schweiz sind entlang sämtlicher Autobahnen Zäune aufgestellt. Diese gelten aus Gründen der Sicherheit im Strassenverkehr und zur Verhinderung von Fallwild als unentbehrlich. Doch wie sinnvoll ist es aus der Sicht der Tierpopulationen, Zäune aufzustellen? Unter welchen Verhältnissen reduzieren oder erhöhen Zäune entlang von Strassen die Überlebenswahrscheinlichkeit von Tierpopulationen? Dieser Frage gehen erstmals JAEGER & FAHRIG (2004) nach, indem sie die Wirkung von Zäunen entlang von Strassen anhand eines Modells untersuchen.

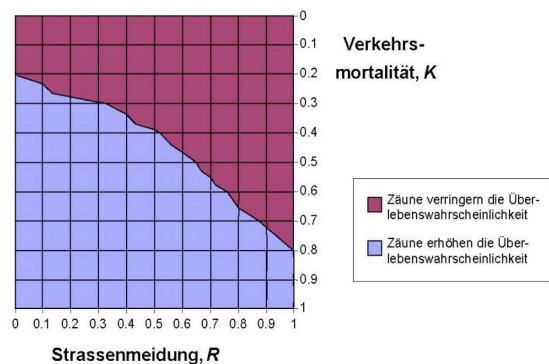
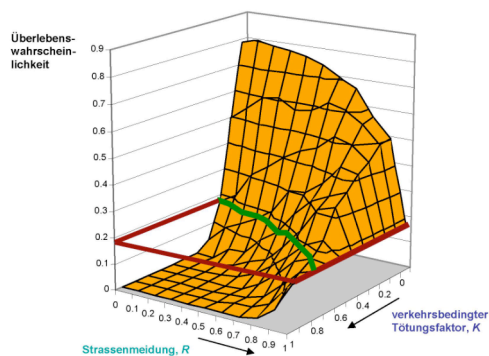


Abbildung 7: Überlebenswahrscheinlichkeit einer modellierten Population als Funktion der Strassenmeidung R und der Strassenmortalität K (verändert nach JAEGER & FAHRIG 2004).

Abbildung 8: Schwellenwert-Linie, die Bereiche mit erhöhter Aussterbewahrscheinlichkeit durch Zäune von solchen mit verringerter Aussterbewahrscheinlichkeit trennt (aus JAEGER & FAHRIG 2004).

Die Untersuchung zeigt, dass Zäune erst ab einer bestimmten Strassenmortalität helfen, die Überlebenswahrscheinlichkeit einer Population anzuheben. Bei geringerer Verkehrsstärke und geringer Verkehrsmortalität überwiegt der Schaden durch den höheren Barriereeffekt den Nutzen der Zäune (Abbildungen 7 und 8). Je höher der verkehrsbedingte Tötungsfaktor K ist, und je geringer die Strassenmeidung R ist, umso grösser ist die Wahrscheinlichkeit, dass Zäune für die betrachtete Art vorteilhaft sind. In anderen Fällen können Zäune die Überlebenswahrscheinlichkeit auch erheblich verringern, z.B. wenn die Tiere auf der Strasse nur relativ selten getötet werden oder wenn sie die Strasse sowieso schon relativ stark meiden. Zäune können von Vorteil sein, wenn der Verkehr so stark ist, dass die Tiere nie oder fast nie erfolgreich die Strasse überqueren oder wenn die Population rückläufig ist und Verkehrsmortalität zum Populationsrückgang beiträgt.

Weitere Untersuchungen sind künftig nötig, bevor konkrete Empfehlungen abgegeben werden können, wo in der Landschaft Zäune aus der Sicht der Populationsbiologie von Grosssäugern sinnvoll sind und wo nicht.

2. Methoden

2.1 Datengrundlagen und Datenbeschaffung

Landeskarten im Massstab 1:25'000 und 1:100'000 bildeten die Datengrundlage für die vorliegende Studie. Es wurden keine Luftbilder ausgewertet oder Felddaten erhoben. Das Abstützen auf Landeskarten hat zur Folge, dass die Landschaft nur so genau erfasst wird, wie es durch die Erfassungsgenauigkeit und den Generalisierungsgrad der Landeskarten vorgegeben ist. Da die Schweizer Landeskarten aber von grosser Genauigkeit sind und über die gesamte Schweiz einheitlich erhoben wurden, sind sie eine ideale Datenbasis.

2.1.1 Zerschneidungsgeometrien

Zerschneidungsgeometrien können auf unterschiedliche Weise festgelegt werden. Eine Zerschneidungsgeometrie (ZG) entsteht durch das Zusammenfügen (Überlagern) der als relevant angesehenen Trennelemente. Bei sämtlichen kartografischen Abbildungen zur Landschaftszerschneidung in diesem Bericht handelt es sich um solche Zerschneidungsgeometrien. Für die vorliegende Untersuchung wurden vier unterschiedliche Zerschneidungsgeometrien festgelegt. Dies hat die folgenden Gründe:

- Die effektive Maschenweite kann je nach Wahl der Zerschneidungselemente verschieden interpretiert werden, z.B. hinsichtlich bestimmter Barrieretypen. Der Vergleich mehrerer Zerschneidungsgeometrien erlaubt somit eine umso tiefere Auseinandersetzung mit dem Thema.
- In der Studie von ESSWEIN et al. (2002) für Baden-Württemberg wurden zwei Zerschneidungsgeometrien (mit respektive ohne Gemeindeverbindungsstrassen) verwendet. Damit die Resultate für die Schweiz damit vergleichbar sind, haben wir versucht, zwei möglichst ähnliche Geometrien zu erstellen.

Somit ergeben sich für jeden Teilraum vier Werte für die effektive Maschenweite (Tabellen 2 und 3):

Tabelle 2: Systematik der vier verschiedenen Zerschneidungsgeometrien (ZG).

		Natürliche Trennelemente		
		keine	Gebirge, Seen und Flüsse als Barrieren berücksichtigt	Gebirge, Seen und Flüsse ausgeklammert aus dem Bezugsraum
Anthropogene Trennelemente (Autobahnen, Bahnlinien, Strassen und Siedlungen)	2.-Kl.-Strassen und höher	-	ZG 2	-
	3.-Kl.-Strassen und höher	ZG 1	ZG 3	ZG 4

In Tabelle 3 sind nur die wichtigsten Trennelemente aufgeführt, um eine Übersicht zu geben und die Unterschiede zwischen den Zerschneidungsgeometrien zu charakterisieren. Eine vollständige Liste der berücksichtigten respektive nicht berücksichtigten Elemente geben die Tabellen 4 und 5.

Um die Vergleichbarkeit mit den Ergebnissen aus Baden-Württemberg zu gewährleisten, wurden die Zerschneidungsgeometrien 2 und 3 entwickelt. Die Zerschneidungsgeometrie 2 berücksichtigt 3.-Kl.-Strassen nicht (Tabelle 3). Sie entspricht etwa der Zerschneidungsgeometrie „ohne Gemeindeverbindungsstrassen“ bei ESSWEIN et al. (2002). Die Zerschneidungsgeometrie 3 bezieht die 3.-Kl.-Strassen ein; sie entspricht der Zerschneidungsgeometrie „mit Gemeindeverbindungsstrassen“ in Baden-Württemberg. Anhand einiger Tests im Grenzbereich zwischen der Schweiz und Baden-Württemberg haben wir festgestellt, dass deutsche „Gemeindeverbindungsstrassen“ grösstenteils der Schweizerischen Kategorie „3.-Kl.-Strasse“ entsprechen.

ZG 2 und 3 nehmen auch die Gebirgsflächen ab 2100 m als naturgegebene Trennelemente auf, da sie überwiegend von Gletschern, Fels und Geröll bedeckt sind. Allerdings stellte sich heraus, dass der Einfluss der Seen und der Gebirgsflächen oberhalb von 2100 m so gross ist, dass ein Vergleich mit Gebieten ohne Seen und ohne Gebirge nicht immer sinnvoll ist. Daher kam die Definition von ZG 4 hinzu (siehe unten Abschnitt 2.3). Diese ZG klammert diese Gebiete aus den Untersuchungsregionen aus, d.h. die Grenzen der Untersuchungsregion werden neu festgelegt und beschränken sich auf die Landflächen unterhalb von 2100 m, also quasi auf den dauerhaft besiedelbaren Raum (oder Dauersiedlungsraum).²

Tabelle 3: Die vier Zerschneidungsgeometrien und ihre Bedeutung.

Zerschneidungs- geometrie	Absicht, Bedeutung	Anthropogene Trennelemente	Natürliche Trennelemente	Berechnete Teilräume
1) Zivilisations- druck	Nur anthropogene Trennelemente werden berücksichtigt, keine natürlichen (geogenen) Landschaftselemente. Geeignet zur Einschätzung der menschlichen Einflussnahme auf die gesamte Landschaft; sinnvoll zur Bewertung des Landschaftsbildes und der Erholungsqualität.	Autobahnen, Strassen der Klassen 1 bis 3, Schienen, Siedlungen	Keine	Alle ¹
2) Trenn- elemente bis 2.- Klass-Strassen	Zerschneidung durch anthropogene und geogene Trennelemente, geeignet für den Vergleich mit der Zerschneidungsgeometrie „ohne Gemeindeverbindungsstrassen“ in Baden-Württemberg (ESSWEIN et al. 2002)	Autobahnen, Strassen der Klassen 1 bis 2, Schienen, Siedlungen	Flüsse, Seen und Gebirge (> 2100 m ü. M.)	Alle ¹
3) Trenn- elemente bis 3.- Klass-Strassen	Zerschneidung durch anthropogene und geogene Trennelemente, geeignet für einen Vergleich mit der Zerschneidungsgeometrie „mit Gemeindeverbindungsstrassen“ in Baden-Württemberg (ESSWEIN et al. 2002)	Autobahnen, Strassen der Klassen 1 bis 3, Schienen, Siedlungen	Flüsse, Seen und Gebirge (> 2100 m ü. M.)	Alle ¹
4) Landflächen unterhalb von 2100 m	Nur die grundsätzlich für die Besiedlung geeigneten Flächen der Landschaft werden betrachtet. Nicht besiedelbare, bzw. nicht zerschneidbare Flächen (z.B. Gletscher, Seen) werden von der Gesamtfläche des Bezugsraumes abgezogen.	Autobahnen, Strassen der Klassen 1 bis 3, Schienen, Siedlungen	Flüsse, Seen und Gebirge (> 2100 m ü. M.) werden vom Bezugsraum abgezogen, d.h. der Bezugsraum wird neu berechnet	Schweiz, Kantone, Natur- räume und biogeo- graphische Regionen

¹ Das sind: Schweiz, Kantone, Bezirke, Naturräume, biogeographische Regionen, BLN-Gebiete, Moorlandschaften.

Die einzelnen Trennelemente werden immer als komplett trennend betrachtet, d.h. diese Barrieren werden nicht überquert. Damit ist das Mass nicht auf eine bestimmte Tierart ausgerichtet. Man könnte das Verfahren für einzelne Tierarten anpassen und jedem Trennelement eine bestimmte Querungswahrscheinlichkeit zuordnen, die vom Verkehrsaufkommen, der Art des Verkehrsweges und der Tierart abhängig wäre. Wenn man den einzelnen Flächen zwischen den Trennelementen auch noch eine Habitateignung für diese Tierart zuordnen würde, wäre das Modell ideal für eine bestimmte Tierart angepasst (siehe Abschnitt 4.3.4). Da wir aber Aussagen zur generellen Landschaftszerschneidung machen möchten und nicht nur zu einer Tierart, bleiben wir beim groben Modell. Zudem wäre eine Verfeinerung des Modells sehr aufwändig.

2.1.2 Aktueller Zustand

Als Trennelemente haben wir je nach Zerschneidungsgeometrie Strassen, Bahnlinien, Siedlungs- und Industrieflächen sowie die geogene Zerschneidung durch Flüsse, Seen und das Gebirge (> 2100 m ü. M., siehe Abschnitt 2.3) berücksichtigt. Auch der Einbezug von land- und forstwirtschaftlichen

² Bei dieser Bezeichnung ist nicht berücksichtigt, dass die Waldflächen in der Schweiz nicht verringert werden dürfen und daher prinzipiell ebenfalls nicht als besiedelbar verfügbar sind.

Strassen und Wegen wäre möglich und für bestimmte Auswertungen sinnvoll, z.B. zum Landschaftscharakter, übersteigt jedoch den Rahmen dieser Studie.

Tabelle 4: Berücksichtigung von Linienobjekten in den vier Zerschneidungsgeometrien.

Element	Objectval (VECTOR25)	Berücksichtigung in Zerschneidungsgeometrie			
		1	2	3	4
Strassennetz					
Autobahn	Autobahn	Ja	Ja	Ja	Ja
Autobahn richtungstrennt	Autob_Ri	Ja	Ja	Ja	Ja
Autostrasse	Autostr	Ja	Ja	Ja	Ja
Autobahn Ein-/Ausfahrt	Ein_Ausf	Ja	Ja	Ja	Ja
1. Klass-Strasse	1_Klass	Ja	Ja	Ja	Ja
2. Klass-Strasse	2_Klass	Ja	Ja	Ja	Ja
3. Klass-Strasse	3_Klass	Ja	Nein	Ja	Ja
4. Klass-Strasse	4_Klass	Nein	Nein	Nein	Nein
5. Klass-Strasse	5_Klass	Nein	Nein	Nein	Nein
6. Klass-Strasse	6_Klass	Nein	Nein	Nein	Nein
Quartierstrasse	Q_Klass	Ja	Nein	Ja	Ja
Historischer Weg / Strasse	Histweg	Nein	Nein	Nein	Nein
Panzerpiste	PzPiste	Nein	Nein	Nein	Nein
Parkweg	Parkweg	Nein	Nein	Nein	Nein
Alleinstehende Brücke	BrueckLe	Nein	Nein	Nein	Nein
Alleinstehende Brücke gedeckt	GedBruLe	Nein	Nein	Nein	Nein
Alleinstehender Steg	StegLe	Nein	Nein	Nein	Nein
Eisenbahnnetz					
Güterbahn	Gt_Bahn	Ja	Ja	Ja	Ja
Industriegeleise	I_Geais	Ja	Ja	Ja	Ja
Museumsbahn	MS_Bahn	Ja	Ja	Ja	Ja
Normalspurbahn eingleisig	NS_Bahn1	Ja	Ja	Ja	Ja
Normalspurbahn mehrgleisig	NS_Bahn2	Ja	Ja	Ja	Ja
Schmalspurbahn eingleisig	SS_Bahn1	Ja	Ja	Ja	Ja
Schmalspurbahn mehrgleisig	SS_Bahn2	Ja	Ja	Ja	Ja
Strassenbahn	Str_Bahn	Ja	Ja	Ja	Ja
Streckenverknüpfung innerhalb des Bahnhofareals	Str_Bhof	Ja	Ja	Ja	Ja
Gewässernetz					
Flüsse ¹	Fluss	Nein	Nein	Nein	Nein
Flussverlauf unterirdisch	Fluss_U	Nein	Nein	Nein	Nein
Bach ohne erkennbare Fliessrichtung	Kanal	Nein	Nein	Nein	Nein
Druckleitung einfach ²	Druckl_1	Ja	Ja	Ja	Ja
Druckleitung mehrfach ²	Druckl_2	Ja	Ja	Ja	Ja
Bach ¹	Bach	Nein	Nein	Nein	Nein
Bachverlauf unterirdisch	Bach_U	Nein	Nein	Nein	Nein

¹ Flüsse und Bäche sind, wenn sie als Linienobjekte dargestellt sind, in ZG 2 und ZG 3 nicht als Trennelemente berücksichtigt, sondern nur, wenn sie als Flächenobjekte erfasst sind, siehe Tabelle 5.

² Druckleitungen sind oberirdische Bauwerke.

Tabelle 5: Berücksichtigung von Flächenobjekten in den vier Zerschneidungsgeometrien.

Element	Objectval (VECTOR25)	Berücksichtigung in Zerschneidungsgeometrie			
		1	2	3	4
Primärflächen					
Fels	Z_Fels	Nein	Nein	Nein	Nein
Fluss	Z_Fluss	Nein	Ja	Ja	Nein
Geröll mit Gebüsch	Z_GerGeb	Nein	Nein	Nein	Nein
Geröll auf Gletscher	Z_GerGle	Nein	Nein	Nein	Nein
Geröll	Z_Geroel	Nein	Nein	Nein	Nein
Geröll in Wald	Z_GerWa	Nein	Nein	Nein	Nein
Geröll in offenem Wald	Z_GerWaO	Nein	Nein	Nein	Nein
Gletscher	Z_Glet	Nein	Nein	Nein	Nein
Graspiste	Z_GsPist	Nein	Nein	Nein	Nein
Piste mit Hartbelag	Z_HaPist	Ja	Ja	Ja	Ja
Kiesgrube	Z_KiGrub	Nein	Nein	Nein	Nein
Lehmgrube	Z_LeGrub	Nein	Nein	Nein	Nein
See	Z_See	Nein	Ja	Ja	Nein
Siedlung	Z_Siedl	Ja	Ja	Ja	Ja
Steinbruch	Z_StrBru	Nein	Nein	Nein	Nein
Staudamm	Z_StauDa	Ja	Ja	Ja	Ja
Staumauer	Z_StauMa	Ja	Ja	Ja	Ja
Übriges Gebiet	Z_Uebrig	Nein	Nein	Nein	Nein
Anlagen					
Bahnhofareal	Z_BhArea	Ja	Ja	Ja	Ja
Flughafenareal	Z_FlArea	Ja	Ja	Ja	Ja
Flughafenbahnhofareal	Z_FlugBh	Ja	Ja	Ja	Ja
Einzelobjekte					
Einzelgebäude	Geb_25_p	Nein	Nein	Nein	Nein
Abwasserreinigungsanlage	ARA	Nein	Nein	Nein	Nein
Antenne	Antenne	Nein	Nein	Nein	Nein
Aussichtsturm	AusTurm	Nein	Nein	Nein	Nein
Drehscheibe	Drehsch	Nein	Nein	Nein	Nein
Elektrizitätswerk	EiWerk	Nein	Nein	Nein	Nein
Hafen	Hafen	Nein	Nein	Nein	Nein
Hochkamin	Kamin	Nein	Nein	Nein	Nein
Reservoir	Reserv	Nein	Nein	Nein	Nein
Schiffsstation	Schiffst	Nein	Nein	Nein	Nein
Sendeanlage	SendeAnl	Nein	Nein	Nein	Nein
Ruine	Ruine	Nein	Nein	Nein	Nein
Turm	Turm	Nein	Nein	Nein	Nein
Wasserturm	W_Turm	Nein	Nein	Nein	Nein
Gebirge					
Höhenlagen über 2100 m	-	Nein	Ja	Ja	Nein

Der aktuelle Zustand der Landschaftszerschneidung in der Schweiz wird anhand der genauesten und aktuellsten gesamtschweizerischen zur Verfügung stehenden Daten erhoben. Dazu eignet sich das Produkt VECTOR25 des Bundesamtes für Landestopografie ideal.

VECTOR25 ist das digitale Landschaftsmodell der Schweiz, welches inhaltlich und geometrisch auf der Landeskarte 1:25'000 basiert. VECTOR25 gibt sämtliche Landschaftselemente im Vektorformat wieder und eignet sich damit speziell für den Einsatz in geographischen Informationssystemen (GIS). Sein Perimeter umfasst die ganze Schweiz und das angrenzende Ausland entsprechend der Landes-

karte 1:25'000 (BUNDESAMT FÜR LANDESTOPOGRAFIE 2004a). Die Tabellen 4 und 5 geben eine Übersicht über die für das Erstellen der Zerschneidungsgeometrien verwendeten Linien- und Flächenobjekte der Datengrundlagen im VECTOR25.

Führt ein Verkehrsweg durch einen Tunnel von mehr als 1 km Länge, so wird das Tunnelstück nicht als Barriere behandelt. Kürzere Tunnelstrecken werden gleich behandelt wie normale Verkehrswege. Brücken werden nicht speziell behandelt. Falls darüber eine Strasse führt, die Teil der Zerschneidungsgeometrie ist, so wird auch die Brücke als Zerschneidungselement betrachtet. Handelt es sich um eine schmalere Strasse (nicht berücksichtigt in der Zerschneidungsgeometrie), so gilt die Brücke nicht als zerschneidendes Element.

Der Layer „Z-Siedl“ (Tabelle 5) schliesst auch die Sport-, Freizeit- und Parkanlagen mit ein, die zwar nicht überbaut, aber doch stark anthropogen geprägte und meist intensiv genutzte Flächen sind. Eine genauere Unterscheidung von Flächenkategorien wird in Zukunft durch den vorgesehenen Einbezug des Gebäuderegisters des Bundesamtes für Statistik in das „Neue Topographische Landschaftsmodell“ der Swisstopo möglich sein, so dass bei Bedarf eine neue Zerschneidungsgeometrie definiert werden kann, die z.B. die Freizeit- und Parkanlagen nicht als Trennelement berücksichtigt.



Abbildung 9: Luftbild mit Zerschneidungselementen (links) und regelmässigem Raster (rechts).

Aus diesem Datenbestand (Tabellen 4 und 5) wurde für jede Zerschneidungsgeometrie ein Flächenmosaik, welches die Landesfläche der Schweiz überdeckt und als polygonbildende Grenzlinien die Ränder der Siedlungsflächen und Seen, die Flüsse, Schienenwege und Strassen (Autobahnen, Strassen 1. bis 3. Klasse) zusammenführt. Teilweise bildet zusätzlich die Landesgrenze technisch bedingt eine „künstliche Barriere“. Diese Verschneidungsaufgabe wurde mit *ArclInfo* durchgeführt.

Aufgrund der immensen Datenmenge und der grossen Anzahl an Polygonen, mussten alle Datenlayer als Coverage bearbeitet werden. *ArcMap* hat im Shape-Format nicht genügend Kapazität um solch komplexe Berechnungen korrekt auszuführen. Umwandlungen von Shape-Files in Coverage-Files müssen ebenfalls im *ArcInfo* durchgeführt werden und können vom *ArcCatalog* nicht korrekt gehandhabt werden. Der Teil des Flächenmosaiks, der nicht zur Siedlungsfläche oder den Seen (in Zerschneidungsgeometrie 2 und 3) gerechnet wird, liefert die gesuchten Flächen, die der Berechnung der effektiven Maschenweite zu Grunde liegen. Die Strassen werden durch Vektordaten mit der Breite 0 dargestellt, ihr realer Flächenbedarf wird bei den vorliegenden Daten nicht berücksichtigt. Dadurch wird der Wert der effektiven Maschenweite ein wenig überschätzt.

Auch der Einbezug von landwirtschaftlich intensiv genutzten Flächen in eine entsprechende Zerschneidungsgeometrie wäre prinzipiell möglich und sinnvoll, übersteigt jedoch den Rahmen dieser Studie. Allerdings sind dafür auch heute noch keine ausreichenden Daten verfügbar (erste Versuche zur Unterscheidung von extensiver und intensiver Landwirtschaft laufen zur Zeit im Rahmen der aktuellen Arealstatistik).

2.1.3 Historische Daten

Um die Landschaftszerschneidung früherer Zeitpunkte zu analysieren, ist aufgrund des Mangels an digitalen Daten zu historischen Zuständen die Digitalisierung historischer Karten notwendig. Dies ist mit hohem zeitlichem Aufwand verbunden. Der Aufwand lohnt sich aber, weil man aus der Entwicklung des Landschaftszerschneidungsgrades etwas über die Situation in der Vergangenheit, über aktuelle Entwicklungstrends und über die potenziell zu erwartende Entwicklung in der Zukunft aussagen kann.

Die Mehrzahl der Untersuchungen zur Landschaftszerschneidung weisen keine Zeitreihen auf (Bayern, Sachsen, Schleswig-Holstein, Kanton Aargau). Einzig die Untersuchungen aus Hessen (ab 1930, ROEDENBECK 2005a und 2005b), Baden-Württemberg (ab 1930; ESSWEIN et al. 2002) und Thüringen (ab 1965; THÜRINGER LANDESANSTALT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE 2004) liefern Zeitreihen zur Landschaftszerschneidung. In unsere Untersuchung wird eine Zeitreihe von 1885 bis heute in 5 Zeitschnitten (1885, 1935, 1960, 1980, 2002) ermittelt. Dies ist die längste je erhobene Zeitreihe zur Zerschneidung.

Dazu werden topografische Karten verwendet: Landeskarten für die Zeitschnitte 1935, 1960 und 1980 sowie die Dufourkarte für den Zeitschnitt 1885³ (Tabelle 6). Dabei wurde zuerst die aktuelle Zerschneidungsgeometrie (2002) aufgrund der VECTOR25-Daten erstellt (Tabelle 4).

Jedes Blatt der historischen Karten wurde eingescannt und georeferenziert, so dass sie im richtigen Längen- und Breitengrad liegen. Hinter die aktuelle Zerschneidungsgeometrie wurden die alten gescannten Blätter der Landeskarten gelegt. Dabei wurden die auf dem Kartenhintergrund nicht abgebildeten Strassen, Bahnlinien und Siedlungen aus der neuen Zerschneidungsgeometrie entfernt. Änderungen von Siedlungsrändern und neue Linienführungen von Verkehrswegen wurden in die neue Zerschneidungsgeometrie integriert. Dieses „Rückwärtsdigitalisieren“ erlaubt ein relativ effizientes Vorgehen beim Erstellen der Zerschneidungsgeometrien für historische Zeitschnitte. So wurde aufgrund der Zerschneidungsgeometrie von 2002 die Situation für 1980 und daraus jene von 1960 usw. erstellt.

Wichtig ist hierbei, dass die Digitalisierungsarbeiten immer von derselben Person nach einheitlichen Kriterien ausgeführt werden. Von besonders grosser Bedeutung ist dies z.B. bei der Abgrenzung von Siedlungsgebieten für historische Zustände. Als Grundlage für die Generalisierung diente die Anleitung der SCHWEIZERISCHEN GESELLSCHAFT FÜR KARTOGRAPHIE (2002).

³ Der Zeitschnitt 1885 wurde gewählt, weil es dazu eine flächendeckende Dufourkarte gibt, die in den Jahren 1884 bis 1886 erhoben wurde (Ausnahme: Blatt Mattertal im Jahr 1869).

Tabelle 6: Zeitschnitte der Zeitreihe zur Landschaftszerschneidung in der Schweiz und die verwendete Datengrundlage.

Zeitschnitt	Datengrundlage
2002	VECTOR25 (basierend auf den Landeskarten 1:25'000 der Jahre 1996-2002)
1980	Landeskarte 1:100'000: Basel – 26: 1980 / Beromünster – 32: 1982 / Besançon – 30: 1982 / Biel/Bienne – 31: 1982 / Bodensee – 28: 1982 / Brünigpass – 37: 1981 / Col du Pillon – 41: 1981 / Flüelapass – 39: 1979 / Le Léman – 40: 1980 / Lindau – 28 bis: 1978 / Malojapass – 44: 1979 / Monte Rosa – 47: 1977 / Oberwallis – 42: 1981 / Panixerpass – 38: 1979 / Saane/Sarine – 36: 1981 / Sopra Ceneri – 43: 1977 / Sotto Ceneri – 48: 1977 / Toggenburg – 33: 1978 / Val de Bagnes – 46: 1977 / Vallorbe – 35: 1980 / Vorarlberg – 34: 1978
1960	Landeskarte 1:100'000: Basel – 26: 1958 / Beromünster – 32: 1959 / Besançon – 30: 1962 / Biel/Bienne – 31: 1958 / Bodensee – 28: 1966 / Bözberg – 27: 1959 / Brünigpass – 37: 1957 / Col du Pillon – 41: 1960 / Flüelapass – 39: 1962 / Le Léman – 40: 1959 / Lindau – 28 bis: 1963 / Malojapass – 44: 1964 / Monte Rosa – 47: 1965 / Oberwallis – 42: 1959 / Panixerpass – 38: 1963 / Saane/Sarine – 36: 1960 / Sopra Ceneri – 43: 1959 / Sotto Ceneri – 48: 1961 / Toggenburg – 33: 1962 / Val de Bagnes – 46: 1963 / Vallorbe – 35: 1962 / Vorarlberg – 34: 1964
1935	Dufourkarte 1:100'000: Basel – Belfort/Basel – 2: 1932 / Beromünster – Aarau/Luzern/Zug/Zürich – 8: 1933 / Besançon – Besançon/Le Locle – 6: 1936 / Biel/Bienne – Porrentruy/Solothurn – 7: 1931 / Bodensee – Frauenfeld/St. Gallen – 4: 1930 / Bözberg – Liestal/Schaffhausen – 3: 1934 / Brünigpass – Interlaken/Sarnen/Stans – 13: 1934 / Col du Pillon – Vevey/Sion – 17: 1934 / Flüelapass – Davos/Martinsbruck – 15: 1935 / Le Léman - Genf/Lausanne – 16: 1935 / Lindau – Rheineck – 5: 1930 / Malojapass – Sondrio/Bormio – 20: 1935 / Monte Rosa – Domo D'ossola/Arona – 23: 1926 / Oberwallis – Brig/Airolo – 18: 1933 / Panixerpass – Altdorf/Chur – 14: 1933 / Saane/Sarine – Fribourg/Bern – 12: 1931 / Sopra Ceneri Mellinzona/Chiavenna – 24: 1936 / Sotto Ceneri – Lugano/Como – 23: 1935 / Toggenburg – Schwyz/Glarus/Appenzell/Sargans – 9: 1934 / Val de Bagnes – Martigny/Aoste – 22: 1933 / Vallorbe – Pontarlier/Yverdon – 11: 1936 / Vorarlberg – Feldkirch/Arlberg – 10: 1934
1885	Dufourkarte 1:100'000 Gesamtnachführung 1884-1886 ausser Blatt Monte Rosa – Domo D'ossola/Arona – 23: 1869

Beim Rückwärtsdigitalisieren wurde die Lage der geogenen Zerschneidungselemente (Flüsse, Seen und Gebirge) nicht verändert. Deren Lage basiert also auf den aktuellen VECTOR25-Daten. Überdies wurde davon ausgegangen, dass das Gebirge in den Zerschneidungsgeometrien 2 und 3, das aufgrund aktueller Daten ausgeschieden wurde, auch zu früheren Zeitpunkten gleich angeordnet war. Ausnahmen von dieser Regel wurden nur gemacht, wenn die Änderungen im Kartenbild auf menschliche Eingriffe zurückzuführen waren. Beispiele für solche Eingriffe sind alle Staueisen und Gewässerkorrekturen, die im Verlauf der Untersuchungsperiode erstellt wurden. Anstelle eines Staueisens wurden demnach die Verhältnisse (Flusslauf, evtl. Strassen und Siedlungen) digitalisiert, wie sie vor dem Bau dieser bestimmten Anlagen vorgefunden wurden.

Die bei der Rückwärtsdigitalisierung berücksichtigten Signaturen (Strassenkategorien, Siedlungen, Eisenbahnen etc) sind in allen verwendeten Datensätzen (VECTOR25, Landeskarte 1:100'000 und Dufourkarte) in ausreichender Genauigkeit und Konstanz vorhanden.

Bei der Rückwärtsdigitalisierung wurde von den Daten des VECTOR25 ausgegangen. In den früheren Zeitschnitten wurde jedoch im Massstab 1:100'000 digitalisiert. Durch die Generalisierung der Signaturen in diesem unterschiedlichen Massstab ergab sich eine nicht vermeidbare, kleine Ungenauigkeit. Dieser Fehler ist jedoch nur bei den Siedlungsrändern von einiger Bedeutung⁴. Die Generalisierung von Einzelgebäuden unterscheidet sich zwischen den Landeskarten 1:100'000 und den Dufourkarten in grösserem Masse. Teilweise waren in den Dufourkarten mehr Einzelgebäude geringerer Fläche (Scheunen, Ställe etc.) erfasst als in den Landeskarten. Diese zusätzlichen „Siedlungsflächen“ wurden jedoch nicht als solche erfasst, da davon ausgegangen wurde, dass in früheren Zeitschnitten keine grösseren Siedlungsflächen vorhanden waren als zu späteren Zeitschnitten. In den Dufourkarten von 1885 ist eine genaue Digitalisierung der Änderungen der Grenzen von kleinen Siedlungen aufgrund anderer Generalisierung, Projektion der Karte und Genauigkeit der ursprünglichen Aufnahmen

⁴ Als zu einer Siedlungsfläche zugehörend wurden Einzelgebäude erfasst, wenn sie mindestens zu dritt in einem engen baulichen Zusammenhang dargestellt wurden. Diese Zuordnung zu den Siedlungsflächen wurde analog zu dem Siedlungsflächenlayer des VECTOR25 vorgenommen. Problematisch ist dieses Kriterium vor allem in Streusiedlungsgebieten.

schwierig bis unmöglich. Da jedoch diese Änderungen nur einen kleinen Anteil an der Gesamtfläche der kleinen Siedlungen besitzen und diese wiederum auch nur einen kleinen Anteil an der gesamten Siedlungsfläche der Schweiz besitzen, ist der resultierte Gesamtfehler vernachlässigbar (~ 1-2% der Siedlungsfläche, ~ 0.07-0.14% der Fläche der Schweiz).

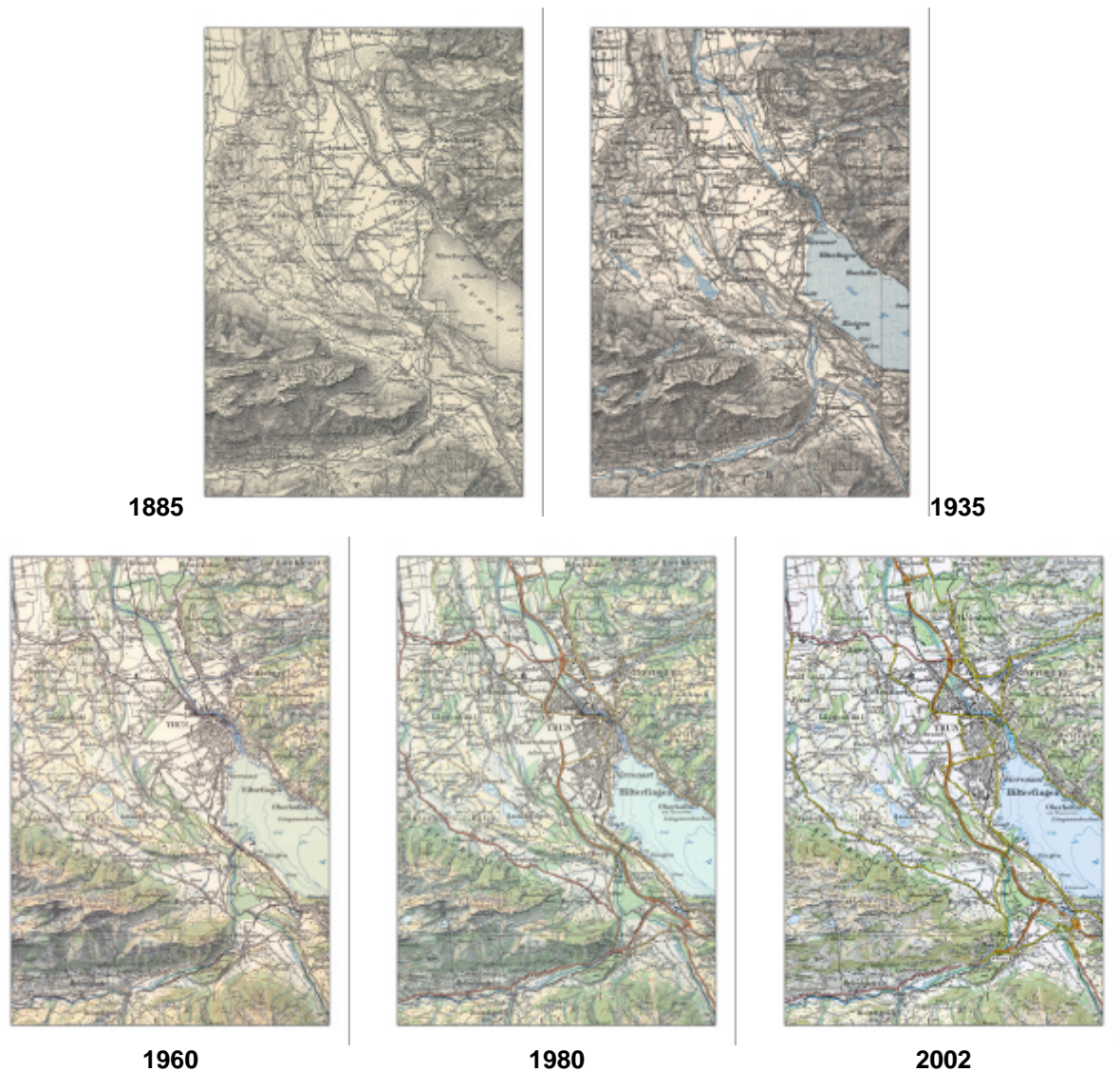


Abbildung 10: Grundlagen für die Zerschneidungsanalyse (Beispiel): Kartenausschnitte der Region Thun, die den Berechnungen für die jeweiligen Zeitpunkte zugrunde liegen (reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA071415)).

Bei den Strassen und Eisenbahnlinien ergaben sich sowohl bei den Landeskarten 1:100'000, als auch bei den Dufourkarten keine Probleme der Rückdigitalisierung. Diese linearen Zerschneidungselemente sind im Rahmen der Auflösung der jeweiligen Karte lagegenau und mussten nur in Einzelfällen neu digitalisiert werden. Als einzelnes Problem bei den geringklassigen Strassen stellte sich jedoch deren teilweise unterschiedliche Klassierung heraus. In landwirtschaftlich genutzten Flächen oder Wäldern mit vielen 3.- oder 4.-Kl.-Strassen wird die Klassierung anhand des Unterhaltes vorgenommen. Dieser Unterhalt kann in verschiedenen Zeitschnitten unterschiedlich ausfallen und somit die Klassenzugehörigkeit einer Strasse ändern, obwohl ihr Ausbauzustand sich nicht geändert hat. Somit kann in kleinen Teilräumen die effektive Maschenweite in Einzelfällen eine Entwicklung abbilden, die stark von solchen Klassierungen abhängt (siehe auch Abschnitt 4.3.2).

Quartierstrassen sind in den Landeskarten 1:100'000 und Dufourkarten nicht als solche vermerkt⁵. Sie sind jedoch im VECTOR25 als Verbindungselemente zwischen Strassenabschnitten ausserhalb der Siedlungsgrenzen nötig, um ein geschlossenes Verkehrsnetz zu erhalten. In den älteren Karten sind sie als 3.-Kl.-Strassen vermerkt. Somit ergaben sich hier keine Probleme bei der Rückdigitalisierung.

Mit dem Datensatz VECTOR25 gab es jedoch auch vereinzelte Probleme. Beim Vergleichen mit eingescannten Landeskarten konnte festgestellt werden, dass die digitalen Karten nicht immer identisch generalisiert worden sind. Es liegt der Verdacht nahe, dass durch verschiedene Bearbeiter der einzelnen Kartenblätter unterschiedliche „Genauigkeiten“ entstanden sind. Überdies sind einzelne Elemente, die zerschneidungswirksam sind und in Realität existieren, im VECTOR25 nicht vorhanden. So ist im VECTOR25 (Jahr 2003) die Passstrasse über den Lukmanier aus unerfindlichen Gründen nicht geschlossen, sie hat also eine Lücke. Das bedeutet, dass eine Fläche von 2060 km² (die eigentlich zerschnitten sein sollte) nicht als zerschnitten erkannt wird. Dies haben wir für unsere Berechnung korrigiert.

2.2 Datenauswertungen

Die Auswertung der Daten lehnt sich an das Vorgehen von ESSWEIN et al. (2002) für Baden-Württemberg an. Dieses Kapitel stellt die Formel für die Berechnung der effektiven Maschenweite, die übrigen Messgrössen (Anzahl unzerschnittener Räume, die z.B. grösser als 50 oder 100 km² sind, n_{UVR}), die verschiedenen Berechnungsverfahren und das eingesetzte GIS-Tool vor.

2.2.1 Berechnung der effektiven Maschenweite m_{eff}

Zur Quantifizierung der Landschaftszerschneidung gibt es in der Fachliteratur eine Reihe von Vorschlägen. Einfache Zerschneidungskarten für die Schweiz publizierte bereits FISCHBACHER (1995). Die meisten Methodenvorschläge haben jedoch mehr oder weniger erhebliche Mängel oder sind nur unter engen Einschränkungen gültig, oft bedingt durch eine unzureichende Unterscheidung der Begriffe „Zerschneidung“ und „Heterogenität“ (für Methodenübersicht und -vergleich siehe JAEGER 2002).

Die Ermittlung der Landschaftszerschneidung erfolgt hier mit dem Zerschneidungsmass „effektive Maschenweite“. Die effektive Maschenweite m_{eff} wurde von Jochen Jaeger im Rahmen seiner Dissertation am Departement für Umweltnaturwissenschaften der ETH Zürich entwickelt (JAEGER 1999, 2000) und erstmals in Baden-Württemberg angewendet (JAEGER et al. 2001). Sie wird im regelmässig erscheinenden *Statusbericht zur Nachhaltigen Entwicklung in Baden-Württemberg* als Indikator im Bereich Biodiversität und im Umweltbericht von Baden-Württemberg eingesetzt (RENN et al. 2000a, 2000b, LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTEMBERG & STATISTISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTEMBERG 2003, UMWELTMINISTERIUM BADEN-WÜRTEMBERG & LANDESANSTALT FÜR UMWELT, MESSUNGEN UND NATURSCHUTZ BADEN-WÜRTEMBERG 2006). Diese Messgrösse hat mehrere Vorteile gegenüber anderen Verfahren (Exkurs 4):

- Die Methode beachtet sämtliche im „Netz“ der Infrastrukturtrassen und Siedlungsgebiete verbleibenden Flächen und berücksichtigt sie entsprechend ihrer Grösse.
- Das Verfahren vermittelt eine rasche vergleichende Einschätzung von verschiedenen Landschaftsräumen anhand eines quantitativen Masses und ermöglicht eine einfache Ermittlung der Trendentwicklung durch die Angabe einer Zeitreihe für das untersuchte Gebiet (Monitoring-Funktion).
- Die Methode ist durch die systematische Überprüfung anhand von Eignungskriterien wissenschaftlich abgesichert (JAEGER 2000, 2002, ESSWEIN et al. 2003).

Die effektive Maschenweite ist geeignet, die Zerschneidung von Gebieten unterschiedlicher Gesamtgrösse und mit differierenden Siedlungs- und Verkehrsflächenanteilen zu vergleichen.

⁵ Die Quartierstrassen sind auch in der LK25 erst seit etwa 1997 separat ausgeschieden und können daher auch bei einer Beschränkung auf die LK25 nicht für die Vergangenheit ermittelt werden.

Exkurs 4: Definition der effektiven Maschenweite m_{eff}

Die Definition von m_{eff} erfolgt über den Kohärenzgrad C :

Der Kohärenzgrad C gibt die Wahrscheinlichkeit dafür an, dass sich zwei Tiere derselben Art, die an zufällig gewählten Orten (und unabhängig voneinander) im betrachteten Gebiet ausgesetzt werden, einander begegnen können. Diese ist, wenn die Tiere die Barrieren nicht überqueren können, gleich der Wahrscheinlichkeit dafür, dass sich zwei Tiere, welche vor der Zerschneidung ungehindert und unabhängig voneinander im gesamten Gebiet fortbewegen konnten, in derselben Fläche befinden, wenn zu einem zufälligen Zeitpunkt das Netz der zerschneidenden Linien und Flächen über das Gebiet gelegt wird.

Die effektive Maschenweite m_{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 Begegnungswahrscheinlichkeit C dafür ergibt, dass sich zwei (an zufällig gewählten Orten) ausgesetzte Tiere begegnen können, wie für das untersuchte Gebiet.

Wenn die Barrieren zwischen den Flächen für die betrachtete Tiergruppe unüberwindbar sind und die Begegnungswahrscheinlichkeit der Tiere innerhalb einer jeden Fläche gleich 1 gesetzt wird, ist dies gleich der Wahrscheinlichkeit, dass zwei zufällig ausgewählte Punkte innerhalb derselben unzerschnittenen Fläche liegen. Eine kurze Rechnung (siehe z.B. JAEGER 2001) führt für diesen Fall auf die einfachen Formeln:

$$C = \sum_{i=1}^n \left(\frac{F_i}{F_g} \right)^2 \quad \text{und} \quad m_{\text{eff}} = \frac{1}{F_g} \sum_{i=1}^n F_i^2$$

mit n = Zahl der verbleibenden Freiflächen, F_i = Flächeninhalt von Fläche i , F_g = Gesamtfläche der untersuchten Region, welche in n Flächen oder *patches* zerteilt wurde.

Die Wahl dieser Definition ist durch mehrere Punkte begründet:

1. Einfachheit: Das Aussetzen von zwei Individuen ist eine möglichst einfache Modellvorstellung, um die Zerschneidungssituation durch eine Wahrscheinlichkeit zu kennzeichnen; weitere Individuen sind dafür nicht nötig, ein Individuum allein ist nicht hinreichend.
2. Transparenz: Die Definition der effektiven Maschenweite ist transparent und gut nachvollziehbar, da die Betrachtung der Begegnungswahrscheinlichkeit durch die mathematische Formel direkt umgesetzt wird: Die Wahrscheinlichkeit, dass das erste Tier in Fläche 1 ist, beträgt F_1/F_g . Die Wahrscheinlichkeit, dass das zweite Tier in Fläche 1 ist, beträgt ebenfalls F_1/F_g . Die Wahrscheinlichkeit, dass beide Tiere *zugleich* in Fläche 1 sind (und sich daher begegnen können), ist somit $(F_1/F_g)^2$. Die Wahrscheinlichkeiten werden für alle Flächen 1 bis n aufaddiert:

$$\left(\frac{F_1}{F_g} \right)^2 + \left(\frac{F_2}{F_g} \right)^2 + \left(\frac{F_3}{F_g} \right)^2 + \dots + \left(\frac{F_n}{F_g} \right)^2 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{F_i}{F_g} \right)^2.$$

Damit dieser Wert mit den Werten von anderen Gebieten (die eine andere Gesamtfläche haben können) vergleichbar wird, wird die Begegnungswahrscheinlichkeit anschliessend noch in die Grösse einer Fläche – die effektive Maschenweite – umgerechnet. Es zeigt sich, dass man dies durch die Multiplikation mit F_g erreicht (siehe JAEGER 2001, 2002). Dies liefert die obige Formel für m_{eff} , denn es gilt

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

3. Anschauliche Interpretation als Überlebensbedingung: m_{eff} ist direkt interpretierbar als ein Faktor, der die Überlebensfähigkeit von Tieren beeinflusst, denn die Begegnungsmöglichkeit von Tieren ist Voraussetzung für ihre Fortpflanzung und damit für das Überleben einer Art (sowie für den Genaustausch in einer Metapopulation).
4. Mathematische Eigenschaften: m_{eff} hat mehrere sehr vorteilhafte mathematische Eigenschaften; z.B. ist m_{eff} unempfindlich gegenüber dem Einbezug oder Weglassen kleiner und kleinster Restflächen, und das Mass ist aufgrund seiner mathematischen Eigenschaften für den Vergleich unterschiedlich grosser Gebiete geeignet.
5. Berücksichtigung der Struktur des Verkehrs- und Siedlungsnetzes: Im Gegensatz zur Verkehrsliniendichte und zur Durchschnittsgrösse der Flächen bringt m_{eff} Veränderungen in der räumlichen Anordnung der Verkehrsstrecken zum Ausdruck (z.B. eine Bündelung von Verkehrslinien).

Der Maximalwert der effektiven Maschenweite wird erreicht für ein vollkommen unzerschnittenes Gebiet; der Wert von m_{eff} ist dann gleich der Grösse des Gebietes (und $C = 1$). Wird ein Gebiet in n gleich grosse Teile zertrennt, so ist der Wert von m_{eff} gleich der Grösse dieser Teilräume. (m_{eff} ist allerdings im allgemeinen nicht gleich der Durchschnittsgrösse der verbleibenden Flächen.) Der minimale Wert von m_{eff} ist 0 km^2 ; erreicht wird er, wenn ein Gebiet vollständig von Verkehrs- und Siedlungsfläche überdeckt wird.

Die Beschreibungs-idee, die der effektiven Maschenweite zugrunde liegt, lautet: Das Zerschneidungsmass ist ein Ausdruck für die Möglichkeit, dass sich zwei Tiere derselben Art, die zufällig (und unabhängig voneinander) im betrachteten Gebiet ausgesetzt werden, begegnen können. Je mehr Barrieren in die Landschaft eingefügt werden, umso geringer wird die Begegnungswahrscheinlichkeit.

Die Vorteile dieser Modellvorstellung liegen in ihrer Einfachheit und Transparenz, ihrer Anschaulichkeit als Überlebensbedingung für die Tierarten und den mathematischen Eigenschaften des resultierenden Masses. Für das Überleben von (Meta-)Populationen und einen ausreichenden Genaustausch ist eine Begegnungsmöglichkeit von Tieren derselben Art notwendig.

Der systematische Vergleich der effektiven Maschenweite mit anderen Massen anhand von neun Eignungskriterien zeigt, dass m_{eff} uneingeschränkt als Zerschneidungsmass interpretierbar ist, während die übrigen Messgrößen in ihrer Eignung mehr oder weniger stark beschränkt sind (JAEGER 2002). m_{eff} erfüllt ausserdem die wissenschaftlichen, funktionalen und pragmatischen Anforderungen an Naturschutzindikatoren⁶ in hohem bis sehr hohem Masse (ESSWEIN et al. 2003). Als Trennelemente werden bei der Studie in Baden-Württemberg Autobahnen, Landesstrassen, Kreisstrassen, Gemeindestrassen (Vergleich mit bzw. ohne 3.-Klass-Strassen), Bahnlinien, Flüsse (ab 6 m Breite), Siedlungsflächen und Seen berücksichtigt (Gebirge kommen nicht vor).

2.2.2 Effektive Maschendichte s_{eff}

Ebenfalls gut geeignet für den Vergleich der Zerschneidung von Gebieten unterschiedlicher Gesamtgrösse sowie mit differierenden Anteilen von Siedlungs- und Verkehrsfläche ist die effektive Maschendichte (oder Zerstückelungsdichte) $s = 1/m_{\text{eff}}$. Sie gibt die Dichte der Netzmaschen an (vgl. Abbildung 11), d.h. die Anzahl von Flächen gleicher Grösse pro 1000 km², in die das untersuchte Gebiet zu zerteilen wäre, so dass die Wahrscheinlichkeit dafür, dass zwei zufällig ausgewählte Orte in derselben Fläche liegen, denselben Wert hat (vgl. Exkurs 4) wie für jene Situation im Untersuchungsgebiet. Effektive Maschendichte und Maschenweite enthalten also die gleiche Information. Der Wert der effektiven Maschendichte steigt, wenn die Landschaftszerschneidung zunimmt (JAEGER 2003). Die effektive Maschendichte hat Vorteile für die Interpretation (siehe Abschnitt 4.4), daher werden in Kapitel 3 Zeitreihen für beide Grössen dargestellt. Als Einheit kann wahlweise die Zahl der Maschen pro 100 km², pro 1000 km² oder pro 10'000 km² angegeben werden (1 Masche / 100 km² = 10 Maschen / 1000 km² = 100 Maschen / 10'000 km²).

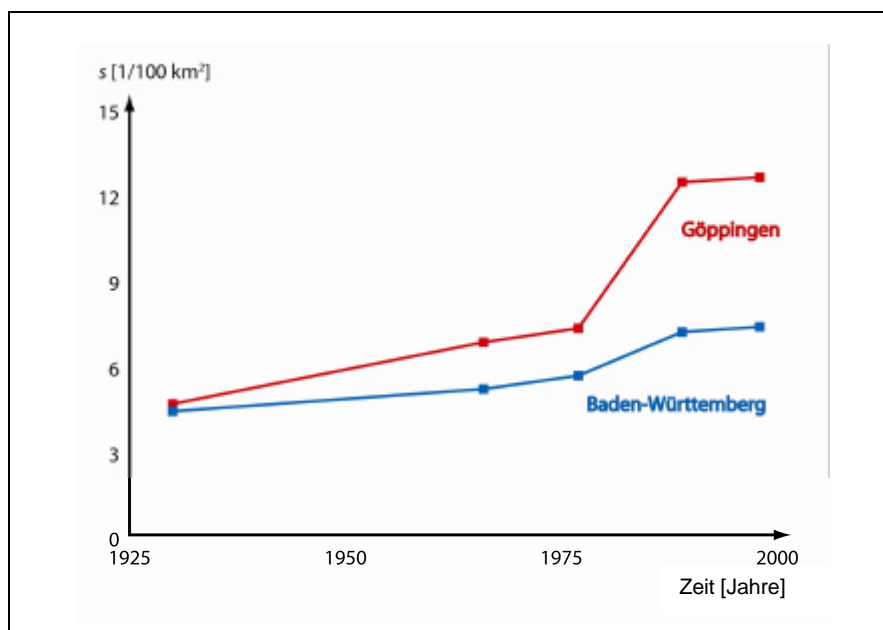


Abbildung 11: Die Landschaftszerschneidung in Göppingen (Landkreis in Baden-Württemberg) dargestellt mit der effektiven Maschendichte (Daten aus ESSWEIN et al. 2002).

⁶ Die wissenschaftlichen Anforderungen sind: Problemrelevanz, Transparenz, Reproduzierbarkeit, Berücksichtigung ökologischer Zusammenhänge; die funktionalen Anforderungen sind: Verständlichkeit, umweltpolitische Relevanz, Existenz von Zeitreihen, internationaler Kontext; und die pragmatischen Anforderungen sind: vertretbarer Aufwand, Datenverfügbarkeit, Bezug zu Zielaussagen.

2.2.3 Anzahl und Flächenanteil unzerschnittener verkehrsarmer Räume n_{UVR}

Das in Deutschland bisher am häufigsten verwendete Mass für die Landschaftszerschneidung sind die Anzahl n_{UVR} und der Flächenanteil der unzerschnittenen Räume grösser als 100 km^2 (LASSEN 1979, BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ 1999). Das Bundesamt für Naturschutz in Deutschland definiert die „unzerschnittenen verkehrsarmen Räume“ (UVR) dadurch, dass sie abgegrenzt sind durch Strassen ausserorts, die eine Verkehrsmenge von über 1000 Fahrzeugen im 24-Stunden-Mittel aufweisen, sowie durch Eisenbahntrassen, sofern diese nicht im UVR enden. Dieses Mass ist sehr einfach und anschaulich und hat einen geringen Datenbedarf. Es wird jedoch seit längerem deutlich kritisiert (z.B. BUND/MISEREOR 1996). Die Schwächen der Anzahl der UVR als Mass für die Landschaftszerschneidung sind:

- Die Zerteilung eines 500 km^2 grossen Raumes in zwei Gebiete von je 250 km^2 führt zur Erhöhung von n_{UVR} und zeigt somit fälschlicherweise eine Verbesserung der Situation an (mehr UVR).
- Die Verkleinerung einer Fläche von z.B. 150 km^2 auf 110 km^2 wird nicht registriert.
- Veränderungen bei den Flächen, die kleiner als 100 km^2 sind, werden nicht berücksichtigt.

Die Anzahl der UVR ist daher ohne die Angabe zum Flächenanteil der UVR irreführend (JAEGER 2004).

Zahl und Flächenanteil der UVR eignen sich zwar bei oberflächlicher Betrachtung gut zu Kommunikations- und Illustrationszwecken, als Messgrössen für den Zerschneidungsgrad eignen sie sich jedoch relativ schlecht, da sie nicht ausreichend sensitiv sind, vor allem werden Veränderungen bei den Flächen, die kleiner als 100 km^2 sind, und bei Flächen, die grösser als 100 km^2 sind (nach der Zerschneidung), nicht berücksichtigt (ESSWEIN et al. 2003). Daher ist diese Messgrösse nicht nur für Gebiete, in denen keine Flächen $> 100 \text{ km}^2$ mehr vorhanden sind, problematisch, sondern auch für Gebiete, in denen es zwar noch Flächen $> 100 \text{ km}^2$ gibt, diese aber in der Zukunft voraussichtlich nicht mehr verändert werden. Dies ist z. B. in Hessen der Fall (ESSWEIN & SCHWARZ-VON RAUMER 2004). Dort gibt es, je nach gewählter Zerschneidungsgeometrie, nur noch eine, zwei oder drei Flächen $> 100 \text{ km}^2$, für die eine weitere Zerschneidung aber nicht zu erwarten ist, sondern die kleineren Flächen werden von neuen Zerschneidungen betroffen sein. Das Problem wird auch in grossen Bundesländern wie Baden-Württemberg deutlich, wenn man die Zeitreihe für die UVR seit 1930 mit der Zeitreihe für die effektive Maschenweite vergleicht (JAEGER 2004): Der Flächenanteil der UVR $> 100 \text{ km}^2$ gibt die Entwicklung der Landschaftszerschneidung seit 1977 nicht wieder. Ausserdem haben die Flächen $> 100 \text{ km}^2$ seit 30 Jahren nur noch einen Anteil von weniger als 5% an der Landesfläche.⁷ Eine Verwendung der UVR bedeutet daher, dass man die Information darüber, was auf diesem geringen Anteil der Landesfläche geschieht, als Aussage über das ganze Bundesland einsetzt, wobei das Geschehen auf allen anderen Flächen vernachlässigt wird. Solche Daten bilden daher keine belastbare Grundlage gemäss den Anforderungen an Messgrössen für die Landschaftszerschneidung.

Trotz dieser Bedenken wird diese Grösse wegen ihrer Einfachheit und der Vergleichsdaten aus anderen Regionen, auch für die Schweiz errechnet; dabei interessieren uns die Anzahl und der Flächenanteil unzerschnittener Räume grösser als 100 km^2 und grösser als 50 km^2 .

Da wir nicht das Kriterium der 1000 Fahrzeuge anwenden (d.h. dass die Flächen abgegrenzt sind durch Strassen ausserorts, die eine Verkehrsmenge von über 1000 Fahrzeugen im 24-Stunden-Mittel aufweisen), verwenden wir die Abkürzung UZR_{100} und UZR_{50} für „unzerschnittene Räume grösser als 100 km^2 bzw. 50 km^2 “. Allerdings ist die Bezeichnung „unzerschnittener Raum“ nicht glücklich, sondern euphemistisch, da z.B. in den Alpen ein vormals unzerschnittener Raum von 2000 km^2 heute in 10 Flächen von je 200 km^2 zerstückelt worden sein kann, diese 10 Flächen aber dann in der Kategorie der „unzerschnittenen Räume grösser als 100 km^2 “ aufgelistet werden.

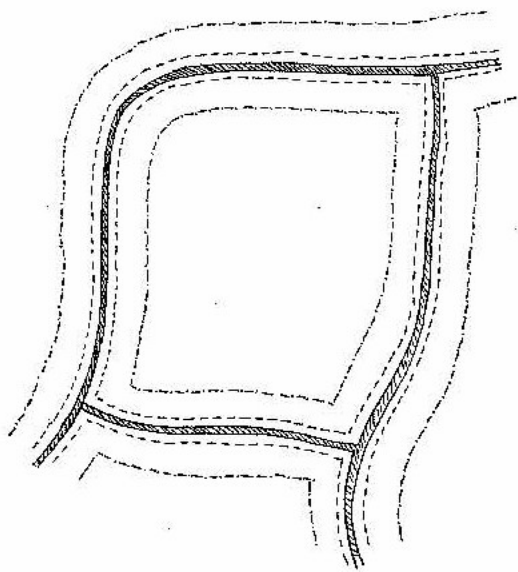
In der Schweiz wurden viele sehr grosse Flächen (grösser als 1000 km^2) im Alpenraum in Flächen $> 100 \text{ km}^2$ zerteilt. Diese Zerschneidung wird jedoch durch den Flächenanteil der UVR bzw. UZR nicht registriert. Die Entwicklung der Landschaftszerschneidung in der Schweiz wird daher durch den

⁷ Diese Aussagen gelten für den Fall, dass die Flächen gemäss der Strassenkategorie und nicht nach dem Kriterium der 1000 Kfz abgegrenzt werden (d.h. dass sie abgegrenzt sind durch Strassen ausserorts, die eine Verkehrsmenge von über 1000 Fahrzeugen im 24-Stunden-Mittel aufweisen).

Flächenanteil der UZR beschönigend dargestellt (siehe Abschnitt 3.2.1). Dies ist bei der Verwendung und Interpretation der Werte zu beachten.

EXKURS 5: Verkehrsstärke, Lärm und Lärmbänder

Für alle lärmempfindlichen Tierarten ist die Verkehrsstärke ein zusätzliches Kriterium, mit dem sich die Einschränkung und Verkleinerung ihres Lebensraumes abschätzen lässt. Ihr Lebensraum wird durch die Lärmbelastung stark beeinträchtigt, und die Habitatqualität der Flächen sinkt deutlich ab. RECK et al. (2001) sprechen ab einer Belastung von 47 dB von einer erheblichen Beeinträchtigung des Lebensraumes (die Eignung des Lebensraumes sinkt um 25%). Steigt die Lärmbelastung auf über 90 dB kann man von einem 100%-igen Lebensraumverlust sprechen.



1930: Lärmband hat die Breite 0 km,
d.h. Grösse der Fläche = 42 km².

1966: Lärmband hat die Breite 250 m,
d.h. Grösse der Fläche = 36 km²

1998: Lärmband hat die Breite 870 m,
d.h. Grösse der Fläche = 31.4 km²

Abbildung 12: Hypothetisches Beispiel zur Berechnung der Flächengrösse, wenn Lärmbänder wegen des steigenden Verkehrsaufkommens breiter werden. Die dargestellte Fläche habe die Grösse 6 km in Ostwestrichtung und 7 km in Nordsüdrichtung. Die Flächeneinbusse beträgt in diesem Beispiel 25% für 1998 (aus ESSWEIN et al. 2002: 22).

Zudem werden auch lärmunempfindliche Tiere in ihrer Ausbreitung durch erhöhtes Verkehrsaufkommen zusätzlich behindert. Die Gefahr bei der Strassenüberquerung steigt mit zunehmender Verkehrsfrequenz (höheres Mortalitätsrisiko).

Deshalb ist es sinnvoll, die Verkehrsstärke als zusätzliches Zerschneidungskriterium heranzuziehen. Je höher die Verkehrsstärke, desto breiter sind die Verlärmbänder (REIJNEN et al. 1995, 1996). Bei einer historischen Analyse sollte man die Verkehrsstärke auch deshalb berücksichtigen, da sie es ermöglicht, unterschiedliche Strassenkategorien besser vergleichen zu können. Da die Verkehrsstärke in der Vergangenheit sehr viel schwächer war, ist die Zerschneidungswirkung einer Strasse mit Einbezug der Verkehrsstärke besser einzuschätzen, als wenn man nur die Strassenkategorie zur Verfügung hat.

Die jeweiligen Lärmpuffer verkleinern den verbleibenden, nicht beeinträchtigten Raum, und ihre Fläche fliesst nicht mit in die Berechnung der effektiven Maschenweite ein. In der vorliegenden Studie wurde die Verkehrsstärke nicht in die Analyse einbezogen. Die Datenerhebung zu den Verkehrsstärken in der Vergangenheit wäre sehr schwierig und würde den Rahmen der Studie sprengen.

2.2.4 Mittelpunkt-, Ausschneide- und Grenzverbindungsverfahren

Um die effektive Maschenweite sinnvoll einsetzen zu können, ist die Vorgabe eines Bezugsraumes (z.B. Schweiz, Naturraum, Kanton), dessen Zerschneidungsgrad charakterisiert werden soll, notwendig. Dazu sind ebenfalls Verschneidungstechniken nötig, um die einem Bezugsraum zugeordneten Flächen zu bestimmen. Hierfür stehen drei verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung:

- **Mittelpunktverfahren:** Alle Flächen, deren Mittelpunkt im Bezugsraum liegt, werden dem Bezugsraum zugeordnet.
- **Ausschneideverfahren:** Die Flächen werden mit dem Bezugsraum direkt verschnitten, d.h. die Grenze des Bezugsraums dient als zusätzliche flächenbildende Grenzlinie, und die durch diese neue Grenze zusätzlich entstehenden Flächen werden, da sie im Bezugsraum liegen, in die Analyse mit einbezogen. Hierdurch wird die effektive Maschenweite unterschätzt, da die Randflächen zum Teil kleiner erscheinen, als sie es in der Landschaft sind. Je kleiner der Bezugsraum ist und je grösser die Flächen in der Landschaft sind, umso stärker wird die Maschenweite unterschätzt (MOSER et al. 2007).
- **Grenzverbindungsverfahren** („cross-boundary connections procedure“): Die Verbindungen zwischen zwei Punkten, die Bezugsraumgrenzen überqueren (die „Grenzverbindungen“), werden beiden beteiligten Bezugsräumen zu gleichen Teilen zugeordnet bzw. die Flächen werden entsprechend ihrem Anteil an den Teilräumen berücksichtigt (MOSER et al. 2007).

In der vorliegenden Untersuchung wurde konsequent das Grenzverbindungsverfahren angewendet, da es gegenüber dem Ausschneideverfahren den Vorteil hat, dass die Grenzen und die Grösse des Untersuchungsgebietes keinen Einfluss mehr auf die ermittelten Werte der effektiven Maschenweite haben. Entlang der Landesgrenze wurde das Ausschneideverfahren gewählt, da Daten ausserhalb der Schweiz nicht überall einheitlich vorliegen. Somit wurde bei der Berechnung nicht berücksichtigt, wo eine über die Landesgrenze hinaus reichende unzerschnittene Fläche im Ausland endet.

Nachdem die für den Bezugsraum relevanten Polygone selektiert wurden, wird für sie eine Flächenberechnung durchgeführt. Anschliessend wird aus diesen Flächengrössen die effektive Maschenweite berechnet.

2.2.5 GIS-Tool zur Berechnung

Zur Berechnung der effektiven Maschenweite verwendeten wir ein Tool, das von Kalin Müller (Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf) im Jahr 2005 programmiert worden ist. Erste Tests führten wir zuvor mit dem Tool von Dr. Hans-Georg Schwarz-von Raumer (Universität Stuttgart) durch (erhältlich unter <http://www.ilpoe.uni-stuttgart.de/>).

Um das Tool zu überprüfen, wurden die folgenden Tests durchgeführt:

- Als erstes wurden abstrakte einfache Zerschneidungsgeometrien erstellt. Die effektive Maschenweite für diese Beispiele wurde „von Hand“ und durch das GIS-Tool berechnet und verglichen.
- Vergleich der errechneten Werte mit den von PETER & MEIER (2003) für den Kanton Aargau berechneten Werten. Die Differenzen lagen im Bereich von unter einem Prozent der effektiven Maschenweite und hängen damit zusammen, dass im Kanton Aargau das Ausschneideverfahren angewendet wurde (anstatt des Grenzverbindungsverfahrens).
- Vergleich der unabhängig voneinander berechneten Beispielwerte für das vorliegende Projekt und ein Projekt der WSL⁸. Beide Berechnungen ergaben identische Werte.

⁸ C. Steinmeier und K. Müller: Monitoring flankierende Massnahmen Umwelt (MFM-U) Aktion 5 (exkl. Aktion 5.5) des Aktionsplans des BUWAL (jetzt BAFU), Laufzeit: 2002 – 2006, Geldgeber: BAFU. Eidgenössische Forschungsanstalt WSL.

2.3 Erweiterung der bestehenden Methode: Behandlung des Gebirges

Die topographischen Verhältnisse der Schweiz verlangen eine Anpassung bzw. Erweiterung der ursprünglichen Methode (in Baden-Württemberg existieren keine mit den Alpen vergleichbaren Gebirge).

Dabei bietet es sich an, das Gebirge wie andere natürliche Zerschneidungselemente (Flüsse und Seen) zu behandeln. Wird das Gebirge als Trennelement in die Zerschneidungsgeometrie aufgenommen, kann auch die Trennwirkung von Stichstrassen zumindest teilweise einbezogen werden (Abbildung 13). Zudem wirkt der Alpenbogen für eine Vielzahl von Tierarten als Barriere, weshalb er in die Zerschneidungsgeometrie einbezogen werden sollte.

HOLZGANG et al. (2001: 36) betrachten in ihrem Drucklässigkeitsmodell für die Identifikation der Wildtierkorridore Felsen als „schwer passierbar oder starke Behinderung“. Das Kartenbild der unpassierbaren bzw. stark behinderten Passierbarkeit in den Alpen gleicht der Ausscheidung des Gebirges im vorliegenden Projekt.



Abbildung 13: Zerschneidungsgeometrie 3 mit Stichstrasse (Strasse, die über einen Punkt in das Strassennetz eingebunden ist) ohne (links) und mit Einbezug des Gebirges (rechts). Ohne Einbezug des Gebirges bleibt eine unzerschnittene Fläche zurück. Wird das Gebirge hingegen in die Zerschneidungsgeometrie einbezogen, so wird die Stichstrasse „zerschneidungswirksam“, da sie bis über 2100 m ins Gebirge führt (reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA071415)).

2.3.1 Verschiedene methodische Möglichkeiten

Wie soll das „Gebirge“, das eine trennende Wirkung hat, ausgeschieden werden? Für die Auswahl der Methode wurden die drei folgenden Verfahren getestet:

- **Verfahren „Höhenlage“:** Hierbei wird das Gebirge ab einer bestimmten Meereshöhe ausgeschieden. Idealerweise wird die Höhe von 2100 m ü. M. gewählt, wie sie auch im REN (vgl. BERTHOUD et al. 2004) als für die meisten Tierarten als unüberwindbare Barriere gehandhabt wird. Dies geschieht aufgrund des digitalen Höhenmodells (DHM) der gesamten Schweiz (BUNDESAMT FÜR LANDESTOPOGRAPHIE 2004b). Für diese Variante spricht, dass die Gebiete über 2100 m vom Menschen in der Regel nicht bzw. nur wenig beansprucht werden (ausser für Wintertourismus). Die Gebiete gelten als nicht besiedelbar und können somit vom Raum, der zur Zerschneidung zur Verfügung steht, ausgenommen werden.
- **Verfahren „Steigung“:** Über die Steigung bzw. das Gefälle des Geländes lassen sich steile Gebiete ausscheiden. Wir sind dabei davon ausgegangen, dass eine Steigung von über 200% auf einer Länge von mindestens 100 m für viele Tierarten nicht mehr überwindbar ist und das Gebirge so charakterisiert werden kann. Die Steigung lässt sich ebenfalls aufgrund des DHM (BUNDESAMT FÜR LANDESTOPOGRAPHIE 2004b) ermitteln, um das Gebirge so auszuschneiden.

- **Verfahren „Primärflächen“:** Das Gebirge wird aufgrund der Angaben zu den Primärflächen in VECTOR25 (BUNDESAMT FÜR LANDESTOPOGRAFIE 2004a) ausgeschieden. Dabei werden die Primärflächen „Fels“, „Gletscher“, „Geröll“, „Geröll auf Gletscher“ (vgl. Tabelle 5) als Gebirge und somit unpassierbar behandelt; analog zur Studie über die Wildtierkorridore (HOLZGANG et al. 2001).

Mit allen drei aufgeführten Verfahren wurde das „Gebirge“ ausgeschieden und zur Zerschneidungsgeometrie des aktuellen Zustandes hinzugefügt.

2.3.2 Wahl einer Methode

Das Verfahren „Höhenlage“ hat sich als einziges machbares Verfahren zur Ausscheidung des Gebirges herausgestellt. Dies hat den einfachen praktischen Grund, dass sich aufgrund der beiden anderen Verfahren eine sehr grosse Menge kleiner Teilflächen ergeben hat, deren Berechnung und Zusammenfügen zu viel Zeit und Rechenkapazität in Anspruch genommen hätte. Das gewählte Verfahren „Höhenlage“ ist einfach verständlich und lehnt sich zudem an bereits bestehende Arbeiten wie das REN an (BERTHOUD et al. 2004).

Das Gebirge wird nicht immer als zerschneidendes Element betrachtet. Daher haben wir vier Zerschneidungsgeometrien entwickelt (vgl. Abschnitt 2.1.1). Dabei wird das Gebirge in zwei Varianten als Barriere behandelt (Zerschneidungsgeometrie 2 und 3) und einmal von der Bezugsraumfläche abgezogen (Zerschneidungsgeometrie 4). Im letzteren Fall wird das Gebirge, wie die Seen, als nicht besiedelbares respektive nicht zerschneidbares Gebiet betrachtet.

Beim Rückwärtsdigitalisieren wurde davon ausgegangen, dass das Gebirge, das aufgrund aktueller Daten (VECTOR25) ausgeschieden wurde, auch zu früheren Zeitpunkten gleich angeordnet war.

2.4 Auswerteeinheiten

Als Auswerteeinheiten dienten einerseits die ganze Schweiz, die biogeographischen Regionen nach GONSETH et al. (2001), die Naturräume, die Kantone und die Bezirke (Tabelle 7). Eine noch feinere Unterteilung, z.B. in Gemeinden, hätte den Rahmen dieser Studie überstiegen.

Tabelle 7: Auswerteeinheiten und Anzahl der Teilräume.

Auswerteeinheit	Bemerkungen	Anzahl der Teilräume
Schweiz	Liechtenstein wird nicht zur Schweiz gezählt.	1
Biogeographische Regionen	Einteilung gemäss GONSETH et al. (2001).	10
Naturräume 1. Ordnung	Gliederung gemäss den Zonen der Schweizerischen Forststatistik	5
Naturräume 3. Ordnung	Gliederung gemäss den Zonen der Schweizerischen Forststatistik	33
Kantone	Die Grenzen entsprechen dem Stand des Jahres 2002, auch die Ergebnisse von historischen Zeitschnitten beziehen sich auf diese Grenzen.	26
Bezirke	Die Grenzen entsprechen dem Stand des Jahres 2002, auch die Ergebnisse von historischen Zeitschnitten beziehen sich auf diese Grenzen. Einzelne Kantone bestehen aus nur einem Bezirk (Appenzell-Innerrhoden, Basel-Stadt, Genf, Glarus, Nidwalden, Obwalden, Uri, Zug).	181
BLN-Gebiete	Der Zerschneidungsgrad wird für jedes einzelne BLN-Gebiet errechnet. Je ein Wert wird auch für die Fläche innerhalb aller BLN-Gebiete und ausserhalb der BLN-Gebiete berechnet.	163
Moorlandschaften	Der Zerschneidungsgrad wird für jede einzelne Moorlandschaft errechnet. Je ein Wert wird auch für die Flächen innerhalb aller Moorlandschaften und ausserhalb der Moorlandschaften berechnet.	89

Die Auswerteeinheiten wurden analog zur Studie in Baden-Württemberg (ESSWEIN et al. 2002) gewählt. Dort dienten die Grenzen des Bundeslandes, der Landkreise und der Naturräume als Bezugsräume. Neu hinzugenommen wurden die Objekte aus dem Bundesinventar der Landschaften und Naturdenkmäler von nationaler Bedeutung und die Moorlandschaften. Mit dem Vergleich der Werte für die Gebiete innerhalb und ausserhalb der bundesrechtlich geschützten Landschaften kann ein Beitrag zur Evaluation dieser Instrumente geliefert werden.

2.5 Trendfortschreibung

Wie wird die Zerschneidung der Schweiz in den Jahren 2020 und 2050 aussehen? Bei der Untersuchung dieser Frage werden keine „echten“ Szenarien erstellt – dies würde den Rahmen der vorliegenden Studie sprengen – sondern es werden bisherige Trends identifiziert und in die Zukunft fortgeschrieben.

Für die Trendfortschreibung werden lediglich die Werte der effektiven Maschenweite für die Zeitschnitte 1960, 1980 und 2002 verwendet. Die weiter zurückliegenden Trends erscheinen uns für die Fortsetzung der Zeitreihe nicht mehr relevant. Der Einfachheit halber verwenden wir zwei lineare und eine logarithmische Trendfortschreibung. Der Trend der Jahre 1960 bis 2002 wurde linear und logarithmisch und der Trend 1980 bis 2002 linear fortgeschrieben.

Die Trendfortschreibung wurde anhand einfacher Regressionen durch die berechneten Werte pro Teilregion erstellt. Dies ist mit dem Programm Excel möglich, indem Trendlinien zu den berechneten Werten hinzugefügt werden. Die dazugehörige Formel kann eingeblendet werden, woraus sich Werte für zukünftige Zeitschnitte berechnen lassen. Künftige Werte für die Zerschneidung werden für die ganze Schweiz, die verschiedenen Naturräume und die Kantone berechnet.

Für die Regressionen verwenden wir nicht die effektive Maschenweite, sondern die Maschendichte s (vgl. Abschnitte 2.2.2 und 4.4). Der Vorteil der Maschendichte liegt darin, dass sie unbegrenzt zunehmen kann, wo hingegen die effektive Maschenweite nicht weiter als auf Null absinken kann. Daher ist die Berechnung für die Maschendichte genauer. Aus den fortgeschriebenen Werten der Maschendichte wird die effektive Maschenweite für die Jahre 2020 und 2050 bestimmt.

3. Ergebnisse der Zerschneidungsanalyse

Die Ergebnisse der Zerschneidungsanalyse zur aktuellen Situation (Jahr 2002) umfassen die gesamte Schweiz einschliesslich der aktuellen Werte für die verschiedenen Naturräume und biogeographischen Regionen, für sämtliche Kantone und Bezirke und für die BLN-Gebiete und die Moorlandschaften (Abschnitt 3.1). Die Zeitreihen zur Entwicklung der Landschaftszerschneidung bezogen auf sämtliche Auswerteeinheiten folgen anschliessend (Abschnitt 3.2). Trendextrapolationen für die Zukunft werden in Abschnitt 3.3 aufgezeigt.

Aus der Definition der verschiedenen Zerschneidungsgeometrien ergibt sich für jeden Teilraum eine feste Rangfolge zwischen den m_{eff} -Werten der Zerschneidungsgeometrien⁹: Die Werte der effektiven Maschenweite in ZG 3 („Trennelemente bis 3.-Kl.-Strassen“) liegen immer unter jenen von ZG 2 („Trennelemente bis 2.-Kl.-Strassen“), da die 3.-Kl.-Strassen in ZG 2 wegfallen. Die Werte der ZG 1 („Zivilisationsdruck“) liegen immer über denjenigen von ZG 3 (da die natürlichen Trennelemente wegfallen) und in aller Regel über denen von ZG 4 („Landflächen unterhalb 2100 m“), da in ZG 4 die Seen und Gebirge ausgeklammert werden¹⁰. Die Werte der ZG 4 liegen über denen von ZG 3, da die Seen und Gebirgsflächen in ZG 4 ausgeklammert werden (und in ZG 3 als Trennelemente gelten).

Die Reihenfolge kann ansonsten ändern, die Werte von ZG 2 können oberhalb oder unterhalb der Werte von ZG 1 und ZG 4 liegen.

3.1 Aktueller Zustand

3.1.1 Schweiz insgesamt

Die Schweiz ist eine der am stärksten zerschnittenen Regionen in Mitteleuropa. Die Karten der aktuellen Situation zur Landschaftszerschneidung befinden sich im Anhang (Abschnitte 9.1-9.5).

Die effektive Maschenweite für die Schweiz beträgt insgesamt 661.61 km², wenn man nur die Autobahnen, Strassen bis zur 3. Klasse, Schienen und Siedlungen als Trennelemente betrachtet (ZG 1 „Zivilisationsdruck“). Berücksichtigt man nur die Strassen bis zur 2. Klasse und nimmt natürliche Trennelemente (Flüsse, Seen und Gebirge) als Hindernis in die Zerschneidungsgeometrie auf, so beträgt die effektive Maschenweite noch 213.11 km² (ZG 2). In Zerschneidungsgeometrie 3 kommen gegenüber ZG 2 noch die 3.-Kl.-Strassen hinzu, so dass der Wert auf 133.29 km² abnimmt. Klammert man die natürlichen Barriereflächen, also Flüsse, Seen und das Gebirge, als nicht zerschneidbare Flächen von der Analyse aus und wertet wiederum die Strassen bis zur 3. Klasse als Trennelemente, so beträgt die effektive Maschenweite 176.33 km² (ZG 4 „Landflächen unterhalb 2100 m“).

Wie viele grosse unzerschnittene Räume einer bestimmten Mindestgrösse es noch gibt, kann man aus der effektiven Maschenweite nicht direkt ablesen. Dazu dienen die Anzahl der unzerschnittenen Räume n_{UZR} und ihr Flächenanteil. Tabelle 8 gibt einen Überblick über die Anzahl der UZR und ihren Flächenanteil an der Landesfläche der Schweiz. Bei den UZR geht es primär darum, Angaben zum Vorkommen von grossen unzerschnittenen Räumen zur Verfügung zu haben; m_{eff} dagegen misst direkt den Grad der Landschaftszerschneidung. Die beiden Angaben ergänzen einander, denn es ist interessant und anschaulich zu wissen, wie viel Fläche die UZR bedecken, trotz der Schwächen dieser Angabe (z.B. wird die Zerschneidung sehr grosser Flächen nicht berücksichtigt, wenn die Teilstücke noch immer grösser als 100 km² sind, siehe unten). Die Ermittlung der UZR ist ein Nebenprodukt in diesem Projekt.

⁹ Für die Werte der effektiven Maschendichte s_{eff} gelten jeweils die Umkehrungen der Aussagen.

¹⁰ Die ausgeklammerten Flächen (Seen und Gebirge) waren in allen Fällen weniger stark fragmentiert als die übrigen Flächen. Prinzipiell wäre es aber denkbar, dass die Werte von ZG 4 auch einmal über denen von ZG 1 liegen, z.B. wenn keine Seen und Flüsse vorkommen und die Gebirgsflächen stärker fragmentiert sind als die tiefer gelegenen Gebiete. (Solche Fälle traten in der Schweiz jedoch nicht auf.)

Tabelle 8: Anzahl unzerschnittener Räume (UZR) grösser als 50 km² bzw. grösser als 100 km² und ihr Anteil an der gesamten Landesfläche der Schweiz im Jahr 2002. Die Flächen > 50 km² schliessen jeweils die Flächen > 100 km² mit ein (ZG 1 = „Zivilisationsdruck“, ZG 2 = „Trennelemente bis 2.-Kl.-Strassen“, ZG 3 = „Trennelemente bis 3.-Kl.-Strassen“, ZG 4 = „Landflächen unterhalb 2100 m“).

Zerschneidungsgeometrie (ZG)	Anzahl der UZR				Anteil der UZR an der Landesfläche (%)			
	1	2	3	4	1	2	3	4
UZR grösser als 50 km ²	58	71	64	64	56	37	31	31
UZR grösser als 100 km ²	41	40	38	38	53	32	26	26

Dass die reine Anzahl der UZR nicht aussagekräftig ist, zeigt sich besonders deutlich im Kapitel über die historische Entwicklung der Landschaftszerschneidung, da z.B. die Zahl n_{UZR} sowohl dann steigt, wenn sehr grosse Gebiete in Flächen > 100 km² zerschnitten werden (Erhöhung der Zerschneidung), als auch dann, wenn mehrere kleinere Flächen durch den Rückbau von Verkehrswegen zu einer Fläche > 100 km² verbunden werden (Verringerung der Zerschneidung; Abschnitt 3.2, siehe auch Abschnitt 2.2.3). Aussagekräftiger ist daher der Anteil der UZR an der Gesamtfläche der Schweiz. Mit, je nach Zerschneidungsgeometrie, zwischen einem Viertel und mehr als der Hälfte haben die UZR grösser als 100 km² einen grossen Anteil an der Landesfläche. Dies liegt vor allem an den grossen unzerschnittenen Räumen in den Randalpen und Alpen (siehe die Karten im Anhang, Abschnitt 9.1-9.5). Dies wird am Wert für die Zerschneidungsgeometrie 1 („Zivilisationsdruck“) gegenüber den anderen Zerschneidungsgeometrien besonders deutlich (Tabelle 8). Hier ist der Wert mit 53% sehr gross, weil grosse Teile des Gebirges als unzerschnittene Flächen behandelt werden.

Um die Einwirkung der Stichstrassen quantifizieren zu können, wurde neben der effektiven Maschenweite für die Teilräume auch die *Strassenlänge* der jeweiligen Strassenklasse angegeben (getrennt für Stichstrassen und andere Strassen). So erhält man eine zweite Grösse neben der effektiven Maschenweite. Zu den Längen der einzelnen Strassenklassen, Schienenwege und den Siedlungsflächen siehe den Anhang (Abschnitt 9.13).

3.1.2 Naturräume

Der Wert der effektiven Maschenweite für die gesamte Schweiz ist unter anderem dann interessant, wenn es darum geht, ganze Länder miteinander zu vergleichen. Dabei müssen die naturräumlichen Gegebenheiten berücksichtigt werden, z.B. der grosse Einfluss der Alpenregionen auf den Wert der effektiven Maschenweite für die Schweiz. ZG 4 („Landflächen unterhalb 2100 m“) eignet sich für solche Vergleiche am besten (siehe Abschnitt 2.1.1). Um die Situation innerhalb der Schweiz differenzieren zu können, sind Werte für verschiedene Regionen nötig.

Einen guten Überblick, wie stark sich die effektive Maschenweite innerhalb der Schweiz von Region zu Region unterscheidet, liefert der Vergleich der Naturräume (Gliederung gemäss den Zonen der Schweizerischen Forststatistik).

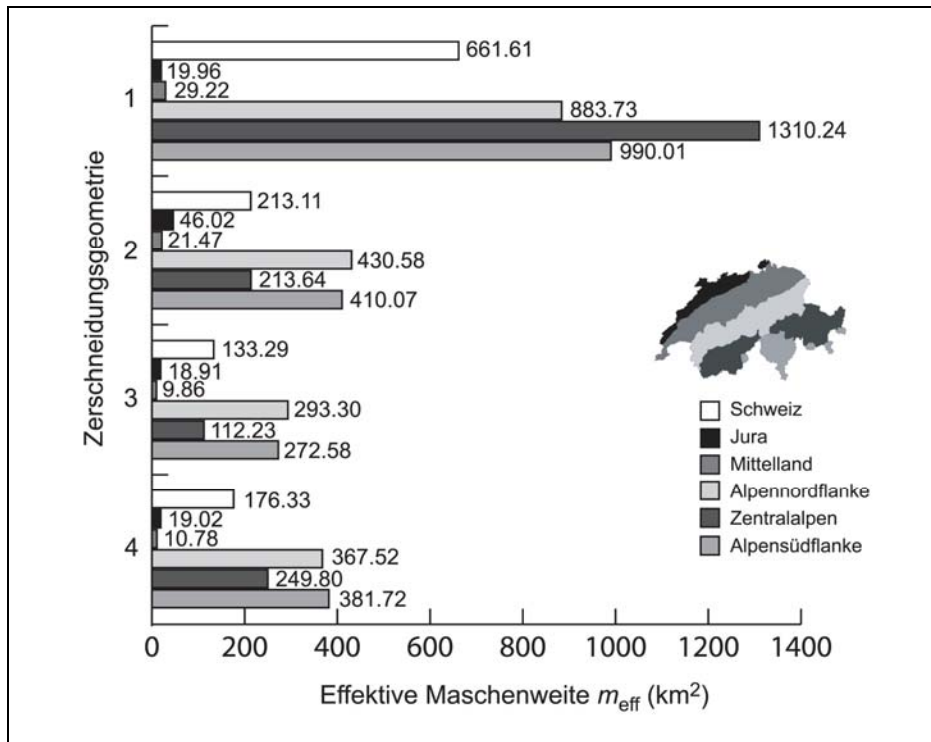


Abbildung 14: Effektive Maschenweite m_{eff} im Jahr 2002 für die vier verschiedenen Zerschneidungsgeometrien (ZG 1 = „Zivilisationsdruck“, ZG 2 = „Trennelemente bis 2.-Kl.-Strassen“, ZG 3 = „Trennelemente bis 3.-Kl.-Strassen“, ZG 4 = „Landflächen unterhalb 2100 m“). Dargestellt sind die Werte für die Schweiz und die fünf Naturräume.

Der Zerschneidungsgrad der fünf Naturräume ist sehr unterschiedlich (Abbildungen 15 und 16). Folgende Beobachtungen sind von Interesse:

- In allen Zerschneidungsgeometrien sind die Werte der effektiven Maschenweite im Mittelland und im Jura am kleinsten und liegen zwischen 9 und 50 km². Die Werte für die drei alpinen Regionen sind in allen Fällen deutlich grösser (zwischen 100 und 1350 km²). Der Gesamtwert für die Schweiz liegt stets zwischen diesen Werten, d.h. er ist grösser als im Mittelland und Jura, aber tiefer als in den alpinen Naturräumen.
- In den Zerschneidungsgeometrien 2 bis 4 ist die effektive Maschenweite im Mittelland kleiner als im Jura. Allerdings ist die effektive Maschenweite in Zerschneidungsgeometrie 1 („Zivilisationsdruck“) im Mittelland grösser. Dies liegt daran, dass die Seen im Mittelland in Zerschneidungsgeometrie 1 als unzerschnittene Flächen behandelt werden (und den Wert positiv beeinflussen, da sie weitaus grösser sind als die übrigen Flächen), aber in Zerschneidungsgeometrie 2 und 3 als Trennelemente gelten und in Zerschneidungsgeometrie 4 vom Bezugsraum ausgeklammert werden. Die Werte für den Jura zeigen in den Zerschneidungsgeometrien 1 und 3 nur sehr kleine Differenzen, was durch das Fehlen von Landflächen über 2100 m ü. M. und die geringe Zahl von Seen bedingt ist. Wegen der grossen Seen im Mittelland ist die effektive Maschenweite dort in Zerschneidungsgeometrie 1 viel grösser als in Zerschneidungsgeometrie 3 und übersteigt den Wert für den Jura um ca. 50%.
- In den Zerschneidungsgeometrien 2 bis 4 ist die effektive Maschenweite in den Zentralalpen kleiner als auf der Alpennordflanke und der Alpensüdflanke. Hingegen ist der Wert in Zerschneidungsgeometrie 1 in den Zentralalpen grösser. Dies liegt an den Flächen über 2100 m ü. M., die in den Zentralalpen häufig sind und in Zerschneidungsgeometrie 1 als grosse unzerschnittene Flächen behandelt werden. Umgekehrt werden diese Flächen in den Zerschneidungsgeometrien 2 und 3 als Trennelemente betrachtet, so dass kleinere Werte der effektiven Maschenweite resultieren. Auch kleinere Werte für die Zentralalpen resultieren in Zerschneidungsgeometrie 4, in der das Gebirge vom Bezugsraum ausgeklammert wird. Daraus ist ersichtlich, dass die Zerschneidung in den verbleibenden Tälern (Flächen unterhalb 2100 m ü. M.) in den Zentralalpen stärker ist als auf der Alpennord- und Alpensüdflanke.

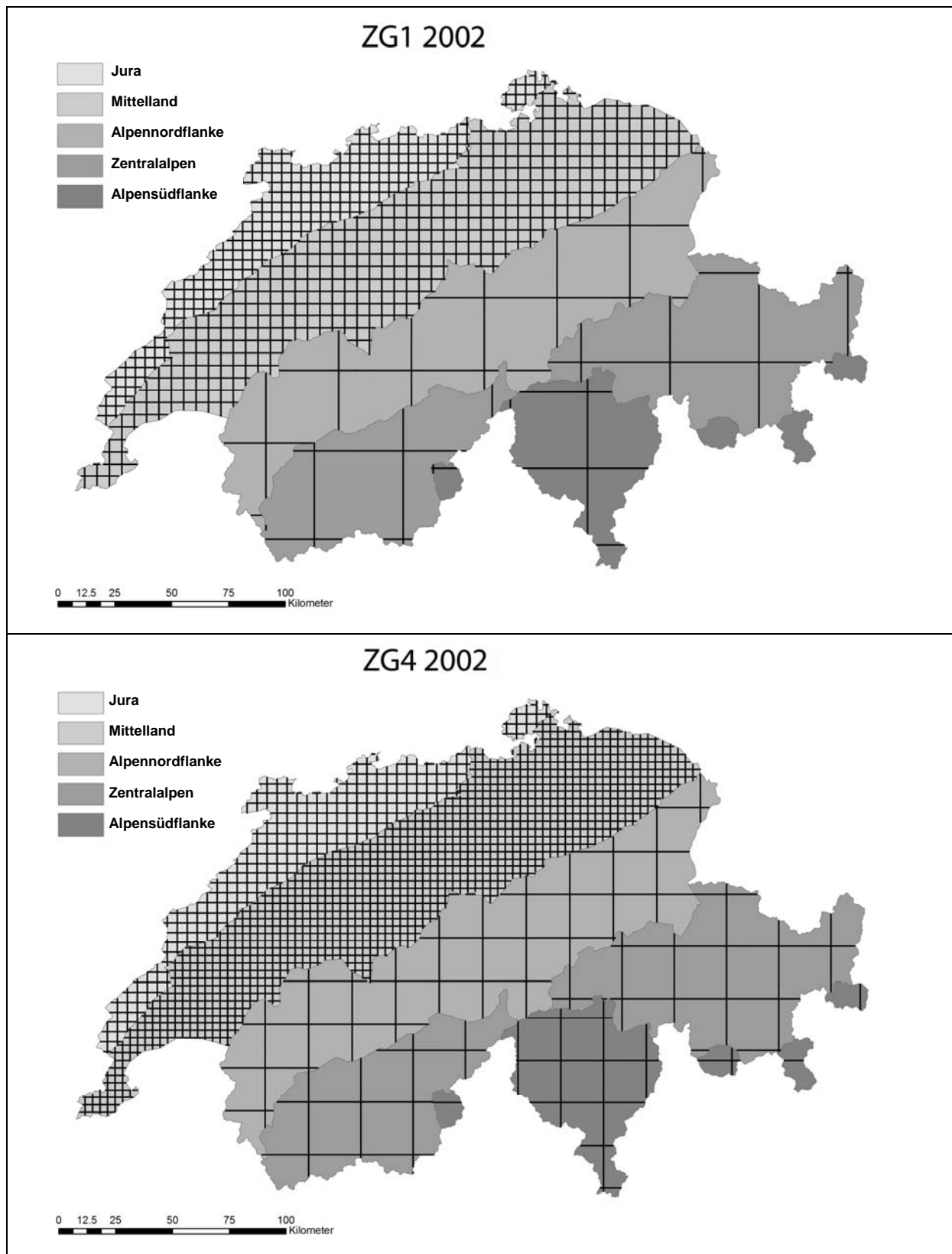


Abbildung 15: Grösse der effektiven Maschenweite m_{eff} im Jahr 2002 für die Zerschneidungsgeometrien 1 („Zivilisationsdruck“, oben) und 4 („Landflächen unterhalb 2100 m“, unten) in den fünf Naturräumen,¹¹ dargestellt als regelmässiges Raster.

¹¹ Zu den Definitionen siehe Abschnitt 9.8 im Anhang.

Die fünf Naturräume werden gemäss dem Datensatz der WSL abgegrenzt, den wir durchgehend verwendet haben. Die Abgrenzung der Naturräume, wie sie im Biodiversitätsmonitoring verwendet wird, weicht hiervon leicht ab. Daraus resultieren z.B. für das Mittelland tiefere Werte, die im Anhang (Abschnitt 9.8) angegeben sind.

3.1.3 Biogeographische Regionen

Die aktuelle Zerschneidungssituation in den zehn biogeographischen Regionen gemäss GONSETH et al. (2001) liefert folgende Werte (Tabelle 9).

Tabelle 9: Effektive Maschenweite in den biogeographischen Regionen nach GONSETH et al. (2001) für das Jahr 2002.

Biogeographische Region	Effektive Maschenweite m_{eff} (km ²) im Jahr 2002			
	ZG 1 („Zivilisationsdruck“)	ZG 2 („Trennelemente bis 2.-Kl.-Strassen“)	ZG 3 („Trennelemente bis 3.-Kl.-Strassen“)	ZG 4 („Landflächen unterhalb 2100 m“)
Jura und Randen	20.61	47.45	19.57	19.67
Hochrhein- und Genferseegebiet	34.54	6.49	2.54	2.82
Östliches Mittelland	11.62	7.11	2.86	3.13
Westliches Mittelland	28.62	9.17	3.30	3.67
Voralpen	259.10	276.69	166.56	171.62
Nordalpen	985.69	454.68	314.06	396.68
Östliche Zentralalpen	792.13	200.25	134.26	309.29
Westliche Zentralalpen	1966.00	202.18	66.80	162.00
Südalpen	1062.27	404.52	276.26	450.27
Südlicher Tessin	839.05	491.28	314.78	349.05

Das Östliche und das Westliche Mittelland sowie das Hochrhein- und Genferseegebiet und der Jura und Randen sind jene biogeographischen Regionen, die am stärksten zerschnitten sind (unter 50 km² in allen Zerschneidungsgeometrien). Sie unterscheiden sich deutlich von den gebirgigen Regionen, wo die Werte der Maschenweite höher sind (über 150 km² für alle Zerschneidungsgeometrien).

Zusätzlich zur Auswertung der Landschaftszerschneidung in den Naturräumen (Abschnitt 3.1.2) wird hier deutlich, dass das Östliche Mittelland noch stärker zerschnitten ist als das Westliche Mittelland. Der Wert für das Westliche Mittelland wird in ZG 1 („Zivilisationsdruck“) stark positiv durch den Neuenburger See beeinflusst, der eine unzerschnittene Fläche von 218 km² darstellt. In den Zerschneidungsgeometrien 2 bis 4 ist der Wert der effektiven Maschenweite für das Hochrhein- und Genferseegebiet noch kleiner als im östlichen Mittelland; da wird der Genfersee als Trennelement behandelt (ZG 2 und 3) bzw. vom Bezugsraum ausgeklammert (ZG 4). Unter den gebirgigen Regionen sind in ZG 1 die Voralpen am stärksten, die Östlichen Zentralalpen am zweitstärksten und der Südliche Tessin am drittstärksten zerschnitten. In ZG 4 sind hingegen die Westlichen Zentralalpen am stärksten und die Voralpen am zweitstärksten fragmentiert.

Die Werte der effektiven Maschenweite für die Einteilung der Schweiz in **33 Naturräume** sind im Anhang angegeben (Abschnitt 9.8).

3.1.4 Kantone

Der Zerschneidungsgrad variiert auch zwischen den einzelnen Kantonen stark, z. B. zwischen 0.54 km² (BS) und 1850.75 km² (VS) in Zerschneidungsgeometrie 1. Für die aktuellen Werte ergeben sich unterschiedliche Rangfolgen für die vier Zerschneidungsgeometrien (Abbildung 16).

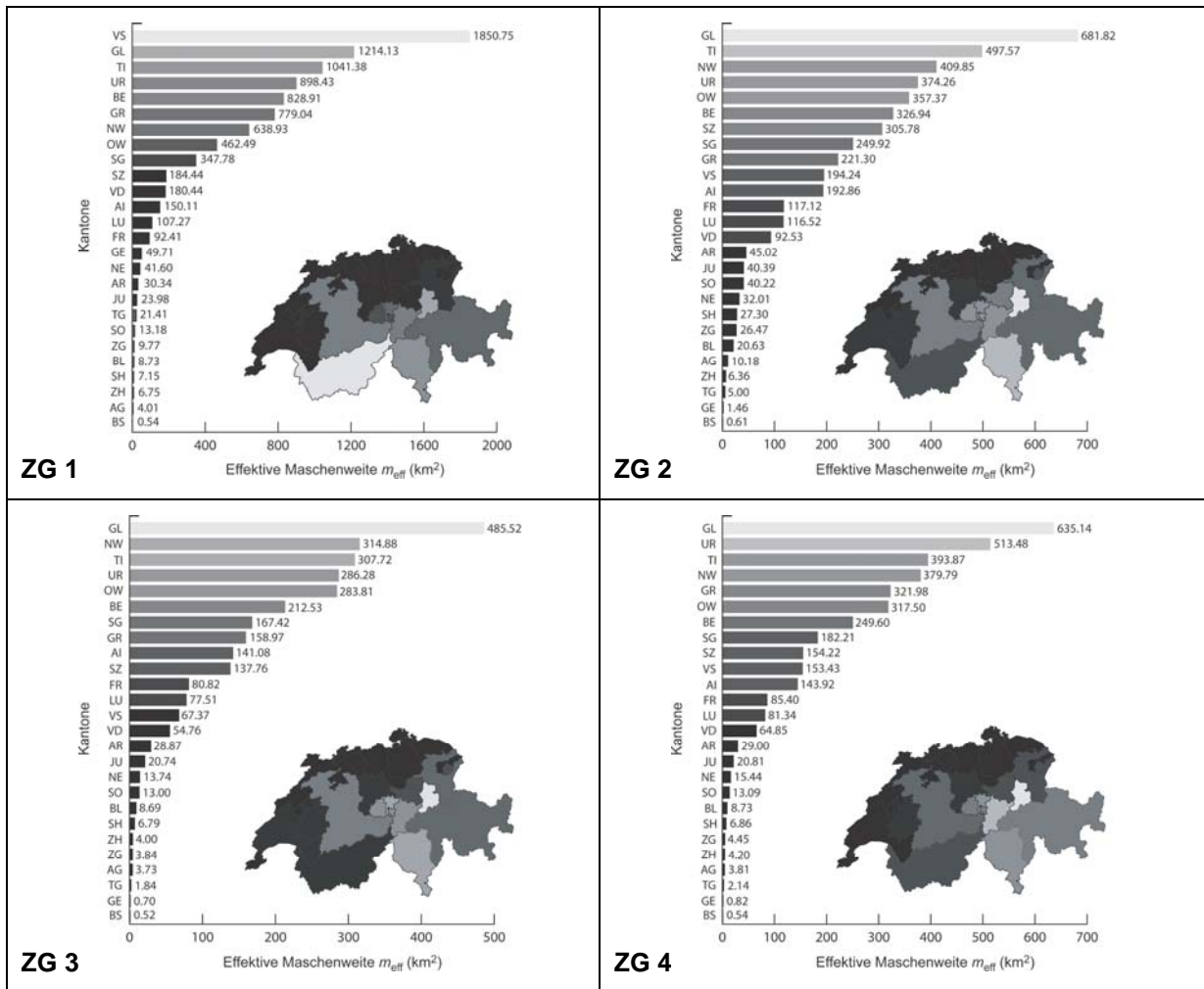


Abbildung 16: Rangfolge der Kantone nach dem Wert der effektiven Maschenweite für die vier Zerschneidungsgeometrien (ZG 1 = „Zivilisationsdruck“, ZG 2 = „Trennelemente bis 2.-Kl.-Strassen“, ZG 3 = „Trennelemente bis 3.-Kl.-Strassen“, ZG 4 = „Landflächen unterhalb 2100 m“).

Die Art, in der sich die kantonalen Werte voneinander unterscheiden, gleicht den beobachteten Unterschieden bei den fünf Naturräumen und den zehn biogeographischen Regionen. Gebirgskantone, z. B. der Kanton Glarus (GL), haben eine deutlich grössere effektive Maschenweite als typische Mittelland-Kantone, z.B. der Kanton Aargau (AG). Am stärksten zerschnitten sind städtische Kantone wie Basel-Stadt (BS), wo die effektive Maschenweite nur noch etwa einen halben Quadratkilometer beträgt.

Grosse Kantone, wie der Kanton Bern (BE), haben Anteil an verschiedenen Naturräumen. Ihre effektive Maschenweite ist dementsprechend von verschiedenen naturräumlichen Ausgangsbedingungen beeinflusst und liegt zwischen den Extremen der Gebirgskantone und der städtischen Kantone. Grundsätzlich ist der Zerschneidungsgrad von Gebieten, die über politische Grenzen definiert sind, deutlich heterogener als jener von Naturräumen. - Eine ausführliche Besprechung aller Kantone erfolgt im Abschnitt 3.2.4 im Zusammenhang mit ihrer historischen Entwicklung (und in Abschnitt 9.6 im Anhang).

3.1.5 Bezirke

Die am stärksten zerschnittenen Bezirke liegen alle im Mittelland und weisen eine effektive Maschenweite von einem halben Quadratkilometer bis zwei Quadratkilometer auf. Dazu gehören städtische Bezirke wie Basel-Stadt, Zürich, Lausanne und Solothurn, aber auch Mittelland-Regionen wie die Zürcher Bezirke Meilen und Uster.

Am wenigsten zerschnitten sind Bezirke mit einem hohen Anteil an Gebirge wie Frutigen, Oberrimental und Visp, die in Zerschneidungsgeometrie 1 („Zivilisationsdruck“) eine effektive Maschenweite von über 2000 km² aufweisen. In Zerschneidungsgeometrie 4 („Landflächen unterhalb 2100 m“) haben die ersten beiden noch Werte über 800 km²; Visp hingegen schneidet in ZG 4 mit 83.00 km² deutlich schlechter ab, da die Flächen unterhalb 2100 m hier stärker fragmentiert sind als in den beiden anderen Bezirken.

Sämtliche Werte für die 181 Bezirke (nach allen vier Zerschneidungsgeometrien) sind im Anhang angegeben, gemeinsam mit den historischen Werten (Abschnitt 9.9).

3.1.6 BLN-Gebiete

Die wertvollsten Landschaften der Schweiz stehen als Objekte des Bundesinventars der Landschaften und Naturdenkmäler von nationaler Bedeutung (BLN) unter Schutz. Eine wichtige Frage ist, wie gut dieser Schutz wirkt. Ist die Landschaft innerhalb der BLN-Perimeter weniger zerschnitten als ausserhalb? Dazu haben wir die effektive Maschenweite innerhalb der BLN-Gebiete (Abbildung 17) mit dem Wert für die Gebiete ausserhalb der BLN-Objekte verglichen. Dazu dient Zerschneidungsgeometrie 1, da nur die anthropogenen Einwirkungen auf die Landschaft berücksichtigt werden (geogene Landschaftselemente sollen hierfür nicht als trennend gewertet werden). Die effektive Maschenweite nach der Zerschneidungsgeometrie 1 ist innerhalb der Landschaften von nationaler Bedeutung mit einem Wert von 952.63 km² um rund 60% grösser als der Wert für die restliche Schweiz (593.36 km²).

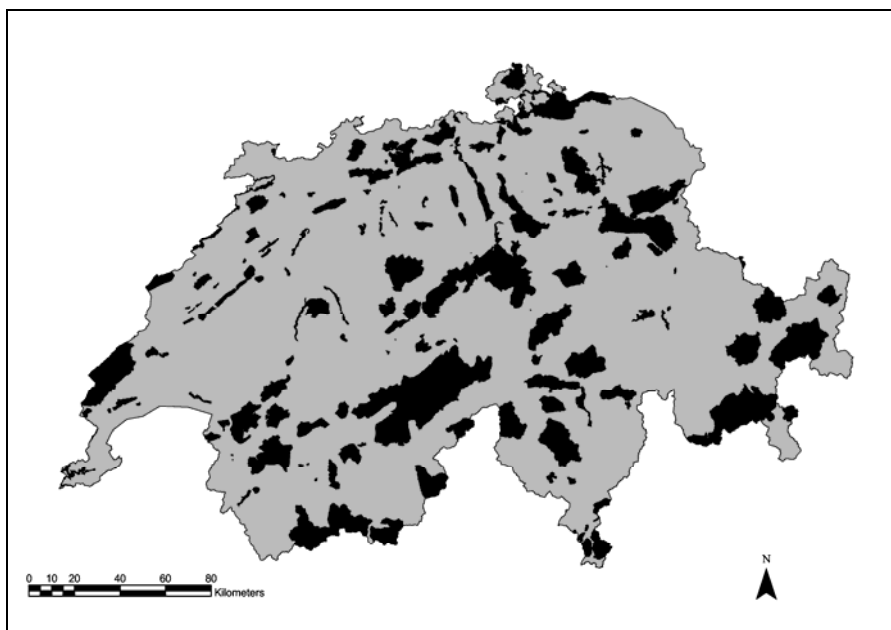


Abbildung 17: Karte der Schweiz mit den 162 BLN-Objekten (schwarz). Die effektive Maschenweite nach der Zerschneidungsgeometrie 1 („Zivilisationsdruck“) ist innerhalb der Landschaften von nationaler Bedeutung mit einem Wert von 952.63 km² um rund 60% grösser als der Wert für die restliche Schweiz (593.36 km²).

Alle BLN-Gebiete wurden (nach der Lage ihres Mittelpunktes) einem der fünf Naturräume zugeordnet. So kann die effektive Maschenweite der BLN-Gebiete im Jura, im Mittelland, in den Nordalpen, in den Zentralalpen und in den Südalpen berechnet werden. Der Wert der effektiven Maschenweite für die BLN-Gebiete liegt in jedem Naturraum jeweils deutlich über dem Wert für den restlichen Naturraum – im Mittelland ist der relative Unterschied mit 51.98 km² in den BLN-Gebieten gegenüber 26.57 km² für das restliche Mittelland (Mittelland ohne BLN-Gebiete) am deutlichsten (Abbildung 18). Daraus lässt sich schliessen, dass es sich bei den BLN-Gebieten um Gebiete handelt, die in der Regel deutlich weniger zerschnitten sind als die übrigen Gebiete in den gleichen Naturräumen.

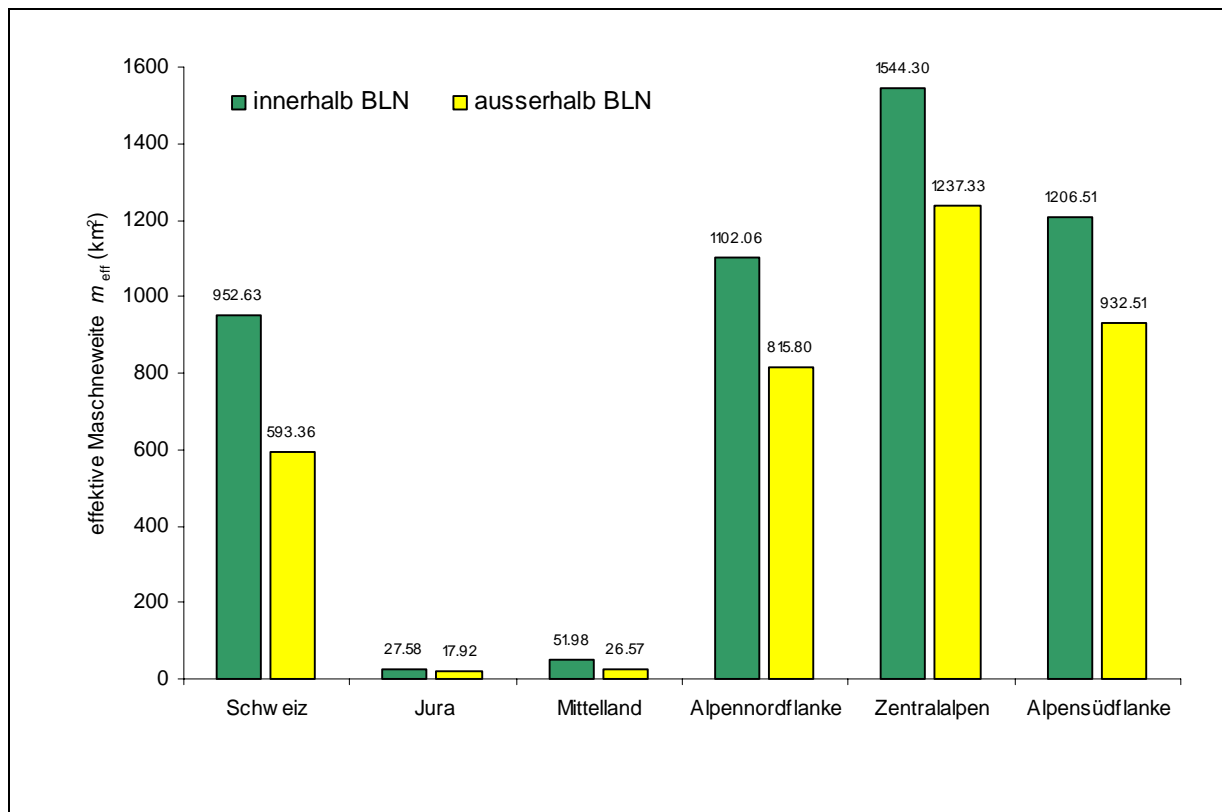


Abbildung 18: Vergleich der effektiven Maschenweite im Jahr 2002 (ZG 1 „Zivilisationsdruck“) innerhalb und ausserhalb der BLN-Gebiete, aufgeteilt nach den fünf Naturräumen. In sämtlichen Naturräumen ist die effektive Maschenweite innerhalb der geschützten Landschaften grösser als ausserhalb.

Ob der Schutz der BLN-Gebiete in Bezug auf die Landschaftszerschneidung einen Einfluss hatte, kann man an den heutigen Werten allein nicht erkennen, sondern nur mittels Zeitreihen beurteilen. Die Frage stellt sich, ob die Zunahme der Zerschneidung nach dem Inkrafttreten des BLN langsamer vor sich ging als ausserhalb der geschützten Landschaften (Abschnitt 3.2.6).

Die Werte der effektiven Maschenweite für die einzelnen BLN-Gebiete sind im Anhang aufgelistet (Abschnitt 9.10).

Die Werte der effektiven Maschenweite für die Moorlandschaften sind ebenfalls im Anhang aufgeführt (Abschnitt 9.11).

3.2 Historische Entwicklung der Landschaftszerschneidung

Die Werte und Karten der Landschaftszerschneidung für die verschiedenen Auswertungseinheiten können umso besser interpretiert werden, wenn Zeitreihen zur Entwicklung der Landschaftszerschneidung vorliegen. Dieser Abschnitt beschreibt und quantifiziert die Entwicklung der Zerschneidung der Landschaften in der Schweiz seit 1885. Für eine leichtere Interpretation des Trends wird neben der Kurve der effektiven Maschenweite jeweils auch die effektive Maschendichte dargestellt (siehe die Erläuterungen in den Abschnitten 2.2.2 und 4.4).

3.2.1 Schweiz insgesamt

Die effektive Maschenweite der Schweiz hat seit 1885 in allen vier Zerschneidungsgeometrien stark abgenommen (Abbildung 19). Die Abnahme der effektiven Maschenweite ist in ZG 3 („Trennelemente bis 3.-Kl.-Strassen“) mit 69.7% (von 439.63 km² im Jahr 1885 auf 133.29 km² im Jahr 2002) und in ZG 4 („Landflächen unterhalb 2100 m“) mit 69.6% (von 579.72 km² auf 176.33 km²) am stärksten. Auch in ZG 1 („Zivilisationsdruck“) hat sich die Maschenweite in den knapp 120 Jahren mehr als halbiert (Abnahme um 56.2%). In ZG 2 (d.h. ohne Berücksichtigung von 3.-Klass-Strassen) betrug die Abnahme 47.8% (von 489.96 km² auf 213.11 km²). Die Werte sind im Anhang angegeben (Abschnitt 9.7).

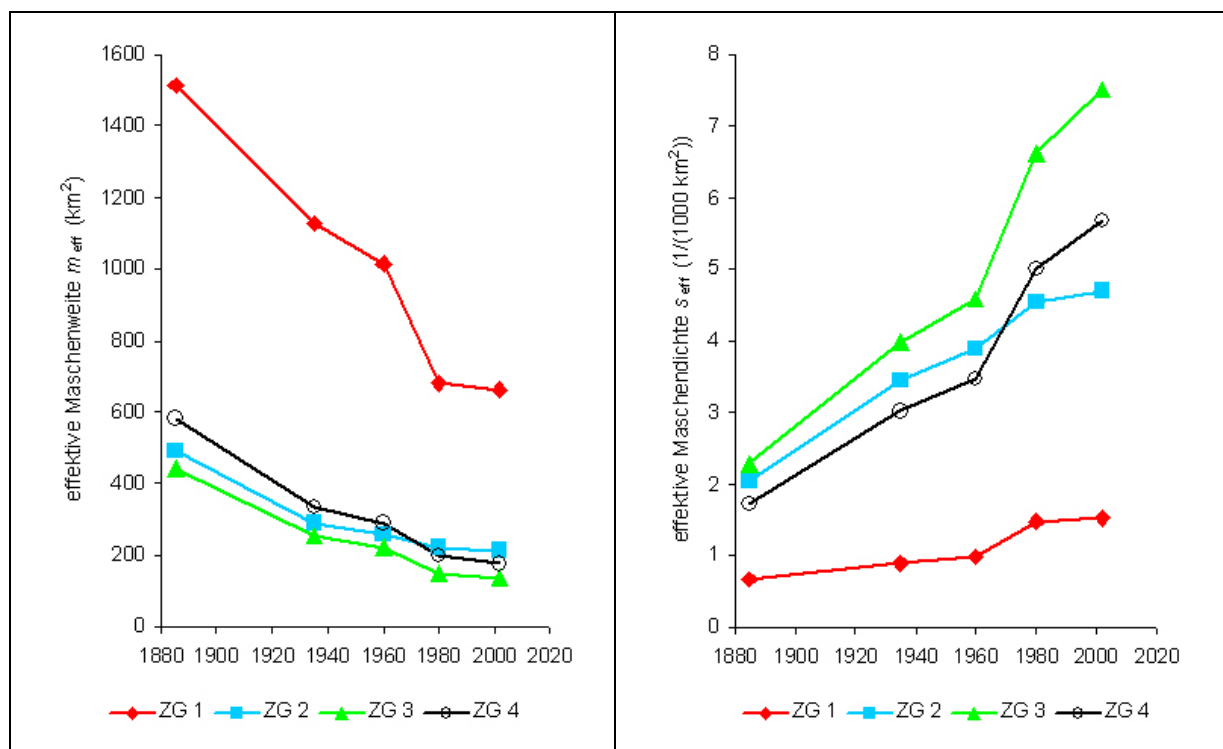


Abbildung 19: Entwicklung der effektiven Maschenweite (links) und Maschendichte (rechts) in der Schweiz zwischen 1885 und 2002. Dargestellt sind die Kurven für die vier Zerschneidungsgeometrien (ZG 1 = „Zivilisationsdruck“, ZG 2 = „Trennelemente bis 2.-Kl.-Strassen“, ZG 3 = „Trennelemente bis 3.-Kl.-Strassen“, ZG 4 = „Landflächen unterhalb 2100 m“).

Eine starke Abnahme der effektiven Maschenweite fand bereits zwischen 1885 und 1935 statt. Bis ins Jahr 1935 haben die Schienenwege noch stark zugenommen, danach fanden im Schienennetz nur noch geringe Veränderungen statt.

Die Passstrassen haben einen relativ starken Einfluss auf die effektive Maschenweite, da Passstrassen in der Regel sehr grosse Flächen zerteilen. Dieser Einfluss fällt in ZG 1 besonders stark aus, da hier das Gebirge > 2100 m ü. M. mit grossen Flächen berücksichtigt wird. Aber auch in den übrigen Zerschneidungsgeometrien war dieser Einfluss gross, wenn die grossen Flächen vor dem Bau der Passstrasse auch unterhalb von 2100 m verbunden waren.

In der Zeitspanne zwischen 1935 und 1960 entstanden viele neue Stauseen (z.B. der Lac des Dix, Lac de la Gruyère). Diese Stauseen tragen in ZG 1 zu einer höheren Maschenweite bei, wenn am Ort der Seen vorher Siedlungsflächen und Verkehrswege vorhanden waren, da Seen in ZG 1 als unzerschnittene Flächen in die Berechnung einfließen. Trotzdem ist auch in dieser Zeitspanne eine deutliche Abnahme der Maschenweite in ZG 1 feststellbar, da der positive Beitrag der Stauseen durch die Zunahme von Siedlungsflächen und Verkehrswegen an anderen Orten überkompensiert wird.

Der Autobahnbau hat die Abnahme der effektiven Maschenweite zwischen 1960 und 1980 nochmals beschleunigt. Nach dieser Bauphase waren die wichtigsten Verkehrswege in der Schweiz erstellt, weshalb alle Kurven danach flacher verlaufen, sowohl die effektive Maschenweite als auch die Maschendichte (Abbildung 19).

Die Anzahl und der Flächenanteil der unzerschnittenen Räume (UZR) schwankten über die vergangenen Jahrzehnte. Wenn beispielsweise ein Raum von ehemals 500 km² Grösse durch den Bau einer Strasse in zwei gleich grosse Räume unterteilt wird, nimmt die Anzahl der UZR > 100 km² zu, obwohl die Landschaftszerschneidung zugenommen hat. Somit ist das Mass n_{UZR} für die Darstellung von zeitlichen Entwicklungen nicht zuverlässig, da es die Grösse der UZR > 100 km² nicht berücksichtigt, sondern nur deren Anzahl. Auf die Darstellung von n_{UZR} wird daher hier verzichtet.

Wenn man stattdessen den Anteil der aufsummierten Flächen aller UZR > 100 km² an der gesamten Landesfläche betrachtet, ist zwar die Schwierigkeit, dass die Messgrösse eine Verbesserung der Situation anzeigt, beseitigt. Allerdings besteht auch hier das Problem, dass die Zunahme der Landschaftszerschneidung bei den Flächen grösser als 100 km² nicht wiedergegeben wird. Eine Passstrasse, die eine 500 km² grosse Fläche in zwei Flächen von je 250 km² zerteilt, wird also vom UZR-Flächenanteil überhaupt nicht registriert, da der Flächenanteil gleich bleibt. Die Verwendung der UZR als Indikator für die Landschaftszerschneidung macht somit implizit die (unzutreffende) Annahme, dass die Zerschneidung grosser Flächen kein Problem darstellt, solange die resultierenden Flächen grösser als 100 km² sind. Ausserdem gibt der Flächenanteil der UZR > 100 km² respektive > 50 km² nicht an, ob sich die Situation bei den Flächen kleiner als 100 km² bzw. 50 km² verändert hat (zur Problematik der UZR vgl. auch die Diskussion in ESSWEIN et al. 2003).

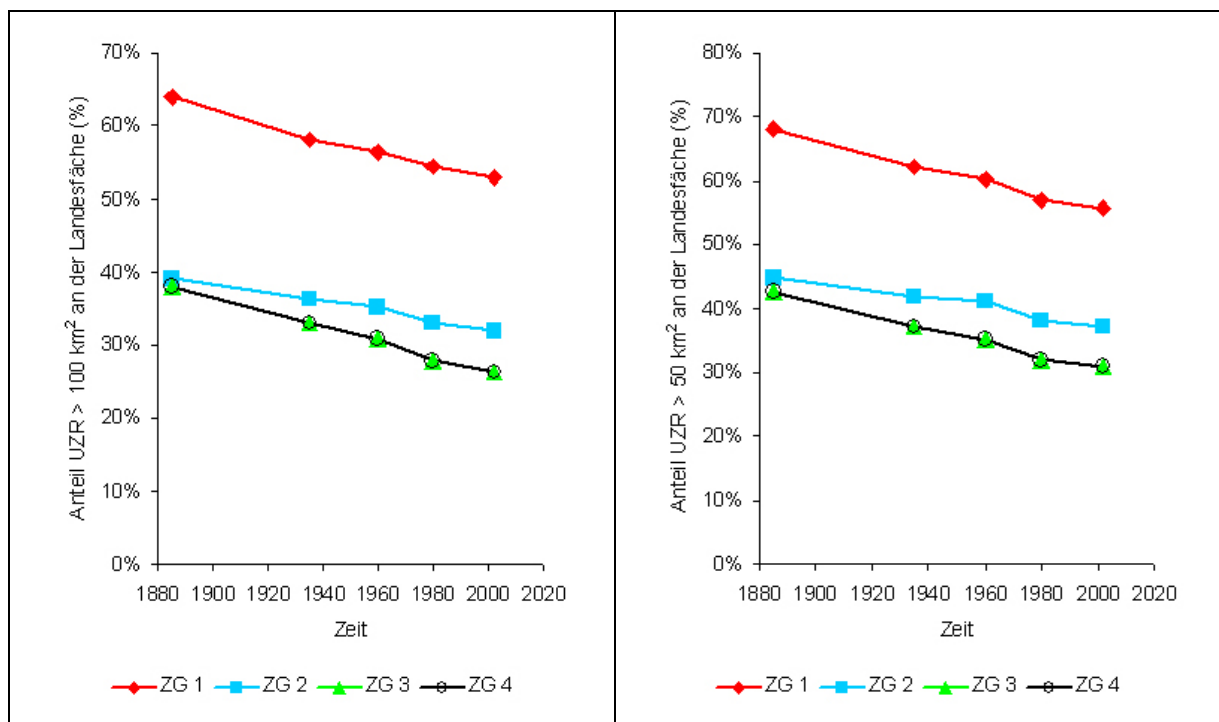


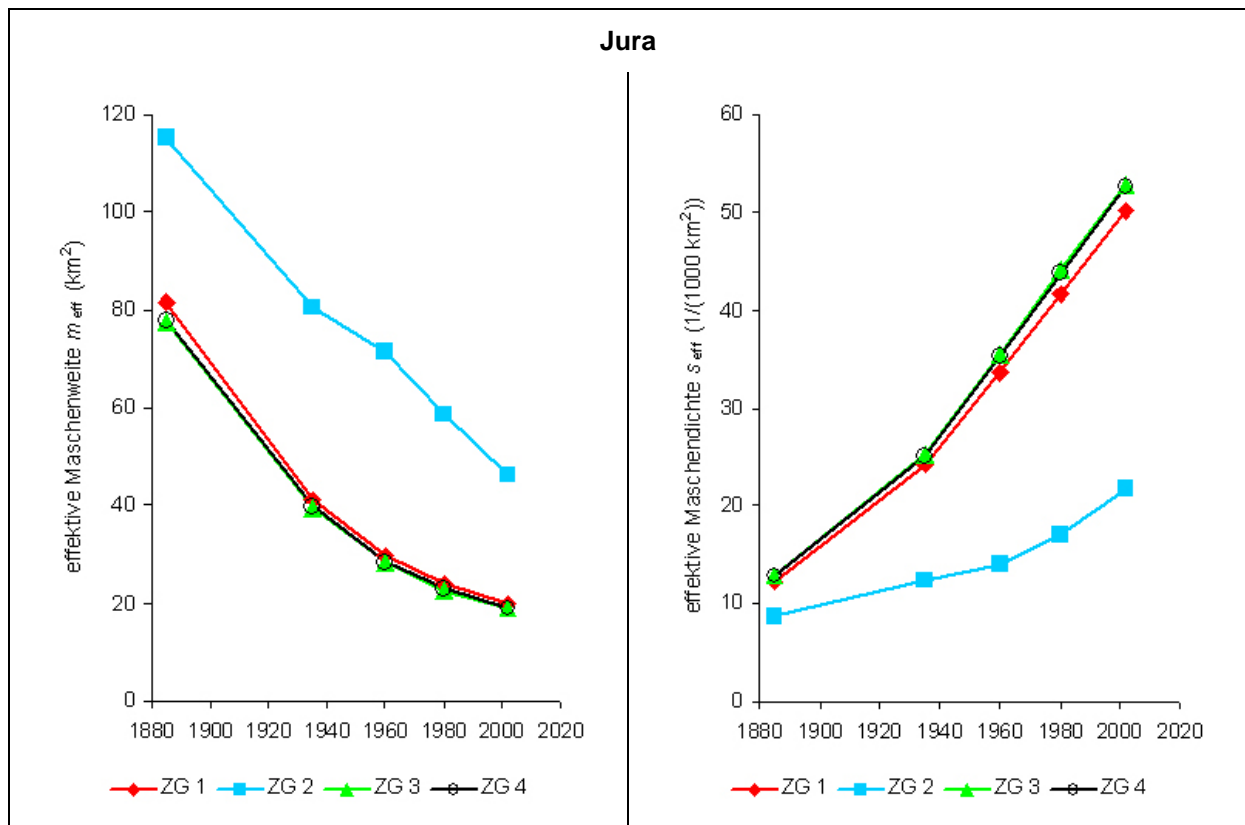
Abbildung 20: Entwicklung des Anteils der UZR grösser als 100 km² (links) bzw. grösser als 50 km² (rechts) an der Landesfläche für alle vier Zerschneidungsgeometrien von 1885 bis 2002. Der UZR-Flächenanteil ist eine beschönigende Messgrösse für die Landschaftszerschneidung, da unter anderem die Zerschneidung von sehr grossen Flächen in kleinere Flächen mit Grössen über 100 km² bzw. 50 km² nicht erfasst wird (ZG 1 = „Zivilisationsdruck“, ZG 2 = „Trennelemente bis 2.-Kl.-Strassen“, ZG 3 = „Trennelemente bis 3.-Kl.-Strassen“, ZG 4 = „Landflächen unterhalb 2100 m“).

Trotz dieser beschränkten Eignung des UZR-Flächenanteils als Messgrösse zeigen wir in Abbildung 20 die Entwicklung der Anteile der UZR > 100 km² respektive > 50 km² zwischen den Jahren 1885 und 2002. Die Darstellung des UZR-Flächenanteils ist in vielen Fällen (wie in der Schweiz) eine beschönigende Angabe für die Entwicklung der Landschaftszerschneidung, da unter anderem die Zerschneidung von grossen Flächen in kleinere Flächen mit Grössen über 100 km² nicht berücksichtigt wird.

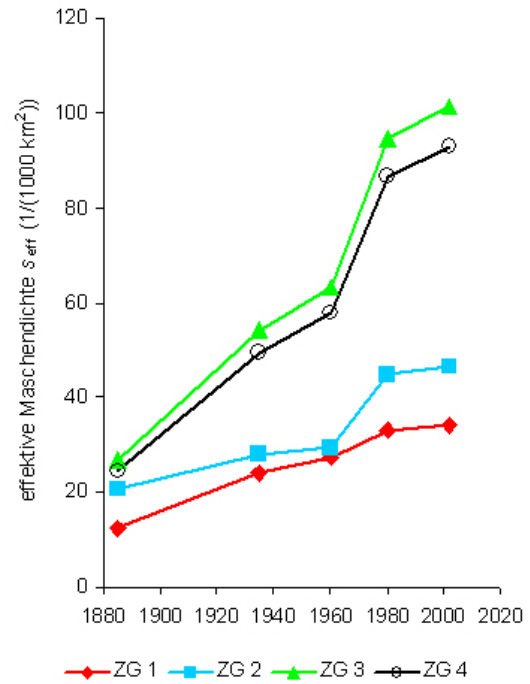
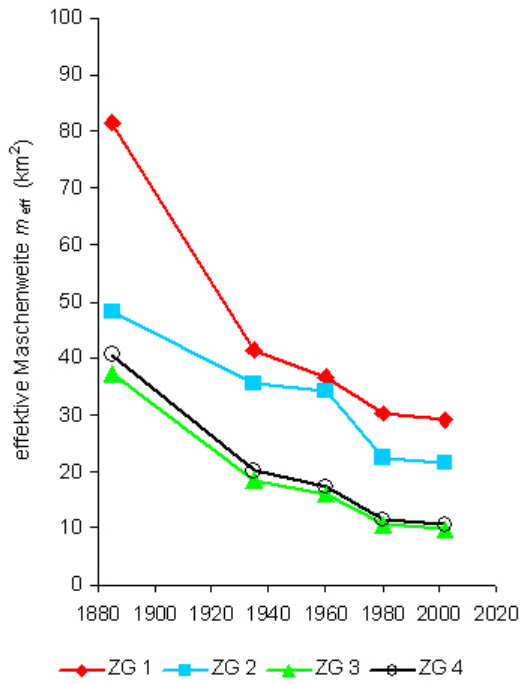
Der Flächenanteil der UZR > 50 km² bzw. > 100 km² nimmt seit 1885 in allen Zerschneidungsgeometrien kontinuierlich ab. Einzig zwischen 1960 und 1980 ist ein etwas stärkerer Rückgang zu verzeichnen als sonst. Dass die Entwicklung der Landschaftszerschneidung insgesamt aber nicht derartig gleichmässig verlief, zeigt die Analyse anhand der effektiven Maschenweite und -dichte (Abbildung 19). Effektive Maschenweite und effektive Maschendichte zeigen die tatsächlichen Veränderungen besser, weil sie auch das Zerschneiden (oder Wiedervereinigen) kleinerer Flächen und sehr grosser Flächen berücksichtigen.

3.2.2 Naturräume

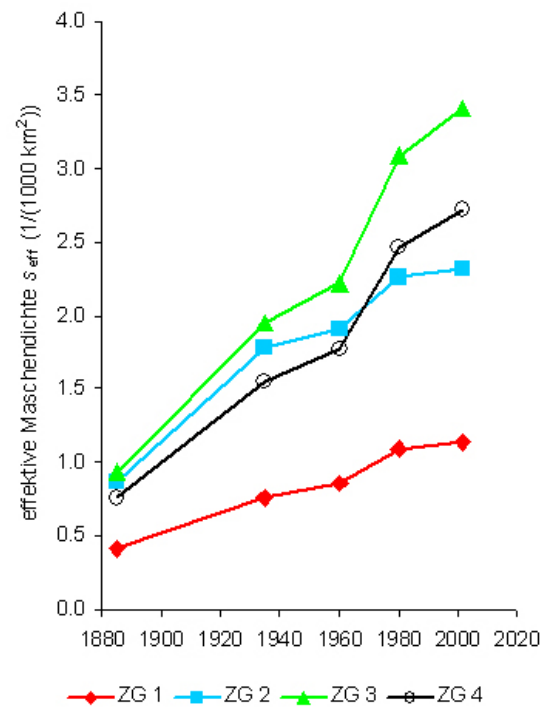
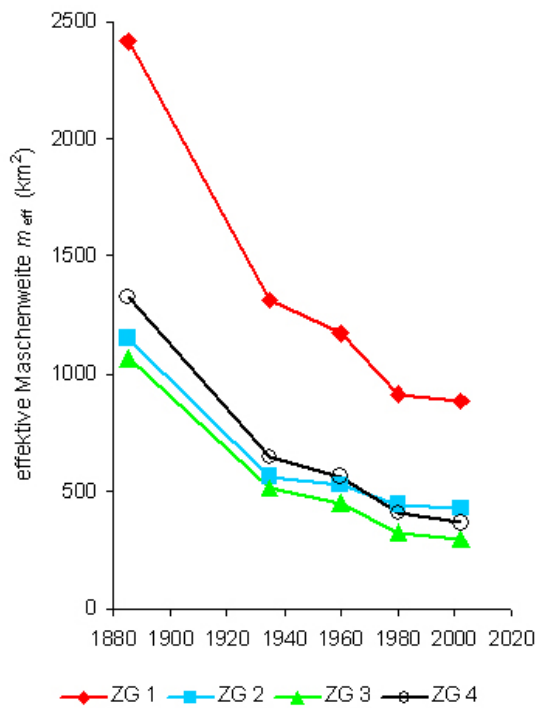
Bereits beim Vergleich der aktuellen Werte der effektiven Maschenweite für die verschiedenen Naturräume zeigten sich deutliche Unterschiede (Abschnitt 3.1.2). Wie unterscheidet sich die Entwicklung der Landschaftszerschneidung in den verschiedenen Naturräumen?



Mittelland



Alpenordflanke



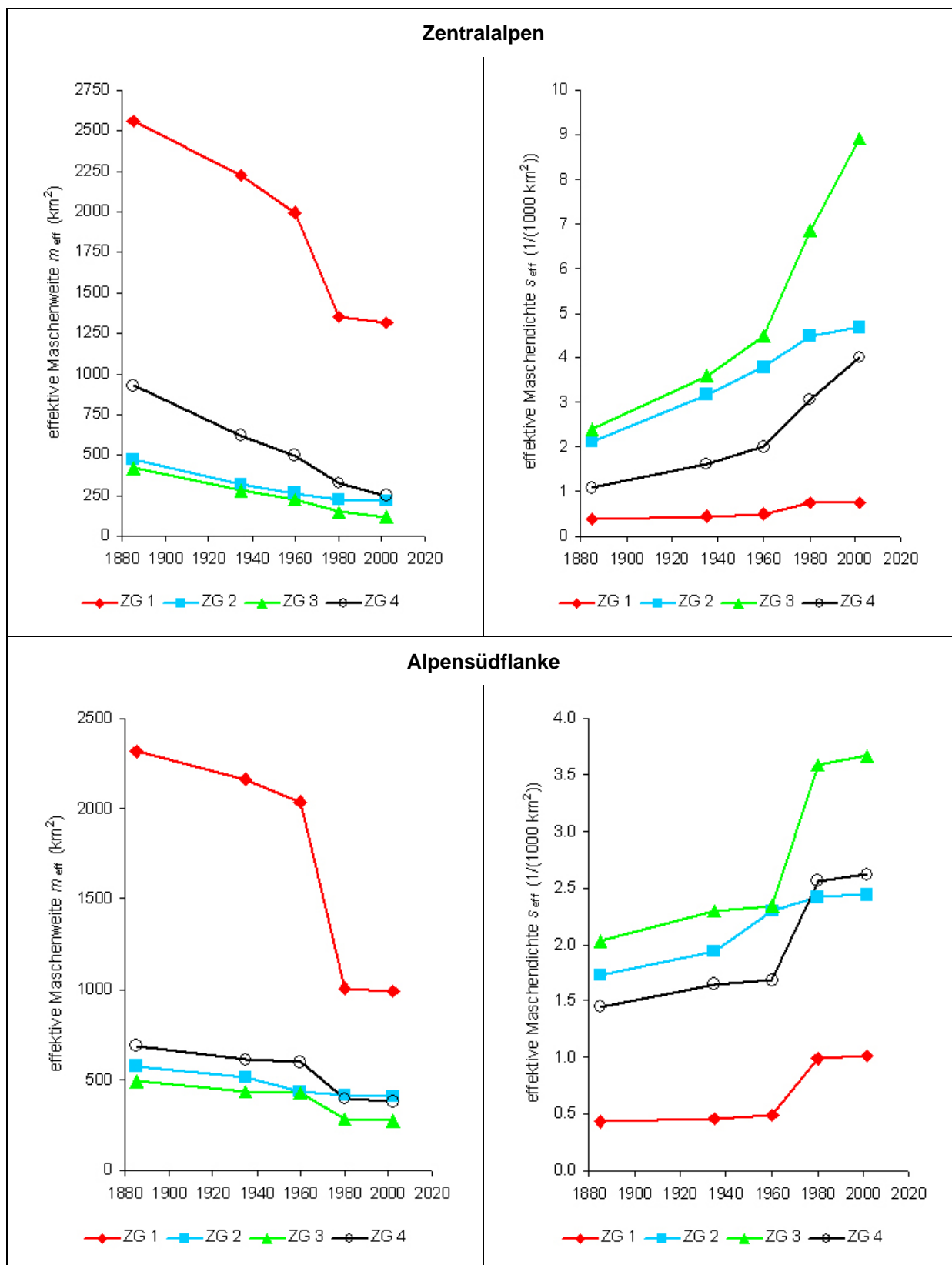


Abbildung 21: Entwicklung der effektiven Maschenweite (links) und Maschendichte (rechts) in den fünf Naturräumen der Schweiz anhand der vier Zerschneidungsgeometrien von 1885 bis 2002 (ZG 1 = „Zivilisationsdruck“, ZG 2 = „Trennelemente bis 2.-Kl.-Strassen“, ZG 3 = „Trennelemente bis 3.-Kl.-Strassen“, ZG 4 = „Landflächen unterhalb 2100 m“).

Die wichtigsten Beobachtungen zu den Naturräumen (Abbildung 21) sind:

- In allen Zerschneidungsgeometrien und zu allen Zeitpunkten liegen die Werte für die Naturräume der Alpenregion mit grossem Abstand über jenen des Mittellandes und des Juras.
- Zerschneidungsgeometrie 1 („Zivilisationsdruck“): Mittelland und Jura sind in dieser ZG um mehrere Grössenordnungen stärker zerschnitten als die alpinen Naturräume. Dies liegt vor allem an der starken Zerschneidung von Mittelland und Jura einerseits und den grossen unzerschnittenen Flächen im Gebirge andererseits. Starke Abnahmen sind in den Alpen bereits zwischen 1885 und 1935 zu beobachten. Eine dramatische Abnahme der effektiven Maschenweite gab es zwischen 1960 und 1980. Danach verlaufen die Kurven der effektiven Maschenweite in allen Naturräumen wieder flacher. Allerdings zeigen die Kurven der effektiven Maschendichte (Abbildung 21 rechts), dass sich der Trend im Jura nicht abgeschwächt hat. Auf der Alpennordflanke und im Mittelland ist der heutige Trend zwar gegenüber der Phase 1960 bis 1980 deutlich schwächer geworden, aber nur wenig schwächer als der Gesamttrend seit 1935.
- Zerschneidungsgeometrie 2 („Trennelemente bis 2.-Kl.-Strassen“): Auffällig ist die starke Abnahme der effektiven Maschenweite auf der Alpennordflanke, wo sich der Wert von 1885 bis 1935 fast halbiert hat und zwischen 1960 und 1980 nochmals stark abnahm. Auch im Mittelland fällt die starke Abnahme der effektiven Maschenweite zwischen 1960 und 1980 besonders auf. In den anderen Naturräumen verlief der Rückgang der Maschenweite relativ kontinuierlich.
- Zerschneidungsgeometrie 3 („Trennelemente bis 3.-Kl.-Strassen“): Hier zeigt sich insgesamt ein ähnliches Bild wie in ZG 2, ausser dass hier die Abnahme auf der Alpensüdflanke zwischen 1960 und 1980 deutlich stärker war als in der Zeitspanne davor. In ZG 2 war die Entwicklung gerade umgekehrt. Daraus lässt sich schliessen, dass auf der Alpensüdflanke zwischen 1935 und 1960 vor allem höherklassige Strassen gebaut wurden und erst zwischen 1960 und 1980 verstärkt 3.-Klass-Strassen gebaut wurden. Der starke Autobahnbau von 1960 bis 80 auf der Alpensüdflanke hatte einen relativ geringen Einfluss auf m_{eff} , da die Autobahnen fast immer in Gebieten gebaut wurden, die bereits stark zerschnitten waren (Talgrund).¹² An Orten, wo sie zerschneidungswirksam für m_{eff} gewesen wären, wurden sie oft in Tunnels gebaut. Im Gegensatz dazu wurden in den Jahren 1935 bis 1960 viele Gebiete mit höherklassigen Strassen neu erschlossen, und diese Strassen waren daher zerschneidungswirksam: Die 3.-Kl.-Strassen ab 1960 sind oft vom Tal aus an den Berghängen gebaut worden und haben aus den grossen, unzerschnittenen Berggebieten Stücke herausgetrennt. – In den Zentralalpen ist der ungebrochene Trend seit 1960 auffällig (anders als bei ZG 2). Auch auf der Alpennordflanke ist der Trend in ZG 3 deutlich stärker als in ZG 2.
- Zerschneidungsgeometrie 4 („Landflächen unterhalb 2100 m“): Auf der Alpennordflanke und in den Zentralalpen verlief die Entwicklung zwischen 1885 und 1935 deutlich schneller als auf der Alpensüdflanke. Der Trend ist in den Zentralalpen unverändert stark (wie in ZG 3). Im Jura und im Mittelland verläuft die Kurve wie in ZG 3.
- Die stärkste Abnahme der effektiven Maschenweite fand in den meisten Naturräumen zwischen 1960 und 1980 statt. Am stärksten ist die Abnahme der effektiven Maschenweite für die Alpensüdflanke in Zerschneidungsgeometrie 1, wo sie in 20 Jahren eine Halbierung erfuhr (von 2037.65 km² im Jahr 1960 auf 1005.94 km² im Jahr 1980).
- Am auffälligsten ist die Entwicklung im Jura, wo die effektive Maschendichte bis heute mit konstanter Rate zugenommen hat, ohne dass Anzeichen einer Abschwächung erkennbar wären.

Die Gründe, die diesen Entwicklungen zugrunde liegen, lassen sich bei der Betrachtung der einzelnen Kantone anhand der Karten genauer erkennen und werden dort detailliert diskutiert (Abschnitt 3.2.4). Ein Grund für die Abflachung der Kurven seit 1980 (ausser im Jura) ist beispielsweise, dass seit 1980 neu erstellte Verkehrswege zu einem grösseren Anteil unterirdisch geführt werden.

¹² Die qualitativen Unterschiede (höhere Verkehrsstärken auf den Autobahnen, Abzäunung, optische und akustische Beeinträchtigung) werden bei der hier angewendeten Methode nicht erfasst (dies wäre aber in einer detaillierteren Untersuchung möglich, siehe Abschnitt 4.1).

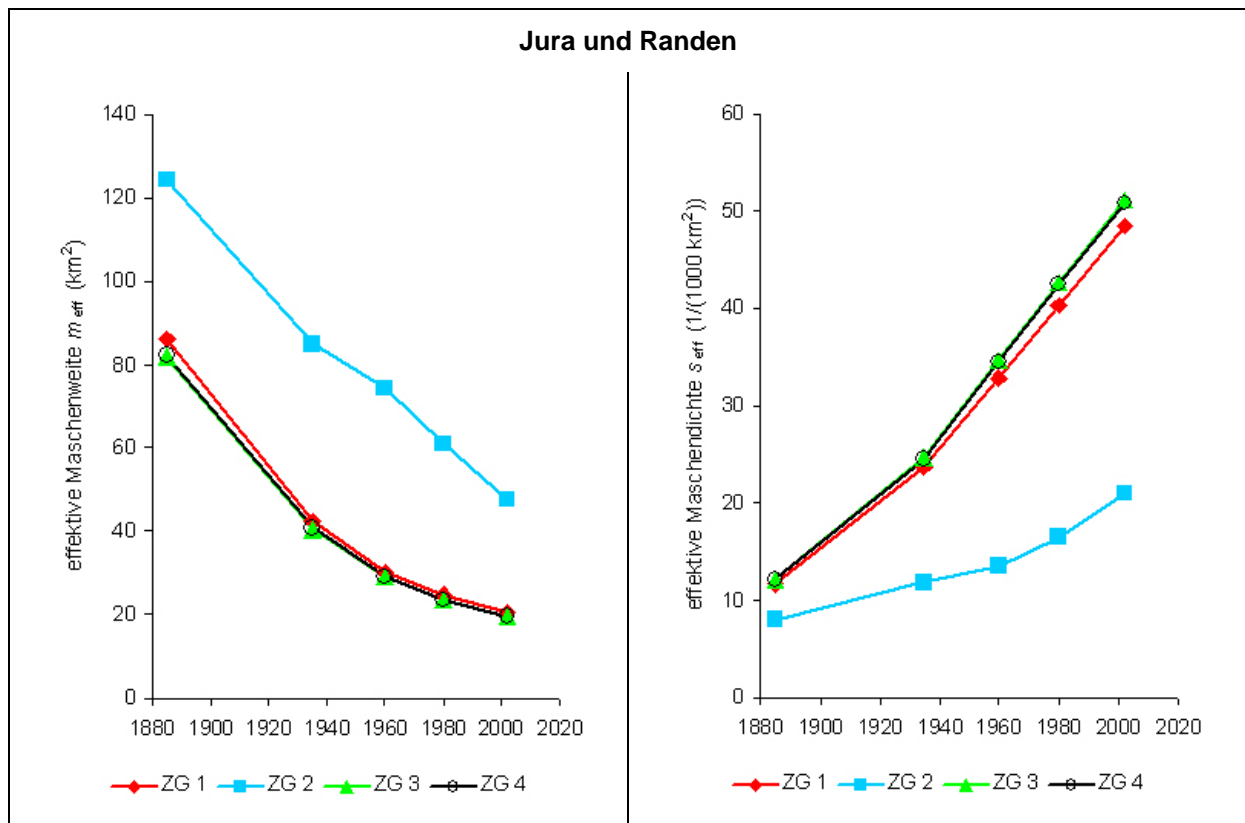
Die Entwicklung der Zerschneidung in den Naturräumen gemäss der Abgrenzung, wie sie im Biodiversitätsmonitoring (BDM) verwendet wird, ist im Anhang angegeben (Abschnitt 9.8)

3.2.3 Biogeographische Regionen

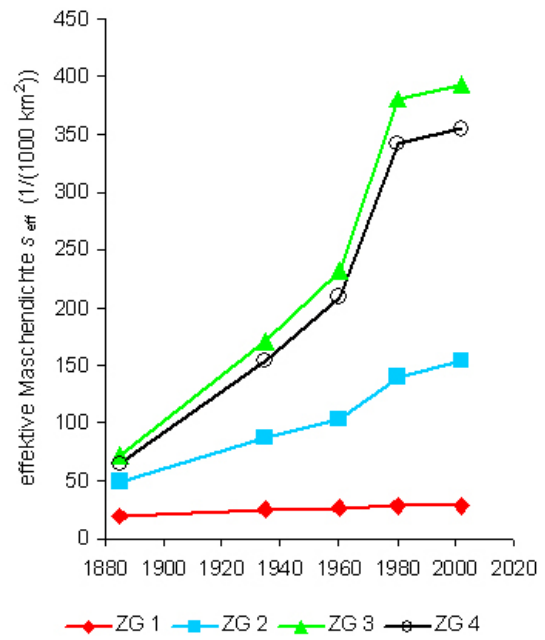
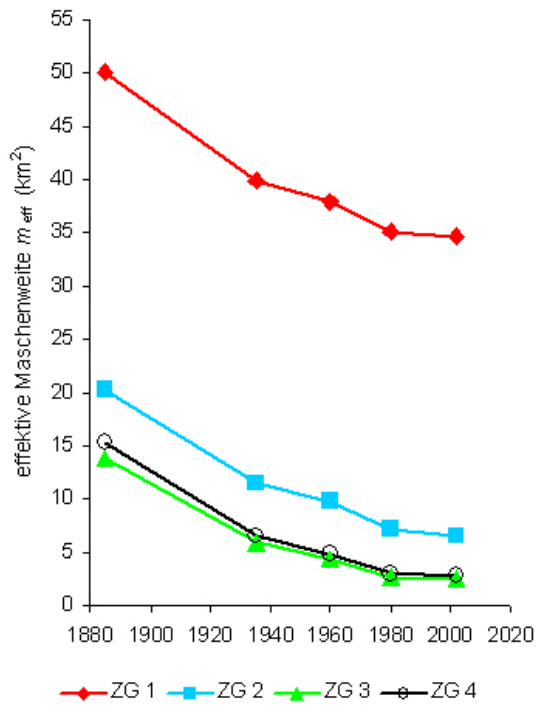
Wie stark hat die Zerschneidung in den biogeographischen Regionen der Schweiz zugenommen (Abbildung 22)?

Die Beobachtungen aus Abbildung 22 decken sich im Wesentlichen mit jenen aus dem vorhergehenden Abschnitt zu den fünf Naturräumen (vor allem im Jura, in den Nordalpen und Südalpen). Hier wird darum nur noch auf besonders tiefe Werte der effektiven Maschenweite in einzelnen Regionen eingegangen.

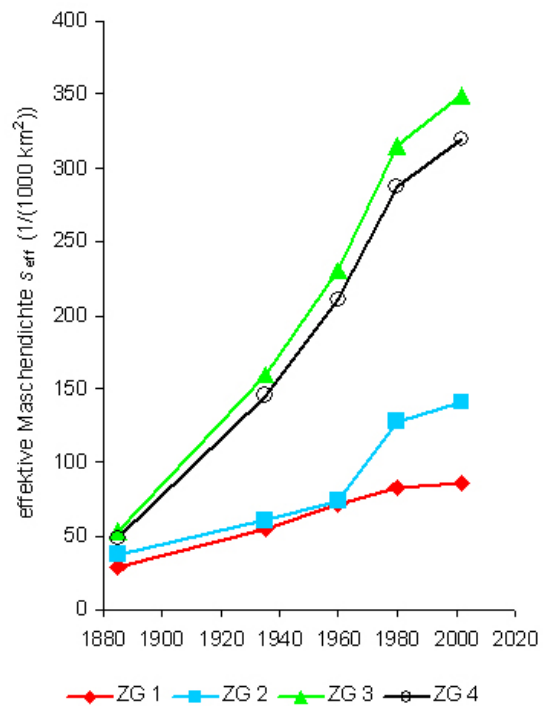
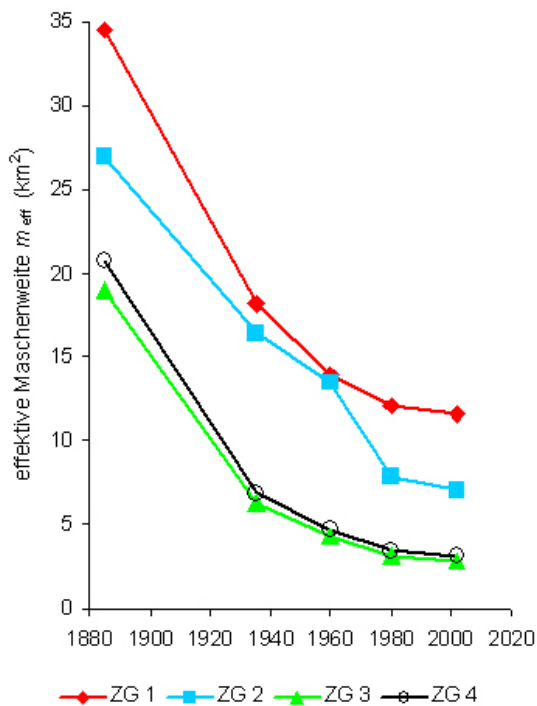
Mit einer effektiven Maschenweite von 34.48 km² in ZG 1 war die Landschaft im Östlichen Mittelland bereits 1885 sehr stark zerschnitten. Bis in Jahr 2002 nahm die Maschenweite aber trotzdem noch auf 11.62 km² ab (-66.3%). Die Werte liegen für alle Zerschneidungsgeometrien weit unter denen des Naturraums „Mittelland“, die Form der Kurven ist aber ähnlich. Die Werte der effektiven Maschenweite im Westlichen Mittelland liegen höher als im Östlichen Mittelland, aber ebenfalls tiefer als im Naturraum „Mittelland“. Dies liegt daran, dass Teile der Voralpen und des Gebietes „Jura und Randen“ (sowie der Genfer See) zum Naturraum „Mittelland“ zählen (vgl. Abschnitt 9.8 im Anhang). In den Voralpen ist die Maschenweite 10- bis 40-mal grösser als im Westlichen Mittelland.



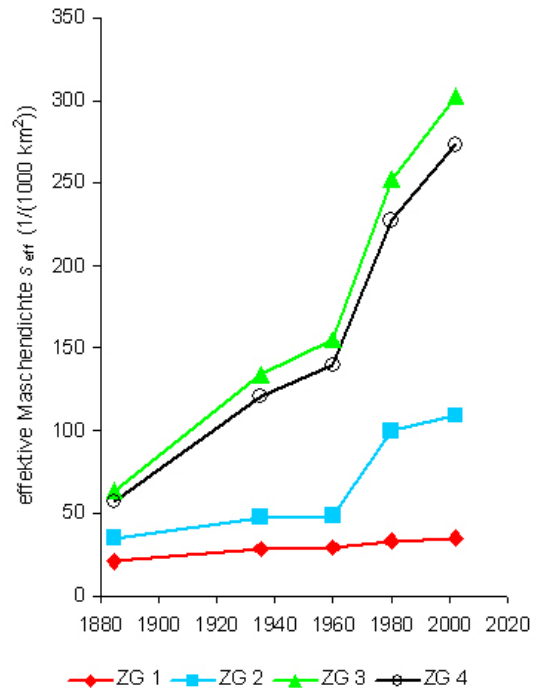
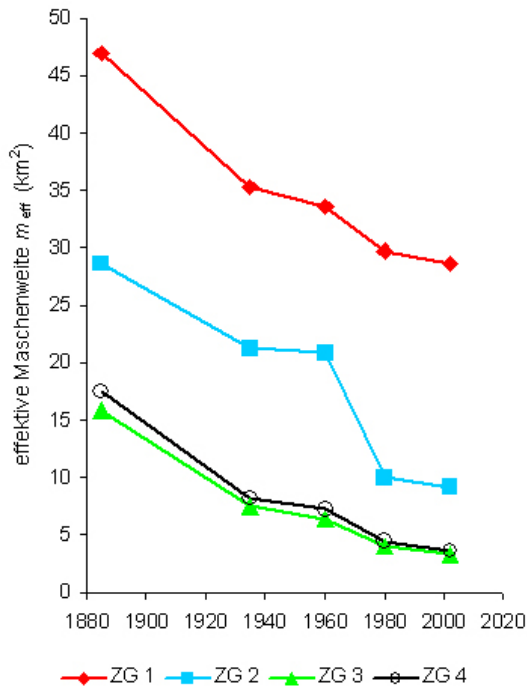
Hochrhein- und Genferseegebiet



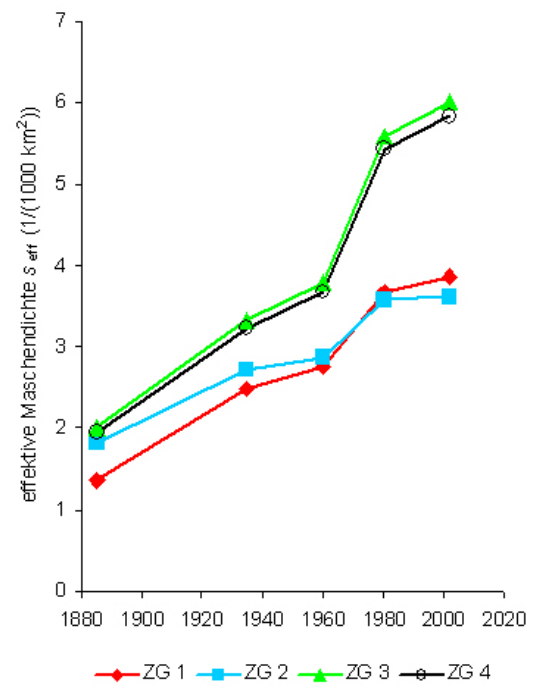
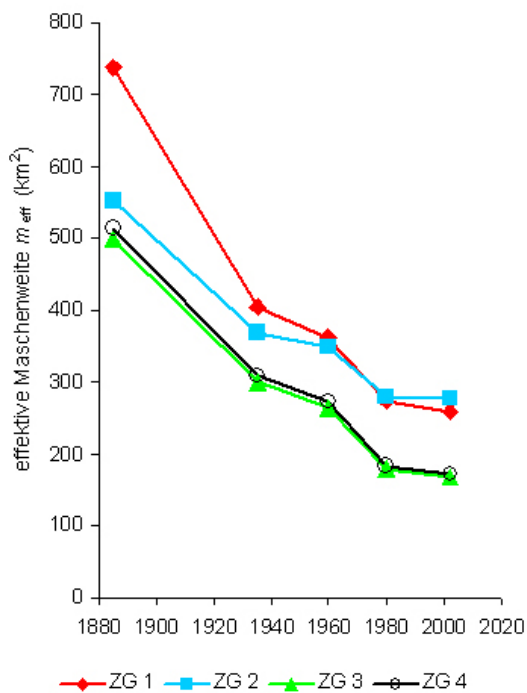
Östliches Mittelland



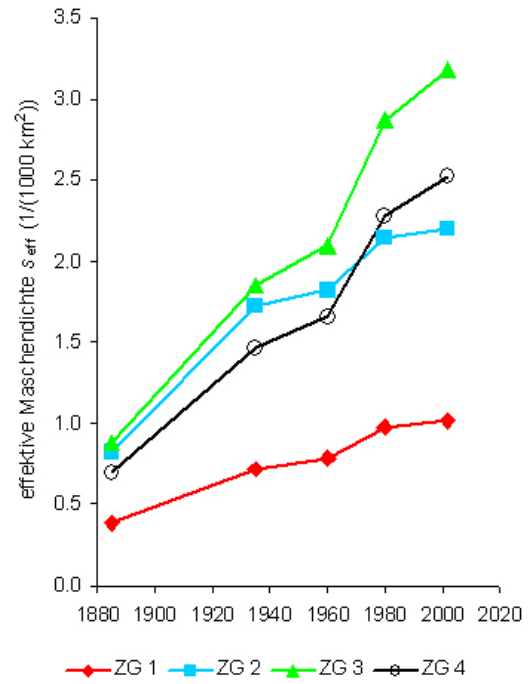
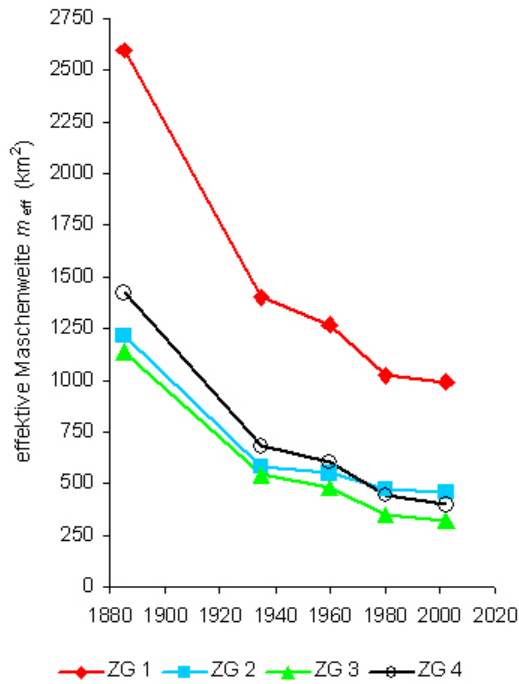
Westliches Mittelland



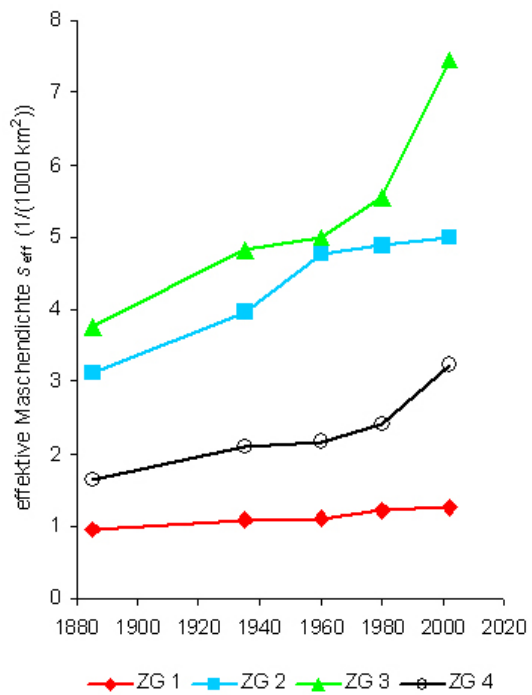
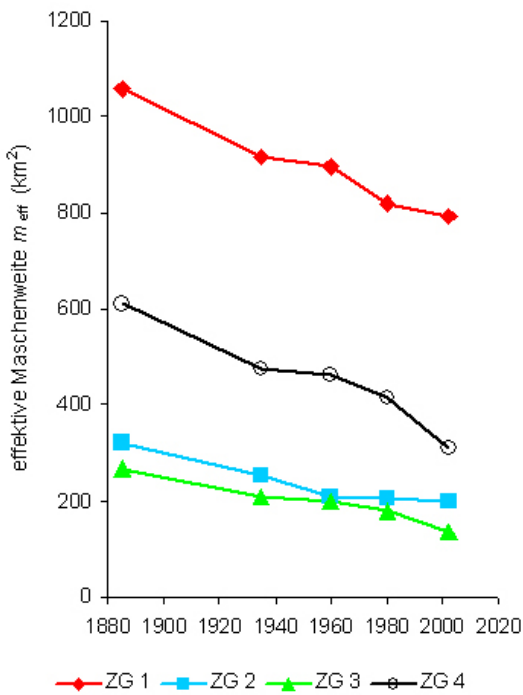
Voralpen

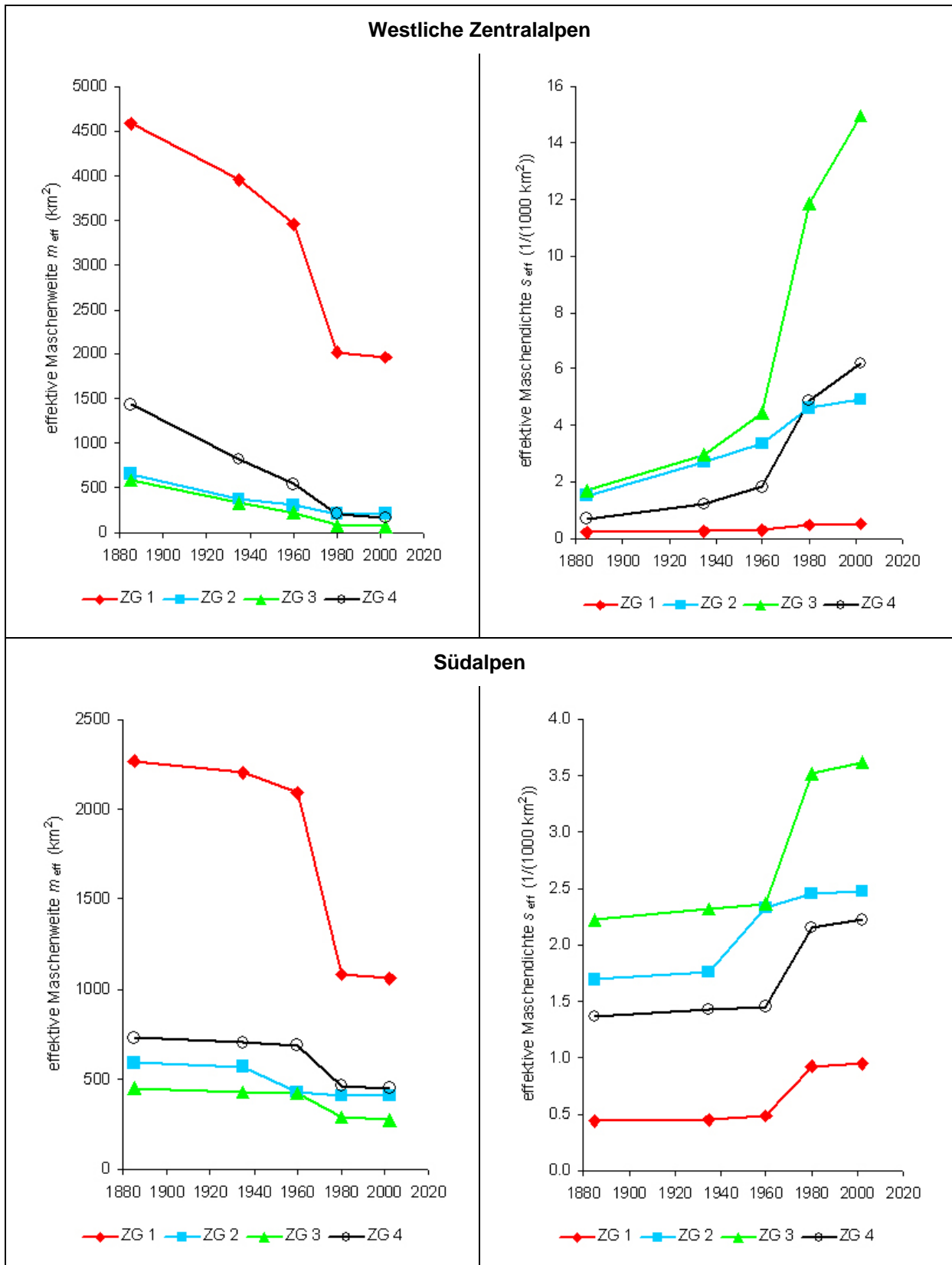


Nordalpen



Östliche Zentralalpen





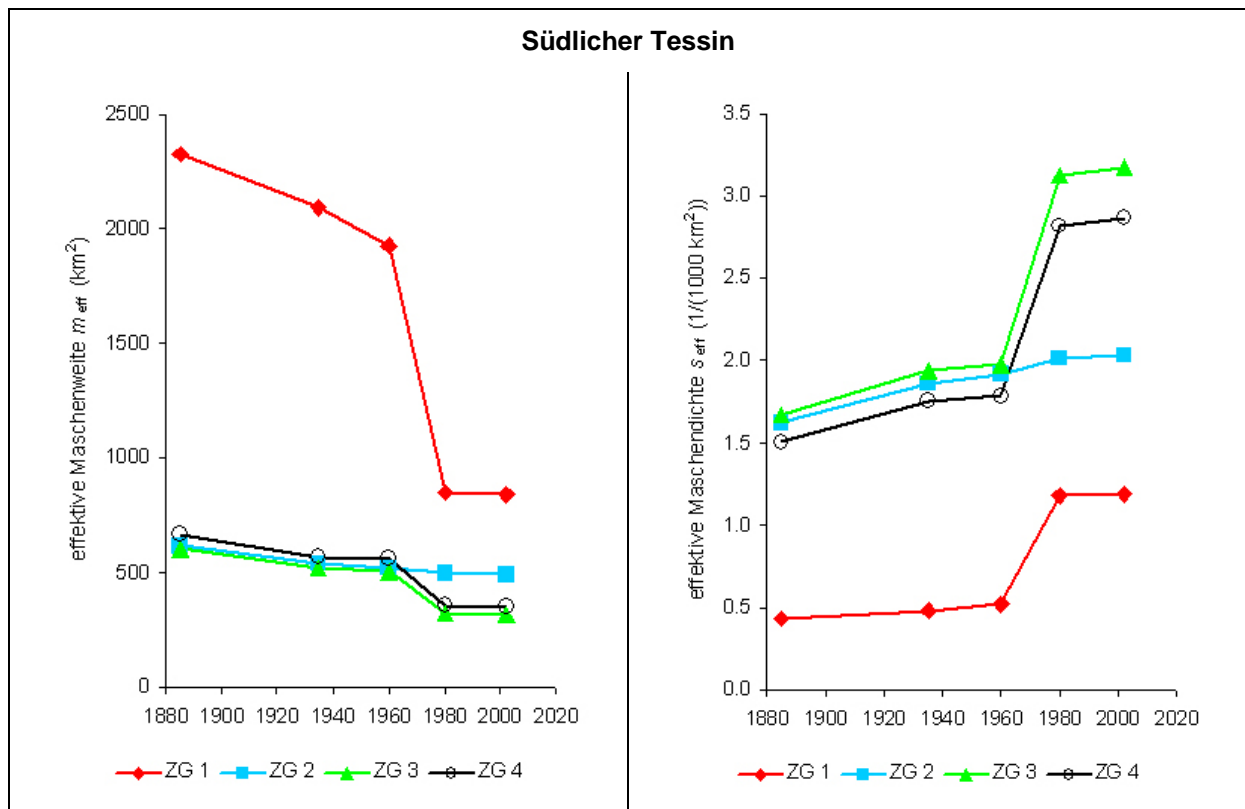


Abbildung 22: Entwicklung der effektiven Maschenweite und Maschendichte von 1885 bis 2002 in den zehn biogeographischen Regionen der Schweiz (ZG 1 = „Zivilisationsdruck“, ZG 2 = „Trennelemente bis 2.-Kl.-Strassen“, ZG 3 = „Trennelemente bis 3.-Kl.-Strassen“, ZG 4 = „Landflächen unterhalb 2100 m“).

In ZG 2 war das Hochrhein- und Genferseegebiet bereits 1885 das am stärksten zerschnittene Gebiet (20.22 km²). Die effektive Maschenweite nahm dort bis ins Jahr 2002 um 67.9% auf 6.49 km² ab. Auch in ZG 3 ist dieses Gebiet das am stärksten zerschnittene. Von 13.73 km² nahm die effektive Maschenweite auf 2.54 km² ab (-81.5%). Ein ähnliches Bild zeigt sich für ZG 4.

Unterschiede zeigen sich auch zwischen den Östlichen und Westlichen Zentralalpen: Während die effektive Maschenweite in den Westlichen Zentralalpen in ZG 1 weitaus höher liegt als im östlichen Teil, ist sie in ZG 3 und ZG 4 deutlich geringer als im Osten (in ZG 2 ist sie heute ähnlich, hat aber im Westen stärker abgenommen). Die Abnahme der effektiven Maschenweite gegenüber 1885 war in allen Zerschneidungsgeometrien im Westen stärker als im Osten. Die Werte sind im Abschnitt 9.8 im Anhang angegeben.

3.2.4 Kantone

Die Abnahme der effektiven Maschenweite seit 1885 zeigt grosse Unterschiede zwischen den Kantonen. Abbildung 23 stellt die Entwicklung für jede Zerschneidungsgeometrie in farblicher Abstufung dar.

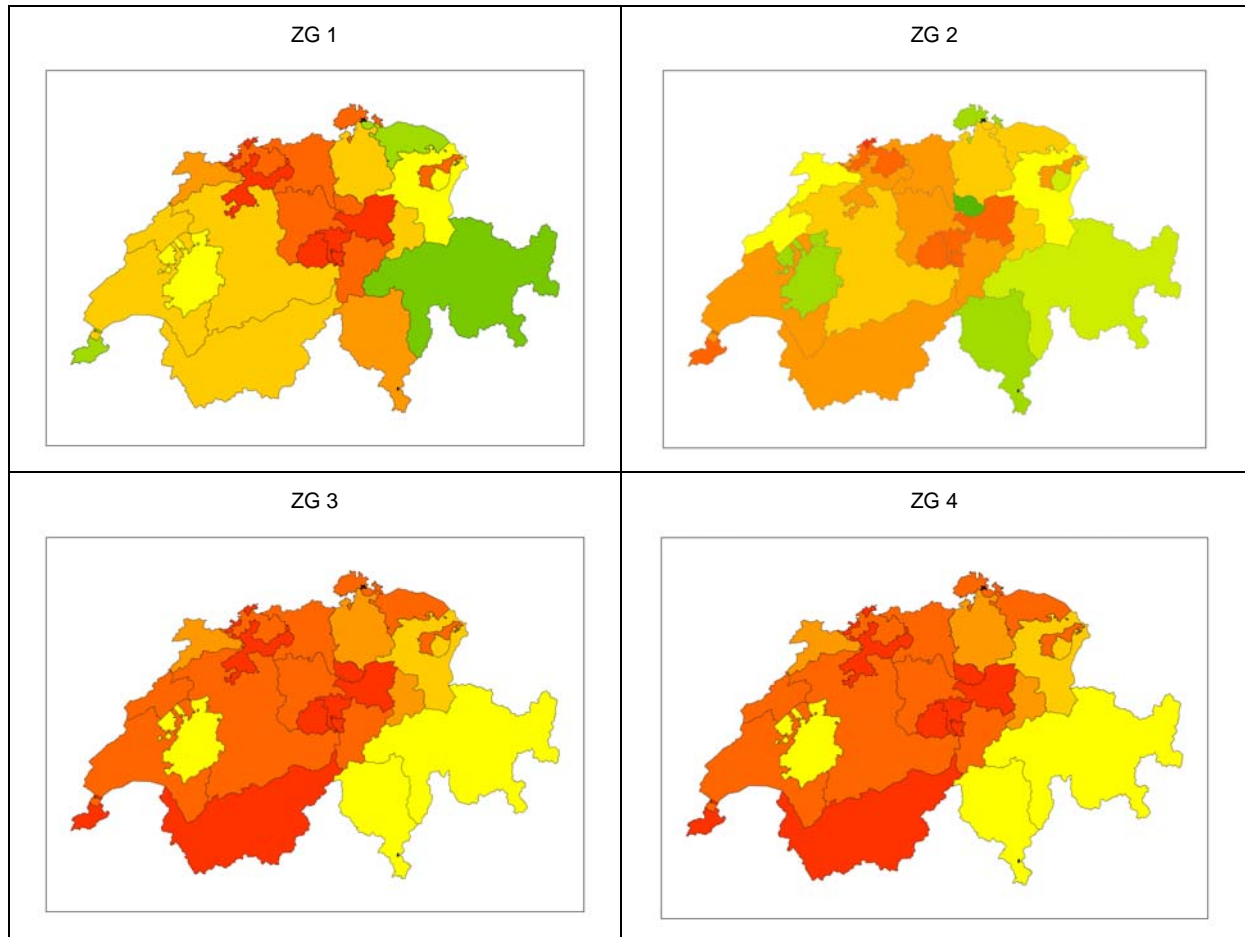
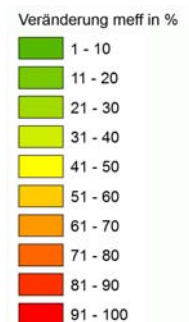


Abbildung 23: Abnahme der effektiven Maschenweite in den 26 Kantonen zwischen 1885 und 2002 für die vier Zerschneidungsgeometrien (ZG 1 = „Zivilisationsdruck“, ZG 2 = „Trennelemente bis 2.-Kl.-Strassen“, ZG 3 = „Trennelemente bis 3.-Kl.-Strassen“, ZG 4 = „Landflächen unterhalb 2100 m“).



Besonders starke Abnahmen (über 50%) erfolgten fast im gesamten Mittelland, im Jura, in den Nordalpen und in den Westlichen Zentralalpen.

In Zerschneidungsgeometrie 1 fand die stärkste Abnahme der effektiven Maschenweite mit mehr als 80% in den fünf Kantonen Schwyz, Nidwalden, Basel-Stadt, Obwalden und Solothurn statt. 16 Kantone weisen eine Abnahme zwischen 50% und 80% auf. Lediglich in fünf Kantonen betrug die Abnahme unter 50%: in Graubünden (-19.9%), Genf (-22.4%), Thurgau (-29.3%), Freiburg (-43.5%) und St. Gallen (-44.4%).

Insgesamt sieht das Bild in den anderen Zerschneidungsgeometrien ähnlich aus, mit einigen Ausnahmen, z.B. Genf. Der Wert der Abnahme für Genf fällt in den anderen Zerschneidungsgeometrien

weitaus höher aus, da der Anteil des Kantons am Genfer See in ZG 1 als unzerschnittene Fläche betrachtet wird.

Zwischen ZG 3 und ZG 4 bestehen in der Darstellung von Abbildung 23 keine Unterschiede.

Um eine Übersicht zu geben, in welchen Kantonen die Abnahme der effektiven Maschenweite *in jüngerer Zeit* besonders stark war, stellt Abbildung 24 die Abnahme gegenüber dem Wert für das Jahr 1960 dar.

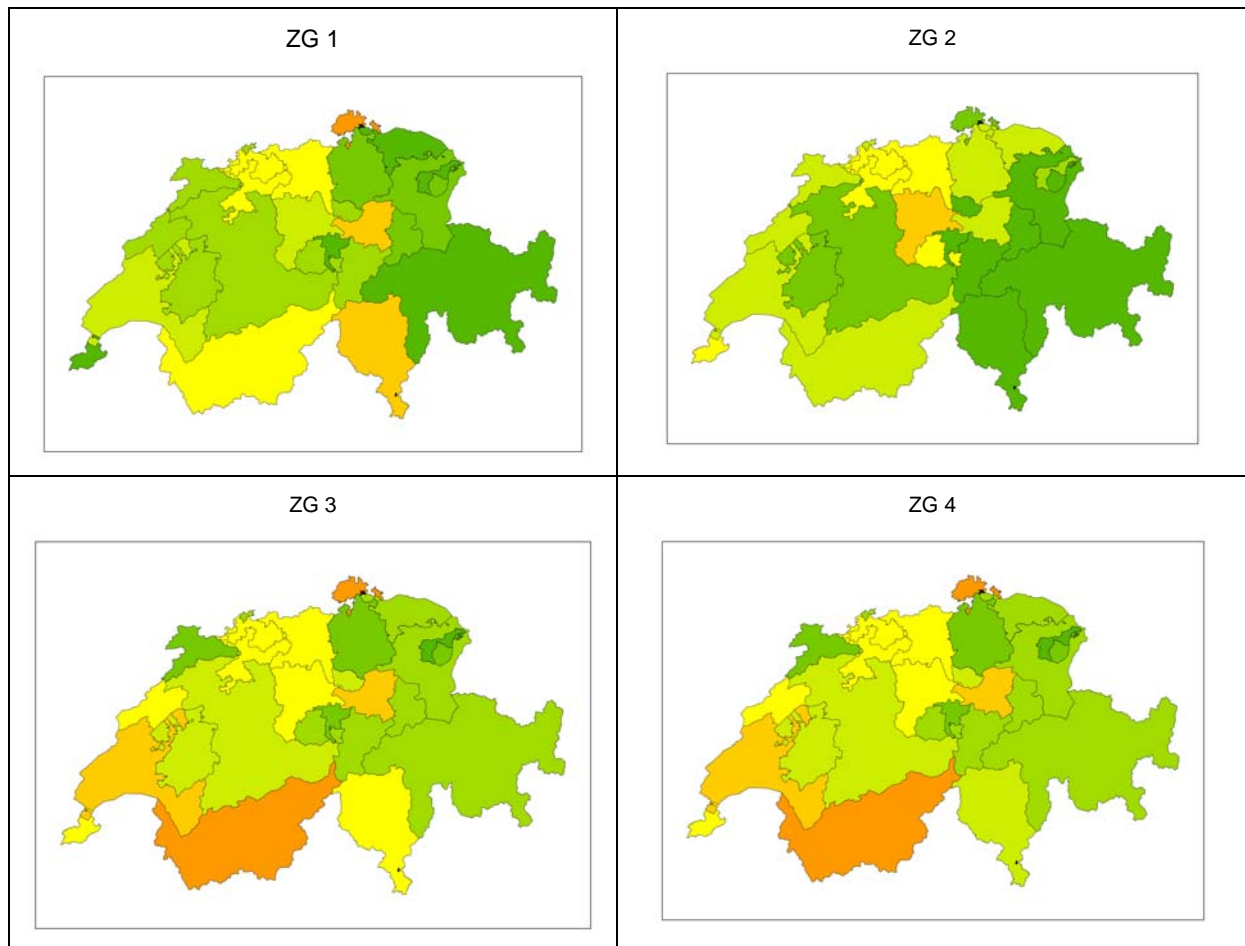
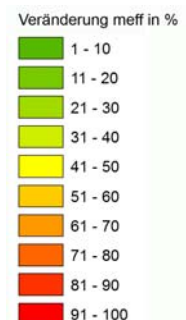


Abbildung 24: Abnahme der effektiven Maschenweite in den 26 Kantonen zwischen 1960 und 2002 für die vier Zerschneidungsgeometrien (ZG 1 = „Zivilisationsdruck“, ZG 2 = „Trennelemente bis 2.-Kl.-Strassen“, ZG 3 = „Trennelemente bis 3.-Kl.-Strassen“, ZG 4 = „Landflächen unterhalb 2100 m“).



Die Unterschiede zwischen ZG 3 und ZG 4 sind wiederum sehr gering. In Abbildung 24 unterscheidet sich die Farbstufe nur im Tessin, doch auch hier liegen die Werte nahe beieinander.

In den letzten 40 Jahren hat die stärkste Abnahme der effektiven Maschenweite in ZG 1 mit mehr als 40% in den sieben Kantonen Schaffhausen (65%), Tessin (56%), Schwyz (51%), Basel-Landschaft (49%), Solothurn (46%), Aargau (45%) und Wallis (43%) stattgefunden. Die fünf Kantone, die am wenigsten Veränderung aufweisen, sind Thurgau, Genf, Graubünden, Nidwalden und Appenzell-Ausserrhodens (alle unter 10% Abnahme). Schwyz und Solothurn liegen somit in beiden Zeiträumen im

Bereich sehr hoher Abnahme, Graubünden, Thurgau und Genf beide Male im Bereich der geringsten Abnahme. Für Genf gilt diese Beobachtung allerdings ausschliesslich in ZG 1, in der sich der See positiv auf die effektive Maschenweite auswirkt. In ZG 4 liegen die Abnahmen in Genf bei 44% (1960-2002) bzw. 86% (1885-2002). Nidwalden hat eine Abnahme unter 10% seit 1960, insgesamt aber über 80%. Hier war die Abnahme zwischen 1885 und 1960 besonders stark (siehe unten die Erläuterungen zu den Zeitreihen zum Kanton im Abschnitt 9.6 im Anhang).

Im Folgenden wird die Entwicklung der Zerschneidung in den einzelnen Kantonen jeweils anhand von zwei Abbildungen dargestellt. Dazu dienen Zerschneidungskarten (für ZG 4 „Landflächen unterhalb 2100 m“) aus den Jahren 1885 (links) und 2002 (rechts) sowie die Diagramme zur Entwicklung der effektiven Maschenweite (links) und der effektiven Maschendichte (rechts) für alle 4 Zerschneidungsgeometrien. Zwei Kantone werden beispielhaft auf den folgenden Seiten in diesem Abschnitt 3.2.4 vorgestellt; alle Kantone werden systematisch in Abschnitt 9.6 (im Anhang) besprochen.

Generelle Beschreibung

Generell sind in nahezu allen Kantonen zahlreiche neue Verkehrswege gebaut worden. Die Siedlungsflächen haben sich fast überall sehr stark ausgedehnt und tragen ebenfalls zu einer höheren Landschaftszerschneidung bei. Es gibt aber wichtige Unterschiede zwischen den Regionen, die bei den einzelnen Kantonen diskutiert werden (siehe unten).

Die Kurven der effektiven Maschenweite als Funktion der Zeit verlaufen in allen Kantonen immer abwärts oder bleiben konstant, in keinem Fall gehen sie wieder aufwärts. (Entsprechend führen die Kurven der effektiven Maschendichte stets aufwärts.) Dies liegt daran, dass die Rückbauten von Verkehrswegen in allen Fällen durch die Neubauten und Höherklassierungen mehr als kompensiert wurden. (In einzelnen Bezirken ist dies anders; siehe unten Abschnitt 3.2.5.)

Wenn die Kurve der effektiven Maschenweite für ZG 1 („Zivilisationsdruck“) am höchsten liegt (bzw. die Werte der effektiven Maschendichte am tiefsten liegen), so ist dies eine Folge von grossen Anteilen der Seen oder Gebirgsgebiete (über 2100 m) an der Kantonsfläche (z.B. Kantone Genf und Glarus), und ihr Einfluss auf die Maschenweite ist stärker als der Einfluss der 3.-Klass-Strassen.

Wenn die Kurve der effektiven Maschenweite für ZG 2 („Trennelemente bis 2.-Kl.-Strassen“) am höchsten liegt, so ist der Einfluss der 3.-Klass-Strassen auf die Maschenweite stärker als der Einfluss der Seen und Gebirgsflächen (z.B. Kantone Aargau und Schaffhausen).

Wenn die Kurve der effektiven Maschenweite in ZG 2 stärker absinkt als in ZG 3 (z.B. Kantone Zürich ab 1960 und Jura zwischen 1960 und 1980), so zeigt dies den Ausbau und die Hochklassierung von 3.-Klass-Strassen zu 2.-Klass-Strassen (oder noch höher klassierten Strassen) an.

Wenn die Kurve der effektiven Maschenweite in ZG 3 stärker abnimmt als in ZG 2 (z.B. Kantone Zug, Freiburg ab 1960 und St. Gallen ab 1960), so ist dies eine Folge davon, dass neue 3.-Klass-Strassen gebaut wurden.¹³

Die erste Eisenbahn in der Schweiz wurde 1856 gebaut. Die Länge des Schienennetzes wurde zwischen 1885 und 1935 um etwa 50% erweitert, danach hat sie in der Summe kaum noch zugenommen. Das Schienennetz hat daher ab 1935 einen weitaus geringeren Einfluss auf die Zunahme der Landschaftszerschneidung als das Strassennetz. Bei einem Vergleich mit der Zeit vor 1900, z.B. mit dem Jahr 1850, wäre das Schienennetz weitaus deutlicher wirksam.

Die Flüsse sind in den allermeisten Fällen von Verkehrswegen begleitet (nicht immer unmittelbar am Fluss, aber doch in der Nähe). Wenn kein Verkehrsweg am Ufer entlang führt, erscheinen in ZG 1 die Landflächen neben dem Fluss mit der Wasserfläche verbunden (nicht zerschnitten), bei ZG 2, 3 und 4 hingegen davon entlang der Uferlinie getrennt. Ähnliches gilt auch für die Seen, d.h. wenn entlang des Ufers kein Verkehrsweg verläuft, bilden sie in ZG 1 mit dem angrenzenden Land eine verbundene Fläche.

In manchen Kantonen verläuft die Entwicklung der Landschaftszerschneidung in allen vier Zerschneidungsgeometrien sehr ähnlich (z.B. im Kanton Schwyz und im Kanton Waadt). Für diese Kantone ist

¹³ oder davon, dass höher klassierte Strassen zu 3.-Klass-Strassen abklassiert oder 4.-Klass-Strassen zu 3.-Klass-Strassen hochklassiert wurden.

es daher irrelevant, welche Zerschneidungsgeometrie als Indikator zur Landschaftszerschneidung eingesetzt wird. In einigen Kantonen besteht jedoch ein grosser Unterschied zwischen ZG 2 und den anderen Zerschneidungsgeometrien (z.B. im Kanton Zug und im Kanton Glarus). Hier werden bei der Interpretation der Entwicklung unterschiedliche Aspekte deutlich in Abhängigkeit von der gewählten Zerschneidungsgeometrie.

Beschreibung der einzelnen Kantone

Im Anhang (Abschnitt 9.6) wird die Entwicklung der Landschaftszerschneidung für jeden Kanton ausführlich beschrieben. Dabei wird neben einer generellen Beschreibung der Entwicklung von Maschenweite und Maschendichte vor allem auf die Gründe für diese Entwicklung eingegangen. Hier werden zur Veranschaulichung zwei Beispiele vorgestellt: der Kanton Aargau und der Kanton Uri.

Kanton Aargau

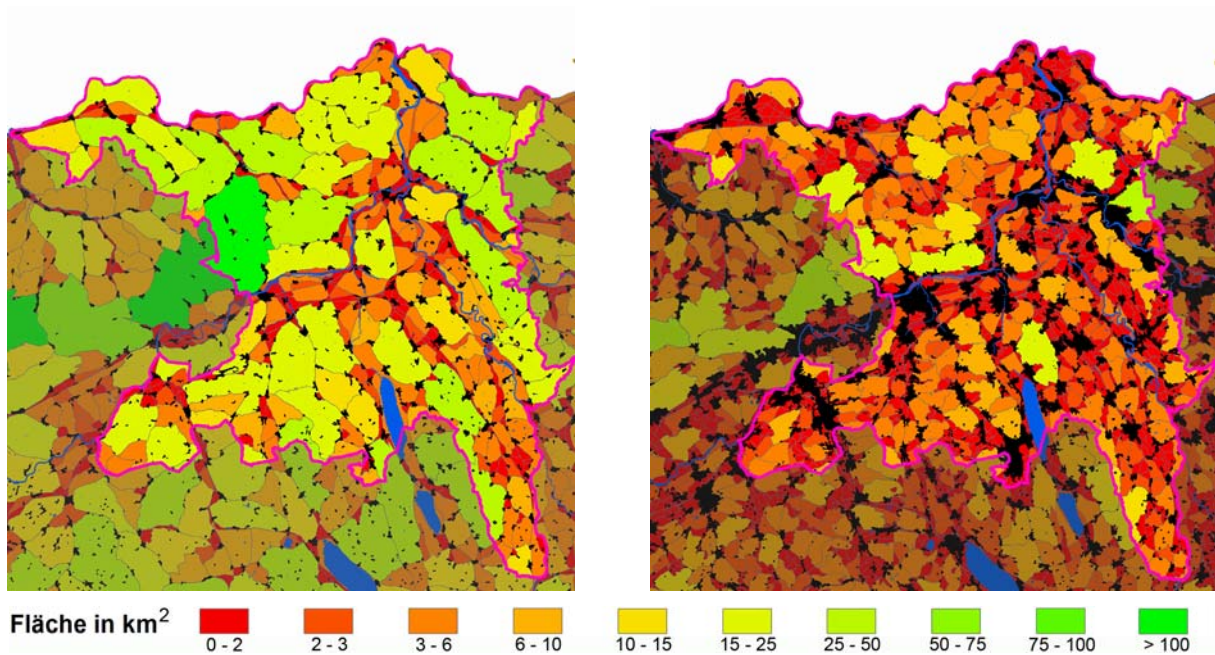


Abbildung 25: Kanton Aargau – Situation der Zerschneidung in den Jahren 1885 (links) und 2002 (rechts), dargestellt mit Zerschneidungsgeometrie 4 (Massstab ungefähr 1:760'000).

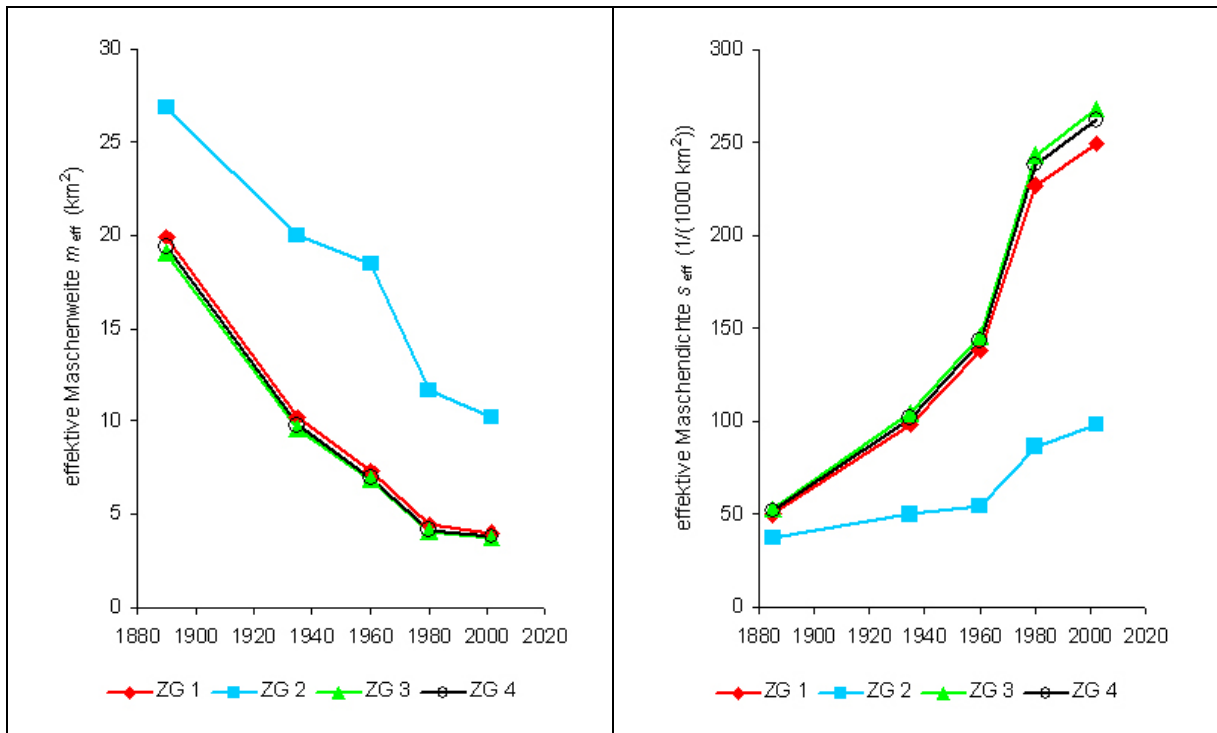


Abbildung 26: Kanton Aargau – Entwicklung der effektiven Maschenweite (links) und Maschendichte (rechts) zwischen 1885 und 2002, dargestellt für die vier Zerschneidungsgeometrien (ZG 1 = „Zivilisationsdruck“, ZG 2 = „Trennelemente bis 2.-Kl.-Strassen“, ZG 3 = „Trennelemente bis 3.-Kl.-Strassen“, ZG 4 = „Landflächen unterhalb 2100 m“).

Im Kanton Aargau ist die Grösse der verbliebenen Flächen über die gesamte Kantonsfläche markant gesunken (Abbildung 26). Nur noch etwa sechs grössere Flächen sind übrig geblieben.

Die Kurven der effektiven Maschenweite in den drei Zerschneidungsgeometrien 1, 2 und 4 verlaufen fast aufeinander (parallel und sehr nahe beieinander; Abbildung 26). Die Ursache dafür ist, dass abgesehen vom Hallwilersee keine grösseren Seen und keine Gebirgsflächen im Kanton liegen. Die drei Kurven nehmen relativ gleichmässig ab, mit einer etwas stärkeren Abnahme zwischen 1885 und 1935 sowie zwischen 1960 und 1980. In diesen zwei Phasen wurden besonders viele neue Verkehrswege gebaut. Auch die Siedlungsfläche ist in weiten Teilen des Kantons sehr stark angewachsen (Abbildung 25). Damit ist der Kanton heute einer der am stärksten zerschnittenen Kantone der Schweiz.

Die Werte in ZG 2 („Trennelemente bis 2.-Kl.-Strassen“) liegen deutlich höher als in ZG 3 und 4. Zwischen 1935 und 1960 fällt die Kurve weniger rasch, da in dieser Zeit überwiegend 3.-Klass-Strassen gebaut wurden, auch zwischen 1885 und 1935. In der Zeit danach erfolgte die Abnahme der effektiven Maschenweite wieder steiler, bedingt durch starken Autobahnbau (z.B. Bau von A1 und A2 nach Basel, Bern, Zürich und Luzern), der nicht gebündelt erfolgte, und durch den Ausbau von 3.- zu 2.-Klass-Strassen. Seit 1980 erfolgten die Höherklassierungen etwas abgeschwächt, aber es zeigt sich noch immer ein klarer Negativtrend.

Die effektive Maschenzahl pro 1000 km² (Abbildung 26 rechts) hat sich seit 1885 mehr als verdreifacht. In allen vier Kurven ist zwar eine Abschwächung des ansteigenden Trends erkennbar, aber der Anstieg ist noch immer stark, und der Trend muss sich noch erheblich abschwächen, bevor ein konstanter Wert erreicht werden kann (das Niveau von $m_{\text{eff}} = 3.5 \text{ km}^2$ entspricht einer Maschendichte von 286 Maschen pro 1000 km²).

Kanton Uri

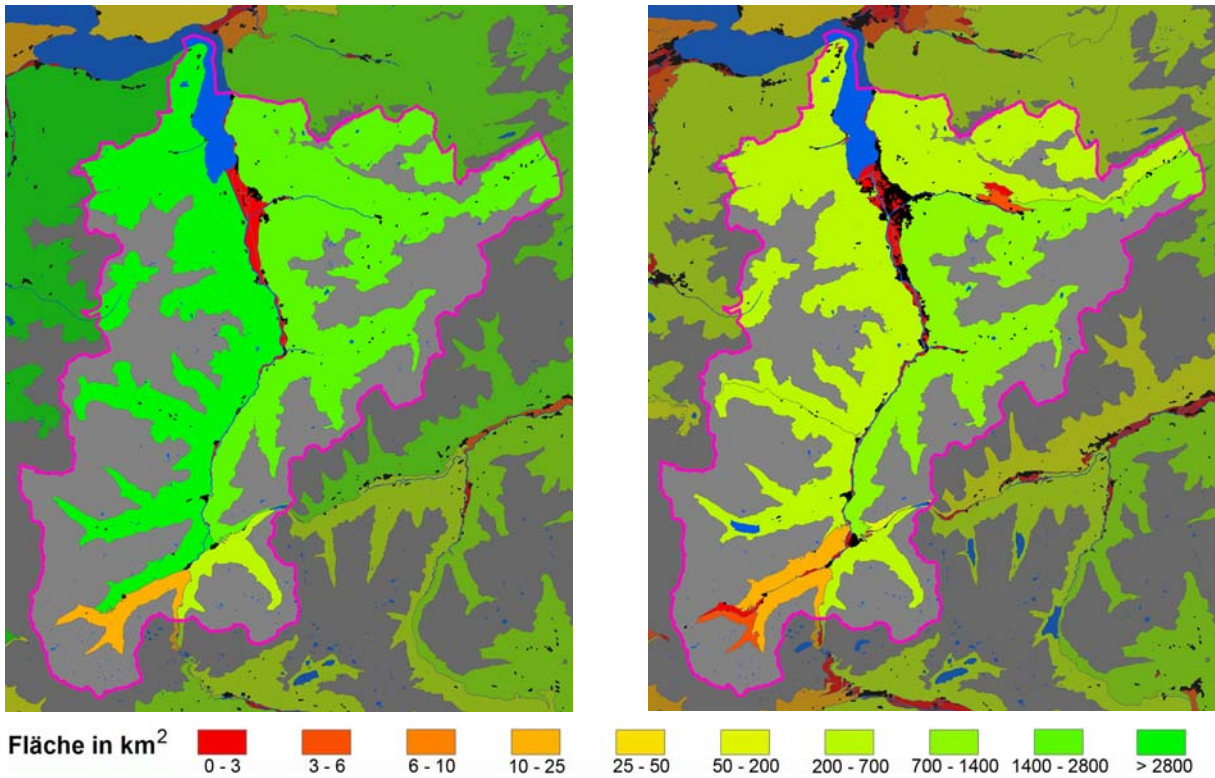


Abbildung 27: Kanton Uri – Situation der Zerschneidung in den Jahren 1885 (links) und 2002 (rechts), dargestellt mit Zerschneidungsgeometrie 4 (Massstab ungefähr 1:580'000).

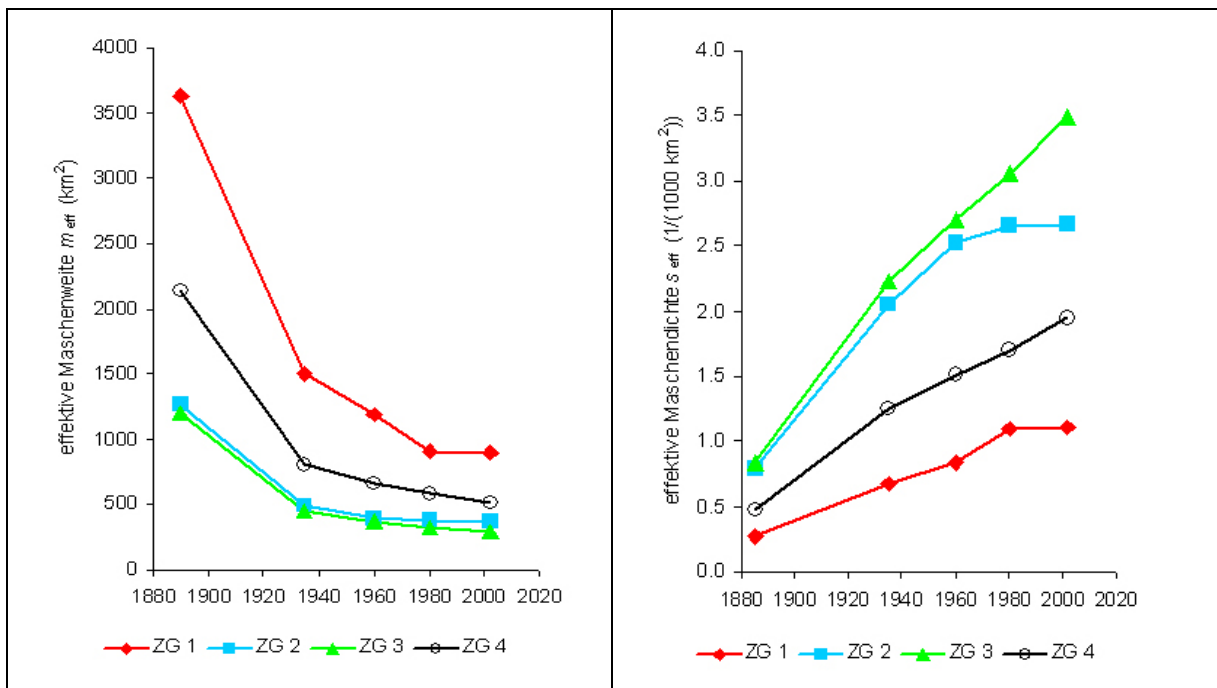


Abbildung 28: Kanton Uri – Entwicklung der effektiven Maschenweite (links) und Maschendichte (rechts) zwischen 1885 und 2002, dargestellt für die vier Zerschneidungsgeometrien (ZG 1 = „Zivilisationsdruck“, ZG 2 = „Trennelemente bis 2.-Kl.-Strassen“, ZG 3 = „Trennelemente bis 3.-Kl.-Strassen“, ZG 4 = „Landflächen unterhalb 2100 m“).

Im Kanton Uri konzentrierte sich die Siedlungsentwicklung auf das Gebiet um Altdorf. Die beiden grossen Flächen (westlich und östlich des Haupttales) sind jeweils zweigeteilt worden (Abbildung 27).

Der Kanton Uri weist hohe Werte für die effektive Maschenweite auf. Die Reihenfolge der Werte der verschiedenen Zerschneidungsgeometrien ändert sich im Zeitverlauf nicht. ZG 2 und ZG 3 verlaufen fast deckungsgleich. Dies liegt daran, dass im Kanton Uri nur relativ wenig Talboden zur Verfügung steht (grosser Anteil an steilem Gelände und Gebirge, 42.1% > 2100 m ü. M.) und die 3.-Kl.-Strassen nur einen geringen Einfluss auf die effektive Maschenweite haben, da nur kleinere Flächen von ihnen betroffen sind.

Die Werte für ZG 4 („Landflächen unterhalb 2100 m“) nähern sich im Lauf der Zeit jenen für ZG 2 und 3 an. Der Grund dafür ist, dass der relative Anteil des Talbodens am Untersuchungsgebiet in ZG 4 grösser ist als in ZG 2 und ZG 3 und daher der Einfluss der 3.-Klass-Strassen grösser wird. Strassen wurden zwischen 1980 und 2002 stark gebaut. Zwischen 1960 und 1980 verläuft die Kurve der effektiven Maschenweite für ZG 1 steiler als für die anderen Zerschneidungsgeometrien. Dies gibt vor allem den Einfluss der Nufenen-Passstrasse wieder, die im Jahr 1964 gebaut wurde.

Der Trend der effektiven Maschendichte (Abbildung 28 rechts) ist in ZG 3 und 4 ungebrochen, in ZG 2 und ZG 1 zeigt sich eine deutliche Abschwächung. Es ist zu erwarten, dass sich die Werte für ZG 2 in Zukunft nur noch gering verändern werden, da alle wichtigen Verkehrsachsen zur Verbindung mit Nachbarkantonen bereits vorhanden sind und nur noch relativ wenige Flächen für neues Siedlungswachstums zur Verfügung stehen. Hingegen setzt sich der Trend bei ZG 3 und 4 wahrscheinlich noch weiter fort (z.B. durch den Bau von 3.-Kl.-Strassen an den Berghängen).

3.2.5 Bezirke

Die Veränderung der effektiven Maschenweite zwischen 1885 und 2002 in den Bezirken ist in den Abbildungen 29 und 30 ersichtlich.

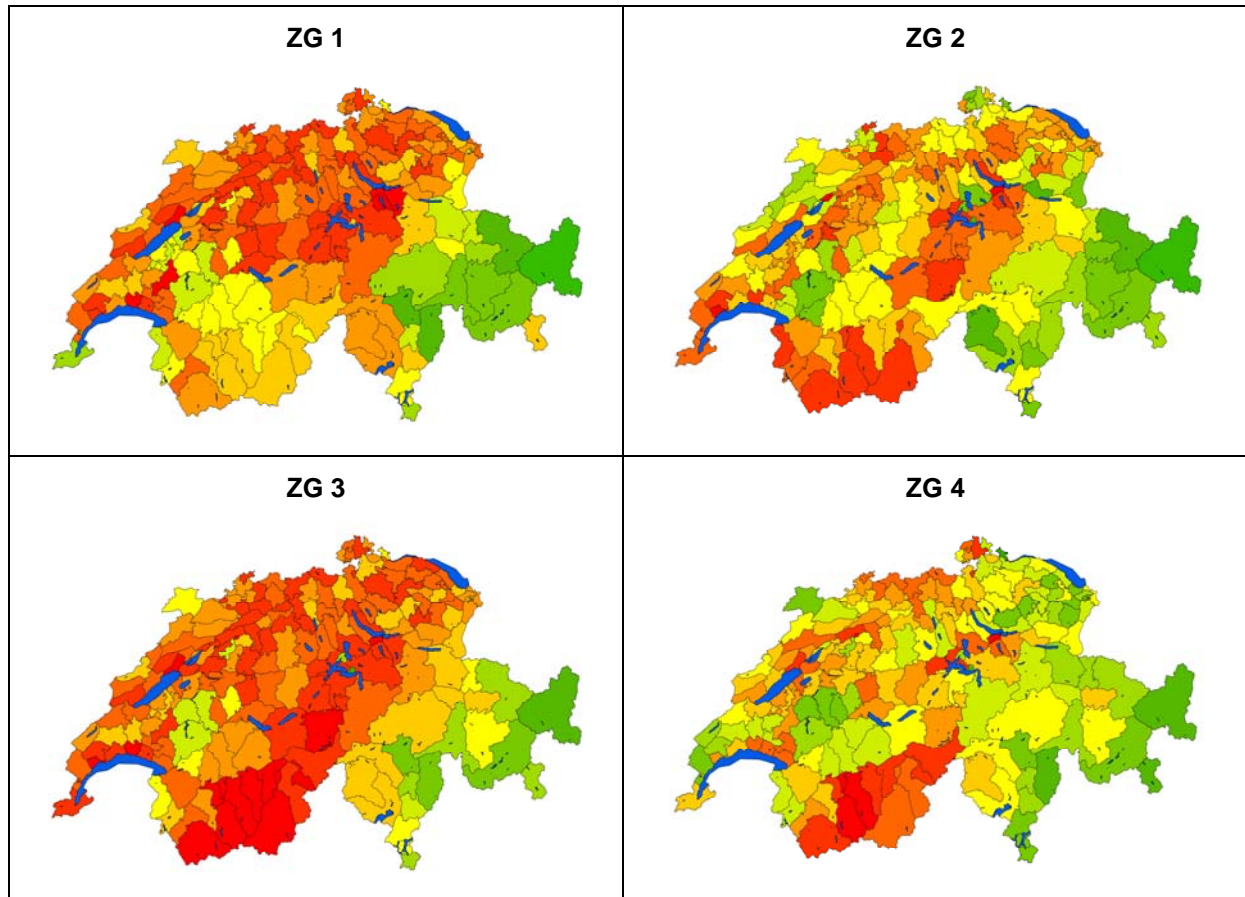
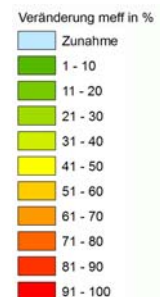


Abbildung 29: Veränderung der effektiven Maschenweite für die Bezirke zwischen 1885 und 2002 für die vier Zerschneidungsgeometrien (ZG 1 = „Zivilisationsdruck“, ZG 2 = „Trennelemente bis 2.-Kl.-Strassen“, ZG 3 = „Trennelemente bis 3.-Kl.-Strassen“, ZG 4 = „Landflächen unterhalb 2100 m“).



Die stärksten relativen Abnahmen der effektiven Maschenweite zwischen 1885 und 2002 fanden in ZG 1 in den zehn Bezirken Höfe, Lausanne, Einsiedeln, March, Solothurn, La Glane, Zürich, Luzern und Lebern statt (mit über 87% Abnahme; Abbildung 29). In ZG 4 waren es die zehn Bezirke Höfe, Hérens, Sierre, Solothurn, Sion, Leuk, Neuchatel, Raron, Entremont und Lebern (mit mehr als 83% Abnahme). Im Zeitraum 1960 bis 2002 (Abbildung 30) waren die zehn Bezirke Lausanne, Solothurn, La Veveyse, Konolfingen, Schaffhausen, Liestal, Schleithem, Vevey, Laupen und Lavaux am stärksten betroffen mit Abnahmen von 67% und mehr (ZG 1) bzw. Sierre, Leuk, Sion, Raron, Hérens, Solothurn, Goms, Brig, La Veveyse, und Schaffhausen mit Abnahmen von mindestens 73% (ZG 4). Die Werte der effektiven Maschenweite zu allen Bezirken für alle Zeitpunkte sind im Anhang angegeben (Abschnitt 9.9).

In einzelnen Fällen hat die effektive Maschenweite zwischen zwei Zeitpunkten leicht zugenommen, z.B. im Bezirk Sense zwischen 1980 und 2002 in ZG 1, 3 und 4.

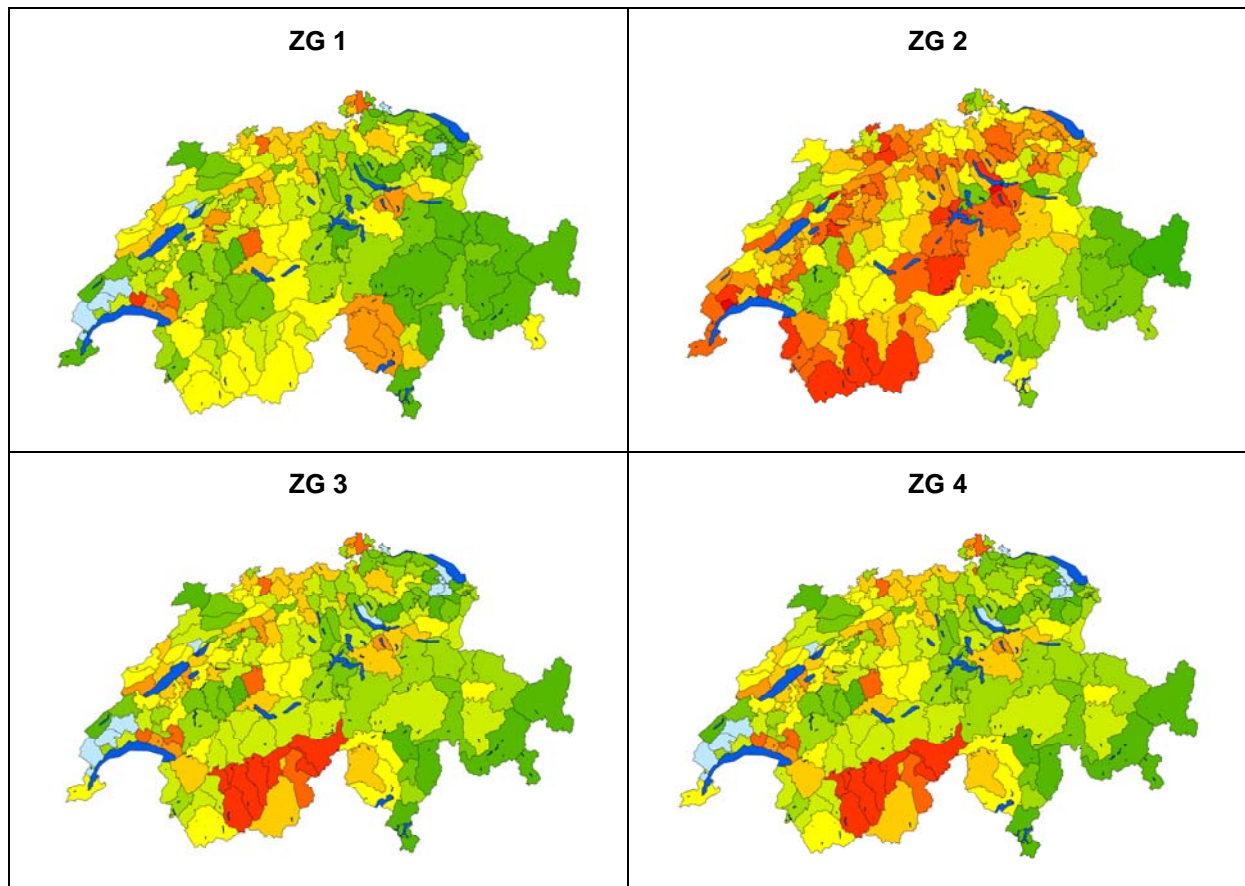
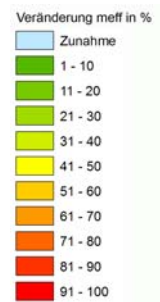


Abbildung 30: Veränderung der effektiven Maschenweite für die Bezirke zwischen 1960 und 2002 für die vier Zerschneidungsgeometrien (ZG 1 = „Zivilisationsdruck“, ZG 2 = „Trennelemente bis 2.-Kl.-Strassen“, ZG 3 = „Trennelemente bis 3.-Kl.-Strassen“, ZG 4 = „Landflächen unterhalb 2100 m“).



3.2.6 BLN-Gebiete

Welchen Einfluss hatte die Ausscheidung von BLN-Gebieten im Jahr 1977 (und aus den folgenden Ausscheidungen in den Jahren 1983, 1996 und 1998) auf die Entwicklung der Landschaftszerschneidung in diesen Gebieten? Aufgrund der Vorgabe, BLN-Gebiete bei der Ausübung von Bundesaufgaben besonders zu schonen, ist zu erwarten, dass die Zerschneidung innerhalb der BLN-Gebiete weniger rasch voranschritt als ausserhalb.

Die folgenden Darstellungen stellen jeweils die Werte für die Bereiche innerhalb und ausserhalb der BLN-Gebiete zum Vergleich gegenüber. Für die Analyse wurde die Zerschneidungsgeometrie 1 („Zivilisationsdruck“) gewählt. Geogene (naturegegebene) Barrieren wurden nicht berücksichtigt, da die naturräumlichen Voraussetzungen in den BLN-Gebieten oft wesentliche Bestandteile der schützenswerten Substanz in diesen Gebieten sind, auch wenn dies z.B. Wasserflächen oder Gletscher- und Geröllflächen oberhalb von 2100 m einschliesst.

Die Werte der effektiven Maschenweite im Jahr 1960 zeigen, dass die heutigen BLN-Gebiete landesweit bereits vor der Schaffung des BLN-Inventars (im Jahr 1977) zu den weniger zerschnittenen Regionen zählten (Abbildung 31). 1960 war der Wert der effektiven Maschenweite auch in den BLN-Gebieten in sämtlichen Naturräumen grösser als ausserhalb der geschützten Landschaften (Abbildung 31). Bereits bei der Ausscheidung der BLN-Gebiete wurden also Landschaften ausgewählt, die unterdurchschnittlich stark zerschnitten waren. Die Unterschiede innerhalb/ausserhalb von BLN-Gebieten waren aber im Jahr 1960 weniger stark ausgeprägt als heute, ausser auf der Alpensüdflanke. Die effektive Maschenweite war 1960 innerhalb der BLN-Gebiete um 48% grösser als ausserhalb. Heute beträgt die Differenz 60.5%. Auf der Alpensüdflanke verringerte sich hingegen die Differenz, von 43% auf heute nur noch 29% (Abbildung 31).

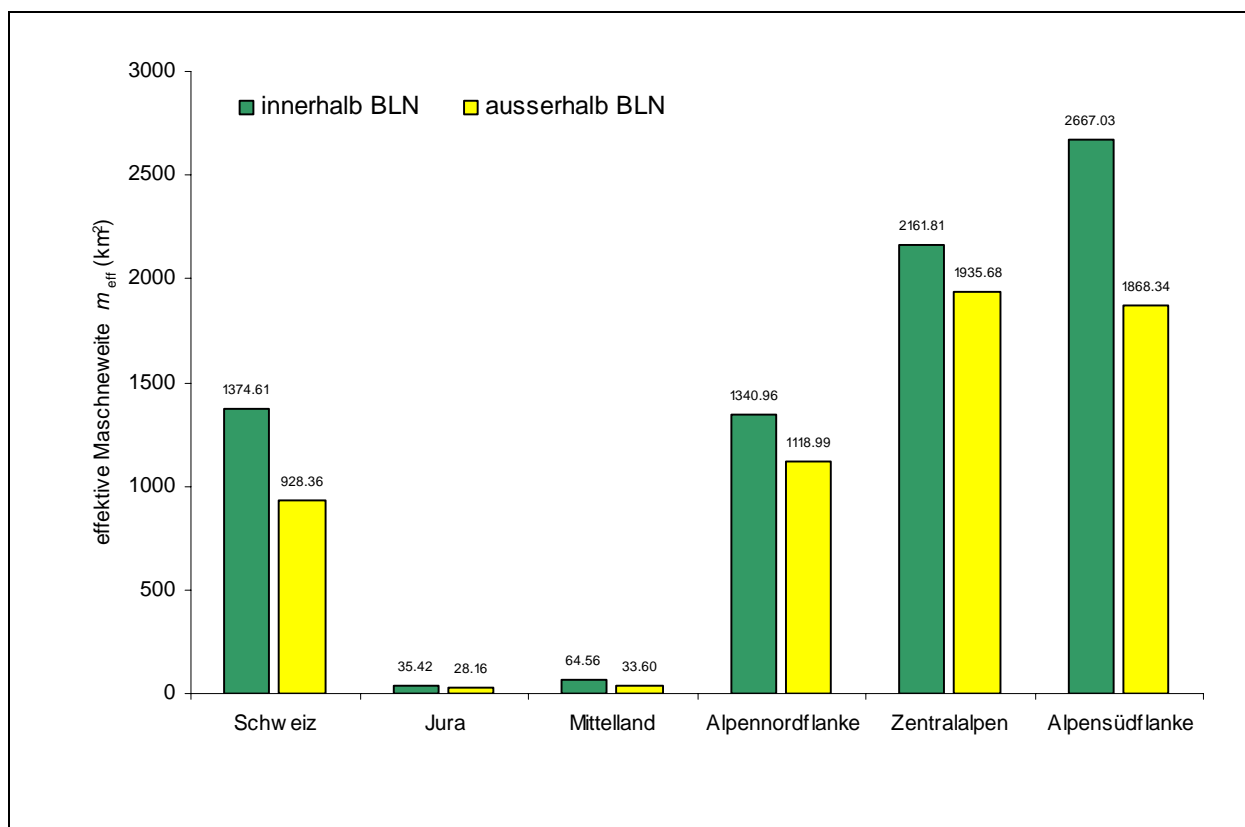


Abbildung 31: Vergleich der effektiven Maschenweite im Jahr 1960 (ZG 1 „Zivilisationsdruck“) innerhalb und ausserhalb der BLN-Gebiete, aufgeteilt nach Naturräumen.

Die Abnahme der effektiven Maschenweite war zwischen 1960 und 1980 deutlich stärker als zwischen 1980 und 2002.

Zwischen 1960 und 1980 hat die effektive Maschenweite innerhalb der BLN-Gebiete etwas weniger stark abgenommen als ausserhalb, mit Ausnahme der Alpensüdflanke, wo sie stärker zunahm (Abbildung 32). Im Jura nahm die effektive Maschenweite sogar zu: In den BLN-Objekten *Vallée de Joux* (1022), *Marais de la Haute Versoix* (1207), *La Dole* (1007) und *Chassagne* (1014) wurden in diesem Zeitraum zahlreiche Waldstrassen von 3.- zu 4.-Klass-Strassen abklassiert. Im *Vallée de la Brévine* (1005) entfiel eine Grenzverbindungsstrasse. Da diese BLN-Gebiete flächenmässig die grössten des gesamten Naturraums Jura sind, beeinflussten diese Veränderungen den Gesamtwert aller BLN-Gebiete am stärksten.

Zwischen 1980 und 2002 hat die Zerschneidung ausserhalb der BLN-Gebiete insgesamt doppelt so stark zugenommen wie innerhalb, mit Ausnahme des Juras, wo die Zerschneidung innerhalb der BLN-Gebiete stärker angestiegen ist (um 24%) als ausserhalb (um 13.6%) (Abbildung 32). Im Naturraum Jura wurden die drei grossen BLN-Gebiete *Franches Montagnes*, *Vallée du Doubs* und *Randen*, die zu den grössten unzerschnittenen Räumen in den Kantonen Jura und Schaffhausen gehören, durch neu gebaute Strassen beeinträchtigt. In den *Franches Montagnes* wurde eine neue Strasse gebaut, die einen grossen Einfluss auf die Maschenweite dieser Fläche hat. Im *Vallée du Doubs* wurde direkt angrenzend eine neue Strasse gebaut. Dadurch wurde das *Vallée du Doubs* von seiner Umgebung abgeschnitten. Ansonsten wurden im Gebiet des Jura zwar auch andere neue Strassen gebaut, doch sind von den Neuzerschneidungen meistens kleinere Flächen betroffen, so dass die Auswirkung auf die effektive Maschenweite geringer ist als bei den beiden grossen BLN-Gebieten. Das BLN-Gebiet *Randen* im Kanton Schaffhausen (Naturraum Jura) wurde sowohl zwischen 1960 und 1980, aber vor allem in der Zeit danach in erheblichem Ausmass von neuen 3.-Klass-Strassen zerschnitten.

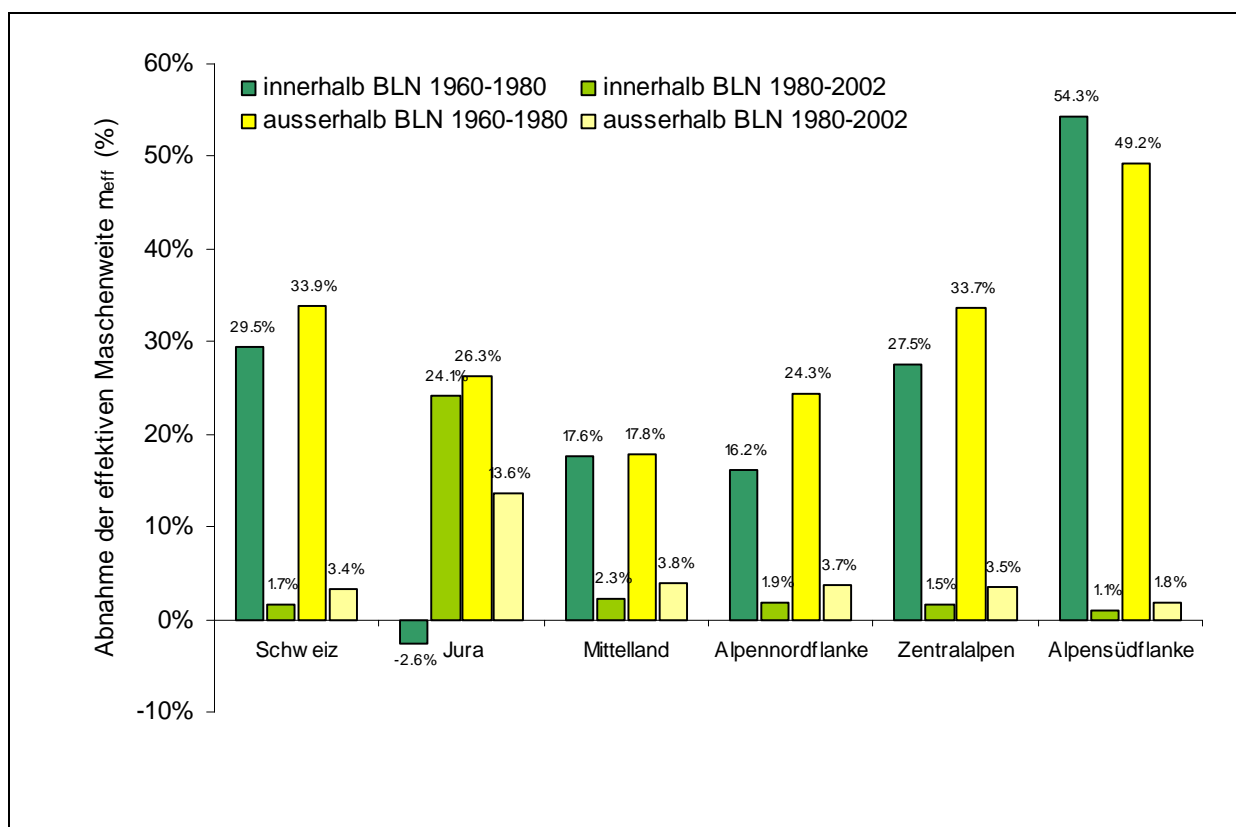


Abbildung 32: Entwicklung der effektiven Maschenweite innerhalb und ausserhalb der Objekte der Landschaften und Naturdenkmäler von nationaler Bedeutung (BLN) zwischen 1960 und 1980 sowie zwischen 1980 und 2002 (nach ZG 1 „Zivilisationsdruck“).

Das BLN-Inventar ist seit 1977 in Kraft. In der Phase davor (1960 bis 1980) hat die effektive Maschenweite in den BLN-Gebieten der Schweiz um 29.5% abgenommen, in der Phase danach (1980 bis 2002) nur noch um 1.7% (Abbildung 32). Dies deutet auf eine bremsende Wirkung des BLN-Inventars hin. Eine ähnliche Entwicklung kann aber auch für die Gebiete ausserhalb der BLN-Objekte fest-

gestellt werden: Dort reduzierte sich die Abnahme von 33.9% (1960 bis 1980) auf 3.4% (1980 bis 2002). Demnach hat sich die Entwicklung möglicherweise eher aufgrund anderer Faktoren verlangsamt.

Bezogen auf das Mittelland kann aber durchaus von einer Bremswirkung des BLN gesprochen werden: In der Phase 1960 bis 1980 war die Abnahme der effektiven Maschenweite innerhalb der BLN-Gebiete im Mittelland (17.6%) praktisch gleich gross wie ausserhalb (17.8%). In der Phase 1980 bis 2002 hingegen ist die Abnahme mit 2.3% in den BLN-Gebieten des Mittellands deutlich kleiner als ausserhalb mit 3.8%. Wahrscheinlich gilt dies auch für die Alpensüdflanke, in der die Abnahme der effektiven Maschenweite nach 1980 in den BLN-Gebieten geringer war als ausserhalb, während sie vor 1980 in den BLN-Gebieten stärker ausfiel als innerhalb.

Die Werte für die Moorlandschaften sind im Abschnitt 9.11 im Anhang angegeben.

3.3 Trendextrapolation für die Jahre 2020 und 2050

Wie stark zerschnitten wird die Schweiz in den Jahren 2020 und 2050 sein? Dieser Frage geht Abschnitt 3.3 anhand einfacher Trendfortschreibungen für die Schweiz insgesamt, für die fünf Naturräume und für die 26 Kantone nach.

Eine Trendfortschreibung kann keine Aussagen dazu machen, ob eine Fortsetzung (oder Abschwächung) des Trends tatsächlich zu erwarten ist. Da ein Verkehrswegebau, vor allem bei den Nationalstrassen, kaum mehr im gleichen Ausmass wie bisher zu erwarten ist, kann eine Trendfortschreibung auf den ersten Blick als eine eher theoretische und unrealistische Überlegung angesehen werden. Eine genauere Betrachtung zeigt aber, dass durchaus eine weitere deutliche Zunahme der Landschaftszerschneidung zu erwarten ist (z.B. Bau von 3.-Klass-Strassen, Umfahrungsstrassen, Bahn 2000 2. Etappe) und dass sich hierzu mit einer Trendfortschreibung interessante Vergleiche anstellen lassen. Von grossem Interesse ist es daher, die effektive Maschenweite anhand aller bereits geplanten Verkehrswege (aus dem Sachplan Verkehr des Bundes und den kantonalen Richtplänen) zu berechnen.¹⁴ Gegenüber einer einfachen Trendfortschreibung, wie sie hier erfolgt, könnte man so viel genauere Aussagen zur tatsächlichen Entwicklung der Landschaftszerschneidung aufgrund von heute geplanten Verkehrswegen machen und durch den Vergleich mit der Trendfortschreibung beurteilen, ob sich der Trend voraussichtlich verlangsamen wird (und wie stark) oder nicht. Dies übersteigt jedoch den Rahmen des vorliegenden Projektes. Daher schlagen wir die Berechnung des Zerschneidungsgrades auf Basis der bereits geplanten Umfahrungsstrassen und Grossprojekte in einem Nachfolgeprojekt vor. Anhand des Vergleichs könnten konkrete Empfehlungen formuliert werden (z.B. Zusammenlegen von Zerschneidungselementen wie teilweise bei der NBS Mattstetten-Rothrist mit der Autobahn A1), wobei sogar zum Teil bereits bestehende Zerschneidungen rückgängig gemacht werden könnten (vgl. Kapitel 6).

Grundannahme für die Extrapolation der bisherigen Entwicklung ist der erwartete weitere Verkehrsanstieg in der Schweiz: „Alle Verkehrsprognosen gehen von einem weiteren massiven Wachstum aller Verkehrsleistungen aus. Im Personenverkehr wird bis 2015 mit Zunahmen von 20 bis 40 Prozent gerechnet. Im Güterverkehr wird von einer Verdoppelung der Tonnenkilometer bis ins Jahr 2020 ausgegangen. [...] Der verkehrsbedingte Landverbrauch wird wegen der effizienteren Nutzung der Infrastruktur unterproportional zunehmen. Sicher wird die Bahninfrastruktur stärker zunehmen als die Strasseninfrastruktur, da in diesem Bereich nach Jahrzehnten des Status quo der Erneuerungsbedarf gross ist. Für die Strasse stehen tendenziell eher Kapazitätserweiterungen zur Diskussion, die netto weniger Land benötigen als Neubauten. Auf Grund der zunehmenden Zersiedelung werden aber immer mehr ländliche Gebiete einbezogen“ (STREMLow et al. 2003: 134).

Die Zersiedelung wird voraussichtlich weiter stark zunehmen, hier sind ohne entsprechende Änderungen in der Siedlungspolitik keine Trendabschwächungen zu erwarten. Auch bei den Ortsumfahrungen sind noch zahlreiche Neubauten in den kommenden Jahrzehnten wahrscheinlich.

¹⁴ Dazu müsste man beim Bund, der SBB, allen Kantonen etc. nach geplanten, bewilligten und in Aussicht stehenden Projekten nachfragen, die Streckenführungen erhalten, diese ins GIS übertragen und eine neue Zerschneidungsanalyse durchführen. Zusätzlich sollte dazu auch die Ausdehnung der Siedlungsflächen berücksichtigt werden, z.B. anhand der Szenarien für 2020 und 2050 aus dem laufenden NFP54-Projekt „Landschaftszersiedelung Schweiz: Quantitative Analyse 1935 bis 2002 und Folgerungen für die Raumplanung“ (<http://www.nfp54.ch/d.cfm>, JAEGER & BERTILLER 2006, JAEGER et al. 2007, Exkurs 6).

Mögliche Massnahmen werden in Kapitel 6 skizziert. Zu den Trends der kleinere Strassen (v.a. 3- und 4.-Klass-Strassen im Alpenraum) – im Gegensatz zu den grösseren Strassen – kann man eventuell aus der Studie *Landschaft unter Druck* (KOEPEL et al. 1991, ROTH et al. 2001) Aussagen ableiten. Die bisherigen Ergebnisse aus dieser Studie deuten an, dass die Trends bei den kleineren Strassen wahrscheinlich eher noch zunehmen werden, insbesondere bei den Stichstrassen (pers. Mitteilung U. Roth).

3.3.1 Schweiz insgesamt

Drei Fortschreibungen der Entwicklungstrends der effektiven Maschendichte s_{eff} zwischen 1960 und 2002 für die Schweiz liefern die Werte für die effektive Maschendichte und die effektive Maschenweite in den Jahren 2020 und 2050 (Abbildung 33). (Zur Methode siehe Abschnitt 2.5.)

Rechnet man die mittels einfachen Trendfortschreibungen errechneten Maschendichten in die effektive Maschenweite um, so erhält man für die Schweiz im Jahr 2020 einen Wert von 577.03 km² bis 647.58 km² (ZG 1), 198.49 km² bis 211.06 km² (ZG 2), 114.29 km² bis 121.68 km² (ZG 3) und 151.22 km² bis 159.01 km² (ZG 4). Der mit Abstand grösste Unterschied zwischen minimalem und maximalem Wert für das Jahr 2020 zeigt sich in ZG1 (Abbildung 33). Die geringste Streuung weist die Trendextrapolation für ZG 4 auf.

Die extrapolierten Werte für das Jahr 2020 liegen für die ZG 1 zwischen 2% und 13% tiefer als die effektive Maschenweite aus dem Jahr 2002 (662 km²). Für das Jahr 2050 liegt die vorausberechnete Abnahme der effektiven Maschenweite für die ZG 1 zwischen 6 und 28%.

In ZG 2 liegen die extrapolierten Werte der effektiven Maschenweite für 2020 um 1% bis 7% und für 2050 um 5% bis 16% tiefer als heute (213 km²). Für ZG 3 fallen die Werte aufgrund des Einbezugs der 3.-Klass-Strassen noch höher aus: Demnach wird die Abnahme bis 2020 zwischen 9% und 14% und bis 2050 zwischen 20% und 31% liegen (heute 133 km²).

Bei ZG 4 liegt die erwartete Abnahme gegenüber heute zwischen 10% und 14% für das Jahr 2020 und zwischen 21% und 30% für das Jahr 2050 (heute: 176 km²).

Die Grössenordnung der Abschätzung ist für alle Zerschneidungsgeometrien ähnlich. Die Unterschiede zwischen den Zerschneidungsgeometrien zeigen an, wie sich die konstanten Anteile an Wasserflächen und Gebirge auswirken. Eine Interpretation dieser Werte sollte berücksichtigen, dass viele wichtige ökologische Prozesse (z.B. Anpassung an veränderte Lebensbedingungen) auf unterschiedlichen Zeitskalen ablaufen. Besonders im Vergleich mit Prozessen, die relativ langsam verlaufen, zeigen die extrapolierten Werte daher einen weiteren bedrohlich raschen Wandel der Landschaft an.

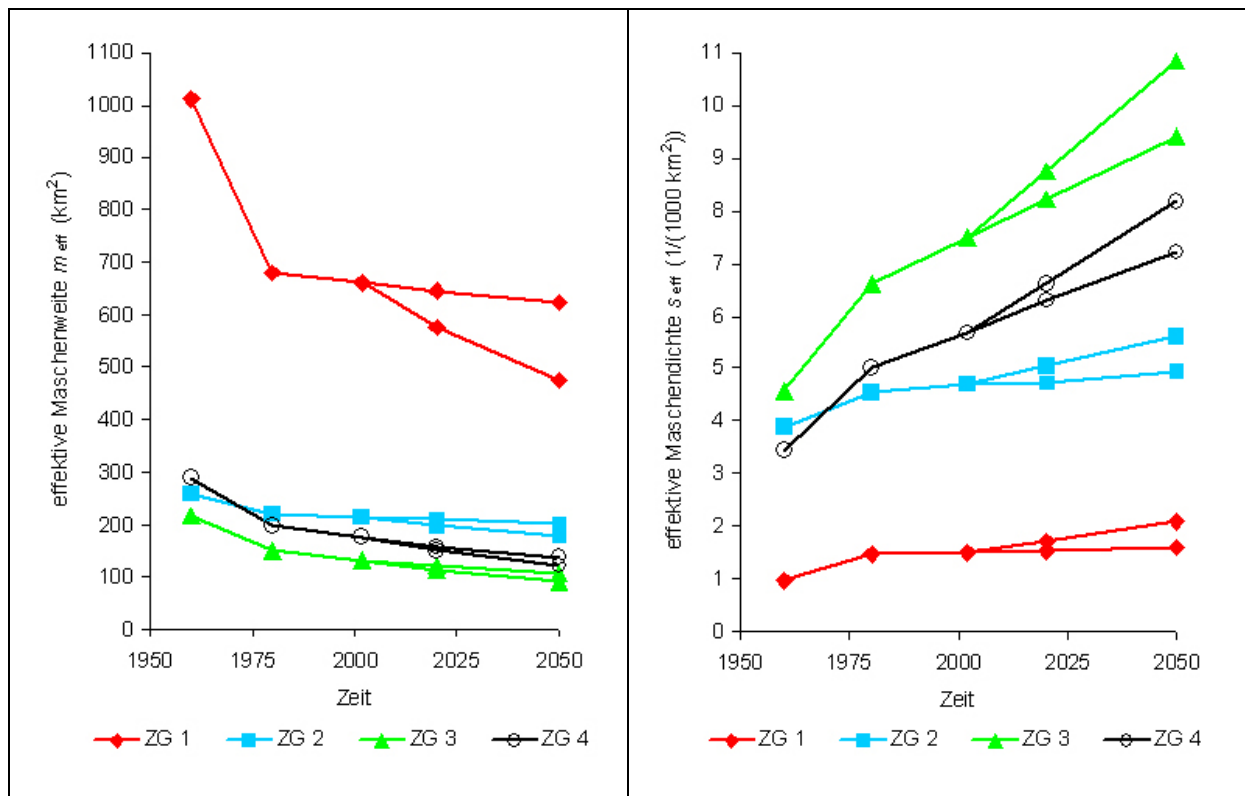


Abbildung 33: Erwartete Werte der effektiven Maschenweite (links) und der effektiven Maschendichte (rechts) in der Schweiz in den Jahren 2020 und 2050 bei anhaltendem Trend der Landschaftszerschneidung für die vier Zerschneidungsgeometrien (ZG 1 = „Zivilisationsdruck“, ZG 2 = „Trennelemente bis 2.-Kl.-Strassen“, ZG 3 = „Trennelemente bis 3.-Kl.-Strassen“, ZG 4 = „Landflächen unterhalb 2100 m“).

Da die Abnahme der UZR grösser als 50 km² bzw. 100 km² und ihr Anteil an der Landesfläche zwischen 1935 und 2002 bei jeder Zerschneidungsgeometrie recht linear verläuft, wurden die Werte für die Jahre 2020 und 2050 aus der Entwicklung 1935 bis 2002 linear extrapoliert (Tabelle 10). Allerdings basiert eine solche Extrapolation auf der Annahme, dass neue Zerschneidungen die UZR in ähnlicher Weise beeinflussen werden wie bisher, z.B. wie oft UZR so zerteilt werden, dass die Teile noch immer grösser als 100 km² sind, und wie oft dabei Flächen kleiner als 100 km² entstehen. Es ist schwer abschätzbar, inwieweit diese Annahme realistisch ist. Die Trendextrapolation für die effektive Maschendichte erscheint daher zuverlässiger als diejenige für die UZR, denn hier werden die Zerschneidungen alle Flächengrössen einbezogen.

Tabelle 10: Zu erwartende Anzahl unzerschnittener Räume grösser als 50 bzw. 100 km² und ihr Anteil an der gesamten Landesfläche in der Schweiz in den Jahren 2020 und 2050 bei einer linearen Fortschreibung der Trends aus den Jahren 1935 bis 2002 (vergl. Abschnitt 3.2.1; ZG 1 = „Zivilisationsdruck“, ZG 2 = „Trennelemente bis 2.-Kl.-Strassen“, ZG 3 = „Trennelemente bis 3.-Kl.-Strassen“, ZG 4 = „Landflächen unterhalb 2100 m“).

Zerschneidungsgeometrie	Anteil der UZR grösser als 50 km ² an der Landesfläche (%)				Anteil der UZR grösser als 100 km ² an der Landesfläche (%)			
	1	2	3	4	1	2	3	4
2002 (Ausgangswert)	55.7	37.2	30.9	30.9	52.9	32.1	26.3	26.3
2020	53.5	35.8	28.8	28.8	51.4	30.8	24.2	24.2
2050	50.4	33.6	25.9	25.9	49.0	28.7	21.0	21.0

Der Anteil der UZR grösser als 50 km² bzw. grösser als 100 km² an der Landesfläche wird gemäss dieser Extrapolation auch in den Jahren 2020 und 2050 noch relativ hoch sein (im Vergleich zu Baden-Württemberg). Dies liegt vor allem an den grossen unzerschnittenen Regionen im Gebirge (auch in ZG 4, in der die Flächen über 2100 m ü. M. vom Bezugsraum ausgeklammert sind).

Eine Abnahme des UZR-Anteils innerhalb von nicht ganz 100 Jahren, z.B. bei der Zerschneidungsgeometrie 4, von 30.8% im Jahr 1960 auf (erwartete) 21.0% im Jahr 2050 ist aber doch beträchtlich. Die Entwicklung ist bei allen Zerschneidungsgeometrien und sowohl in Bezug auf die UZR grösser als 50 km² als auch auf die UZR grösser als 100 km² recht ähnlich (Tabelle 10).

3.3.2 Naturräume

Nach gleicher Methode wurde die effektive Maschenweite für die Naturräume in den Jahren 2020 und 2050 bei anhaltendem Trend extrapoliert (Tabelle 11).

Tabelle 11: Werte der effektiven Maschenweite für die Naturräume in den Jahren 2020 und 2050 bei anhaltendem Trend der Landschaftszerschneidung (jeweils höchster und tiefster Wert gemäss den drei Trendextrapolationen) für alle vier Zerschneidungsgeometrien (ZG 1 = „Zivilisationsdruck“, ZG 2 = „Trennelemente bis 2.-Kl.-Strassen“, ZG 3 = „Trennelemente bis 3.-Kl.-Strassen“, ZG 4 = „Landflächen unterhalb 2100 m“).

Naturraum	m_{eff} (km ²) im Jahr 2002	m_{eff} (km ²) im Jahr 2020		m_{eff} (km ²) im Jahr 2050	
	Ausgangswert	tief	hoch	tief	hoch
Jura					
ZG 1	19.96	17.50	17.53	14.52	14.60
ZG 2	46.02	39.18	40.01	31.32	32.93
ZG 3	18.91	16.57	16.62	13.73	13.86
ZG 4	19.02	16.67	16.74	13.82	13.96
Mittelland					
ZG 1	29.22	26.90	28.38	23.75	27.10
ZG 2	21.47	18.57	20.80	15.15	19.74
ZG 3	9.86	8.50	9.33	6.91	8.58
ZG 4	10.78	9.29	10.21	7.56	9.38
Alpennordflanke					
ZG 1	883.73	723.07	861.79	632.51	827.16
ZG 2	430.58	401.18	421.63	359.32	407.56
ZG 3	293.30	248.51	269.96	205.34	240.96
ZG 4	367.52	307.03	340.84	254.32	304.01
Zentralalpen					
ZG 1	1310.24	1146.79	1277.96	945.18	1228.73
ZG 2	213.64	197.90	206.99	176.24	196.73
ZG 3	112.23	92.55	94.35	71.61	74.52
ZG 4	249.80	206.14	209.95	159.49	165.83
Alpensüdflanke					
ZG 1	990.01	813.01	977.28	632.01	956.88
ZG 2	410.07	399.55	406.44	384.17	400.68
ZG 3	272.58	236.41	267.52	193.69	259.55
ZG 4	381.72	331.35	374.67	271.67	363.50

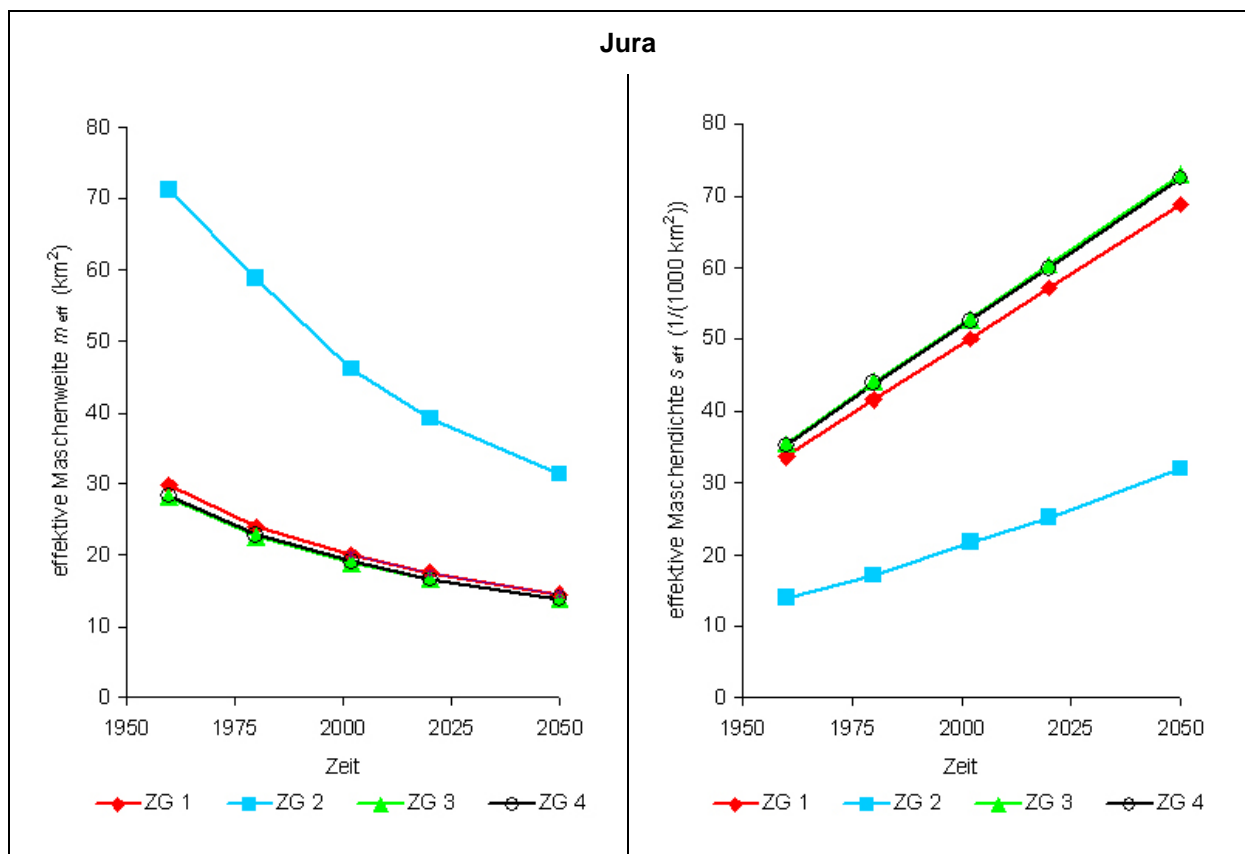
Wenn sich der stark sinkende Trend im Jura weiter fortsetzt, so werden bis 2020 Werte um 17.5 km² (ZG 1) bzw. 16.7 km² (ZG 4) und bis 2050 Werte um 14.5 km² (ZG 1) bzw. 13.9 km² (ZG 4) erreicht. In ZG 2 (ohne 3.-Klass-Strassen) ist die Abnahme ebenfalls stark, auf knapp 40 km² bis 2020 und ca. 32 km² bis 2050 (Tabelle 11). Der Trend ist im Jura seit 1960 sehr klar, daher liegen die hohen und tiefen Werte nahe beieinander (Abbildung 34).

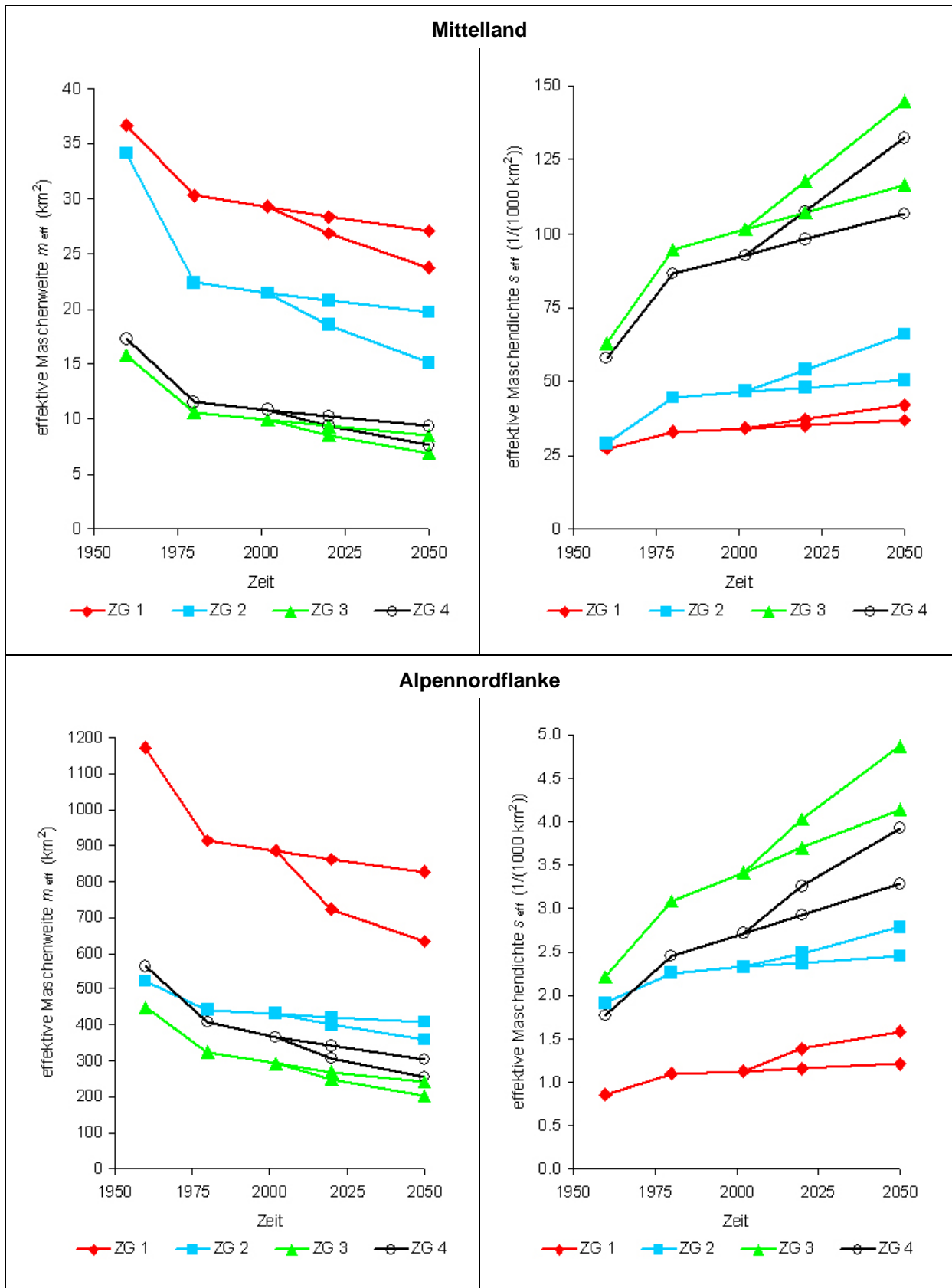
Wegen der grossen Seen werden die Werte der effektiven Maschenweite im Mittelland bis 2020 nur auf 27 bis 28 km² absinken und nicht noch stärker. In ZG 4 hingegen wird der Wert von 10 km² wahrscheinlich schon vor 2020 oder kurz danach unterschritten werden. (Die hohen und tiefen Werte weichen stärker voneinander ab als im Jura.) Selbst der Wert in ZG 2 (ohne 3.-Klass-Strassen) wird bis 2050 auf unter 20 km² absinken und bis 2050 nur noch zwischen 16 km² und 19 km² liegen (Abbildung 34).

Auf der Alpennordflanke wird die effektive Maschenweite bis 2020 je nach Grundlage der Extrapolation stärker oder weniger stark abnehmen und Werte zwischen 720 km² und 860 km² (ZG 1) bzw. zwischen 310 km² und 340 km² erreichen. Bis 2050 wird in ZG 4 dann auch die 300 km²-Marke unterschritten werden.

In den Zentralalpen ist in ZG 1 ein Sinken der effektiven Maschenweite auf einen Wert zwischen 1150 km² und 1280 km² zu erwarten; in ZG 4 sind Werte zwischen 206 km² und 210 km² bis 2020 und zwischen 160 km² und 166 km² bis 2050 am wahrscheinlichsten.

Auf der Alpensüdflanke sind die Spannbreiten wiederum recht gross. Die effektive Maschenweite wird mehr oder weniger stark, auf einen Wert zwischen 810 km² und 980 km² bis 2020 und zwischen 630 km² und 960 km² bis 2050 absinken (ZG 1) und kann somit leicht Werte wie auf der Alpennordflanke annehmen. In ZG 4 liegt der zu erwartende Wert für 2020 zwischen 330 km² und 375 km² und für 2050 zwischen 270 km² und 360 km².





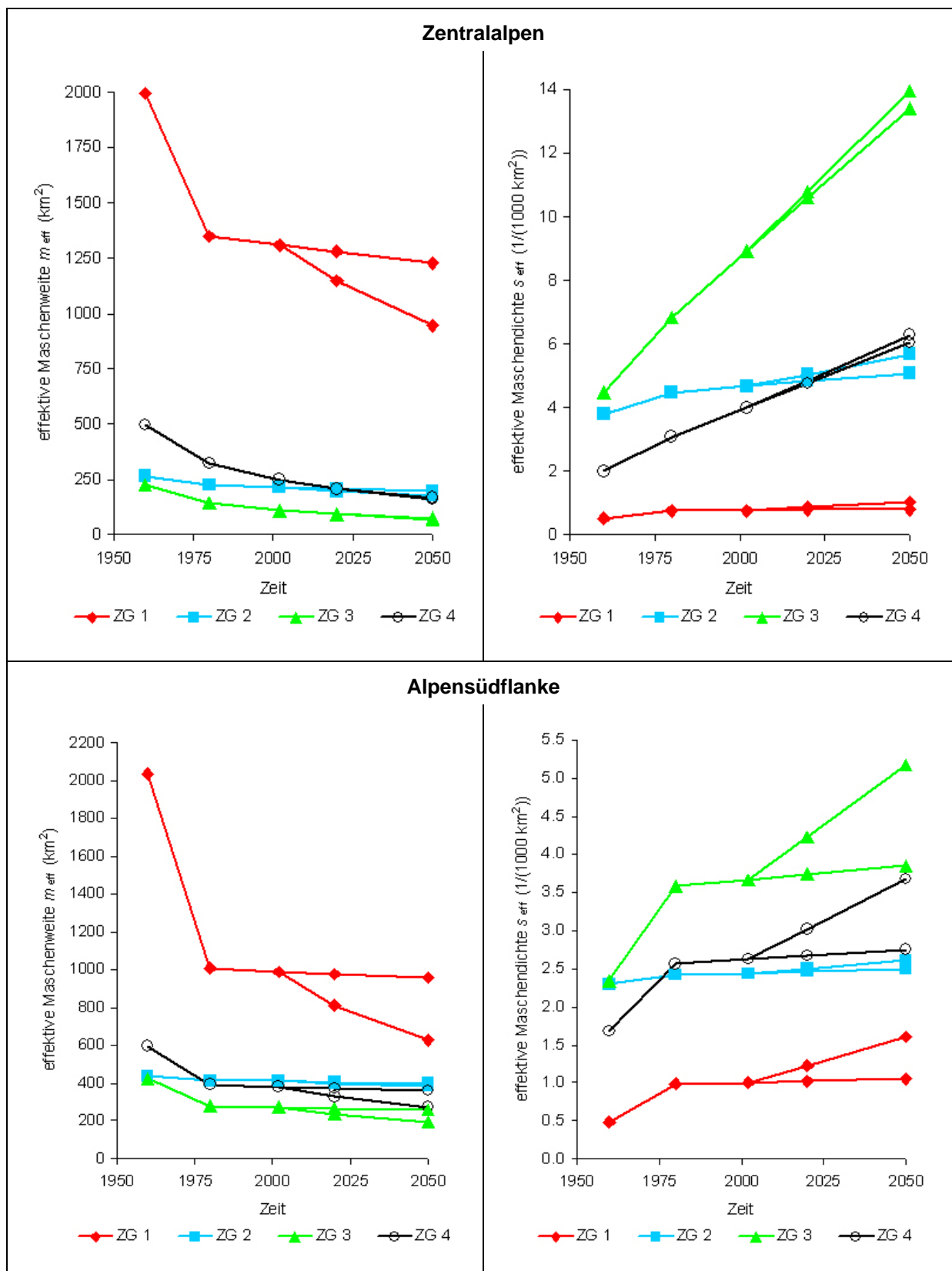


Abbildung 34: Erwartete Werte der effektiven Maschenweite (links) und der effektiven Maschendichte (rechts) für die fünf Naturräume in den Jahren 2020 und 2050 bei anhaltendem Trend der Landschaftszerschneidung für die vier Zerschneidungsgeometrien (ZG 1 = „Zivilisationsdruck“, ZG 2 = „Trennelemente bis 2.-Kl.-Strassen“, ZG 3 = „Trennelemente bis 3.-Kl.-Strassen“, ZG 4 = „Landflächen unterhalb 2100 m“).

3.3.3 Kantone

Die anhand der Trendextrapolationen errechneten Werte für die Kantone sind in Tabelle 12 angegeben. Wenn sich die beobachteten Trends weiter fortsetzen, so wird die effektive Maschenweite in allen Kantonen und nach allen Zerschneidungsgeometrien über die nächsten 45 Jahre weiter abnehmen.

Der Kanton mit der höchsten Maschenweite in ZG 4 – der Kanton Glarus – wird dann bis 2020 ca. 70 km² und bis 2050 ca. 160 km² seiner effektiven Maschenweite verlieren und 2050 unterhalb des heutigen Wertes von Uri liegen (aber selbst dann noch der Kanton mit der grössten Maschenweite sein, da der Wert im Kanton Uri bis 2050 etwa um 100 km² abgenommen haben wird). Der Kanton Wallis steht zwar in ZG 1 an erster Stelle (mit 1851 km²), liegt in ZG 4 jedoch mit 153 km² nur noch an 10. Stelle und wird bis 2020 auf Werte zwischen 113 und 132 km² und bis 2050 auf Werte zwischen 83 km² und 107 km² absinken. Im Mittelfeld liegt der Kanton St. Gallen, dessen Maschenweite in ZG 4 am nächsten am Gesamtwert der Schweiz liegt (176.3 km²). Hier ist eine Abnahme von 182 km² heute auf 138 km² bis 2050 zu erwarten, also stärker als für die Schweiz insgesamt (155 km²).

Kantone wie Freiburg, Luzern und Waadt mit Werten zwischen 65 km² und 85 km² werden bis 2050 etwa auf ein Niveau von 45 km² bis 65 km² sinken.

Selbst in Basel-Stadt würde sich die effektive Maschenweite noch weiter verringern, um 2% bis 13% des heutigen sehr tiefen Wertes bis 2020 und um 6% bis 24% bis 2050 (ZG 4). Auch in Genf würde die Maschenweite noch weiter schrumpfen bis 2050 um 23% bis 34% in ZG 4. (Die höheren Werte in ZG 1 sind durch den See bedingt.)

Bei den Kantonen, für die sich die Spannweiten überlappen, kann sich die Rangfolge im Zerschneidungsgrad ändern, z.B. bei Zug und Zürich (Zug wird Zürich möglicherweise in der Zerschneidung ab 2030 überholen). Bei den übrigen Kantonen ist eine Änderung der Reihenfolge eher unwahrscheinlich.

Tabelle 12: Werte der effektiven Maschenweite für die Kantone in den Jahren 2020 und 2050 bei anhaltendem Trend der Landschaftszerschneidung (jeweils höchster und tiefster Wert gemäss den drei Trendextrapolationen) für alle vier Zerschneidungsgeometrien (ZG 1 = „Zivilisationsdruck“, ZG 2 = „Trennelemente bis 2.-Kl.-Strassen“, ZG 3 = „Trennelemente bis 3.-Kl.-Strassen“, ZG 4 = „Landflächen unterhalb 2100 m“).

Kanton	m_{eff} (km ²) im Jahr 2002	m_{eff} (km ²) im Jahr 2020		m_{eff} (km ²) im Jahr 2050		
	Ausgangswert	tief	hoch	tief	hoch	
Aargau						
ZG 1	4.01	3.24	3.73	2.58	3.34	
ZG 2	10.18	8.31	9.26	6.60	8.03	
ZG 3	3.73	3.01	3.47	2.39	3.11	
ZG 4	3.81	3.08	3.55	2.44	3.18	
Appenzell Ausserrhoden						
ZG 1	30.34	29.18	29.77	27.67	28.87	
ZG 2	45.02	39.15	44.98	33.92	44.84	
ZG 3	28.87	27.71	28.39	26.27	27.52	
ZG 4	29.00	27.87	28.41	26.41	27.54	
Appenzell Innerrhoden						
ZG 1	150.11	141.69	149.99	132.55	148.26	
ZG 2	192.86	189.53	192.53	187.71	192.06	
ZG 3	141.08	132.86	140.02	124.07	138.40	
ZG 4	143.92	134.34	143.04	125.30	141.37	
Basel-Stadt						
ZG 1	0.54	0.47	0.53	0.41	0.51	
ZG 2	0.61	0.50	0.60	0.41	0.58	
ZG 3	0.52	0.46	0.51	0.40	0.49	
ZG 4	0.54	0.47	0.53	0.41	0.51	
Basel-Landschaft						
ZG 1	8.73	6.99	7.91	5.47	6.84	
ZG 2	20.63	16.94	18.75	13.51	16.24	
ZG 3	8.69	6.96	7.89	5.46	6.84	
ZG 4	8.73	7.00	7.93	5.48	6.87	

Kanton	m_{eff} (km ²) im Jahr 2002	m_{eff} (km ²) im Jahr 2020		m_{eff} (km ²) im Jahr 2050	
	<i>Ausgangswert</i>	<i>tief</i>	<i>hoch</i>	<i>tief</i>	<i>hoch</i>
Bern					
ZG 1	828.91	731.64	806.91	633.11	773.40
ZG 2	326.94	304.12	320.92	278.90	312.65
ZG 3	212.53	178.12	202.95	147.00	189.11
ZG 4	249.60	209.49	238.86	172.86	222.54
Freiburg					
ZG 1	92.41	81.02	84.18	68.31	73.10
ZG 2	117.12	109.36	116.12	100.98	114.13
ZG 3	80.82	70.39	72.81	58.91	62.66
ZG 4	85.40	74.73	77.20	62.56	66.40
Genf					
ZG 1	49.71	47.78	48.91	45.61	47.78
ZG 2	1.46	1.18	1.33	0.93	1.16
ZG 3	0.70	0.58	0.63	0.46	0.54
ZG 4	0.82	0.67	0.74	0.54	0.63
Glarus					
ZG 1	1214.13	1139.99	1209.13	1065.64	1190.99
ZG 2	681.82	656.30	673.33	627.98	664.73
ZG 3	485.52	426.88	435.88	356.44	370.32
ZG 4	635.14	561.55	571.23	468.49	484.81
Graubünden					
ZG 1	779.04	750.30	756.43	710.33	724.69
ZG 2	221.30	214.41	217.19	209.03	211.03
ZG 3	158.97	135.35	145.75	109.59	122.91
ZG 4	321.98	272.03	292.53	220.56	248.12
Jura					
ZG 1	23.98	20.33	22.59	16.19	19.67
ZG 2	40.39	34.98	35.81	28.81	29.99
ZG 3	20.74	17.84	19.68	14.47	17.39
ZG 4	20.81	17.89	19.75	14.51	17.46
Luzern					
ZG 1	107.27	87.56	106.47	71.71	103.59
ZG 2	116.52	90.03	101.71	68.75	84.96
ZG 3	77.51	61.49	76.41	49.22	74.48
ZG 4	81.34	64.36	79.77	51.27	77.76
Neuenburg					
ZG 1	41.60	36.53	38.97	31.25	35.38
ZG 2	32.01	26.54	29.75	21.57	26.70
ZG 3	13.74	11.09	11.93	8.61	9.78
ZG 4	15.44	12.45	13.41	9.70	10.99
Nidwalden					
ZG 1	638.93	613.33	629.80	580.92	610.76
ZG 2	409.85	388.03	400.32	362.62	387.57
ZG 3	314.88	298.13	308.56	278.44	297.38
ZG 4	379.79	361.06	371.07	337.67	357.65
Obwalden					
ZG 1	462.49	410.48	454.92	360.30	442.71
ZG 2	357.37	294.01	318.31	233.70	269.25
ZG 3	283.81	243.43	279.20	206.80	270.91
ZG 4	317.50	273.17	310.91	232.29	301.70
Schaffhausen					
ZG 1	7.15	5.49	5.99	4.04	4.72
ZG 2	27.30	25.74	27.00	24.00	26.53
ZG 3	6.79	5.17	5.66	3.82	4.43
ZG 4	6.86	5.22	5.72	3.85	4.48

Kanton	m_{eff} (km ²) im Jahr 2002		m_{eff} (km ²) im Jahr 2020		m_{eff} (km ²) im Jahr 2050	
	<i>Ausgangswert</i>		<i>tief</i>	<i>hoch</i>	<i>tief</i>	<i>hoch</i>
Schwyz						
ZG 1	184.44		143.31	175.93	112.04	162.55
ZG 2	305.78		252.14	296.23	209.91	291.83
ZG 3	137.76		107.14	130.51	83.06	119.01
ZG 4	154.22		118.46	144.59	92.08	131.94
Solothurn						
ZG 1	13.18		10.72	11.89	8.49	10.23
ZG 2	40.22		32.69	33.36	24.99	25.92
ZG 3	13.00		10.59	11.75	8.40	10.12
ZG 4	13.09		10.68	11.84	8.46	10.19
St. Gallen						
ZG 1	347.78		316.66	335.15	289.69	324.71
ZG 2	249.92		243.27	244.60	236.91	238.23
ZG 3	167.42		148.79	150.99	126.04	127.53
ZG 4	182.21		161.58	164.50	136.44	138.93
Tessin						
ZG 1	1041.38		755.29	937.65	586.51	922.08
ZG 2	497.57		476.96	482.61	458.59	475.24
ZG 3	307.72		249.97	304.40	203.87	297.07
ZG 4	393.87		320.03	392.53	259.94	383.05
Thurgau						
ZG 1	21.41		20.90	21.10	20.21	20.61
ZG 2	5.00		4.14	4.65	3.35	4.16
ZG 3	1.84		1.64	1.73	1.41	1.57
ZG 4	2.14		1.90	2.01	1.64	1.82
Uri						
ZG 1	898.43		788.14	846.74	687.59	804.89
ZG 2	374.26		360.18	373.11	350.61	359.43
ZG 3	286.28		259.00	262.03	224.87	228.95
ZG 4	513.48		463.61	478.01	401.61	415.45
Waadt						
ZG 1	180.44		152.16	170.79	125.34	155.28
ZG 2	92.53		78.64	86.92	65.34	78.51
ZG 3	54.76		42.86	48.91	32.91	41.55
ZG 4	64.85		50.64	58.18	38.91	49.39
Wallis						
ZG 1	1850.75		1496.27	1694.92	1208.95	1636.66
ZG 2	194.24		166.37	187.23	139.59	173.31
ZG 3	67.37		49.97	57.46	36.68	46.47
ZG 4	153.43		113.10	132.38	83.16	106.84
Zug						
ZG 1	9.77		8.66	9.65	7.60	9.46
ZG 2	26.47		25.70	26.43	24.80	26.26
ZG 3	3.84		3.17	3.76	2.60	3.64
ZG 4	4.45		3.67	4.36	3.01	4.22
Zürich						
ZG 1	6.75		6.31	6.62	5.81	6.40
ZG 2	6.36		5.36	6.06	4.44	5.61
ZG 3	4.00		3.66	3.88	3.28	3.70
ZG 4	4.20		3.84	4.08	3.44	3.88

4. Diskussion

4.1 Methodenkritik

Die effektive Maschenweite ist die im mitteleuropäischen Raum am weitesten verbreitete Messgrösse für den Grad der Landschaftszerschneidung. Für eine korrekte Interpretation der Resultate sollten die folgenden Eigenschaften dieser Methode berücksichtigt werden.

4.1.1 Strassenklassen

Es ist zu beachten, dass die Strassenkategorien von 1885 und 1935 von ihrer Zerschneidungswirkung her nicht den heutigen Kategorien entsprechen, sondern deutlich schwächer waren, da das Verkehrsaufkommen tiefer war und die Breite und die Befestigung der Strassen geringer waren. Diese Unterschiede müssen bei der Interpretation der Resultate berücksichtigt werden. Die Resultate für die zeitliche Entwicklung geben also eine konservative Angabe, d.h. dass die Änderung des Zerschneidungsgrades in Wahrheit *mindestens so gross* ist, wie es die Unterschiede zwischen den Werten über die Jahrzehnte zum Ausdruck bringen.

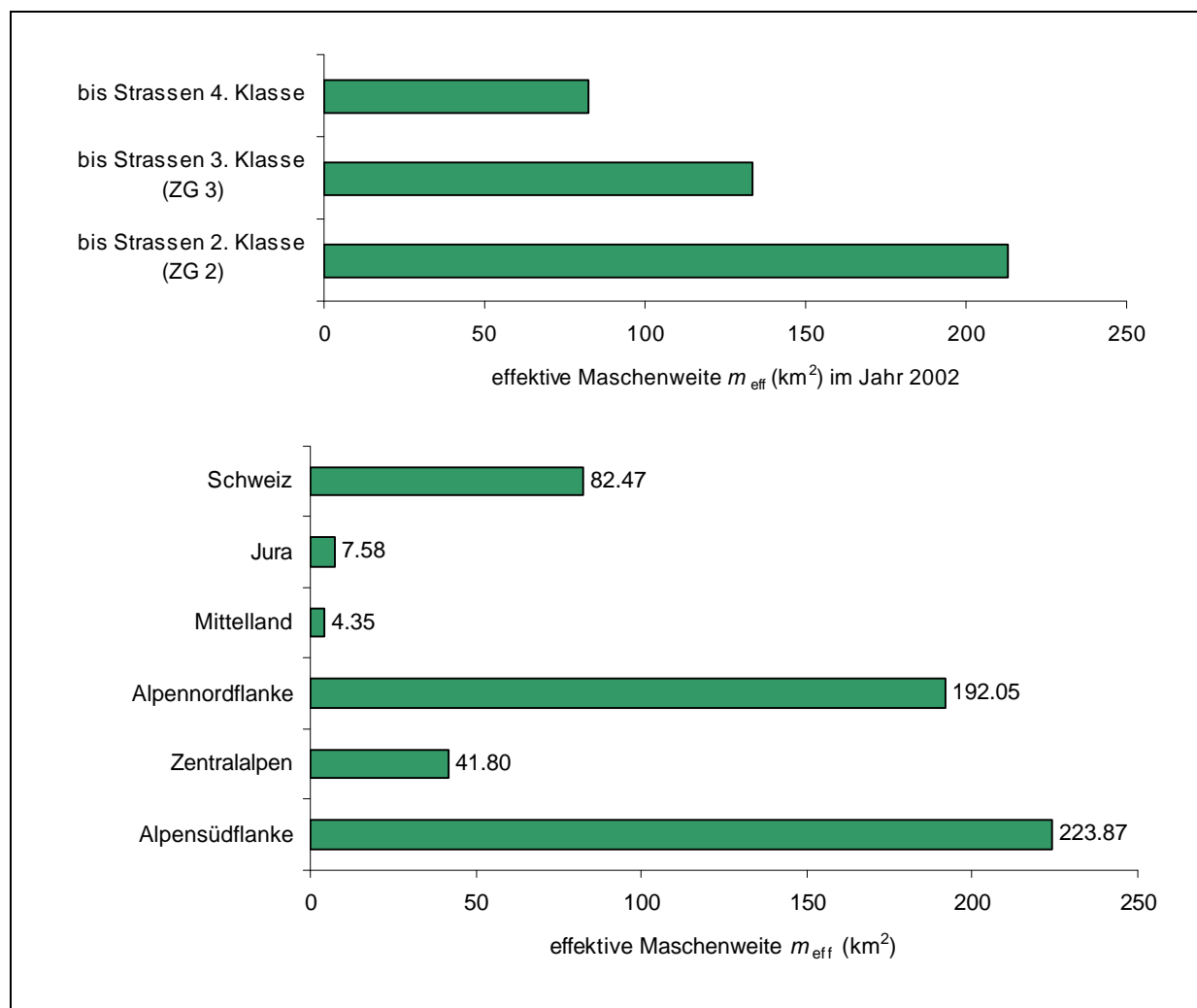


Abbildung 35: Die effektive Maschenweite für die Schweiz für Zerschneidungsgeometrie 2 und 3 und bei zusätzlichem Einbezug der 4.-Kl.-Strassen für das Jahr 2002 (oben, Vergleich mit/ohne 4.-Klassen-Strassen und mit/ohne 3.-Klassen-Strassen) und für die Naturräume bei zusätzlichem Einbezug der 4.-Kl.-Strassen (unten), ebenfalls für das Jahr 2002.

Der Wert von 1885 ist trotz dieser Unterschiede als Vergleichswert sehr interessant, um zu zeigen, wie gross die Maschen damals waren, d.h. es haben sich z.B. zwischen 1885 und 1935 nicht nur die Befestigung der Strassen und das Verkehrsaufkommen geändert, sondern auch die Grösse der Maschen. Es wäre interessant, die Störungsbänder um die Verkehrswege (z.B. Lärmbänder oder die „road effect zone“ nach FORMAN & DEBLINGER 2000) noch mit zu berücksichtigen, um zu ermitteln, wie gross die noch ungestörten Maschen (z.B. Ruhezone) damals und heute waren bzw. sind.

Eine Alternative wäre es, von der Annahme auszugehen, dass die Verkehrswege von 1885 allesamt eine geringere Beeinträchtigung der Landschaft darstellten als eine heutige 3.-Kl.-Strasse. Dann wäre die Maschenweite für 1885 gleich der Grösse der Schweiz abzüglich der Siedlungsflächen. Das ist aber keine so interessante Zahl, zu deren Interpretation man sich weiterführende Gedanken machen könnte, wie für das jetzt gewählte Vorgehen.

Sinnvoller wäre demgegenüber die Frage, welcher heutigen Strassenkategorie die Verkehrswege von 1885 entsprechen – wahrscheinlich den 4.-Kl.-Strassen, möglicherweise sogar einer noch geringeren Kategorie. Den Wert für Berücksichtigung der 4.-Kl.-Strassen (Wert für gesamte Schweiz) zeigt Abbildung 35. Im Rahmen dieses Projekts konnte nur der Wert für 2002 berechnet werden, da die Rückdigitalisierung der 4.-Kl.-Strassen sehr aufwändig ist und den Projektrahmen überstiegen hätte.

4.1.2 Verkehrsstärken

Für die Zerschneidungswirkung von Verkehrswegen ist neben ihrer Breite, Befestigung und Oberflächenbeschaffenheit vor allem das Verkehrsaufkommen relevant. Je mehr Fahrzeuge einen Verkehrsweg passieren, umso grösser ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein Tier überfahren wird, und umso grösser ist der Lärm, welcher die Tiere abschreckt (Abbildung 6 aus Abschnitt 1.5). Verkehrszählungen gibt es zwar für zahlreiche Verkehrswege, sie sind aber meist nicht flächendeckend vorhanden noch für frühere Zeitpunkte verfügbar.

Deshalb berücksichtigt die vorliegende Untersuchung das Verkehrsaufkommen nicht, obwohl damit die Barrierewirkung einer Strasse besser quantifiziert werden könnte. Hier gilt eine Strasse entweder als Trennelement oder als nicht trennend (in Abhängigkeit der Strassenklasse gemäss der Landeskarte). Das deutsche Bundesamt für Naturschutz (BfN) verwendet als Kriterium dafür, welche Strassen als Trennelemente berücksichtigt werden sollen, ein Mindestverkehrsaufkommen von 1000 Kfz pro Tag, unabhängig von der Klassifizierung der Strassen. Dieser Vorschlag ist jedoch aus zwei Gründen problematisch: (1) Da sich das Verkehrsaufkommen an Ortschaften und Strassenkreuzungen in der Regel ändert und dabei relativ oft von Werten oberhalb von 1000 Kfz/Tag auf Werte unterhalb von 1000 Kfz/Tag sinkt, erscheinen durchgehende Strassen bei diesem Auswahlkriterium oftmals nur als Stichstrassen und wirken somit nicht als zerschneidend. (2) Je weiter man in der Zeit zurückgeht und je tiefer die Strassen klassiert sind, umso schwieriger – und oftmals unmöglich – wird es, Daten für die zugehörigen Verkehrsstärken zu ermitteln. Daher ist der Vorschlag nicht sinnvoll praktikabel, wenn Zeitreihen für die Vergangenheit ermittelt werden sollen. Ausserdem ist die Wahl von 1000 Kfz pro Tag als Auswahlkriterium keine Lösung des Problems, dass Strassen mit höherem Verkehrsaufkommen eine stärkere Zerschneidungswirkung haben, denn bei diesem Vorgehen werden alle stärker befahrenen Strassen wiederum gleich gewichtet (und alle geringer frequentierten Strassen weggelassen, obwohl auch sie Zerschneidungswirkungen haben).

Es ist hingegen möglich, jedem Strassenabschnitt aufgrund seines Verkehrsaufkommens und seiner Breite (oder nach der Klassifizierung in der Landeskarte) eine bestimmte Barrierewirkung zwischen 0 und 100% zuzuordnen (JAEGER, in prep.; siehe Abschnitt 7.3). Damit könnte das Modell weiter verfeinert werden. Derzeit besteht allerdings das Problem, dass nur für sehr wenige Tierarten bekannt ist, wie stark die Barrierewirkung in Abhängigkeit der Verkehrsaufkommen ist (z.B. SEILER & HELLDIN 2006, HELS & BUCHWALD 2001). In diesem Bereich besteht ein grosses Wissensdefizit. Eine verfeinerte, tierartenspezifische Methode wird in Zukunft anwendbar sein, sobald solche Daten verfügbar sind. Allerdings unterscheiden sich die Resultate dann in Abhängigkeit von der jeweils gewählten Tierart und für die Verwendung als Indikator müsste wiederum eine Variante ausgewählt werden.

Wenn man die Verkehrsstärke einbeziehen würde, dann wären die Kurven zur zeitlichen Entwicklung des Zerschneidungsgrades noch deutlich steiler als in Kapitel 3 dargestellt (da das Verkehrswegenetz zu früheren Zeiten nicht nur weitmaschiger war, sondern die Verkehrswege auch weniger stark zerschneidend waren).

4.1.3 Umklassierungen

Als Grundlage der Studie dienten Landeskarten und die darin vorgenommenen Strassenklassierungen. In manchen Fällen galten bestimmte Strassenabschnitte in einem Zeitschnitt als 3.-Kl.-Strasse und flossen somit als Trennelement in die Zerschneidungsgeometrie ein, waren im darauf folgenden Zeitschnitt aber zu einem 4.-Kl.-Fahrweg abklassiert, obwohl sie sich physisch nicht geändert haben. Oft (aber nicht immer) ist die Abklassierung aber mit einem verringerten Verkehrsaufkommen verbunden. Damit wird die Strasse in der vorliegenden Untersuchung nicht mehr berücksichtigt, und die effektive Maschenweite nimmt zu (vgl. Abbildung 36). Dies ist eine Folge der gewählten Methode und wirkt sich bei einigen Bezirken als Zunahme der effektiven Maschenweite aus (vgl. Werte im Anhang im Abschnitt 9.9).

Aus diesem Grund ist die Betrachtung einer weiteren Zerschneidungsgeometrie, die 4.-Kl.-Strassen mit einbezieht, von grossem Interesse (siehe Abschnitt 7.3). Eine solche Untersuchung ist zwar im Hinblick auf Verkehrswege von regionaler und überregionaler Bedeutung weniger interessant als die vorliegende Studie; aus Sicht der Erholungsqualität, Verlärmung, Landschaftsästhetik und ökologischer Wirkungen wäre sie hingegen sehr bedeutsam. Dies durchzuführen, war jedoch im Rahmen des vorliegenden Projektes nicht möglich.

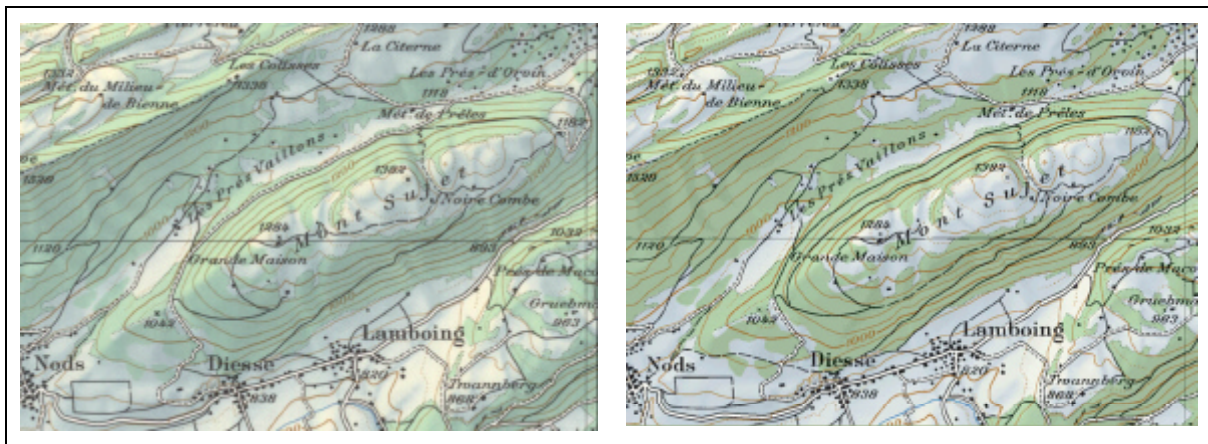


Abbildung 36: Beispiel für eine Abklassierung von Strassen in den Landeskarten. Links die Situation 1980 mit 3.-Kl.-Strasse, rechts im Jahr 2002 abklassiert zu einem 4.-Kl.-Fahrweg (Beispiel aus dem Berner Jura, Mont Sujet, reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA071415)).

4.1.4 Stichstrassen

In den Alpen kommt es relativ oft vor, dass Strassen in ein Tal führen und dort enden, ohne dass eine andere Strasse anschliesst (sogenannte Inzisionen, vgl. Abschnitt 1.3.1). Solche Stichstrassen sind lediglich über einen Knoten an das Strassennetz angeschlossen. Wenn der Flächenbedarf der Strasse nicht berücksichtigt wird, dann haben Stichstrassen keinen Einfluss auf den berechneten Zerschneidungsgrad; das heisst, dass die effektive Maschenweite mit und ohne Einbezug dieser Strassen gleich gross ist. Es gibt sowohl Argumente für als auch gegen die Berücksichtigung von Stichstrassen. Einerseits bestehen diese Strassen in der Landschaft und haben ebenfalls eine Barrierewirkung. Andererseits haben sie in der Regel ein deutlich geringeres Verkehrsaufkommen als durchgehende Strassen und durchschneiden die Landschaft nicht in zwei unverbundene Flächen, da aussen herum nach wie vor eine Verbindung besteht. Allerdings sind Stichstrassen hinsichtlich des Landschaftsbildes und hinsichtlich ihrer Erschliessungswirkung (z.B. erleichterter Zugang für Freizeitaktivitäten mit technischen Geräten) ebenfalls relevant. Sie tragen zur Verkleinerung der verbleibenden ungestörten Landschaftsbereiche bei.

Stichstrassen verändern die *Form* der verbleibenden Flächen, aber sie zerteilen die Flächen nicht. Auch sonst wird in dieser Untersuchung die Form der Flächen nicht problematisiert (z.B. längliche Flächen). Die Wirkungen von Stichstrassen auf die Natur und Landschaft stellen ein separates Thema dar, zu dessen Erfassung die Methode der effektiven Maschenweite nicht entwickelt worden ist. Diese Situation hat zur Folge, dass sich die effektive Maschenweite vor und nach dem Bau einer solchen

Strasse nur dann unterscheidet, wenn der Flächenbedarf der Strasse berücksichtigt wird, d.h. die Landschafts-„Masche“ um diesen Beitrag kleiner wird, z.B. entsprechend der Strassenbreite oder des Lärmbands um die Strasse („road effect zone“; FORMAN & DEBLINGER 2000). In der Untersuchung von ESSWEIN et al. (2002) in Baden-Württemberg wurden Stichstrassen nur bei der Berücksichtigung von Lärmbändern in die Zerschneidungsgeometrie einbezogen; unter anderem auch deshalb, weil diese Situation in Baden-Württemberg nicht sehr häufig war.

Bei der Ausscheidung des Gebirges als Zerschneidungselement (in ZG 2 und 3) wird ein kleiner Teil der Stichstrassen ans Gebirge „angeschlossen“ (diejenigen, die auf über 2100 m Höhe führen), und in diesen Fällen beeinflussen sie die Berechnung der effektiven Maschenweite. Der Grossteil der Stichstrassen bleibt aber auch in ZG 2 und 3 ohne Einfluss auf das Zerschneidungsmass. Eine Modifikation der Methode, um Stichstrassen auf andere Weise einzubeziehen, würde den Rahmen des vorliegenden Projektes übersteigen.

Um die Einwirkung der Stichstrassen trotzdem quantifizieren zu können, sollte künftig die Länge der Stichstrassen als eine zweite Grösse neben der effektiven Maschenweite angegeben werden (vgl. Abschnitt 9.13 im Anhang), d.h. es sollten für alle Teilräume auch die *Strassenlängen* der jeweiligen Strassenklassen aufgelistet werden (*getrennt* für Stichstrassen und andere Strassen). Damit kann z.B. aufgezeigt werden, ob in Regionen, in denen sich die Maschenweite nicht oder nur wenig geändert hat, der Einfluss der Stichstrassen gestiegen oder ebenfalls gleich geblieben ist (z.B. im Gebiet des Napf, vgl. Abbildung 50 in Abschnitt 6.2.6). Bei der Interpretation dieser Werte ist allerdings zu berücksichtigen, dass die Strassenlänge nichts über die räumliche Konfiguration der Strassen aussagt.

4.1.5 Berücksichtigung von Rückbauten

Wenn tatsächlich Verkehrswege zurückgebaut wurden, so fielen sie im nachfolgenden Zeitschnitt aus der Zerschneidungsgeometrie weg, und die effektive Maschenweite nahm entsprechend zu (Abbildung 37). Der Rückbau von nicht mehr benötigten Strassen wirkt sich somit positiv auf die effektive Maschenweite aus.



Abbildung 37: Rückbau von Verkehrswegen und der Einfluss auf die Zerschneidungsgeometrie: Eine Strasse, die 1980 (links) noch bestand, ist im Jahr 2002 (rechts) aufgehoben. Dies führt zu einem höheren Wert der effektiven Maschenweite (Beispiel aus dem Berner Seeland/Mittelland bei Detligen mit einem Rückbau einer 3-Kl.-Strasse zwischen 1980 und 2000, (reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA071415)).

Die Berücksichtigung von durchgeführten Rückbauten in der Messmethode ist wichtig, denn sonst könnte sich das Resultat der Zerschneidungsanalyse nicht verbessern (ausser durch Abklassierungen). Allerdings kamen Rückbauten bisher nur in seltenen Fällen vor.

Ausserdem ist bei der Interpretation zu beachten, dass ein Rückbau gemäss Landeskarten nicht immer einem echten Rückbau im Feld entspricht. Auch arbeitsmethodische Überlegungen führen bei der *Swisstopo* zu Änderungen auf der Landeskarte (U. ROTH, pers. Mitteilung). Beispielsweise werden

nach wie vor existierende Hofzufahrten nicht mehr dargestellt, wenn sie eine bestimmte Länge unterschreiten.¹⁵ Ein zweites Beispiel ist die Aufklassierung von Wegen, wenn sie infolge von Unterhaltsarbeiten aus der Luft besser erkennbar sind und (aus Kostengründen) keine Feldüberprüfung mehr stattfindet. Das Problem dieser Umklassierung erscheint primär in den Stadtwäldern und tritt vor allem bei 3.- und 4.-Kl.-Strassen auf (siehe Abschnitt 4.1.3). Es gibt weitere methodisch bedingte Anpassungen, welche aber bei der *Swisstopo* nicht dokumentiert werden (U. ROTH, pers. Mitteilung).

4.1.6 Einfluss von weiteren Faktoren zur Landschaftszerschneidung

Zur Entwicklung der Landschaftszerschneidung haben die verschiedenen Typen von Trennelementen in unterschiedlichem Mass beigetragen (vgl. die Erläuterungen zur Entwicklung in den einzelnen Kantonen in Abschnitt 3.2.4 und 9.6). Generell sind die Passstrassen für die Zerschneidung besonders stark wirksam, da sie in der Regel grosse Gebiete zerteilen. Der Ausbau zu höherklassigen Strassen (von 3.- zu 2.-Klass-Strassen) ist in ZG 2 häufig ebenfalls von grosser Bedeutung. Es folgen der Neubau von 3.-Kl.-Strassen (flächendeckend vorherrschend, unter allen Verkehrswegen die meisten Kilometer), die Siedlungsflächenausdehnung und der Eisenbahn- und Autobahnbau als die generell wichtigsten Faktoren für den Anstieg des Zerschneidungsgrades. Allerdings fanden der Eisenbahn- und Autobahnbau oft in bereits stark zerschnittenen Regionen statt und sie haben gegenüber den anderen Verkehrswegetypen eine relativ geringe Kilometerzahl; daher sind sie entsprechend weniger stark am Rückgang der effektiven Maschenweite beteiligt. In den einzelnen Kantonen kann die Bedeutung der verschiedenen Typen von Trennelementen jedoch stark variieren. Im Kanton Genf ist die Siedlungsflächenausdehnung sehr wichtig; im Wallis die Erschliessung der Pässe; im Napfgebiete die Rolle der 3.-Klass-Strassen.

Neben dem Verkehrsnetz und den Siedlungsflächen wirken sich auch weitere Faktoren der Landnutzung auf die Landschaftszerschneidung aus, die jedoch von der effektiven Masschenweite nicht oder nur begrenzt erfasst werden können:

- a) Nutzungen der Land- und Forstwirtschaft: Die Nutzung der Land- und Forstwirtschaft kann die Landschaftszerschneidung abmildern oder verstärken in Abhängigkeit davon, wie die Flächen bewirtschaftet werden. Intensiv genutzte Flächen können für viele Arten als Barrieren wirken. Der Beitrag von Meliorationen als Erhöhung oder Verringerung der Landschaftszerschneidung lässt sich nicht generell festlegen, sondern hängt davon ab, wie vielfältig oder eintönig die genutzten Flächen sind, und von der Beseitigung und Neuschaffung von Begleitstrukturen und Vernetzungselementen. Eine Beurteilung von Flächenzusammenlegungen darf sich daher nicht allein auf die Grösse, Form und räumliche Verteilung von Flächen abstützen, sondern muss die Flächenqualitäten und Bewirtschaftungsformen einbeziehen. Der Einsatz grösserer Maschinen auf den vergrösserten Ackerschlägen deutet eher auf eine Zunahme von als Lebensraum ungeeigneten Flächen hin. Wenn es sich um intensiv genutzte Flächen handelt, trägt eine Vergrösserung von Monostrukturen zur Verinselung von Lebensräumen und damit auch zur Fragmentierung der Landschaft bei.
- b) Wirkungen auf das Landschaftsbild: Aus den Ergebnissen für die effektive Maschenweite können Schlüsse zur Wirkung auf das Landschaftsbild gezogen werden. Allerdings erfasst die effektive Maschenweite wichtige Unterschiede nicht: Je besser Strassenbauten in die Topografie eingepasst sind, umso geringer sind ihre negativen Wirkungen auf das Landschaftsbild; in manchen Fällen können Strassen sogar als Bereicherung der Kulturlandschaft wahrgenommen werden (z.B. Alleen).
- c) Befahrung der Landschaft mit Freizeitfahrzeugen: Die Nutzung von kleineren Strassen und Wegen durch Freizeitfahrzeuge, z.B. Quads, erhöht die landschaftszerschneidende Wirkung dieser Strassen (Verlärmung, Unruhewirkung, Veränderung des Landschaftscharakters).

Um die Naturnähe bzw. Naturferne von Flächen nach dem Grad des Kultureinflusses zu charakterisieren, wurde das Konzept der Hemerobiestufen einwickelt (z.B. BASTIAN & SCHREIBER 1994). Ausgeräumte, naturferne Landschaften gelten z.B. als euhemerob. Die Wirkungen der Landschafts-

¹⁵ Diese sind jedoch hier nicht von Bedeutung, da es sich um Zufahrten handelt, also Inzisionen, und diese sind nicht zerschneidungswirksam.

zerschneidung hängen vom Grad der Naturferne der betroffenen Landschaften ab. Bei einer Weiterentwicklung der Methode zur Messung des Zerschneidungsgrades könnte dies dadurch berücksichtigt werden, indem die Bewertungsstufen nach KAULE (1991) für alle Flächen einbezogen werden; z.B. könnten die Flächen bei der Berechnung der effektiven Maschenweite entsprechend ihrer KAULE-Wertstufe gewichtet werden. Dann wirkt sich die Zerteilung hochwertiger Flächen stärker auf die berechnete Maschenweite aus als die Zerteilung geringwertiger Flächen, ähnlich wie sich die Zerteilung grosser Flächen stärker auf m_{eff} auswirkt als die Zerteilung kleiner Flächen.

Neben der effektiven Maschenweite gibt es zahlreiche weitere Methoden, mit denen man Landschaftsveränderungen quantifizieren kann, wie sie z.B. in der Schweiz in der Arealstatistik und im Projekt „Landschaft unter Druck“ eingesetzt werden. Die Arealstatistik (BFS 2001, 2005) ermöglicht eine differenzierte Quantifizierung der flächenhaften Veränderungen bei der Bodenbedeckung und Bodennutzung. Die Auswertung erfolgt in einem 12-Jahres-Rhythmus. Im Projekt „Landschaft unter Druck“ (KOEPPEL et al. 1991, ROTH et al. 2001) werden diverse Landschaftsveränderungen für einzelne Regionen und für einzelne Lebensraumelemente oder Infrastrukturen quantifiziert (siehe Abschnitt 4.3.8). Dazu werden Datengrundlagen der Landeskarten verwendet. Bisher arbeitet „Landschaft unter Druck“ mit Stichprobenflächen und extrapoliert die Ergebnisse auf die Schweiz. Mit dem Vorliegen von digitalen Grundlagendaten dürften künftig präzisere Auswertungen schweizweit möglich sein.

4.2 Verwendung von effektiver Maschenweite oder effektiver Maschendichte?

Anstatt nach der Grösse der „Maschen“ (m_{eff}) zu fragen, kann man auch nach der entsprechenden Zahl der Maschen in einem Gebiet konstanter Grösse fragen, z.B. innerhalb einer Fläche von 1000 km². Diese Zahl gibt die effektive Maschendichte s_{eff} an (siehe Abschnitt 2.2.2). Beide Messgrössen haben jeweils ihre Vorteile (Tabelle 13).

Tabelle 13: Vorteile und Unterschiede der beiden Zerschneidungsmasse effektive Maschenweite m_{eff} und effektive Maschendichte s_{eff} .

Vorteile von m_{eff}	Vorteile von s_{eff}
besser bekannt und weiter verbreitet	Eine Zunahme der Zerschneidung wird durch einen zunehmenden Wert von s_{eff} dargestellt (steigende Kurve).
einfacher zu erklären als s_{eff}	Gleichmässige Trends werden durch gerade Linien dargestellt und sind daher im Diagramm besser ablesbar als eine $1/x$ -Kurve für m_{eff} .
Eine Flächengrösse ist einfacher vorstellbar als eine Zahl von Flächen pro 1000 km ² .	Die flächenproportional-additive Eigenschaft gilt zwar nicht für die s_{eff} -Werte, aber für die reziproken Werte (d.h. $1/s_{\text{eff}} = m_{\text{eff}}$), ist also auf dem Weg über die reziproken Werte auch für s_{eff} nützlich anwendbar.
flächenproportional-additive Messgrösse	

Ein gleichmässiger Trend wird durch eine lineare Zunahme der Maschenzahl (gerade Linie) und durch eine $1/x$ -Kurve für die Abnahme der Maschenweite dargestellt (Abbildung 38). Dies muss bei der Interpretation der Resultate für die Schweiz berücksichtigt werden (und bei den Trendfortschreibungen).

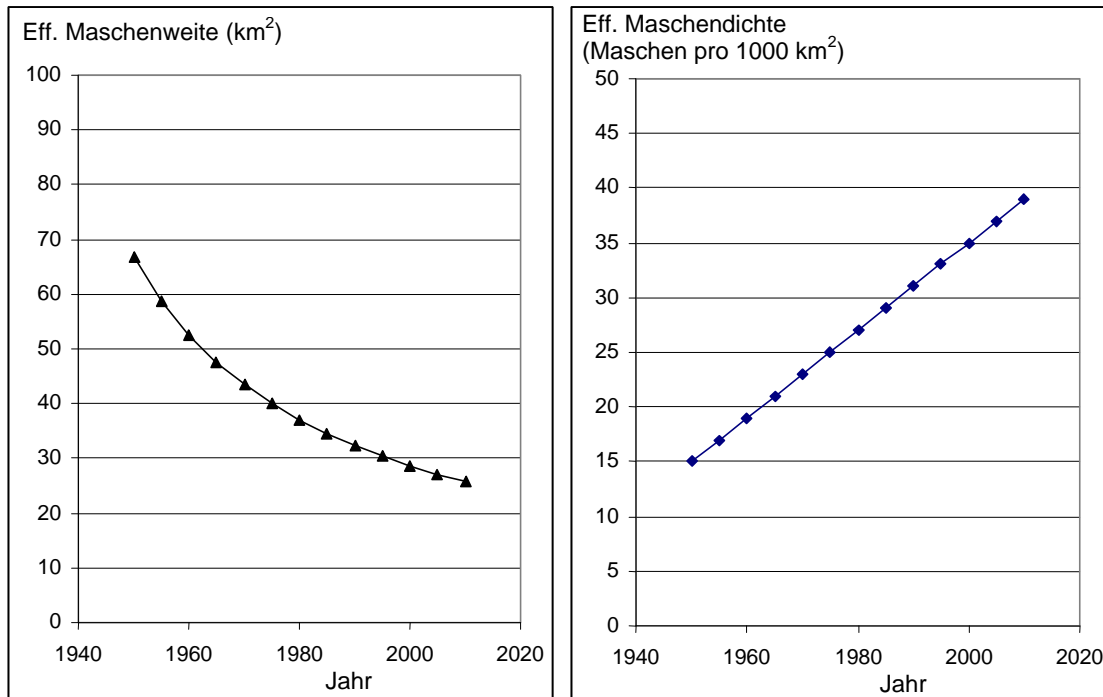


Abbildung 38: Illustration des Zusammenhangs zwischen effektiver Maschenweite (links) und effektiver Maschenzahl pro 1000 km² (= effektive Maschendichte; rechts) für ein hypothetisches Beispiel mit konstantem Entwicklungstrend. Einem linearen Anstieg der Maschendichte entspricht eine $1/x$ -Kurve im Diagramm der Maschenweite. Ein sich abschwächender Trend verläuft im Diagramm der effektiven Maschenweite flacher als die dargestellte $1/x$ -Kurve, ein schnellerer Trend verläuft steiler. Ein konkaver Kurvenverlauf der effektiven Maschenweite kann daher nur dann als Abschwächung des Trends interpretiert werden, wenn er stärker konkav ist als eine $1/x$ -Kurve mit gleicher Anfangssteigung.

Beide Grössen sind dafür geeignet, die Zerschneidung von Gebieten unterschiedlicher Gesamtgrösse und mit differierenden Siedlungs- und Verkehrsflächenanteilen zu vergleichen und Änderungen im Zeitverlauf zu ermitteln. Allerdings lassen sich Trends besser in der Kurve für die Maschendichte erkennen als für die Maschenweite. Der Grund dafür ist, dass der Wert der Maschenweite niemals unter die Nulllinie absinken kann und die Kurve daher auch bei gleichmässig zunehmender Zerschneidung automatisch einen immer flacheren Verlauf annimmt, je stärker sie sich der Nulllinie annähert. Dies ist eine mathematische Folge aus der Relation $m_{\text{eff}} = 1/s_{\text{eff}}$. Ob sich der Trend beschleunigt oder verlangsamt, kann man daher nur aus einem Vergleich mit einer Kurve der Form $y = 1/x$ erkennen. Die Zahl der Maschen kann hingegen nach oben hin unbegrenzt zunehmen, wenn die Maschen immer kleiner werden. Da die reale Entwicklung meist nicht gleichmässig erfolgt ist (siehe Kapitel 3), ist das Diagramm zur effektiven Maschendichte daher nützlich, um zu erkennen, wie stark die Entwicklung von einem gleichmässigen Trend abweicht. Dies ist bei der effektiven Maschenweite zwar grundsätzlich auch möglich, aber deutlich schwieriger.

Um die Interpretation zu erleichtern, stellt der vorliegende Bericht in Kapitel 3 jeweils beide Kurven dar (für m_{eff} und s_{eff}).

Eine weitere Konsequenz aus der mathematischen Beziehung zwischen der Maschendichte und der Maschenweite ist, dass die prozentuale Zunahme der Maschendichte und die prozentuale Abnahme der Maschengrösse unterschiedlich sind. Im hypothetischen Beispiel von Abbildung 38 ist das gut erkennbar: Die Maschenweite hat um 61.5% abgenommen (von 66.7 km² auf 25.6 km²), und die Maschendichte hat um 160% zugenommen (von 15 auf 39 Maschen pro 1000 km²).

4.3 Bezüge zu anderen Untersuchungen und Umweltbeobachtungssystemen

4.3.1 Vergleich mit anderen Arbeiten zur Landschaftszerschneidung

Ein Vergleich der vorliegenden Ergebnisse für die Schweiz mit den Werten für das benachbarte deutsche Bundesland Baden-Württemberg (JAEGER et al. 2006) und für Hessen (ROEDENBECK et al. 2005), Sachsen (SCHERFKE 2002, WALZ 2005) und Thüringen (VOERKEL 2005) liegt nahe. Dazu eignen sich die Zerschneidungsgeometrien 2, 3 und 4. Die effektive Maschenweite für die Schweiz im Jahr 2002 ist um etwa den Faktor 10 grösser als jene für Baden-Württemberg aus dem Jahr 2004. Gegenüber Hessen sind die Werte für die Schweiz 9- bis 13-mal höher. Dies liegt vor allem an den unbesiedelten und weitgehend unerschlossenen alpinen Regionen in der Schweiz: Die drei Naturräume Nord-, Zentral- und Südalpen machen etwa 60.2% der Landesfläche der Schweiz aus, und die Flächen oberhalb von 2100 m haben einen Anteil von 22.8% an der Landesfläche. Entsprechende Regionen gibt es in Baden-Württemberg und Hessen nicht. Aus diesem Vergleich wird klar, dass die Ausscheidung bzw. das Ausklammern des Gebirges (und der vielen Seen) aus den Untersuchungseinheiten wichtig für Ländervergleiche ist.¹⁶ Wird dies nicht vorgenommen, so fallen die grossen unzerschnittenen Gebirgsräume der Schweiz zu stark ins Gewicht und verfälschen den Vergleich.

Mit Baden-Württemberg und Hessen vergleichbare Naturräume in der Schweiz sind das Mittelland und der Jura. Für die Zerschneidungsgeometrie 2 („Trennelemente bis 2.-Kl.-Strassen“) ergibt sich eine effektive Maschenweite von 21.47 km² für das Mittelland.¹⁷ Jene für Baden-Württemberg (Zerschneidungsgeometrie ohne Gemeindeverbindungsstrassen) liegt etwas tiefer bei 19.58 km² (JAEGER et al. 2006). Der Mittelland-Wert liegt knapp 30% über jenem von Hessen für 2002 (16.59 km²; ROEDENBECK et al. 2005).

Ein deutlicher Unterschied zeigt sich, wenn man in Baden-Württemberg und Hessen die Gemeindeverbindungsstrassen und im Schweizer Mittelland die 3.-Kl.-Strassen (Zerschneidungsgeometrie 3) einbezieht: Baden-Württemberg liegt hier mit 13.01 km² und Hessen mit 15.63 km² deutlich über dem Mittelland mit nur noch 9.86 km².¹⁸ Das Schweizer Mittelland ist somit deutlich stärker von kleineren (und weniger stark befahrenen) Strassen zerschnitten als Baden-Württemberg und Hessen. Im Jura ist die effektive Maschenweite in Zerschneidungsgeometrie 2 mit 46.02 km² mehr als doppelt so gross wie in Baden-Württemberg und Hessen und in Zerschneidungsgeometrie 3 mit 18.91 km² um 45% bzw. 21% grösser.

Alle anderen Schweizer Naturräume sind deutlich weniger zerschnitten als das Mittelland. Die effektive Maschenweite ist dort um den Faktor 2 bis 20 grösser als in Baden-Württemberg. Die zeitlichen Trends sind für die Räume Jura, Mittelland und Baden-Württemberg sowie Hessen ähnlich stark negativ, besondere Unterschiede lassen sich hier nicht erkennen (Abbildung 39).

Ein Vergleich der aktuellen Landschaftszerschneidung von vier Bundesländern (mit Berücksichtigung von Gemeindestrassen) von ESSWEIN et al. (2004) zeigt, dass Nordrhein-Westfalen mit einer effektiven Maschenweite von 9.51 km² (ohne Berücksichtigung von Gewässern) bzw. 9.44 km² (mit Berücksichtigung von Gewässern) am stärksten zerschnitten ist, gefolgt von Baden-Württemberg (13.66 km² für 1998 bzw. 13.01 km² für 2004), Hessen (15.63 km²) und Sachsen (18.2 km²). Die Werte der effektiven Maschenweite liegen im Schweizer Mittelland mit 9.86 km² (ZG 3) fast so tief wie in Nordrhein-Westfalen.¹⁹

¹⁶ d.h. Verwendung von ZG 4 („Landflächen unterhalb 2100 m“).

¹⁷ Der Wert für das Mittelland in ZG 2 liegt bei der Abgrenzung des Raumes gemäss BDM sogar noch tiefer, bei 7.88 km² (siehe Abschnitt 9.8 im Anhang).

¹⁸ Der Wert für das Mittelland in ZG 3 liegt bei der Abgrenzung des Raumes gemäss BDM sogar noch deutlich tiefer, bei 2.99 km² (siehe Abschnitt 9.8 im Anhang).

¹⁹ Bei der Abgrenzung des Mittellandes gemäss BDM liegt es jedoch mit 2.99 km² (ZG 3) noch weit unterhalb des Wertes von Nordrhein-Westfalen.

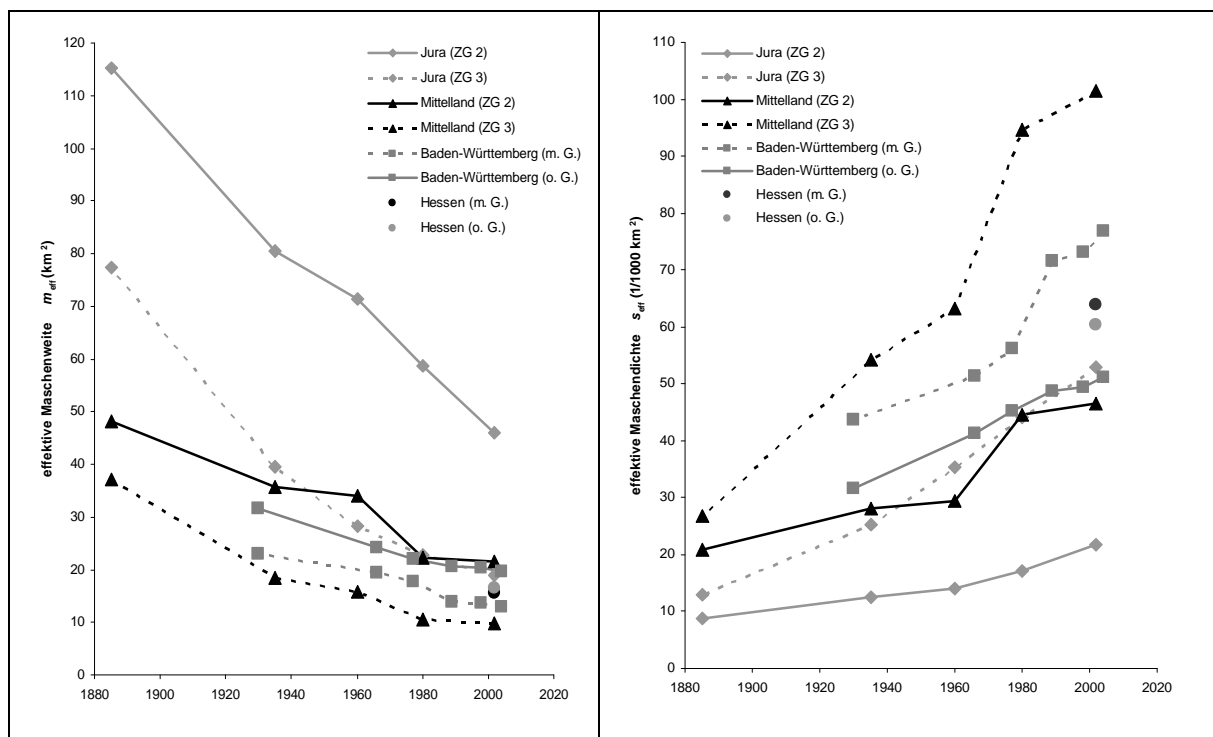


Abbildung 39: Vergleich der Entwicklung der effektiven Maschenweite und Maschendichte im Mittelland und im Jura mit der Entwicklung in Baden-Württemberg für die beiden Zerschneidungsgeometrien 2 (entspricht ohne Gemeindestrassen in Baden-Württemberg) und 3 (entspricht mit Gemeindestrassen). Das Mittelland ist in ZG 3 deutlich stärker zerschnitten als Baden-Württemberg (mit Gemeindestrassen), der Naturraum Jura ist weniger stark zerschnitten. Die zeitlichen Trends sind in allen Räumen ähnlich stark negativ (links) bzw. stark zunehmend (rechts). (ZG 2 = „Trennelemente bis 2.-Kl.-Strassen“, ZG 3 = „Trennelemente bis 3.-Kl.-Strassen“).

Die Reihenfolge ändert sich, wenn kleinere Strassen (in der Schweiz die 3.-Kl.-Strassen und in Deutschland die Gemeindestrassen) weggelassen werden (ZG 2): Dann ist das Schweizer Mittelland mit 21.47 km^2 ähnlich stark zerschnitten wie Baden-Württemberg (20.24 km^2 für 1998 bzw. 19.58 km^2 für 2004), sein m_{eff} -Wert liegt unterhalb des Wertes von Bayern (35.25 km^2 ohne Berücksichtigung von Gewässern) und oberhalb des Wertes von Hessen (16.59 km^2 mit Berücksichtigung von Gewässern und 17.97 km^2 ohne Berücksichtigung von Gewässern). Für Nordrhein-Westfalen und Sachsen liegen zu dieser Zerschneidungsgeometrie keine Werte vor.²⁰

Die Werte für die alpinen Regionen aus ZG 1 („Zivilisationsdruck“) können mit dem Wert für Südtirol, der 485 km^2 beträgt, verglichen werden (MOSER et al. 2007). Auch in Südtirol werden Gemeindestrassen als Trennelemente gewertet, aber es werden keine geogenen Elemente einbezogen. Südtirol ist von den naturräumlichen Gegebenheiten her mit den Zentral- und Südalpen vergleichbar. Die Schweizer Alpen sind aber bedeutend geringer zerschnitten als Südtirol: die effektive Maschenweite in den Süd- und Nordalpen ist um mehr als 80%, in den Zentralalpen um mehr als 160% grösser als in Südtirol (ZG 1).

²⁰ Der Wert für das Mittelland gemäss BDM-Abgrenzung liegt allerdings bei 7.88 km^2 (ZG 2; siehe Anhang, Abschnitt 9.8), also deutlich tiefer als 21.47 km^2 (bei Abgrenzung des Mittellandes gemäss dem Datensatz der WSL) und unterhalb des Wertes von Hessen.

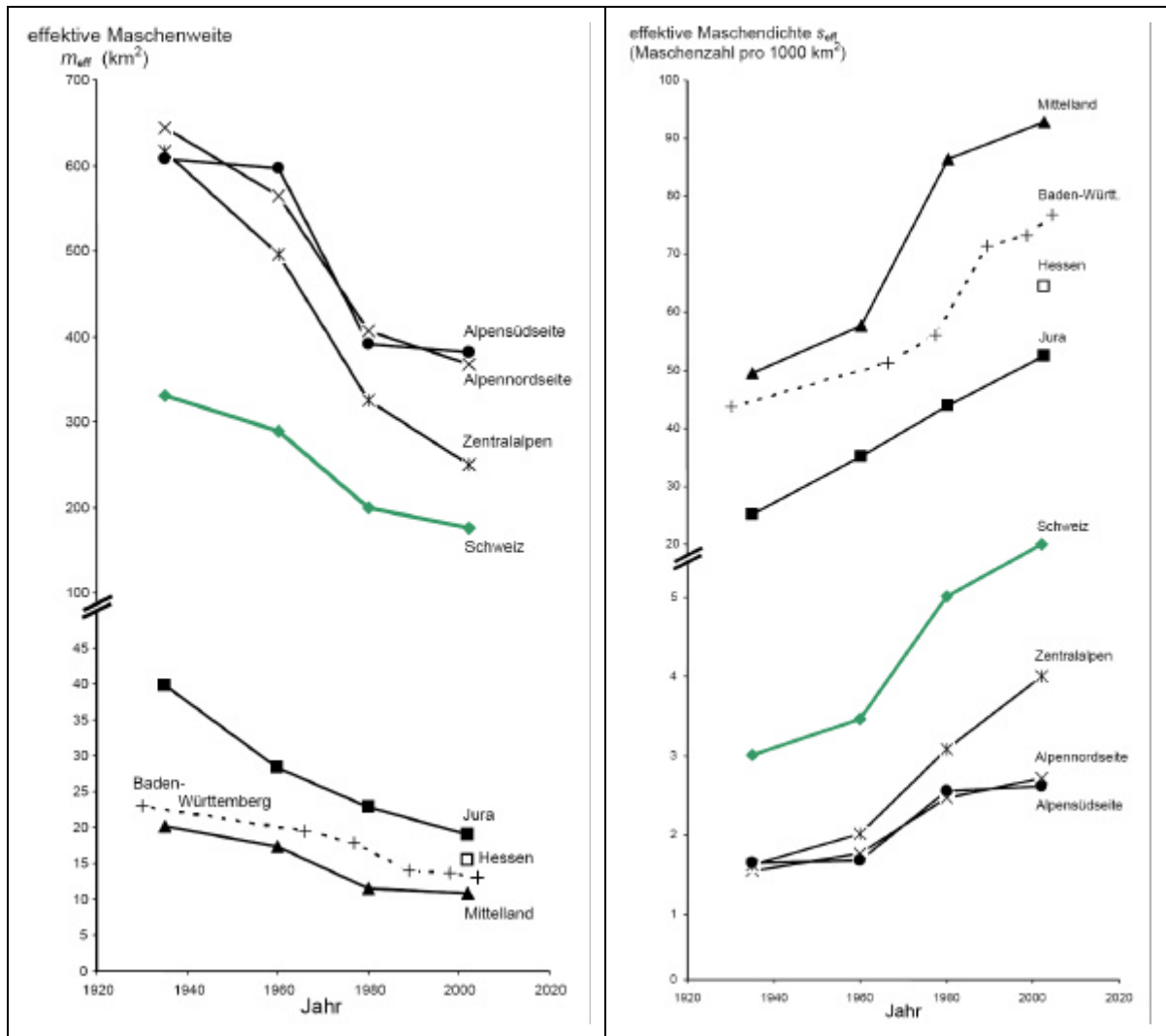


Abbildung 40: Vergleich der Entwicklung der Landschaftszerschneidung in der Schweiz 1935 bis 2002 mit Baden-Württemberg und Hessen: Werte der effektiven Maschenweite (links) und der effektiven Maschendichte (rechts) für die Schweiz und ihre fünf Naturräume nach ZG 4 „Landflächen unterhalb 2100 m“. Für den Vergleich sind die Werte aus Baden-Württemberg für 1930-2004 (JAEGER et al. 2006) und Hessen für 2002 (ROEDENBECK et al. 2005) angegeben (unter Berücksichtigung von Strassen bis einschliesslich Gemeindestrassen).

Die Ergebnisse zur Zerschneidungsgeometrie 4 eignen sich für den Vergleich am besten (siehe Abschnitt 4.3.3) und sind bereits in die „Umweltstatistik Schweiz in der Tasche 2006“ aufgenommen worden (BFS & BFAU 2006). Sie zeigen wiederum, dass grosse Unterschiede zwischen den drei Alpenregionen mit Werten über $250 km^2$ einerseits und dem Mittelland und dem Juragebiet andererseits (Werte unter $25 km^2$) bestehen. Die Abnahme der effektiven Maschenweite beträgt je nach Naturraum zwischen 37% und 60% gegenüber 1935. Der Vergleich mit Baden-Württemberg zeigt, dass die Werte für die effektive Maschenweite und für die Abnahme seit 1930 (-43% bis 2004) in einer ähnlichen Grössenordnung wie im Schweizer Mittelland liegen (Abnahme seit 1935: 47% bis 2002; Abbildung 40).

In einigen Studien in Deutschland werden die Anzahl und der Flächenanteil der unzerschnittenen Räume (UZR) grösser als $50 km^2$ bzw. grösser als $100 km^2$ zur Quantifizierung der Landschaftszerschneidung verwendet. Der Anteil UZR grösser als $50 km^2$ an der Landesfläche in Baden-Württemberg beträgt 5.2% (mit Gemeindeverbindungsstrassen) und 8.8% (ohne Gemeindeverbindungsstrassen) (JAEGER et al. 2006), was weitaus kleiner ist als der Wert von 37% (ZG 2) bzw. 31% (ZG 3) bzw. 31% (ZG 4) in der Schweiz. Die grossen Unterschiede sind durch die grossen unzerschnittenen Flächen im Gebirge der Schweiz bedingt.

4.3.2 Vergleich mit anderen Ländern in Europa

Die Schweiz erscheint im internationalen Vergleich (auf der Basis der Hauptverkehrswege) als noch relativ wenig stark zerschnitten, hinter Deutschland, Tschechien und Österreich (Abbildung 41; vgl. auch Abbildung 4 in Abschnitt 1.4). Der Grund dafür sind die relativ grossen noch verbliebenen Flächen im Alpenraum, welche den Wert der effektiven Maschenweite stark positiv beeinflussen. Im Mittelland und im Jura ist die Landschaft hingegen sehr viel stärker zerschnitten als in den Nord-, Süd- und Zentralalpen. Entsprechend ist die effektive Maschenweite in diesen beiden Gebieten deutlich kleiner als in den anderen Ländern.

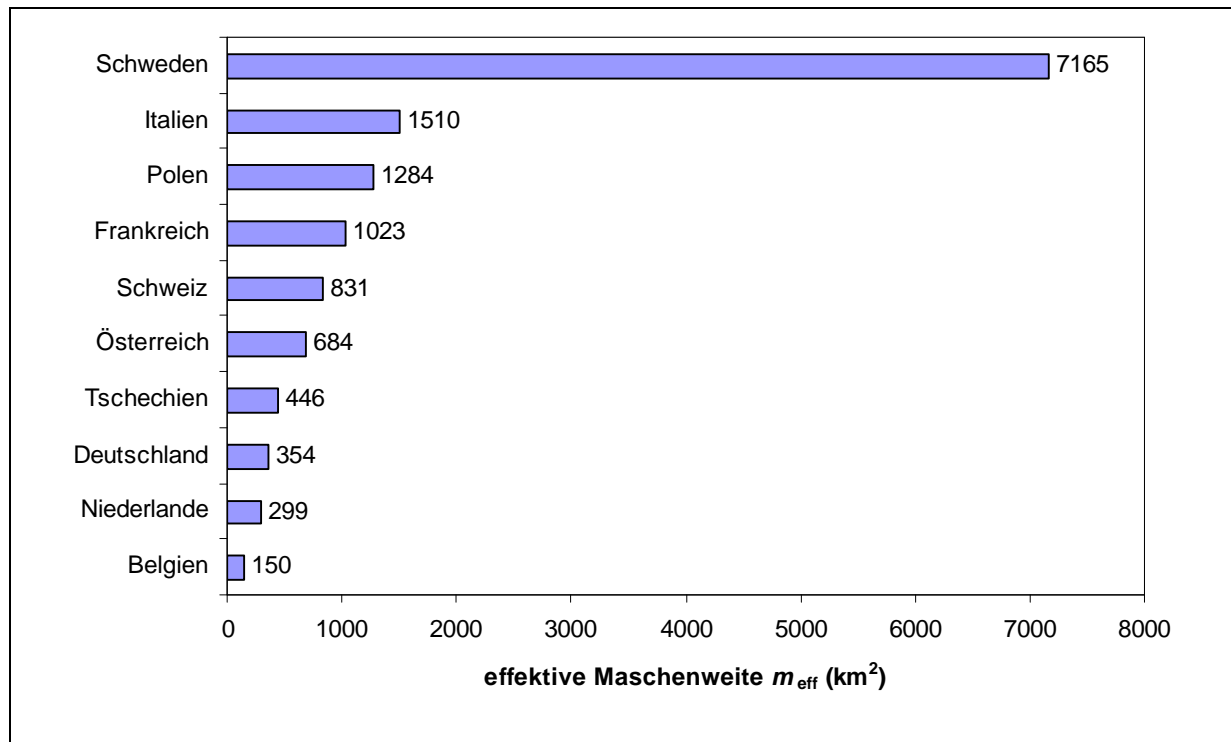


Abbildung 41: Landschaftszerschneidung durch Hauptverkehrswege (einschliesslich grosser Agglomerationen > 1000 ha) in einigen europäischen Ländern (Beispiele, vorläufige Werte, basierend auf GISCO-Daten [06/98] für die Verkehrswege²¹ und CORINE-Land-Cover für die Siedlungsflächen). Daten: Europäische Umweltagentur (aus JAEGER et al., in prep b.).

4.3.3 Verwendung der effektiven Maschenweite im MONET und BDM

Die Ergebnisse zum Grad der Landschaftszerschneidung in der Schweiz sind für die Verwendung in verschiedenen Monitoringsystemen vorgesehen: für das Netzwerk Umweltdaten (NUD), das Indikatorensystem zum Monitoring der Nachhaltigen Entwicklung (MONET) und das Biodiversitätsmonitoring (BDM). Derzeit laufen entsprechende Abklärungen mit Mitarbeitern des BDM und des MONET. Des Weiteren bietet es sich an, die Ergebnisse auch im Projekt Nachhaltigkeitsindikatoren für Strasseninfrastrukturprojekte (NISTRA) zu verwenden.

Indikatoren, die in das Indikatorenset des MONET aufgenommen werden sollen, müssen acht zwingende und möglichst auch neun erwünschte Auswahlkriterien erfüllen (Tabelle 14). Ganz ähnliche Anforderungen wurden auch international bei der Entwicklung anderer Indikatorensysteme formuliert, vgl.

²¹ Diese Ergebnisse sind vorläufig, da die GISCO-Strassen/Eisenbahn-Daten (Ausgabe von 1998) in einigen Ländern nicht vollständig bzw. nicht repräsentativ sind. Daher ist für europaweite Aussagen die Verwendung einer zuverlässigeren Datengrundlage nötig, bei der die Vergleichbarkeit zwischen den Ländern besser ist.

z.B. SACHVERSTÄNDIGENRAT FÜR UMWELTFRAGEN (1996) und ESSWEIN et al. (2003). Die Kriterienliste des MONET (Tabelle 14) wird hier daher zugleich stellvertretend für Anforderungen aus anderen Monitoringprogrammen diskutiert. Die effektive Maschenweite m_{eff} als Messgrösse für die Landschaftszerschneidung eignet sich bezüglich dieser Kriterien sehr gut als Indikator im MONET (Tabelle 14).

Tabelle 14: Kriterien für die Indikatorenauswahl für das Monitoring der Nachhaltigen Entwicklung (MONET) gemäss BFS et al. (2003: 31) und Eignung der effektiven Maschenweite m_{eff} nach diesen Kriterien als Indikator zum Thema Landschaftszerschneidung für das MONET.

Kriterien	Bedeutung	Eignung von m_{eff} als Indikator für das MONET		
		Eignung	Erläuterung	
Bezugsrahmen	1. Für die Schweiz von Belang: Der Indikator ist relevant im schweizerischen Kontext, er macht eine Aussage zum „Zustand der Nation“.	zwingend	Ja	Landschaftszerschneidung ist ein wichtiges Problem in der Schweiz. m_{eff} gibt eine Antwort auf die Frage, wie gross der Zerschneidungsgrad ist.
	2. Relevant in Bezug auf die MONET-Postulate: Der Indikator lässt sich von mindestens einem der MONET-Postulate direkt ableiten.	zwingend	Ja	Die Postulate 15b, 16b, 18c, 19 und 20 (BFS et al. 2003) des MONET unterstützen die Wahl der effektiven Maschenweite als Indikator.
	3. Eindeutig in Bezug auf die Bewertung: Der Indikator ist klar, es gibt keine Unsicherheit darüber, welche Richtung gut und welche schlecht ist.	erwünscht	Ja	Die Definition von m_{eff} ist klar, transparent und mathematisch einfach; hohe Werte von m_{eff} zeigen einen geringen Zerschneidungsgrad an und sind besser als geringe Werte von m_{eff} .
	4. Rasch auf Veränderungen reagierend: Der Indikator reagiert rasch auf veränderte Bedingungen.	erwünscht	Ja	Die effektive Maschenweite zeigt Änderungen im Zerschneidungsgrad sofort an, z.B. sobald die effektive Maschenweite berechnet wird, nachdem z.B. ein neuer Verkehrsweg gebaut oder ein alter rückgebaut worden ist oder sich die Siedlungsfläche verändert hat.
	5. Zeitliche/räumliche Bedeutung: Der Indikator hat weitreichende räumliche und zeitliche Bedeutung.	erwünscht	Ja	Die effektive Maschenweite ist auf das ganze Land anwendbar und kann für alle Zeitpunkte in der Vergangenheit und in der Zukunft berechnet werden, d.h., sie hat eine weitreichende räumliche und zeitliche Bedeutung.
	6. Dringlichkeit: Der Indikator berücksichtigt Probleme, die bezüglich einer Nachhaltigen Entwicklung vordringlich und langfristig sind.	erwünscht	Ja	Landschaftszerschneidung hat zahlreiche schädigende Auswirkungen auf die Umwelt, z.B. Beeinträchtigung des Landschaftscharakters und der Erholungseignung, Rückgang von Wildtierpopulationen und zunehmende Gefährdung von Arten; verlorene Arten können in der Regel nicht mehr wiederangesiedelt werden, wenn ihre Habitate ungeeignet geworden sind; das Problem hat daher eine hohe Dringlichkeit und kann nicht aufgeschoben werden.
	7. Knappheit: Der Indikator stützt sich bevorzugt auf Objekte, die langfristig einen limitierenden Faktor darstellen.	erwünscht	Ja	Unzerschnittene Landschaften sind eine beschränkte und nichterneuerbare Ressource für die Erholung von Menschen und als ungestörte Habitate für Wildtierpopulationen; in den meisten europäischen Ländern haben sie in den letzten Jahrzehnten stark abgenommen und es droht eine weitere Abnahme.
Benutzerfreundlichkeit	8. Leicht verständlich und nachvollziehbar: Der Indikator ist einfach zu interpretieren und seine Herkunft transparent.	zwingend	Ja	Die Definition von m_{eff} ist klar, transparent und mathematisch einfach; ihre Interpretation als die Wahrscheinlichkeit zweier Tiere derselben Art, einander begegnen zu können, ist intuitiv einsichtig und leicht zu verstehen.

Kriterien	Bedeutung	Eignung von m_{eff} als Indikator für das MONET		
		Eignung	Erläuterung	
9. Angemessener Informationsgehalt: Der Indikator enthält ein Mindestmass an Information (keine Ja/Nein-Indikatoren).	zwingend	Ja	Die effektive Maschenweite ist ein Wert auf einer kontinuierlichen Skala zwischen 0 und der Grösse des Untersuchungsgebietes (Grösse der Schweiz).	
10. Öffentlichkeitsrelevant: Der Indikator ist attraktiv und hat einen Bezug zur alltäglichen Lebenswelt der Benutzer/innen.	erwünscht	Ja	Die Definition der effektiven Maschenweite ist transparent und basiert auf der Idee, dass zwei Tiere derselben Art einander in der Landschaft begegnen können, um Nachkommen zu zeugen. Dies ist ein attraktives und leicht vermittelbares Konzept. Der Wert kann durch Vergleich mit der Mindesthabitatgrösse von dauerhaft überlebensfähigen Populationen beurteilt werden.	
11. Politikrelevant: Der Indikator steht im Zusammenhang mit einem internationalen oder nationalen Engagement oder Ziel.	erwünscht	Ja	Landschaftszerschneidung wird in der Schweiz und anderen europäischen und aussereuropäischen Ländern mehrfach in politischen und anderen offiziellen Dokumenten diskutiert (mit Zielaussagen).	
Gültigkeit	12. Wissenschaftlich fundiert: Es besteht ein breiter wissenschaftlicher Konsens bezüglich Gültigkeit und Zuverlässigkeit des Indikators.	zwingend	Ja	Die effektive Maschenweite ist in mehreren Ländern angewendet worden, z.B. in den meisten deutschen Bundesländern, Südtirol, Kanada, und von der Europäischen Umweltagentur. Die deutsche Umweltministerkonferenz hat empfohlen, die effektive Maschenweite in allen deutschen Bundesländern anzuwenden. Die Zuverlässigkeit der effektiven Maschenweite wurde mehrfach gezeigt (z.B. JAEGER 2000, 2002, ESSWEIN et al. 2003, MOSER et al. 2007).
	13. Konsens bezüglich Interpretation: Es besteht eine weitgehende Übereinstimmung bezüglich der Interpretation des Indikators.	erwünscht	Ja	Die Bedeutung der effektiven Maschenweite ist klar und es besteht eine weitgehende Übereinstimmung darüber.
Datenverfügbarkeit	14. Mit wenig Aufwand verfügbar: Der Indikator basiert auf leicht verfügbaren Daten bzw. solchen, die mit geringem finanziellem Aufwand bereitgestellt werden können.	zwingend	Ja	Die effektive Maschenweite hat einen geringen Datenbedarf. Die Datenbasis (VECTOR25) wird von der <i>Swisstopo</i> bereitgestellt und regelmässig aktualisiert. Die Berechnung der effektiven Maschenweite kann leicht mit einem Geographischen Informationssystem (GIS) durchgeführt werden. Die Daten für 1885 bis heute sind für alle Kantone und Bezirke in diesem Bericht verfügbar.
	15. Periodisch und homogen erfasste Daten: Der Indikator basiert auf Daten, die heute und in Zukunft periodisch und in homogener Art und Weise erfasst werden.	zwingend	Ja	Die Datenbasis (VECTOR25) wird periodisch aktualisiert in einer homogenen Weise; die effektive Maschenweite kann für neue Zustände leicht daraus berechnet werden.
	16. Quantifizierbar: Der Indikator beruht auf quantifizierbaren Daten.	zwingend	Ja	Die effektive Maschenweite ist eine quantitative Grösse.
	17. Repräsentativ für die ganze Schweiz: Der Indikator basiert auf Daten, die repräsentativ für die ganze Schweiz sind.	erwünscht	Ja	Da Daten der ganzen Schweiz einbezogen werden bei der Berechnung von m_{eff} , ist der Wert repräsentativ für die ganze Schweiz.

Die effektive Maschenweite schneidet bei der Beurteilung ihrer Eignung als MONET-Indikator sehr gut ab. Sämtliche als „zwingend“ oder „erwünscht“ beurteilten Kriterien werden voll erfüllt. Darüber hinaus besteht der grosse Vorteil, dass mit der vorliegenden Arbeit eine sehr lange Datenreihe (seit 1885) zur

Verfügung steht, die nach einheitlichen Kriterien erhoben wurde. Dies ermöglicht einen Vergleich heutiger (und zukünftig berechneter) Werte mit einer über einhundert Jahre langen Entwicklung.

Eine Weiterführung der Datenreihe zur Landschaftszerschneidung der Schweiz ist aufgrund der Landeskarten, die in Zukunft immer auch als Vektordaten zur Verfügung stehen werden (VECTOR25), einfach und erscheint daher gesichert. Da kein weiterer Digitalisierungsaufwand nötig ist und die Behandlung der verschiedenen Kartenelemente im vorliegenden Bericht ausführlich beschrieben wurde (Abschnitt 2.1), ist der Indikator für jeden neuen Zeitschnitt mit relativ geringem Aufwand berechenbar.

Gut praktikabel wäre auch die Integration der vorgestellten Methode in kantonale Raumbewachtungsprogramme. Das Interesse daran wird durch den Kanton Aargau belegt, der den Zerschneidungsgrad für die aktuelle Situation bereits berechnet hat (PETER & MEIER 2003). Der vorliegende Bericht liefert die Datenreihen für jeden Kanton und jeden Bezirk seit 1885 bis zum aktuellen Zustand.

Auf kantonaler Ebene wäre auch der Einbezug noch kleinerer Strassen- bzw. Wegkategorien in eine neue Zerschneidungsgeometrie sinnvoll (z.B. 4.-Kl.-Strassen), um damit eine noch detailliertere Auskunft über den Zerschneidungsgrad der Landschaft zu erhalten (siehe Abschnitt 7.3).

Da die Methode der effektiven Maschenweite in mehreren Bundesländern in Deutschland (z.B. Baden-Württemberg, Bayern, Hessen, Sachsen) und in Süd-Tirol angewendet wurde, bestehen interessante Vergleichsmöglichkeiten mit dem benachbarten Ausland (siehe Abschnitt 4.3.1).

Die vier gewählten Zerschneidungsgeometrien können zur Beantwortung verschiedener Fragestellungen verwendet werden. Das MONET-Indikatorenset sieht aber für jeden Indikator nur einen Wert vor, weshalb für das MONET eine Zerschneidungsgeometrie ausgewählt werden muss.

Für den Bereich 23 „Landnutzung“ des MONET sind die Zerschneidungsgeometrien 1 („Zivilisationsdruck“) und 4 („Landflächen unterhalb 2100 m“) passender als die Zerschneidungsgeometrien 2 und 3, da bei ZG 1 und 4 die anthropogenen Einflüsse im Vordergrund stehen. Für den Bereich 24 „Biodiversität“ sind die Zerschneidungsgeometrien 2, 3 und 4 besser geeignet als Zerschneidungsgeometrie 1, wenn es um Tierarten geht, für die Seen und das Gebirge Barrieren darstellen. Umgekehrt ist Zerschneidungsgeometrie 1 für Tiere, die Gebirge und Seen überqueren können, geeigneter. Der Bereich 26 „Wälder“ hat ebenfalls einen Bezug zum Zerschneidungsindikator. Da Wälder nicht über 2100 m ü. M. und auch nicht auf Seen wachsen, passt Zerschneidungsgeometrie 4 am besten, denn diese Flächen werden in ZG 4 von der Betrachtung ausgeklammert. Insgesamt ist Zerschneidungsgeometrie 4 für die meisten Bereiche relevant und eignet sich daher für Monitoringssysteme am besten.

Zwei weitere Punkte sprechen für die Wahl der Zerschneidungsgeometrie 4, obwohl diese beiden Kriterien nicht aus dem MONET stammen: 1) In Zerschneidungsgeometrie 4 wird die Diskussion um den Einbezug geogener Trennelemente elegant gelöst, indem Seen und Gebirge vom Bezugsraum ausgeklammert werden, und 2) die Vergleichbarkeit der effektiven Maschenweite eines Landes wie der Schweiz (mit vielen Seen und hohem Anteil an Gebirge) mit anderen Ländern ist mit Zerschneidungsgeometrie 4 am besten, da die naturräumlichen Voraussetzungen hier weniger starken Einfluss haben als bei den anderen Zerschneidungsgeometrien.

Als Ort für die Verwendung der Daten im BDM bietet sich der dort vorgesehene Indikator „Erschliessungsdichte“ an (KOORDINATIONSSTELLE BIODIVERSITÄTSMONITORING SCHWEIZ 2006). Bisher war dieser Einflussfaktor dort als „Daten in Vorbereitung“ gekennzeichnet. Da das BDM eine andere Abgrenzung der fünf Naturräume bzw. Biogeographischen Regionen verwendet als dieser Bericht, werden im Anhang die entsprechenden Werte für die fünf Biogeographischen Regionen gemäss der BDM-Abgrenzung angegeben (Abschnitt 9.8).

Die Verwendung der Ergebnisse erfolgt voraussichtlich auch im Netzwerk Umweltdaten (NUD), das derzeit vom BAFU und BFS aufgebaut wird (siehe Abschnitt 1.2.5 und 4.3.8).

Für die Verwendung in Monitoringsystemen eignen sich sowohl die effektive Maschenweite als auch die effektive Maschendichte. Zum Erkennen von Trends und Trendänderungen eignet sich die effektive Maschendichte besser als die Maschenweite, da sich gleichmässige Trends hier als gerade Linien zeigen, während sie im Diagramm der effektiven Maschenweite Kurven der Form $y = 1/x$ annehmen (siehe Abschnitt 4.2). Da die Trends in der Realität meistens nicht gleichmässig verlaufen (siehe Kapitel 3), ist die Darstellung der effektiven Maschendichte besonders nützlich, denn sie macht die

Abweichung der realen Entwicklung von einem gleichmässigen Trend leichter erkennbar als die effektive Maschenweite, und ist daher auch einfacher zu beurteilen.

4.3.4 Verwendung der effektiven Maschenweite im NISTRA

Das Bundesamt für Strassen (ASTRA) hat im Frühjahr 2001 beschlossen, ein Instrument zu schaffen, das die Beurteilung von Strasseninfrastrukturprojekten unter Berücksichtigung der Nachhaltigkeitsziele ermöglicht (EGGER & CUCHE 2003). Das Instrument *Nachhaltigkeits-Indikatoren für Strasseninfrastrukturprojekte* (NISTRA) (vgl. BUNDESAMT FÜR STRASSEN 2003) ist ein Indikatorensystem, um Strassenbauvorhaben auf Nachhaltigkeit in den Bereichen Gesellschaft, Wirtschaft und Umwelt zu untersuchen. Mit dem NISTRA sollen Neu- und Ausbauprojekte beurteilt werden. Das Ergebnis ist zwar keine absolute Aussage, ob das beurteilte Projekt nachhaltig ist oder nicht, aber es liefert eine Entscheidungshilfe und macht verschiedene Projektvarianten miteinander vergleichbar (EGGER & CUCHE 2003).

Mit den Umweltindikatoren sollen auch „Zerschneidungseffekte ausserhalb des Siedlungsgebiets“ (BUNDESAMT FÜR STRASSEN 2003: 63) beurteilt werden. Dabei gehen bisher die Streckenlänge, die Bedeutung des Gebietes (z.B. Wald, verschiedene Bundesinventare etc.), die Trennwirkung und die Lage der Wildtierkorridore in die Bewertung ein. Die resultierenden Nutzenpunkte fliessen in eine Nutzwertanalyse ein.

Da aufgrund der vorliegenden Studie die aktuelle Zerschneidungsgeometrie für die gesamte Schweiz vorliegt, bietet es sich an und wäre es passend und sinnvoll, die effektive Maschenweite m_{eff} in das Bewertungsverfahren des NISTRA zu übernehmen. Für jede Variante einer neuen Strasse kann die neue Maschenweite errechnet werden, und die verschiedenen Varianten können so bezüglich ihrer Zerschneidungswirkung beurteilt werden. Eine Methodenerweiterung würde es zudem erlauben, jedem Strassenabschnitt je nach Barrierewirkung eine Wahrscheinlichkeit für die Querung durch Wildtiere zuzuordnen (JAEGER in prep.; siehe Abschnitt 4.1.2 und 7.3). Hierbei kann die effektive Maschenweite einer Optimierung der Linienführung der zu bauenden Strasse bezüglich des Zerschneidungsgrades dienen. Eine genauere Berücksichtigung der Wirkungen auf Tierpopulationen kann durch den Einsatz von artspezifischen Populationsmodellen erfolgen (z.B. BEISSINGER & MCCULLOUGH 2002, KLAR et al. 2006, JAEGER 2006).

Abschliessend werden Zusammenhänge der Zerschneidungsanalyse mit verwandten landschaftsrelevanten Studien in der Schweiz diskutiert. Dabei sind vor allem die Wildtierkorridore und das nationale ökologische Netzwerk (REN) als die von der Zerschneidung besonders betroffenen Landschaftsfunktionen von Interesse.

4.3.5 Wildtierkorridore

Die Definition der Wildtierkorridore lautet: „Wildtierkorridore sind Teilstücke in den Bewegungsachsen von Wildtieren, die durch natürliche oder anthropogene Strukturen oder intensiv genutzte Areale seitlich permanent begrenzt sind. Sie dienen innerhalb des Verbreitungsareals einer Art der grossräumigen Vernetzung abgegrenzter und isolierter Lebensräume von Populationen oder Teilen von Populationen. Sie ermöglichen damit den genetischen Austausch zwischen und innerhalb von Populationen, die artspezifische Populations- und Raumdynamik (z.B. saisonale Wanderungen) und die aktive Ausbreitung zur Erschliessung von neuen oder Wiederbesiedlung von ehemaligen Lebensräumen.“ (HOLZGANG et al. 2001, S. 33).

Die Überlagerung der Zerschneidungskarten (vgl. Abschnitt 9.1-9.5 im Anhang) mit der Lage der 303 Wildtierkorridore (nach HOLZGANG et al. 2001) liefert Informationen zu Standorten für Grünbrücken und andere Querungshilfen oder für wünschenswerte Rückbauten von Verkehrswegen (Abbildung 42). Es ist überdies möglich, Gefährdungsanalysen für bestimmte Biotoptypen durchzuführen. (Zur geplanten Sanierung der Wildtierkorridore siehe Abschnitt 6.1.)

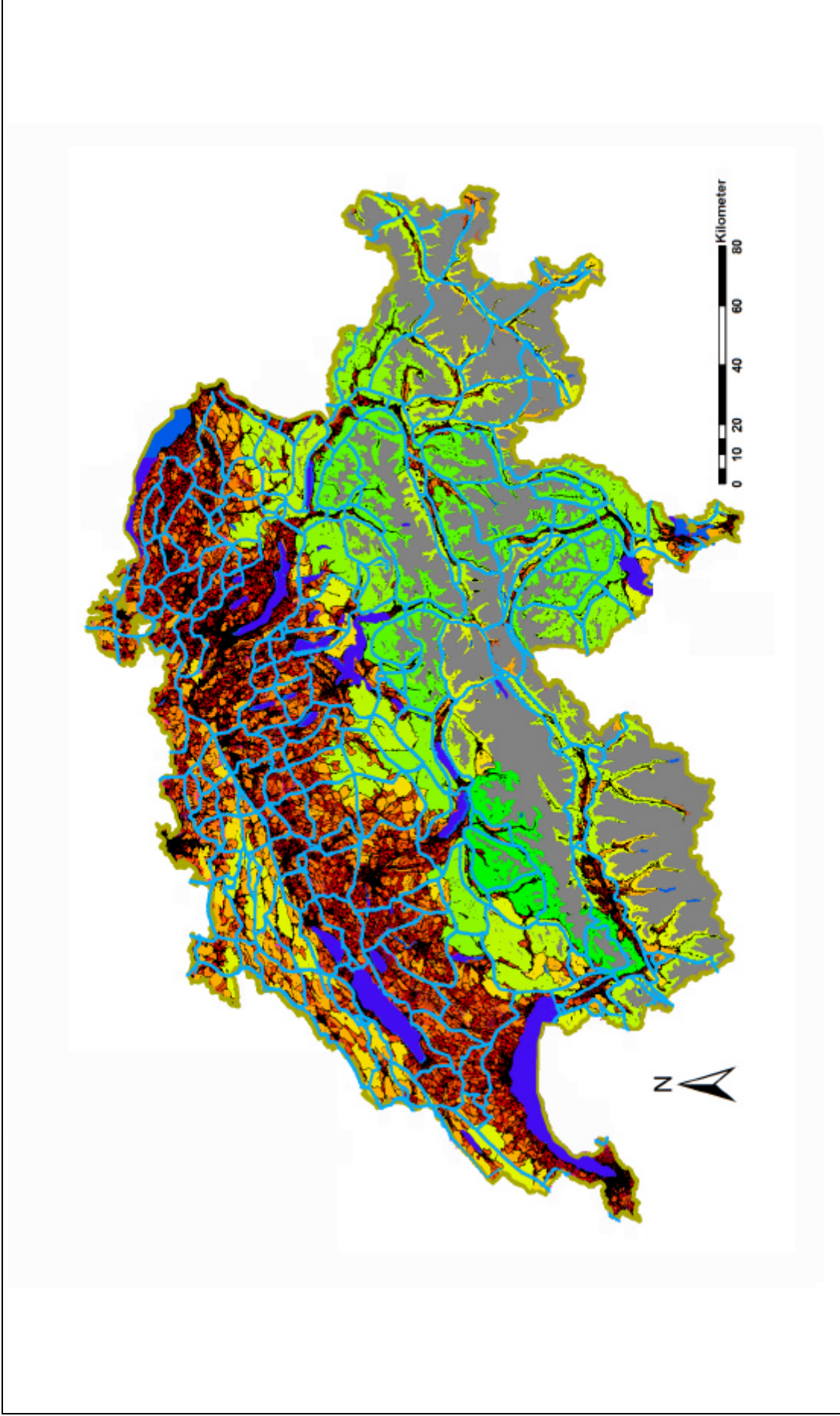


Abbildung 42: Überlagerung des grossräumigen Vernetzungssystems mit der Zerschneidungskarte (nach ZG 3). Das grossräumige Vernetzungssystem der Schweiz für terrestrische Wildtiere besteht aus den Wildtierkorridoren und den überregionalen Bewegungsachsen (nach HOLZGANG et al. 2001).

HOLZGANG et al. (2001: 80ff.) machen Aussagen zum Zustand der Wildtierkorridore von überregionaler Bedeutung (intakt: 28% / beeinträchtigt: 56% / weitgehend unterbrochen: 16%) und schlagen konkrete Massnahmen für die definierten Zielarten bezogen auf den jeweiligen Wildtierkorridor vor. Diesen Bezug auf definierte Zielarten liefert die vorliegende Zerschneidungsanalyse zwar nicht. Der Vorteil der vorliegenden Daten liegt vielmehr darin, dass nicht nur Autobahnen, sondern zahlreiche weitere relevante Trennelemente berücksichtigt werden, dass Zeitreihen ermittelt werden und dass die Ergebnisse nicht nur in Bezug auf Tierpopulationen relevant sind, sondern auch für die Bereiche Landschaftscharakter, Landschaftsbild, Verlärmung und Erholungseignung. Daher liefert eine Überlagerung dieser Daten (für die verschiedenen Zeitschnitte) mit den Wildtierkorridoren (Abbildung 42) wichtige neue Ergebnisse.

Für die Überlagerung der Zerschneidungsgeometrien mit den Wildtierkorridoren gibt es mehrere Varianten: 1) nur mit dem Autobahnnetz (direkter Vergleich mit den Ergebnissen der Studie von HOLZGANG et al. 2001), 2) mit der ZG 2 („Trennelemente bis 2.-Kl.-Strassen“), 3) mit der ZG 3 („Trennelemente bis 3.-Kl.-Strassen“) bzw. 4 („Landflächen unterhalb 2100 m“) (Abbildung 42). Von Interesse ist, welche zusätzlichen Konflikte durch die Zerschneidungswirkung der kleineren Strassen (kleiner als Autobahnen) hinzukommen. Eine solche Überlagerung sollte für jeden der fünf Zeitschnitte erfolgen, um zu erkennen, wie sich der Zustand der Wildtierkorridore im Lauf der Zeit verändert hat. In einem Nachfolgeprojekt sollte zu jedem Wildtierkorridor und in seiner Umgebung die effektive Maschenweite für alle fünf Zeitschnitte berechnet werden und bestimmt werden, wie stark sie sich in den letzten Jahrzehnten verändert hat (siehe Abschnitt 7.3).

Im Bereich der 303 von HOLZGANG et al. (2001) ausgeschiedenen Wildtierkorridore von überregionaler Bedeutung sollte die effektive Maschenweite in Zukunft nicht weiter abnehmen. Wichtig ist vor allem im Bereich der als beeinträchtigt oder unterbrochen beurteilten Wildtierkorridore der Rückbau nicht mehr benötigter Verkehrswege oder die Untertunnelung dieser Wildtierkorridore.²² Die Siedlungsfläche sollte in diesen Bereichen ebenfalls nicht mehr zunehmen (Siedlungstrenggürtel; vgl. Kapitel 6).

4.3.6 Nationales ökologisches Netzwerk (REN)

Zwischen der Zerschneidungsanalyse und dem REN besteht ein ähnlicher Zusammenhang wie bei den Wildtierkorridoren (vgl. den vorhergehenden Abschnitt). Das nationale ökologische Netzwerk REN (BERTHOUD et al. 2004) zeigt die wichtigen Vernetzungsachsen für Arten verschiedener Lebensraumtypen auf. Es soll als Arbeitsgrundlage verschiedenen Ansprechpartnern dienen, zum Beispiel auch der Strassenplanung, wenn sie nach einer möglichst naturverträglichen Linienführung für eine Strasse sucht. Das Hauptaugenmerk des REN liegt auf den bestehenden ökologischen Netzwerken und den Potenzialen für ihre Verbesserung. Es ist eine zentrale Grundlage für eine nationale Strategie zur Aufhebung bzw. Minderung der Zerschneidung (siehe Abschnitt 6.3.1).

Weniger Beachtung wird offenbar den linearen zerschneidenden Elementen geschenkt: Auf den Karten sind lediglich der Siedlungsraum, „Autobahnen und andere wichtige Strassen“ und sowie Eisenbahnen eingetragen. Die Abb. 14 (S. 65) gibt zwar eine Übersicht zur Fragmentierung der Landschaft durch natürliche und künstliche Hindernisse. Hier sind Autobahnen, Hauptstrassen und Bahnlinien verzeichnet. Die aus S. 64 angegebenen Flächen der „ökologischen Sektoren“ liegen jedoch weit über den Werten der effektiven Maschenweite. Daher ist zu vermuten, soweit dies im Bericht erkennbar ist, dass viele weitere wichtige Fragmentierungselemente hier nicht berücksichtigt wurden, da es den Autoren vor allem einmal um die bestehenden oder potenziellen Vernetzungen ging (und nicht um den Grad ihrer Beeinträchtigung).

Im Rahmen des REN wurde eine aktualisierte Abgrenzung der Wildtierkorridore erarbeitet. Ausserdem wurden weitere Vernetzungslinien ermittelt, die eine Reihe weiterer Arten umfassen. Der für die Wildtierkorridore vorgeschlagene Ansatz zur Berechnung der effektiven Maschenweite (siehe oben Abschnitt 4.3.5) sollte daher auch auf die Netzwerke des REN, insbesondere auf die potenziellen Konfliktbereiche zwischen dem ökologischen Netzwerk und dem Verkehrs- und Siedlungsnetzwerk angewendet werden, um Gefährdungstufen zu ermitteln.

²² Für die Breite von Grünbrücken besteht eine Vereinbarung zwischen ASTRA und BAFU, nach der reine Wildtierbrücken eine Breite von 45m ± 5 m und Mehrzweckbrücken eine Breite von ca. 100 m haben sollten (UVEK 2001a, UVEK 2001b, HOLZGANG et al. 2005; siehe auch Abschnitt 6.1 und 6.2.8).

4.3.7 Landschaft 2020

Das Konzept „Landschaft 2020“ (STREMLOW et al. 2003) dient als Grundlage für das Leitbild des BAFU für Natur und Landschaft (BUWAL 2003). Neben Analysen zu bisherigen Entwicklungen werden Trends der künftigen Entwicklung aufgezeigt. Darüber hinaus werden Angaben dazu gemacht, was nachhaltige Entwicklung bezüglich der Landschaft heisst, anhand welcher Kriterien dies gemessen werden kann, und es werden konkrete Sollwerte für das Jahr 2020 formuliert (vgl. Abschnitt 1.1.1).

Die Arbeit ist für die vorliegende Zerschneidungsanalyse insofern von Bedeutung, als hier erstmals (in diesem Ausmass) Vorschläge für Soll- bzw. Zielwerte formuliert werden. Die Zerschneidung der Landschaft ist darin zwar nicht mit Werten zur effektiven Maschenweite oder Maschendichte ausgedrückt (solche Werte gab es 2003 noch nicht für die Schweiz), aber „bauten- und anlagefreie Flächen“ (STREMLOW et al. 2003: 126) sind als Indikator aufgeführt. Als Schutzgut werden unzerschnittene Areale von 50 km² und grösser formuliert, die vollumfänglich zu erhalten seien. Diese Thematik wird im folgenden Kapitel 5 über die Entwicklung von Ziel-, Grenz- oder Richtwerten fortgeführt.

4.3.8 Landschaftsmonitoring

Zum Landschaftsmonitoring bestehen zwei Erhebungen. Die erste Erhebung ist das Projekt „Landschaft unter Druck“, das im Rahmen des Programms „Raumbeobachtung Schweiz“²³ vom Bundesamt für Raumentwicklung (ARE) in Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Umwelt (BAFU) konzipiert wurde. Das Projekt hat zum Ziel, die relevanten Veränderungen in der Landschaft in der Schweiz festzustellen (KOEPEL et al. 1991). Dazu werden die Landeskarten 1:25'000 alle sechs Jahre systematisch ausgewertet (es werden 256 Stichproben von je 12 km² nach Zufallsprinzip auf der Fläche der Schweiz ausgewählt). Bisher liegen bereits die Ergebnisse aus vier Beobachtungsperioden seit 1972 vor (ROTH et al. 2001). Acht Schlüsselmerkmale werden erfasst: Kleinstrukturen, Wald, Fließgewässer, Stillgewässer und Feuchtgebiete, Geländeformen, extensiv genutzte oder brachgelegte Flächen, Nutzungsmuster der Land- und Forstwirtschaft, Siedlungen/Bauten/Anlagen. Die Ergebnisse der vierten Beobachtungsperiode (1990-2001) werden 2007 veröffentlicht. Die jährliche Flächenbeanspruchung für Siedlungen, Bauten und Anlagen sowie für Strassen und Wege betrug in der 1. Beobachtungsperiode (1972-83) rund 2900 ha, in der 2. Periode (1978-89) rund 2400 ha, und in der 3. Periode (1984-95) rund 2100 ha. Das bedeutet, dass die Siedlungsflächen weiterhin stark zunehmen. Es wurden auch in der 3. Periode noch immer viele Bauten und Anlagen ausserhalb des Siedlungsgebietes erstellt (ROTH et al. 2001). In der 4. Periode (1990-2001) ist die jährliche Bilanz in der Zunahme an 1.- und 2.-Kl.-Strassen gegenüber der 3. Periode wieder angestiegen auf Werte, die mit der 2. Beobachtungsperiode vergleichbar sind; die jährliche Zunahme an 3.-Klass-Strassen liegt sogar oberhalb der Werte aus allen drei vorhergehenden Beobachtungsperioden (ROTH et al., in Vorb.).

Die zweite Erhebung ist das Projekt zum Landschaftsmonitoring, wofür das BAFU die erstmalige gesamtschweizerische Erhebung für das Jahr 2007 plant. Das an der WSL laufende Projekt „Landschaftsmonitoring Schweiz“ (LAQUE) hat die Indikatoren aus „Landschaft 2020“ und aus dem Projekt „Netzwerk Umweltdaten“ (NUD)²⁴ in Hinblick auf ihre Operationalisierung und Parametrisierung überprüft, konkretisiert und vervollständigt (Phase 1 der Vorstudie, KIENAST et al. 2006). Dabei lag das Interesse auch auf der Frage, wie der Landschaftscharakter (regionstypische Landschaftsqualitäten) erfasst und überwacht werden kann. Das erarbeitete Indikatorensystem ist daher umfassender als die NUD-Indikatoren. Für rund die Hälfte der Indikatoren sind die Werte relativ einfach aus bestehenden Erhebungen zu erhalten. Rund ein Viertel der Indikatoren benötigt hingegen eine intensive landschaftsökologische Forschungsarbeit (KIENAST et al. 2006). Der Zerschneidungsgrad ist in diesem Indikatorensystem (in mehreren Abstufungen zur Wahl der berücksichtigten Strassenklassen) als Indikator Nr. 9 vorgesehen.

²³ Die Raumbeobachtung des ARE untersucht räumliche Entwicklungen, die für die Raumordnung und Raumordnungspolitik relevant sind. Die Ziele umfassen Datenangebot (d.h. Bereitstellen der statistische Grundlagen und Indikatoren), Monitoring und Analyse (d.h. raumstrukturelle Entwicklungen untersuchen und aufbereiten) und Controlling (d.h. Bewerten der Wirkung von raumordnungs- und verkehrspolitischen Massnahmen).

²⁴ Das Netzwerk Umweltdaten ist ein Teilprojekt des umfassenden Projektes „Umweltdatenmanagement“ (UDM) des BAFU.

EXKURS 6: Zerschneidung und Zersiedelung der Landschaft

Zerschneidung und Zersiedelung gelten als wichtige Ursachen für den besorgniserregenden Rückgang von Wildtierpopulationen und die steigende Gefährdung von Arten in Mitteleuropa. Neben der Landschaftszerschneidung bearbeitet das gleiche Team von Autoren auch das Projekt „Landschaftszersiedelung Schweiz – quantitative Analyse 1940 bis 2002 und Folgerungen für die Raumplanung“ im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms 54 „Nachhaltige Siedlungs- und Infrastrukturentwicklung“. Das Projekt ist analog zur vorliegenden Studie aufgebaut. Ziel ist es, eine Messgrösse für die Zersiedelung zu entwickeln und im MONET zu verankern (JAEGER & BERTILLER 2006, JAEGER et al. 2007). Neben der Dokumentation der historischen Entwicklung erstellt das Projekt Szenarien für die mögliche künftige Entwicklung der Siedlungsverteilung in der Schweiz. Zudem werden die Zusammenhänge zwischen der Zerschneidung und der Zersiedelung der Landschaft analysiert.

5 Zur Frage von Ziel-, Grenz- und Richtwerten für die Landschaftszerschneidung

Dieses Kapitel skizziert die Möglichkeiten von Ziel-, Grenz- und Richtwerten für die Landschaftszerschneidung und diskutiert ihre Vor- und Nachteile. Am Schluss des Kapitels werden Einsatzmöglichkeiten von Grenzwerten in der Schweiz diskutiert und ein konkreter Vorschlag für die BLN-Gebiete gemacht. Dieser Thematik ist ein eigenes Kapitel gewidmet, weil die Autoren die Einführung von Ziel-, Grenz- oder Richtwerten als eine innovative und Erfolg versprechende Massnahme erachten. Die Autoren schlagen daher vor, die verschiedenen Möglichkeiten hierfür vertieft zu diskutieren und zu prüfen.

5.1 Einführung

Wie gross müssen unzerschnittene Landschaften sein, damit ihre landschaftlichen Qualitäten gewährleistet bleiben? Wie viel Lärm kann in einer Landschaft erzeugt werden, ohne dass ihre Erholungsqualität sinkt? Wie engmaschig darf das Verkehrswegenetz sein, ohne dass die dauerhafte Überlebensfähigkeit von Tier- und Pflanzenpopulationen gefährdet wird? Und wie stark darf das Verkehrsaufkommen auf den Verkehrslinien sein, ohne dass die Verkehrslinien zu undurchlässigen Barrieren werden und damit zur völligen Trennung und Isolation der Populationen auf beiden Seiten voneinander führen?

Weitere wichtige Fragen in diesem Zusammenhang sind: Kann man die Folgen neuer Verkehrswege dadurch abschätzen, dass man die bisher beobachteten Folgen zunehmender Verkehrswegedichte extrapoliert, oder ist zu erwarten, dass ab einem bestimmten Punkt deutlich stärkere ökologische Konsequenzen auftreten, die darüber noch hinausgehen? Setzt also jeder weitere Verkehrsweg die Überlebenswahrscheinlichkeiten der bestehenden Populationen jeweils gleichmässig um einen bestimmten Anteil herab, oder gibt es Schwellenwerte, bei deren Überschreitung die Reaktionen deutlich stärker ausfallen? Dieser Unterschied ist wichtig, weil im zweiten Fall die dann auftretenden Reaktionen schwer vorherzusehen sind und die Lage der Schwellenwerte schwierig zu bestimmen ist. Zudem ist in der Regel die Rückkehr zum vorherigen Zustand erschwert, d.h. es gibt kaum noch Möglichkeiten, die angestossene Entwicklung wieder rückgängig zu machen, sobald das ökologische System in einen neuen Gleichgewichtszustand gekippt ist.

Grenzwerte sind in vielen Bereichen bekannt. Ihre Wirksamkeit hängt unter anderem davon ab, wie sie implementiert werden, d.h. mit welchen Konsequenzen sie verbunden werden. Ein Beispiel ist die Grenzwertsetzung zur Ozonbelastung im Sommer. Wenn die Ozongrenzwerte überschritten werden, so hat dies vor allem Empfehlungen für das Verhalten der Bevölkerung zur Folge. Einige Kantone erlassen auch Massnahmen zur Vermeidung weiterer Belastungen. Bei der Ozonbelastung besteht ein direkter Zusammenhang zwischen der Konzentration und den Auswirkungen auf die Gesundheit der Bevölkerung.

Rechtliche Grenzwerte für strukturelle Landschaftsveränderungen gibt es bisher nicht. Dies liegt daran, dass die meisten Folgen dieser schleichenden Veränderungen weniger unmittelbar auftreten als beispielsweise bei der Ozonbelastung. Zudem ist die Landschaft – im Gegensatz zur Luft oder zu anderen Umweltgütern – von einer Vielzahl von Eigenschaften geprägt, die qualitativer Natur sind. Auch der Aspekt der „Landschaftszerschneidung“ kann sehr unterschiedlich betrachtet werden, je nach Region (Jura, Mittelland, Voralpen, Alpen), nach Ökologie (Lebensraum/Tierartengruppe) oder nach Kulturlandschaftstyp und Landschaftscharakter. In Abhängigkeit davon ergeben sich unterschiedliche Anforderungen. Daher müssten nicht nur je nach Bezugsraum andere Werte postuliert werden, sondern sogar auch je nach Fragestellung.

In der Land- und Forstwirtschaft haben sich Richt- und Zielwerte als sehr nützlich erwiesen. In der Waldpolitik des Bundes besteht beispielsweise das Ziel, bis spätestens 2009 auf 10 Prozent der Waldfläche Reservate einzurichten. In der Landwirtschaft wurden im Rahmen der Agrarpolitik 2007 die Ziele gesetzt, (1) 10% ökologische Ausgleichsfläche auf der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche zu erreichen, wobei (2) 65'000 Hektar davon im Talgebiet liegen sollen. Das erste Teilziel (10% der Fläche) wurde bereits erreicht, das zweite wurde neu in die Agrarpolitik 2011 aufgenommen.

Der Sachverständigenrat für Umweltfragen in Deutschland gab die Empfehlung, quantitative Grenzwerte zur Veränderung der Landschaftsstruktur einzuführen, bereits vor über zehn Jahren: „Umweltqualitätsziele und Umweltqualitätsstandards sind zu entwickeln, die das jeweils naturräumlich gegebene spezifische Leistungsvermögen der Umwelt beachten. Neben den klassischen Emissions- und Immissionsstandards sind verstärkt Grenzen für Stoffeinträge festzulegen, die die Anreicherungszeit berücksichtigen, sowie Grenzen für strukturelle Veränderungen der Landschaft im Zeitablauf“ (SACHVERSTÄNDIGENRAT FÜR UMWELTFRAGEN 1994: 128). Mit diesem Instrument soll die künftige Entwicklung in eine Richtung gelenkt werden, die unter Berücksichtigung aller Folgen der Landschaftszerschneidung wünschenswert ist, und Fehlentwicklungen sollen vermieden werden.²⁵

Zwischen Ziel-, Richt- und Grenzwerten bestehen wichtige Unterschiede: *Grenzwerte* werden in Regelwerken festgelegt und dürfen nicht überschritten werden. Bei ihrer Überschreitung sind in der Regel Massnahmen zur Gefahrenabwehr zu ergreifen. *Richtwerte* sollen eingehalten werden, allerdings ohne dass ein Zwang dazu besteht oder Strafen drohen. Wenn gegen die Richtwerte gehandelt wird, so kann dies als Fahrlässigkeit bewertet werden, was zum Verlust des Versicherungsschutzes führen kann. Sowohl Grenz- als auch Richtwerte können Toleranzgrenzen haben, die z.B. durch Messungenauigkeiten bestimmt sind. *Zielwerte* sind Angaben für angestrebte Zustände, die im Unterschied zu Grenz- und Richtwerten den gewünschten Wertebereich bezeichnen, anstatt des zu vermeidenden Wertebereichs. Diese Unterschiede zwischen Ziel-, Richt- und Grenzwerten geben Spielraum für die gesellschaftliche Diskussion, so dass eine politisch durchsetzbare Version entwickelt werden kann.

Grundsätzlich gibt es bei der Einführung von Grenz- und Richtwerten bezüglich der Landschaftszerschneidung vergleichbare methodische Probleme wie in anderen Bereichen. Sie sollten daher auch in ähnlicher Weise lösbar sein wie in den anderen Bereichen (siehe unten Abschnitt 5.3).

Aus der Ökologie ist bekannt, dass jede der vier Hauptwirkungen von Verkehrswegen auf die Überlebenswahrscheinlichkeit von Tierpopulationen (Abbildung 5 in Abschnitt 1.5) bereits für sich allein einen Schwellenwert zeigt (JAEGER & HOLDEREGGER 2005):

1. Der **Verlust von Habitatfläche** führt zu einem Schwellenwert in der Überlebenswahrscheinlichkeit von Tierpopulationen (z.B. LANDE 1987, BASCOMPTE & SOLÉ 1996, FRANKLIN 1980, FRANKHAM 1995, WHITLOCK 2000, FAHRIG 2002a). Eine Verringerung der Habitatqualität trägt ebenfalls negativ dazu bei, da dies die Tragekapazität verringert. Die minimale Populationsgrösse (MVP = *minimum viable population size*) kann aus Computersimulationen abgeschätzt werden (z.B. BEISSINGER und McCULLOUGH 2002, REED et al. 2003).
2. **Verkehrsmortalität**: Wenn die Gesamtmortalität die Geburtsrate übersteigt, ist die Population nicht überlebensfähig. Eine Zunahme der Mortalität durch Kollisionen mit Verkehr führt daher spätestens ab diesem Punkt zum Zusammenbrechen der Population.²⁶
3. Zahlreiche Tiere benötigen **Zugang zu verschiedenen Ressourcen** (an verschiedenen Orten). Wenn die Verbindung zwischen diesen Teilhabitaten durch eine Barriere unterbrochen wird (z.B. Amphibienwanderwege zwischen Sommer- und Winterhabitaten), dann kann die Population nicht überleben.
4. **Zerstückelung und Isolation**:
 - (a) Die Zerteilung von Populationen in voneinander isolierte Subpopulationen führt zu erhöhter Extinktionswahrscheinlichkeit. Dieser Effekt kann durch Rekolonisationen der leer gewordenen Habitate aus den Nachbarhabitaten gemildert werden (LEVINS 1969, HANSKI 1999). Abbildung 43 zeigt, wie dieser Schwellenwert aussieht. Die genaue Lage des Schwellenwertes hängt von der Tierart und vom Verkehrsaufkommen auf den Verkehrswegen ab.

²⁵ Schon 1955 warnte ein schmales rotes Büchlein mit dem Titel „achtung: die Schweiz“ vor einer unkontrolliert wachsenden Stadtlandschaft. Die drei Autoren Lucius Burckhard, Max Frisch und Markus Kutter schlugen vor, die gegebene Begrenztheit der Fläche zu respektieren und die weitere Siedlungsentwicklung der Schweiz auf begrenztem Raum bewusst zu gestalten und zu planen. Sie argumentierten, dass eine solche Planung und Begrenzung der Siedlungsflächen keineswegs eine Einschränkung der Freiheit bedeutet, sondern im Gegenteil wie im Umgang mit anderen begrenzten Ressourcen nötig ist, um möglichst viel Freiheit für alle zu bewahren.

²⁶ Beispiele für hiervon oftmals stark betroffene Arten sind Dachse (VAN DER ZEE et al. 1992), Fischotter (HAUER et al. 2002) und Schildkröten (GIBBS & SHRIVER 2002).

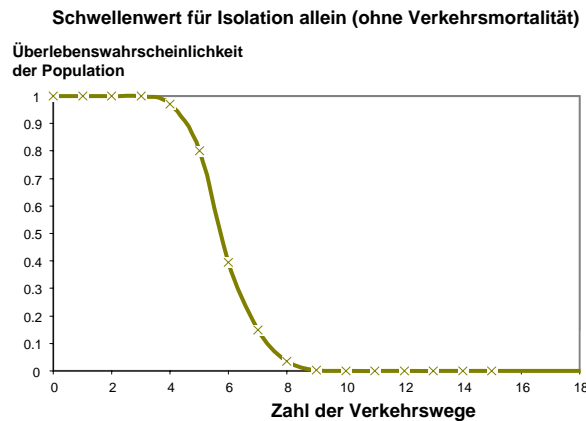


Abbildung 43: Schwellenwert für die Überlebenswahrscheinlichkeit einer Tierpopulation in Abhängigkeit vom Grad der Landschaftszerschneidung (alleinige Wirkung der Isolation, ohne Verkehrsmortalität; entspricht einer Abzäunung aller Verkehrswege). Resultate aus einem räumlich expliziten individuenbasierten Simulationsmodell (JAEGER & FAHRIG, in Vorb.; für die Darstellung einer Kurve mit Einbezug von Verkehrsmortalität siehe JAEGER & HOLDEREGGER 2005). Die Schwellenwerte hängen davon ab, wie stark die Barrierewirkung ist, d.h. wie stark die Tiere die Verkehrswege vermeiden (keinen Überquerungsversuch machen) und wie viele Individuen auf dem Verkehrsweg getötet werden (von denen, die versuchen, den Verkehrsweg zu überqueren). Der 50%-Schwellenwert (bei dem die Überlebenswahrscheinlichkeit auf unter 50% absinkt) liegt bei 6 Verkehrsweegen in der Modell-Landschaft (von 48x48 Zellen = 2304 Zellen); der 90%-Schwellenwert (bei dem die Überlebenswahrscheinlichkeit auf unter 90% absinkt) liegt bei 5 Verkehrsweegen. Der Schwellenwert, bei dem die Überlebenswahrscheinlichkeit zu sinken beginnt, liegt in diesem Beispiel bei 4 Verkehrsweegen.

- (b) Steigende Zahl und Stärke der Barrieren verringert den Genfluss. Mit der Verkleinerung und der Isolation der Habitate steigt die Wahrscheinlichkeit, dass verwandte Individuen miteinander Nachkommen haben. Dadurch erhöht sich die Wahrscheinlichkeit, dass sich fehlerhafte Allele²⁷ akkumulieren und exprimiert werden und dass die Fitness der Individuen und die Überlebenswahrscheinlichkeit der Population verringert werden. Langfristig kann dies die Anpassungsfähigkeit einer Art an veränderte Umweltbedingungen (verändertem Selektionsdruck) verringern, und die Art wird weniger robust gegenüber Störungen und Umweltveränderungen.²⁸

Aus der Existenz dieser Schwellenwerte folgt: Wenn die vorhandenen Tierpopulationen alle bisherigen Neubauten von Verkehrsweegen in einer Landschaft überstanden haben, so lässt sich daraus nicht schliessen, dass die Populationen auch noch weitere Verkehrswege verkraften können. Wenn der Schwellenwert erreicht ist, führt der nächste neue Verkehrsweg mit hoher Wahrscheinlichkeit zum Erlöschen der Populationen. Da die Schwellenwerte vom Verkehrsaufkommen auf den Verkehrsweegen abhängen, kann auch der Anstieg des Verkehrsaufkommens auf den bestehenden Strassen zum Überschreiten des Schwellenwertes führen.

Eine weitere wichtige Frage ist, ab welcher Verkehrsstärke ein Verkehrsweg für welche Tierarten nicht mehr überquerbar ist. Hierzu gibt es bisher kaum zuverlässige Daten. Für Luchse in Mitteleuropa ist bekannt, dass die Strassenmortalität für sie der wichtigste Isolationsmechanismus ist, der sie daran

²⁷ Ein Allel ist eine Ausprägung eines Gens (Auswahl unter verschiedenen Möglichkeiten). Allele Gene unterscheiden sich geringfügig in der Basensequenz der DNA, wodurch das Gen variiert wird. Ein Beispiel ist eine Pflanze, bei der die Farbe der Blüte rot oder weiss sein kann. Die entsprechenden Zustandsformen des Gens werden Allel für die rote bzw. Allel für die weisse Blütenfarbe genannt.

²⁸ MILLS & ALLENDORF (1996) schlagen 1 bis 10 Individuen pro Generation als Mindestwert für den Genfluss in eine Population vor (unabhängig von ihrer Grösse). Empirische Studien haben jedoch gezeigt, dass selbst rund zehn Migranten pro Generation, kaum ausreichen, um natürliche Populationen effektiv miteinander zu verbinden (FRANKHAM et al. 2004). Daher sollte der Individuenaustausch oberhalb dieses Wertes liegen.

hindert, benachbarte Lebensräume zu erreichen (KRAMER-SCHADT et al. 2004). In der Schweiz beispielsweise wurden 45% der zwischen 1988 und 1997 tot aufgefundenen Luchs-Jungtiere durch den Verkehr getötet (SCHMIDT-POSTHAUS et al. 2002). Bei der Bahn sind diese Werte noch weniger bekannt als bei Strassen (vgl. VAN DER GRIFT 1999).

Ein Beispiel ist der Feldhase. Feldhasen meiden in aller Regel die Nähe von Siedlungen und verkehrsreichen Strassen (PFISTER et al. 2002a). Die Fragmentierung der Landschaft wirkt sich daher ungünstig auf den Bestand aus. In kleinen, stark isolierten Gebieten sind keine oder nur vereinzelte Feldhasen anzutreffen (PFISTER et al. 2002a). Die Bestände sind in der Schweiz seit 50 Jahren rückläufig. Heute steht der Hase bereits auf der Roten Liste. Auch in Deutschland sind die Hasenbestände rückläufig, und in mehreren Bundesländern steht der Hase, einst eine der häufigsten Wildtierarten, auf der Vorwarnliste oder ist als gefährdet eingestuft. Seit etwa vier Jahren haben sich die Bestände zwar wieder leicht erholt (bedingt durch den heissen Sommer 2003), aber es ist fraglich, wie stabil die Situation ist.

Die Hauptschwierigkeiten dabei, die Schwellenwerte in der Landschaftszerschneidung empirisch zu bestimmen, sind:

1. Zahlreiche ökologische Faktoren beeinflussen die Lage der Schwellenwerte, z.B. die Grösse und räumliche Verteilung der Habitate, die Habitatqualitäten, die Mortalitäts- und Geburtenrate in der Population (und somit alle Faktoren, die diese beeinflussen) und die Stärke von Immigration und Emigration. Die verschiedenen Einflüsse können sich zudem gegenseitig verstärken oder abschwächen. Es ist sehr schwierig, die Wirkung aller dieser Faktoren statistisch voneinander zu trennen, denn dazu sind wegen der Vielzahl der Faktoren sehr grosse Datenmengen erforderlich. ROEDENBECK & KÖHLER (2006) schätzen, dass der Schwellenwert für Wildschwein und Fuchs in Hessen bei m_{eff} -Werten von 8 bis 10 km² liegt.²⁹
2. Populationen reagieren auf eine Zunahme der Landschaftszerschneidung in der Regel mit grossen Zeitverzögerungen. Die Reaktionszeiten betragen für die Biodiversität von Feuchtgebieten nach dem Bau neuer Strassen etwa 30 bis 50 Jahre (FINDLAY & BOURDAGES 2000). Computersimulationen von TILMAN et al. (1994) deuten auf Verzögerungszeiten der Reaktion auf Habitatverluste zwischen 50 und 500 Jahren. Eine Untersuchung, die das heutige Vorkommen einer Tierart bei verschiedenen Graden der Landschaftszerschneidung nachweist, sagt daher kaum etwas darüber aus, ob die Art bei diesem Zerschneidungsgrad auch dauerhaft existieren kann. Die Schwellenwerte sind möglicherweise bereits überschritten, nur sind die Konsequenzen jetzt noch nicht sichtbar. Eine lineare Extrapolation der bisher beobachteten Folgen von Verkehrswegen für die Tierwelt ist deshalb unzureichend. Um zu besseren Aussagen zu gelangen, ist z.B. der vermehrte Einsatz von Computermodellen nötig.
3. Populationen differenzieren sich genetisch über viele Generationen hinweg. Genetische Unterschiede geben daher eher ein historisches Bild des Genaustauschs in einer Landschaft, als dass sie die aktuellen Verhältnisse widerspiegeln würden. Beispielsweise können zwei Populationen, die kürzlich durch Landschaftszerschneidung voneinander isoliert wurden, noch immer genetisch vernetzt erscheinen, obwohl heute kein Gen- oder Individuenaustausch mehr stattfindet.

Damit besteht das Problem, dass nicht bekannt ist, wo die Schwellenwerte liegen. Es wird künftig nur für einzelne Arten in bestimmten Landschaftstypen möglich sein, die Schwellenwerte empirisch zu ermitteln. Aus diesem Grund wird für die Praxis ein vorsorgeorientierter Ansatz benötigt, um die Landschaftszerschneidung in eine wünschenswerte Entwicklungsrichtung zu lenken.

Da die Lage der Schwellenwerte nicht bekannt ist, können die Folgen einer weiteren Verdichtung des Verkehrsnetzes nicht dadurch abgeschätzt werden, dass man die bisher beobachteten Folgen extrapoliert. Vielmehr müssen neue, vorsorgeorientierte Methoden für den Umgang mit dieser Art von Unsicherheit entwickelt werden. Auch ohne vollständiges Wissen über die ökologischen Folgen der

²⁹ ROEDENBECK & KÖHLER (2006) untersuchten Säugetiere, die dem Jagdrecht unterliegen, da für andere Tierarten in Hessen die Datengrundlage für eine entsprechende Untersuchung nicht ausreichend war. Wildschwein und Fuchs sind zwar durch das Verkehrsnetz in Deutschland generell nicht bedroht. Dass ihr Bestand in stark zerschnittenen Landschaften (mit kleiner Maschenweite) geringer ist als in weniger stark zerschnittenen Gebieten, macht aber den allgemeinen Zusammenhang zwischen der Zerschneidung der Landschaft und der Verbreitung von Arten sichtbar. Ein solcher Zusammenhang besteht auch für andere, vom Verkehrsnetz stärker beeinträchtigte Arten in ähnlicher Weise und es ist in der Regel zu erwarten, dass er dort noch stärker ausgeprägt ist.

Landschaftszerschneidung ist es sinnvoll möglich, geeignete Bewertungskriterien zu entwickeln und Grenz-, Richt- oder Zielwerte für die Landschaftszerschneidung festzulegen. Wirkungsbasierte Bewertungskriterien sollten durch gefährdungsorientierte Kriterien ergänzt werden, die in der Kausalkette näher am Eingriff liegen (Abbildung 44, Stufe 1; siehe die ausführliche Diskussion in JAEGER 2002) und daher einzelnen Landschaftseingriffen auch leichter zugeordnet werden können. Hier ist der Grad der Landschaftszerschneidung von zentraler Bedeutung; hierfür lassen sich Istwerte ermitteln und mit Sollwerten vergleichen. Solche Werte werden dringend benötigt als Handhabe für Verwaltungshandeln.

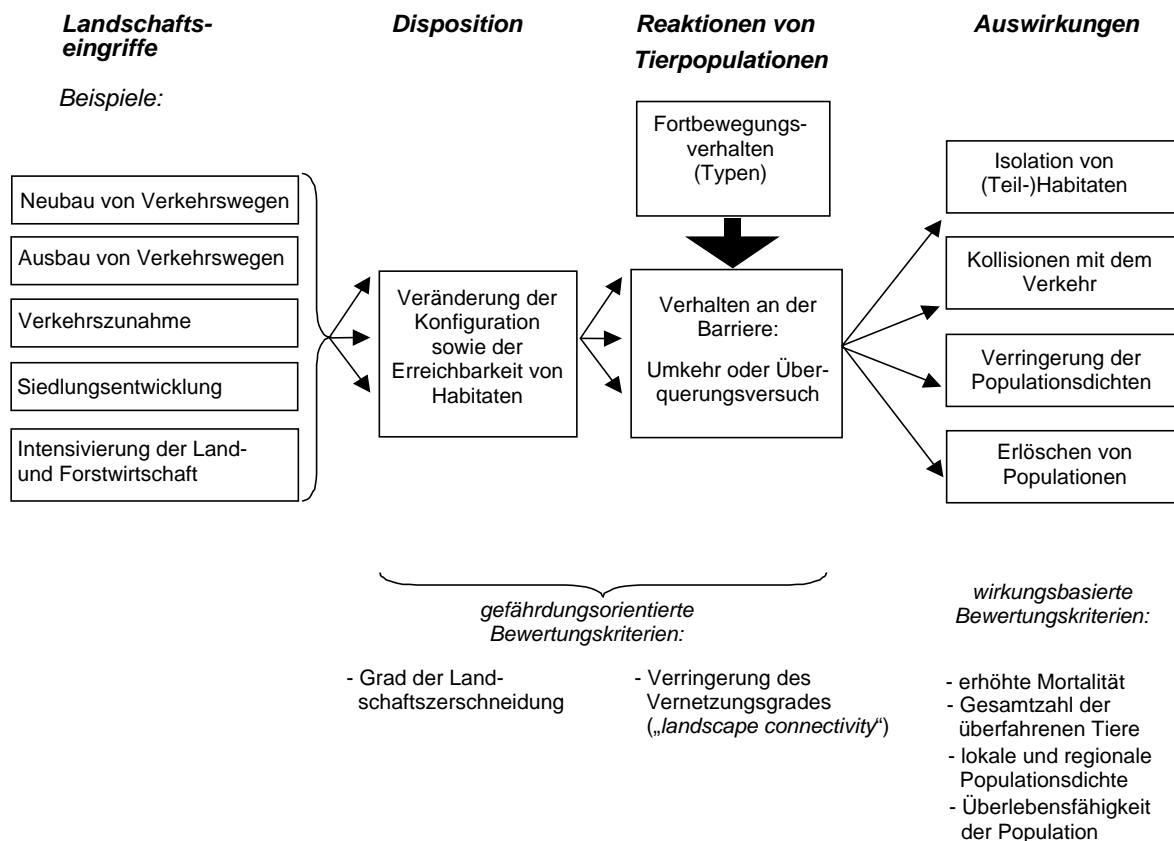


Abbildung 44: Kausalkette für landschaftszerschneidende Eingriffe und ihre Auswirkungen auf Tierpopulationen (schematische Darstellung in 4 Stufen). Die Disposition bezeichnet das Ausmass, in dem eine Einwirkung zur Veränderung der räumlichen und zeitlichen Bezüge in einer Landschaft beiträgt (ergänzt nach JAEGER 2001b). Für eine vorsorgeorientierte Bewertung von Landschaftseingriffen und Formulierung von Umweltstandards ist es sinnvoll, die wirkungsbasierten Kriterien durch Kriterien zu ergänzen, die in der Kausalkette den Auswirkungen vorgelagert sind (gefährdungsorientierte Bewertungskriterien; siehe ausführliche Darstellung in JAEGER 2002: 73-109 und 341-377).

5.2 Bisherige Vorschläge

Ziel-/Sollwerte für den Bodenverbrauch (d.h. für die Siedlungs- und Verkehrsfläche) in der Schweiz formulieren STREMLow et al. (2003): Gegenüber dem Referenzjahr 2000 soll der Bodenverbrauch nicht zunehmen. Bezüglich der *Siedlungsfläche* erwarten sie ein verlangsamtes Wachstum aufgrund von stärkeren Verdichtungen anstatt von Neuausweisungen. Bei der *Verkehrsfläche* hingegen wird eine weitere Zunahme bis ins Jahr 2020 erwartet. Bezüglich der bauten- und anlagefreien Flächen wird der Zielwert für das Jahr 2020 folgendermassen angegeben: „unzerschnittene Areale der Grösse

50 km² und grösser sind vollumfänglich zu erhalten (keine Strassen der Kat. I und II)“ (STREMLOW et al. 2003: 126).

Nicht nur der Schutz der verbliebenen grösseren unzerschnittenen Räume ist wichtig, sondern auch dort, wo die Landschaft schon stark fragmentiert ist, sollten weitere Belastungen vermieden werden. Das Umweltbundesamt von Deutschland hat hierzu einen Vorschlag für eine Begrenzung der Landschaftszerschneidung mit Hilfe der effektiven Maschenweite in die Diskussion gebracht (Tabelle 15; UMWELTBUNDESAMT 2003). Aufgrund von Trendschätzungen zur Landschaftszerschneidung in Deutschland hat das Umweltbundesamt Handlungsziele zur Begrenzung der Fragmentierung bzw. der Zunahmegeschwindigkeit formuliert. Es sollen sowohl grosse unzerschnittene Räume erhalten und vergrössert werden, als auch in bereits stark fragmentierten Räumen eine Verlangsamung des Trends erreicht werden. Das Ziel für die stark fragmentierten Räume besteht darin, dass die effektive Maschenweite in Abhängigkeit von der jeweiligen Ausgangssituation bis ins Jahr 2015 maximal nur etwa halb so stark abnehmen soll, wie dies bei einer ungesteuerten Entwicklung zu erwarten wäre. PENN-BRESSEL (2005) greift diese Handlungsziele auf und modifiziert sie aufgrund neuerer Resultate wie folgt:

- „a) Die Anzahl und Gesamtfläche (Summe) der jeweils noch vorhandenen UZVR [Unzerschnittene verkehrsarme Räume] über 140, 120, 100, 80 und 60 Quadratkilometer soll nicht mehr abnehmen, sondern durch Entschneidungsmassnahmen bis zum Jahr 2015 auf 23 Prozent der Fläche des deutschen Bundesgebietes erhöht werden [von heute 20.6%].
- b) Die kleinteilige Landschaftszerschneidung soll durch zusätzliche Kriterien [von Tabelle 15] begrenzt werden“ (PENN-BRESSEL 2005: 132).

Tabelle 15: Zur Diskussion gestelltes Handlungsziel zur Begrenzung der kleinteiligen Landschaftszerschneidung in Deutschland (aus PENN-BRESSEL 2005: 133). Bei diesem Ziel geht es um die Verlangsamung des Trends steigender Zerschneidung. Die maximale Grösse der Untersuchungsregionen soll dabei 7000 km² nicht überschreiten. (Für die Details zur Ableitung dieser Werte siehe UMWELTBUNDESAMT 2003 und PENN-BRESSEL 2005.)

Ausgangssituation Ende 2002: effektive Maschenweite m_{eff}	Ziel bis 2015: Abnahme der effektiven Maschenweite m_{eff} um weniger als
< 10 km ²	1.9%
10 – 20 km ²	2.4%
20 – 35 km ²	2.8%
> 35 km ²	3.8%

5.3 Pro- und Kontra-Argumente

Es gibt zur Festlegung von Grenz-, Richt- und Zielwerten eine Reihe von Pro- und Kontra-Argumenten (JAEGER 2002, 2002). Für die Möglichkeit einer solchen Festlegung spricht, dass auch in anderen Umweltbereichen ähnliche auftretende Probleme erfolgreich überwunden werden konnten. Die in den beiden folgenden Abschnitten vorgestellten Argumente stammen zu grossen Teilen aus einer Diskussion der Frage möglicher Grenz- und Richtwerte zur Landschaftszerschneidung in Deutschland mit Vertretern aus den Bereichen Verkehrsplanung, Landesplanung und Naturschutz in einer Expertenbefragung (JAEGER 2001, 2002) (Tabelle 16).

5.3.1 Pro-Argumente

Für einen Grenzwert zur Landschaftszerschneidung spricht die Erfahrung, dass der politische Appell und die Betonung des Planungsprinzips, grosse unzerschnittene Flächen zu erhalten, bisher kaum Erfolge brachten. Somit liess sich bisher die angestrebte Trendwende nicht erreichen. Ein wesentlicher Vorteil des Grenzwert-Ansatzes ist, dass damit nicht generell der weitere Bau von Verkehrswegen verhindert würde. Dies wäre unter der Bedingung, dass die Zerschneidung insgesamt nicht weiter zunimmt bzw. nicht über den Grenzwert hinausgeht, weiterhin möglich (Tabelle 16).

5.3.2 Kontra-Argumente

Mehrere Befragte aus den Experteninterviews äusserten sich skeptisch zum Geltungsbereich eines Grenzwertes zur Landschaftszerschneidung (Tabelle 16). Auf welche Art von Raum und auf welche Biotoptypen sollen sich die Grenzwerte beziehen? Was sind die Bezugsobjekte (Landschaftsbild, Landschaftsstruktur, Erholungswert, Tierarten)? Diese und ähnliche Bezugsprobleme stellen sich auch bei anderen Grenzwerten.

Skepsis besteht bei einigen Befragten bezüglich der Durchsetzbarkeit eines Grenzwertes für die Landschaftszerschneidung. Die Festlegung eines absoluten Maximalwertes verlange nach einer fundierten Begründung, um in der Praxis einsatzfähig zu sein. Richt- oder Zielwerte könnten daher eher durchsetzbar sein.

Tabelle 16: Pro- und Kontra-Argumente befragter Experten zum Vorschlag, einen Grenz- oder Richtwert für die Landschaftszerschneidung einzuführen, die in einer Expertenbefragung als Einschätzungen von den Befragten vorgebracht wurden (nach JAEGER 2002: 311ff.). Inwieweit diese Einschätzungen zutreffen, sollte künftig genauer überprüft werden. Es gibt weitere Argumente (siehe JAEGER 2002), doch verdeutlicht bereits diese Tabelle wichtige Fragen, zu denen Klärungs- und Diskussionsbedarf besteht und künftige Forschungsprojekte die Wissensdefizite aufarbeiten sollten.

Befragte Experten- gruppe	Befürwortende Argumente	Gegenargumente
Verkehrs- planer	<ul style="list-style-type: none"> „Es ist wichtig, mit der Einführung eines Grenzwertes überhaupt einmal ein Zeichen zu setzen, dass es nicht so wie bisher weitergehen darf.“ „Ein Grenzwert gäbe für die weitere Planung eine Zielorientierung vor (anstelle der heutigen Bedarfsorientierung).“ „Nur durch ein Verbot mittels eines Grenzwertes lässt sich die weitere Zerschneidung der Landschaft verhindern; eine klare Regelung durch einen Grenzwert würde Rechtsstreit ersparen.“ 	<ul style="list-style-type: none"> „Es ist unmöglich, eine bestimmte Grenze objektiv festzulegen, ab wo die Zerschneidung unakzeptabel wäre.“ „Der Aufwand, den Grenzwert in Bezug auf Ackerflächen, Wald, Wiesen etc. zu differenzieren, erscheint sehr gross.“ „Die bestehende Gesetzgebung erscheint bereits ausreichend.“ „Ein Grenzwert könnte das Siedlungs- und Verkehrswachstum und dadurch letztlich auch das mögliche Wirtschaftswachstum einschränken.“
Naturschutz- behörden	<ul style="list-style-type: none"> „Eine Messgrösse der Zerschneidung ist dafür geeignet, die Forderung zu verstärken und genauer zu spezifizieren, dass der Zerschneidungsgrad nicht weiter ansteigen darf.“ „Ein Grenzwert wäre wirkungsvoller in der politischen Argumentation als die derzeitigen Appelle und Absichtserklärungen.“ „Ein landschaftsbezogener Grenzwert ist ein interessanter neuer Ansatz.“ 	<ul style="list-style-type: none"> „Es ist unklar, hinsichtlich welcher Aspekte (welche Tierarten, Erholungssuchende, Ästhetik) und auf welchem Massstab Grenzwerte definiert werden sollen.“ „Die Festlegung auf einen bestimmten Grenzwert erscheint fliessend oder willkürlich.“ „Oftmals wiegt man sich - fälschlicherweise - in Sicherheit, solange man die Grenzwerte einhält.“
Landschafts- planer	<ul style="list-style-type: none"> „Die Sicherung der noch unzerschnittenen Räume ist eine sehr dringliche Aufgabe.“ „Eine Messgrösse der Zerschneidung ist für Zielwerte geeignet, die die angestrebte Entwicklungsrichtung angeben.“ „Die Zielwerte können nach der Art des Raumes differenziert werden, z.B. (a) Vorrangräume für großflächig unzerschnittene Bereiche, (b) ländliche Räume, (c) Ballungsräume.“ 	<ul style="list-style-type: none"> „Ein Grenzwert wäre wahrscheinlich nicht umsetzbar, weil angesichts der bisherigen Erfahrungen nicht zu erwarten ist, dass sich Politiker und andere Entscheidungsträger an den Grenzwert halten würden.“ „Der Spielraum bis zum Grenzwert würde vollständig aufgefüllt; das wäre aber die falsche Entwicklungsrichtung, daher wären Zielwerte besser.“ „Möglicherweise erfolgen als Reaktion auf den Grenzwert nur Verschiebungen oder ein gleichmässiges Auffüllen der Landschaft mit Verkehrswegen bis zum Grenzwert, aber kein Rückbau.“

Grenzwerte werden oft wahrgenommen als ein Mittel, um Risiken auszuschliessen, d.h. als Garantie für ein „Nullrisiko“ (oder geringes „Restrisiko“). Andererseits dienen sie oftmals auch als „Überredungsmittel“, um einen bestimmten Schadensumfang hinzunehmen (PSARROS 1999). Dies kann die Folge haben, dass man sich im risikoarmen Bereich wähnt, solange man die Grenzwerte einhält, oder dazu, dass eine Entwicklung bis hin zum Erreichen des Grenzwertes mit dem Hinweis auf die Einhaltung des Grenzwertes gerechtfertigt wird.

Die meisten Kontra-Argumente sind nicht spezifisch auf das Thema Landschaftszerschneidung bezogen, sondern hängen mit den generellen Schwierigkeiten bei der Quantifizierung und Bewertung

von Umweltwirkungen und der Festlegung von Grenzwerten zusammen. Daher scheinen viele dieser Kontra-Argumente in ähnlicher Weise überwindbar, wie dies auch in anderen Umweltbereichen bei Grenzwerten und weiteren Umweltstandards gelungen ist (z.B. SACHVERSTÄNDIGENRAT FÜR UMWELTFRAGEN 1996, PINKAU & RENN 1998).

5.4 Vorschläge für die Schweiz

Die Möglichkeiten für Ziel-, Richt- oder Grenzwerte sollten vertieft diskutiert und geprüft werden. Die Argumente aus dem Abschnitt 5.3 zeigen, dass grundsätzlich ein Interesse an Ziel-, Richt- oder Grenzwerten zur Landschaftszerschneidung besteht. Konkrete Werte sollten in einem politischen Entscheidungsprozess auf der Basis von fundierten Daten festgelegt werden, an dem auch Wissenschaftler und andere Experten beteiligt sein sollten. Als Richtschnur für den Umgang mit einer begrenzten Ressource und als Startpunkt für die Diskussion ist das Formulieren von Vorschlägen für künftige Grenz-, Richt- und Zielwerte hilfreich. Die Autoren stellen deshalb hier einen ersten Verfahrensvorschlag vor, aufbauend auf der Analyse der bisherigen Entwicklung und der Trendfortschreibung. Die Methode der effektiven Massenweite eignet sich sowohl für Grenz-/Richt-/Zielwerte im Bereich der Zerschneidung von Lebensräumen von Tierpopulationen als auch dazu, um solche Werte für die grossräumige Zerschneidung von Landschaften (mit Bezug auf Landschaftscharakter, Landschaftsbild und Erholungswert) vorzugeben. Wesentlich dabei ist, dass solche Grenz-, Richt- oder Zielwerte je nach Landschaftsraum differenziert würden.

5.4.1 Verfahrensvorschlag

Die Entwicklung der Grenzwerte sollte auf einer breiten Diskussion über die derzeitige und die künftig angestrebte Zerschneidung verschiedener Beispielgebiete basieren. Auf der Grundlage von Leitbildern zur Landschaftszerschneidung können dann konkrete Ziele und Richt-, Grenz- oder Zielwerte formuliert werden.

Dazu wird zunächst Klarheit über die aktuelle Zerschneidungssituation benötigt. Anhand der in dieser Studie errechneten Werte und der Zeitreihen kann die bisherige Entwicklung dargestellt und genauer analysiert werden. Einfache Trendfortschreibungen, wie sie in Abschnitt 3.3 vorgenommen wurden, helfen, um ein Bild über die künftig mögliche Entwicklung zu gewinnen. Sehr nützlich wäre hierfür auch der Einbezug der (gemäss Richtplanung) bis zu einem bestimmten Zeitpunkt bereits geplanten Verkehrswege in die Zerschneidungsanalyse (siehe Abschnitt 7.3). Für diesen künftigen Zeitpunkt könnten die effektive Maschenweite und die effektive Maschendichte, aber auch die UZR (z.B. grösser als 1000, 500, 100, 80 oder 60 km²) vorausberechnet werden. Daraus lässt sich erkennen, ob sich die zu erwartende Entwicklung gegenüber der Trendfortschreibung verstärken oder verlangsamen wird (die zu erwartende Zunahme der Siedlungsflächen sollte dabei ebenfalls berücksichtigt werden).

Das Festlegen eines Grenzwertes sollte dann in einem politischen Aushandlungsprozess von verschiedenen Akteuren erfolgen (z.B. RENN 1996), welche je nach Bezugsraum (Region, Kanton, Bezirk) andere sein können. Es bedarf also einer gesellschaftlichen Übereinkunft zur Bestimmung des gewünschten bzw. des maximal tolerierbaren Ausmasses von Landschaftszerschneidung. Zudem sollte eine Diskussion darüber geführt werden, welche Form des Standards – Grenzwert, Zielwert oder Richtwert – am stärksten befürwortet wird.

Konkrete Ziel-, Richt- oder Grenzwerte könnten z.B. nach der Art des Raumes dreifach untergliedert werden:

- Vorrangräume für grossflächig unzerschnittene Bereiche: d.h. hier sind keine weiteren Zerschneidungen zulässig, und es besteht Vorrang für die Aufhebung bestehender Zerschneidungen;
- Vorgabe von Zielwerten für ländliche Räume;
- Duldung weiterer Zerschneidungen in Ballungsräumen oder entlang von Entwicklungsachsen bis zu einem gewissen Grad.

Sinnvoll ist es, mehrere Grenz- und Zielwerte gleichzeitig zu formulieren (d.h. nicht nur unterschiedlich je nach Gebiet, sondern auch in Kombination von Grenz-, Richt- und Zielwerten); die Zielwerte würden dann auf ein tieferes Zerschneidungsniveau gesetzt werden als die Grenzwerte. Dazu sollte jede Region für sich Zielvorstellungen entwickeln, z.B. jeder Kanton.

Als ein erster Schritt auf dem Weg zu einem zuverlässigen Schutz der Landschaft vor einer fortgesetzten Zerschneidung bietet sich die Behandlung von unzerschnittenen verkehrarmen Räumen als Schutzgut an, wie es WATERSTRAAT et al. (1996) und STREMLow et al. (2003) vorgeschlagen haben. Wahrscheinlich ist auf Dauer ein Massnahmenverbund am aussichtsreichsten, welcher den Grenz- oder Zielwertansatz mit der Einstufung von UZR als Schutzgut und mit einer Besteuerung von Flächennutzungen (vgl. BIZER & BERGMANN 1998) kombiniert.

Angesichts der vorliegenden Daten und der angewendeten Methode zur Messung der Landschaftszerschneidung scheint die Formulierung von Ziel-, Richt- oder Grenzwerten mittelfristig realisierbar. Die festgelegten Werte können später auf Basis verbesserter Erkenntnisse über die Auswirkungen der Landschaftszerschneidung revidiert werden. Solange keine genaueren Erkenntnisse vorliegen, die das Ausmass der Folgen der Zerschneidung zuverlässig vorhersagen, sollte das Vorsorgeprinzip angewendet werden.

5.4.2 Beispiel: Richtwerte für BLN-Gebiete

Als ein Beispiel für die Anwendung von Richtwerten zur Landschaftszerschneidung auf nationaler Ebene dient das Bundesinventar über Landschaften und Naturdenkmäler von nationaler Bedeutung (BLN). Anlass für diese Auswahl ist die derzeit laufende Revision des BLN-Inventars.

Das BLN hat sein Hauptziel, die ungeschmälerte Erhaltung bzw. grösstmögliche Schonung der Natur- und Kulturlandschaft, nicht erreicht. So war z.B. das Siedlungswachstum innerhalb der BLN-Gebiete beinahe so gross wie ausserhalb. Es besteht ein konzeptueller Widerspruch zwischen den Schutzziele des BLN-Inventars und dem schwachen Instrumentarium zur Umsetzung dieser Ziele (PARLAMENTARISCHE VERWALTUNGSKONTROLLE 2003). BINSWANGER et al. (2005: 155, Tabelle 29) schlagen daher die Verankerung des BLN in die Raumplanungspolitik als ein Instrument zum Abbremsen bzw. Stoppen der Habitatfragmentierung vor.

Als eine Schwäche des BLN beurteilen DÄHLER & TANNER (2004) die fehlenden Vorgaben und Messgrössen, mit denen man die Wirkung des Schutzstatus und die Zielerreichung überprüfen kann. Dank der Messgrösse für die Landschaftszerschneidung (der effektiven Maschenweite und Maschendichte) und auf Grundlage der zu den einzelnen Gebieten bestehenden Datenreihen zur Zerschneidung (siehe Abschnitt 9.10 im Anhang) lassen sich Ziel-, Richt- und Grenzwerte für jedes einzelne Objekt formulieren.

Die erste Phase des Projektes „Aufwertung BLN“ des BAFU hat zum Ziel, die räumlich differenzierten Objektbeschreibungen und Schutzziele der einzelnen BLN-Objekte zu formulieren. Dabei sollte nach Ansicht der Autoren dieses Berichts auch die Zerschneidung und Zersiedelung der Landschaft behandelt werden.

Die Schutzziele sollen in der zweiten Projektphase (2007 bis 2011) mit partizipativen Methoden in den Regionen konsolidiert werden. Das Inventar der Landschaften und Naturdenkmäler von nationaler Bedeutung ist das bedeutendste Instrument des Landschaftsschutzes in der Schweiz und erscheint daher als geeignet, die Problematik der Landschaftszerschneidung zu thematisieren und Richtwerte für eine nachhaltige Entwicklung anzugeben. Unten folgt ein erster Vorschlag für mögliche Richtwerte zur Landschaftszerschneidung, aufbauend auf den bestehenden Zerschneidungsgraden der verschiedenen BLN-Objekte. Es sei hier betont, dass es sich um einen ersten groben Vorschlag der Autoren handelt, der nicht auf detaillierten Analysen und Kenntnissen der einzelnen Gebiete basiert, sondern lediglich auf den im vorliegenden Bericht errechneten Werten für die Zerschneidung der Landschaft.

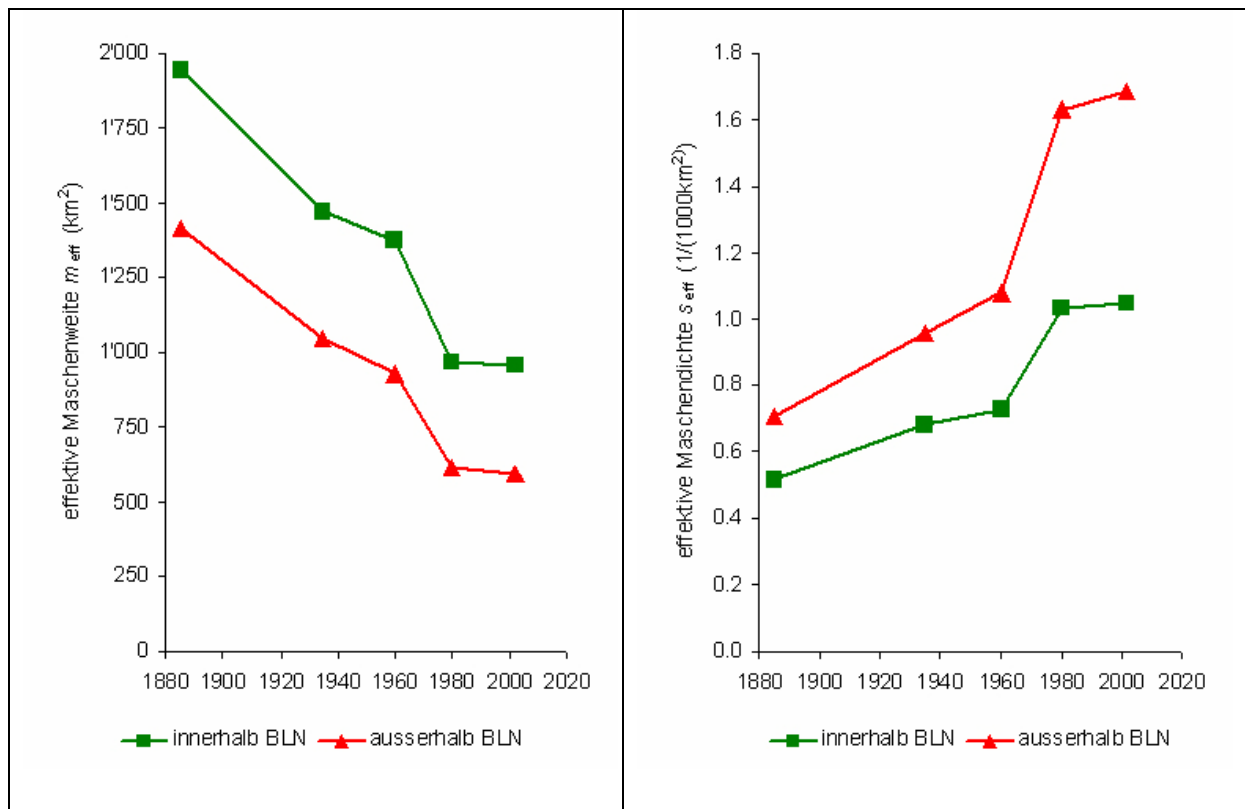


Abbildung 45: Entwicklung der effektiven Maschenweite (links) und der effektiven Maschendichte (rechts) seit 1885 innerhalb der Landschaften von nationaler Bedeutung (BLN-Gebiete) verglichen mit der Entwicklung für die gesamte Schweiz ausserhalb der BLN-Gebiete in der Zerschneidungsgeometrie 1 („Zivilisationsdruck“; Werte siehe Abschnitt 9.10 im Anhang). Die BLN-Gebiete sind weniger stark zerschnitten als die Landschaften ausserhalb (siehe Abschnitte 3.1.6 und 3.2.6).

Der Vorschlag lautet: Die effektive Maschendichte aller BLN-Gebiete zusammen soll **maximal 10%** so stark zunehmen, wie eine Trendfortschreibung (linear für 1980 bis 2002, ZG 1 „Zivilisationsdruck“) des bisherigen gesamtschweizerischen Trends (Zunahme von 2.38% in 18 Jahren) ergäbe; das entspricht **maximal 17.1%** so stark wie eine lineare Trendfortsetzung der bisherigen Entwicklung innerhalb aller BLN-Gebiete zusammen (Abbildung 45).³⁰

Dieser Richtwert für die BLN-Gebiete sollte je nach Landschaftsraum differenziert werden. In nachfolgenden Diskussionen sollte daher genauer spezifiziert werden, wie dieser Wert für die unterschiedlichen Landschaftsräume ausdifferenziert verteilt werden kann, so dass auch regionale Richtwerte angegeben werden können.

Angesichts des Hauptschutzzieles des BLN-Inventars einer „*ungeschmälerter Erhaltung*“ wäre allerdings auch das Ziel, dass die effektive Maschendichte innerhalb aller BLN-Gebiete zusammen insgesamt nicht weiter steigen darf, sehr naheliegend.

³⁰ Eine lineare Trendfortschreibung der Entwicklung für die effektive Maschendichte zwischen 1980 und 2002 in ZG 1 ergibt einen Wert von 1.0643 Maschen pro 1000 km^2 für 2020 (gegenüber heute 1.0497 Maschen pro 1000 km^2) innerhalb der BLN-Gebiete, 1.7317 Maschen pro 1000 km^2 ausserhalb der BLN-Gebiete (gegenüber heute 1.6853 Maschen pro 1000 km^2) und 1.5475 Maschen pro 1000 km^2 für die Schweiz insgesamt (gegenüber heute 1.5115 Maschen pro 1000 km^2). Das entspricht 2.38% Zunahme der effektiven Maschendichte in der Schweiz insgesamt bis 2020, 1.39% Zunahme in den BLN-Gebieten und 2.75% Zunahme in den Gebieten ausserhalb der BLN-Gebiete (vgl. zum Vorgehen bei der Berechnung des Trends auch die Abschnitte 3.2.6 und 3.3).

6 Massnahmen

6.1 Einleitung

Nachdem die vorangehenden Kapitel vor allem die Daten zum Grad der Landschaftszerschneidung in der Schweiz dargestellt haben, stellt Kapitel 6 Ideen für die Entwicklung von Lösungen zusammen.

Welche Massnahmen sind für eine Trendwende bei der Zerschneidung der Landschaft möglich und sinnvoll? Dieses Kapitel gibt eine Übersicht möglicher Massnahmen im Sinn einer Ideensammlung und eines „Argumentariums“ als Grundlage für weitere Diskussionen (d.h. nicht als verpflichtende Empfehlungen). Das Kapitel erläutert diese Massnahmen vor allem hinsichtlich ihres Zusammenhangs mit der effektiven Maschenweite. Die Autoren geben in diesem Bericht die generelle Empfehlung, alle diese Massnahmen in der Verkehrsplanung und in der Raumplanung nachfolgend breit zu diskutieren und die Möglichkeiten zu ihrer Anwendung, ihre Durchführbarkeit und Effektivität genauer auszuloten. Über die aufgelisteten Massnahmen hinaus ist besonders der gegenseitige Einfluss der Raumplanung auf den Verkehrsbedarf und des Ausbaus des Verkehrswegennetzes auf die räumliche Entwicklung zu beachten. Hier sind sowohl gegenseitige Verstärkung – im Sinne weiterer disperser Siedlungsentwicklung und weiterer Zunahme der Zerschneidung – als auch gegenseitige Unterstützung möglich – im Sinne eines Hinsteuerns zu stärkerer Siedlungsverdichtung und Eindämmung der Zerschneidung bis hin zur Verringerung der Zerschneidung.³¹

Das Kapitel beansprucht keine Vollständigkeit; insbesondere nennt es keine Massnahmen zu den Bereichen Öffentlichkeitsarbeit, marktwirtschaftliche Instrumente, Verkehrsorganisation und Förderung von Verhaltensänderungen. Eine angemessene Darstellung und Diskussion solcher Massnahmen würde den Rahmen des vorliegenden Berichts übersteigen; dazu wird auf die bestehende umfangreiche Literatur verwiesen (siehe z.B. JAEGER 2002, 2004, SACHVERSTÄNDIGENRAT FÜR UMWELTFRAGEN 2005 mit weiteren Quellenangaben).

In der Literatur wurden bereits zahlreiche Massnahmen zur Entschneidung bzw. Reduktion von weiteren Zerschneidungen formuliert, die hier deshalb nicht nochmals aufgelistet werden, sondern es wurde eine Auswahl getroffen. Der Fokus der Auswahl liegt auf Massnahmen, deren Umsetzung sich direkt auf die effektive Maschenweite auswirkt, wie sie in der vorliegenden Studie berechnet wurde (in Zerschneidungsgeometrie 1 bis 4). Es werden nur wenige Angaben dazu gemacht, in welchem Umfang die jeweiligen Massnahmen heute bereits umgesetzt werden. Eine solche Abklärung liegt ausserhalb des Rahmens dieser Studie.

Grundsätzlich lassen sich zwei Themenbereiche unterscheiden, denen die Massnahmen zugeordnet werden können: Verbesserung oder Aufhalten der Verschlechterung der *Lebensräume für Tierpopulationen* und Aufwertung oder Vermeidung des Verlustes der *Landschaftsqualität* (z.B. Eigenart der Landschaft). Oftmals profitieren beide Bereiche von den jeweiligen Massnahmen, wenn auch zum Teil in unterschiedlichem Grad.

In der Schweiz bestehen im europäischen Vergleich bereits relativ viele Grundlagen zum Thema Wildtierkorridore (siehe Kapitel 1) und ein Konzept zur Sanierung der überregionalen Wildtierkorridore (Holzgang et al. 2005). Damit nimmt die Schweiz eine führende Rolle in Europa ein, ähnlich wie die Niederlande (z.B. VAN DER GRIFT 2005). Von hoher Bedeutung ist die Sanierungsplanung für die Wildtierkorridore, die vom ASTRA und BAFU gemeinsam erarbeitet wurde auf Grundlage einer Richtlinie des Eidgenössischen Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation vom 10.11.2001 über den Bau von Wildtierpassagen (UVEK 2001a, UVEK 2001b; siehe auch VSS 2004a, 2004b, 2004c, 2004d; siehe Abschnitt 6.2.8). Von den 303 ausgewiesenen Wildtierkorridoren mit überregionaler Bedeutung (HOLZGANG et al. 2001) sollen 51 im Rahmen von Unterhaltsarbeiten oder Ausbauprojekten der Autobahnen und Hauptstrassen wildtiergerecht saniert werden. 23 dieser 51 Wildtierpassagen bestehen bereits, 15 neue sind bis 2013 vorgesehen und 7 weitere sind in Planung

³¹ Die Ziele der Erhaltung und Vernetzung von Lebensräumen und Bewahrung schützenswerter Landschaftsbilder wird kaum erreichbar sein, wenn das Verkehrsaufkommen weiterhin stark wächst und die Zerschneidung weiter zunimmt. Zur Reduktion des Verkehrsaufkommens können ein Umbau zu einer stärker durchmischten, verkehrsvermeidenden Siedlungsstruktur mit punktaxialen Verdichtungen und der Stopp von dispersem Siedlungswachstum einen wesentlichen Beitrag liefern. Auch mit der Land- und Forstwirtschaft bestehen Zusammenhänge (siehe Abschnitt 4.1.6).

für die Zeit nach 2013.³² Die Kantone sind aufgefordert, die ausgeschiedenen Korridore in die kantonalen Richtpläne aufzunehmen und Konzepte für die Wildtierpassagen und ihre Umgebung zu erarbeiten. Dies ist bereits in zahlreichen Kantonen geschehen.

Die beiden Hauptziele von Wildtierpassagen sind „die Verringerung der Fragmentierung und der Isolation von Populationen, indem die durch das Verkehrsnetz beeinträchtigten Wechsel wiederhergestellt werden“ und „die Verringerung von Verkehrsunfällen durch ein geringeres Risiko überquerender Wildtiere auf dem Rest des betreffenden Verkehrsweges“ (UVEK 2001b). Allerdings werden viele andere Auswirkungen der Landschaftszerschneidung durch Wildtierpassagen nicht aufgehoben oder kompensiert, sowohl in Hinblick auf die Landschaftsqualität, z.B. den Einfluss der Zerschneidung auf den Landschaftscharakter, die Unruhewirkungen durch Lärm, Licht und Bewegung (beeinflusst z.B. die Qualität ländlicher Abgeschiedenheit und die Erholungseignung) als auch in Hinblick auf die Lebensräume von Tierpopulationen (Habitatverlust, Verringerung der Habitatqualität in der Nähe der Verkehrswege, z.B. durch Verlärmung). Daher sind zahlreiche weitere Massnahmen wichtig.

In der Literatur oftmals als „Entschneidungsmassnahmen“ oder „Defragmentierungsmassnahmen“ bezeichnet werden Massnahmen, „die der Minderung oder Aufhebung der Landschaftszerschneidung dienen und Verkehrswege und Verkehrsströme für Wildtiere durchlässiger machen“ (GRAU 2005, OGGIER et al. 2001). Die Bezeichnung „Entschneidung“, abgeleitet aus dem niederländischen „*ontsnippering*“), ist zwar nicht optimal, da die Zerschneidung durch diese Massnahmen nur in seltenen Fällen tatsächlich rückgängig gemacht wird, aber die Bezeichnung findet zunehmend im deutschen Sprachraum Verbreitung (GRAU 2005). Die Massnahmen tragen zu einer Verringerung bestimmter Zerschneidungswirkungen bei. Defragmentierungsmassnahmen sind zur Wiederherstellung vernetzter Lebensräume nicht nur an Neubauabschnitten, sondern am gesamten Verkehrsnetz sinnvoll.

Mehrere Massnahmen hängen mit dem Ziel zusammen, den Biotopverbund (JEDICKE 1994) bzw. das *Nationale Ökologische Netzwerk* (REN) zu entwickeln (BERTHOUD et al. 2004). Massnahmen, die eine weitere Zerschneidung der Landschaft verhindern, tragen dazu bei, dass das Ökologische Netzwerk nicht weiter geschwächt wird. Massnahmen, die der Reduzierung oder Aufhebung von Zerschneidungen dienen, tragen in aller Regel aktiv zur Stärkung des Ökologischen Netzwerkes bei und sollten daher stets auch in diesem Kontext beurteilt werden (z.B. hinsichtlich der Standortwahl oder Bauart einer Querungshilfe).

Die zuerst dargestellten Massnahmen (Abschnitt 6.2) haben einen unmittelbaren Einfluss auf die Werte der effektiven Maschenweite, wie sie in den Zerschneidungsgeometrien 1 bis 4 berechnet werden. Sie werden daher hier an erster Stelle dargestellt. Die weiteren Massnahmen (Abschnitt 6.3) haben ebenfalls einen Einfluss auf bestimmte Aspekte der Landschaftszerschneidung und die entsprechend berechnete effektive Maschenweite bzw. Maschendichte, aber der Zusammenhang ist weniger unmittelbar. Die meisten von ihnen beeinflussen den Grad der Landschaftszerschneidung, indem sie an den Ursachen für eine hohe Landschaftszerschneidung angreifen. Diese Massnahmen sind vor allem längerfristig relevant. Somit leisten die Massnahmen einen Beitrag dazu, die effektive Maschenweite zu vergrössern oder ihre Abnahme zu verlangsamen.

6.2 Massnahmen mit direktem Bezug zur effektiven Maschenweite bzw. Maschendichte

6.2.1 Tunnels und Querungshilfen

Mittels Tunnels und Querungshilfen wie Grünbrücken, Unterführungen und Aufständierungen wird ein ökologisches Netzwerk für verschiedene Arten erhalten (vgl. unten den Punkt „Sanierung von beeinträchtigten Wildtierkorridoren von überregionaler Bedeutung“, Abschnitt 6.2.8) (Abbildung 46). Diese Massnahme ist grundsätzlich umso wirksamer, je grösser die Flächen sind, die miteinander verbunden werden, und je breiter das Verbindungsstück ist. Dabei müssen nicht nur die Flächen betrachtet

³² Die Planung des ASTRA und BAFU sieht eine Breite von $45 \text{ m} \pm 5 \text{ m}$ für reine Wildtierbrücken und von etwa 100 m für Mehrzweckbrücken vor. Diese Werte resultieren aus Untersuchungen zur Nutzung der Querungsbauwerke durch Wildtiere (PFISTER et al. 2002b).

werden, die unmittelbar an den Verkehrsweg angrenzen, sondern es muss auch die Summenwirkung mehrerer Massnahmen im Verbund berücksichtigt werden. Wichtige Kriterien für die Entscheidungsfindung sind unter anderem der biologische Bedarf und die Kosten solcher Bauwerke. Die Massnahme sollte die topographischen Gegebenheiten der Landschaft ausnutzen (z. B. durch Talbrücken).

Im Anhang der Studie von HOLZGANG et al. (2001) werden Massnahmen zur Erhaltung bzw. Sanierung der Wildtierkorridore von überregionaler Bedeutung aufgeführt (sie betreffen allerdings lediglich das Netz der Autobahnen und Hauptstrassen). Das Programm von ASTRA und BAFU sieht bis ins Jahr 2013 die Erstellung von 15 neuen Wildtierpassagen entlang von Autobahnen und Hauptstrassen vor (siehe oben Abschnitt 6.1). HOLZGANG et al. (2005) fordern angesichts der anhaltenden Bautätigkeit bei Siedlungen und Verkehrsinfrastrukturen, dass der Zustand der Wildtierkorridore und der Erfolg der Sicherungsmassnahmen 2010 evaluiert werden.

In den in dieser Arbeit verwendeten Zerschneidungsgeometrien 1 bis 4 wird ein Tunnel zwar erst ab einer Mindestlänge von 1000 m als Aufhebung der Zerschneidung berücksichtigt. Mit einer detaillierteren Methode (JAEGER 2002, Kap. 6.5; JAEGER, in Vorb.; vgl. Abschnitt 4.1.2) (oder mit einer anders definierten Zerschneidungsgeometrie³³) können künftig auch solche Querungshilfen in die Berechnung der effektiven Maschenweite einbezogen werden, die eine partielle Aufhebung der Barrierewirkung erzielen; ähnlich wie die unterschiedliche Barrierestärke in Abhängigkeit vom Verkehrsaufkommen und der Bauart des Verkehrsweges in die effektive Maschenweite einbezogen werden kann (siehe Abschnitt 4.1.4). Daher sollte zu diesem Zweck in einem Nachfolgeprojekt ein entsprechendes Berechnungs-Tool entwickelt werden (siehe Abschnitt 7.3).

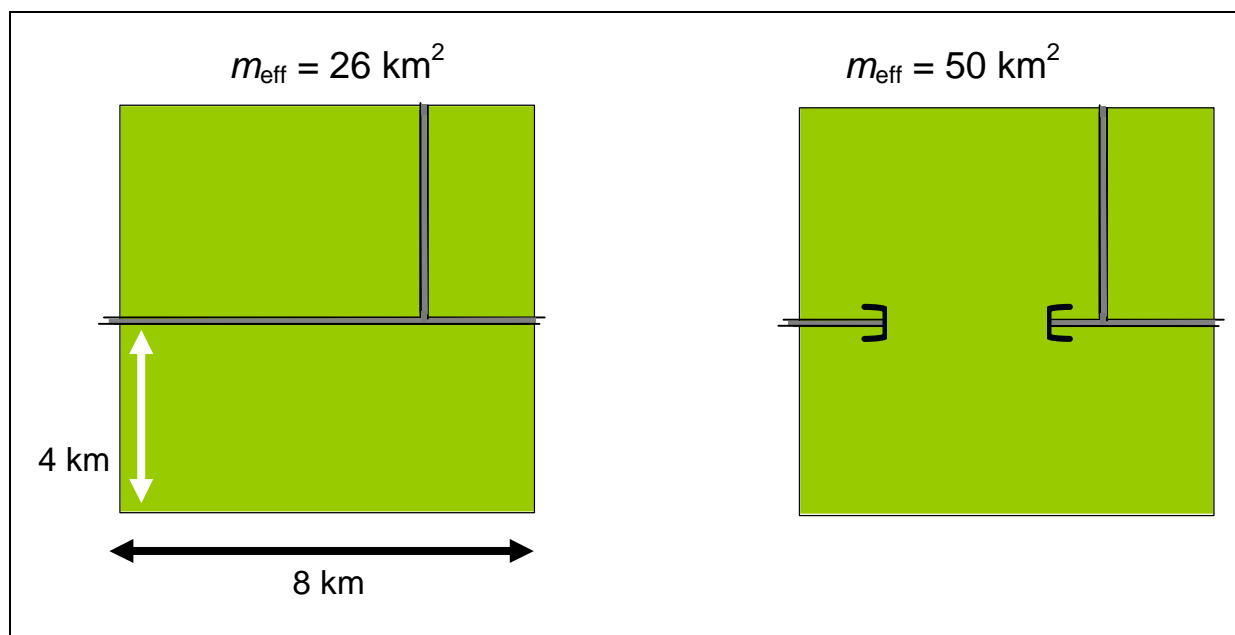


Abbildung 46: Schematisch dargestellter Einfluss einer Untertunnelung von mindestens 1000 m Länge auf die effektive Maschenweite. Dank der Untertunnelung eines Strassenabschnittes (rechts) nimmt die effektive Maschenweite in diesem Beispiel von 26 km^2 (links, ohne Tunnel) auf 50 km^2 zu.

6.2.2 Rückbau von nicht mehr dringlich benötigten Verkehrswegen

Der Rückbau von Verkehrswegen ist bezüglich der Wirkung auf die berechnete effektive Maschenweite mit der Untertunnelung vergleichbar (siehe Abbildung 46). Der Rückbau ist für die effektive Maschenweite grundsätzlich umso wirksamer, je grösser die Flächen sind, die dadurch wieder verbunden werden. Dabei sollten nicht nur die Flächen betrachtet werden, die unmittelbar an den Verkehrsweg angrenzen, sondern es muss auch die Summenwirkung mehrerer Massnahmen im Verbund

³³ bei der Grünbrücken ab 50 m Breite als Unterbrechung des Verkehrsweges dargestellt werden

gesehen werden. Der Rückbau sollte insbesondere dort gefördert werden, wo bestehende Verkehrswege im Bereich wichtiger Tierwanderungsrouten liegen (z.B. Amphibienwanderungen).

Auch in der Landwirtschaft spielt die Massnahme des Rückbaus eine wichtige Rolle, z. B. im Zusammenhang mit Veränderungen der Betriebsstruktur. Die derzeit ablaufende Restrukturierung in der Landwirtschaft könnte das heutige landwirtschaftliche Strassennetz relativ rasch an die veränderten Rahmenbedingungen anpassen. Dabei sollte der Aspekt der Zerschneidung berücksichtigt werden.

Konkrete Vorschläge für den Rückbau von Verkehrswegen in der Schweiz zu erarbeiten, der sich besonders positiv für die effektive Maschenweite auswirken würde, übersteigt allerdings den Rahmen dieses Projektes.

6.2.3 Bündelung von Verkehrswegen

Je gebündelter, d. h. je näher beieinander liegend Verkehrswege gebaut werden, desto grösser sind die verbleibenden Flächen neben dem Verkehrswegebündel. Besteht z.B. bereits eine Bahnlinie, so sollte die Linienführung einer neuen Strasse möglichst nahe und parallel zum bestehenden Verkehrsweg geplant werden (Abbildung 47). Eine solche Bündelung sollte auch bei landwirtschaftlichen Wegen erfolgen. In aller Regel ist der Gewinn für die Überlebenswahrscheinlichkeit von Tierpopulationen aufgrund der grösseren Flächen höher als die Beeinträchtigung aufgrund der stärkeren Barrierewirkung des Trassenbündels (JAEGER et al. 2006b). Ausserdem können Querungshilfen so angelegt werden, dass sie das ganze Trassenbündel auf einmal überspannen bzw. unterqueren.

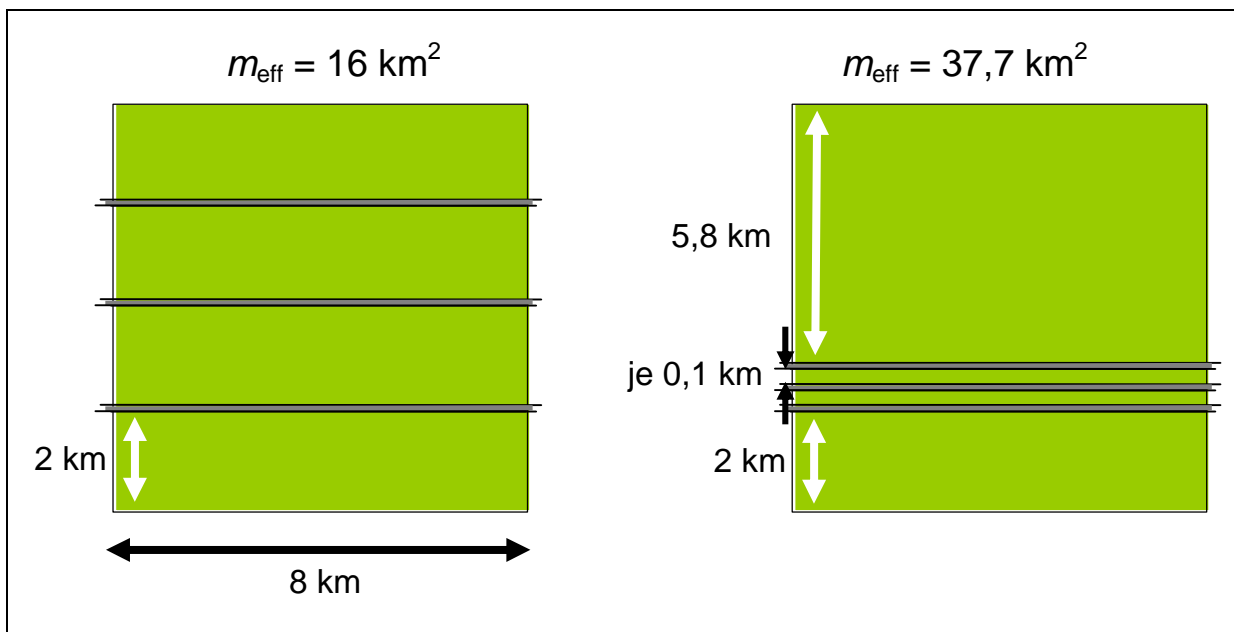


Abbildung 47: Schematisch dargestellter Einfluss einer Bündelung von Verkehrswegen auf die effektive Maschenweite. Die Bündelung der Verkehrswege (rechts) bewirkt eine Vergrösserung der effektiven Maschenweite gegenüber einer regelmässigen Verteilung der Verkehrswege über die Landschaft (links).

Die Bündelung wird im Landschaftskonzept Schweiz empfohlen (BÜRGI 1998). Ein positives Beispiel für die Linienführung einer Autobahn, die aus Sicht der Zerschneidung ideal geplant wurde, besteht im Kanton Neuenburg: die Autobahnen A5 Vaumarcus – Le Landeron und die kantonale Autobahn Neuchâtel – La Chaux-de-Fonds (H20). Hier sind die Autobahnen entweder aufgrund von Tunnelstrecken gar nicht oder, da sie entlang von schon bestehenden Verkehrswegen verlaufen, nur relativ wenig zerschneidungswirksam; sie haben somit nur einen geringen Einfluss auf die effektive Maschenweite (Abbildung 48). Dieser Fall kann als ein Musterbeispiel angesehen werden. Diese Planung war allerdings vorwiegend durch die topografischen und verkehrstechnischen Gegebenheiten bedingt (z.B. Anschlüsse an das untergeordnete Strassennetz bei der H20). Beispiele, bei denen die Bündelung mit

der Bahn bzw. mit der Autobahn wirklich konsequent gesucht worden ist, sind die A3/A13 zwischen Flums und Bad Ragaz sowie die SBB-Neubaustrecke Mattstetten-Koppigen (H.-U. Aeberhard, pers. Mitteilung).

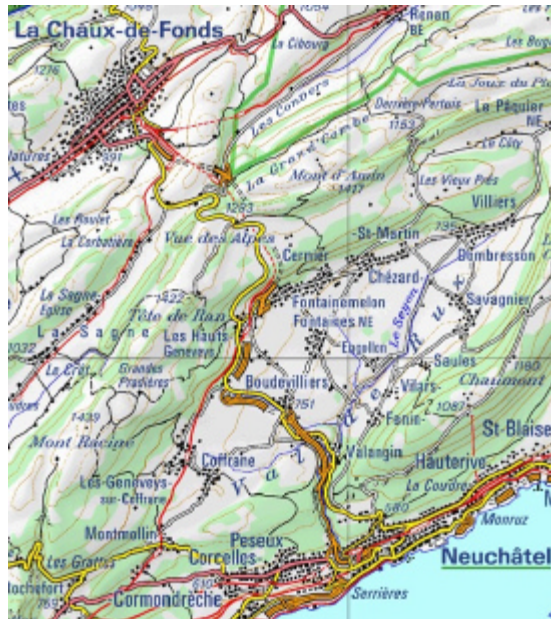


Abbildung 48: Verlauf der kantonalen Autobahn zwischen Neuchâtel und La Chaux-de-Fonds (H20) als ein Beispiel für eine Linienführung, die fast keinen Einfluss auf den Wert der effektiven Maschenweite hat, da sie durch mehrere Tunnelstrecken und parallel zu bereits bestehenden Verkehrswegen verläuft (reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA071415)).

6.2.4 Ortsnahe Linienführung von Umfahrungsstrassen

Eine geschickte Linienwahl von Umfahrungsstrassen (und anderen Verkehrswegen), d.h. in der Nähe von bereits überbauten Flächen, hat eine grössere effektive Maschenweite zur Folge als der Bau von Umfahrungsstrassen in der offenen Landschaft abseits der Siedlungen (Abbildung 49). Allgemein ist der Zweck dieser Massnahme, möglichst grosse Flächen zu erhalten, d.h. grosse Flächen durch den neuen Verkehrsweg möglichst wenig anzuschneiden. Diese Massnahme ist ähnlich zur vorherigen (Bündelung von Verkehrswegen), nur erfolgt hier die „Bündelung“ mit den bereits bestehenden Siedlungsflächen.

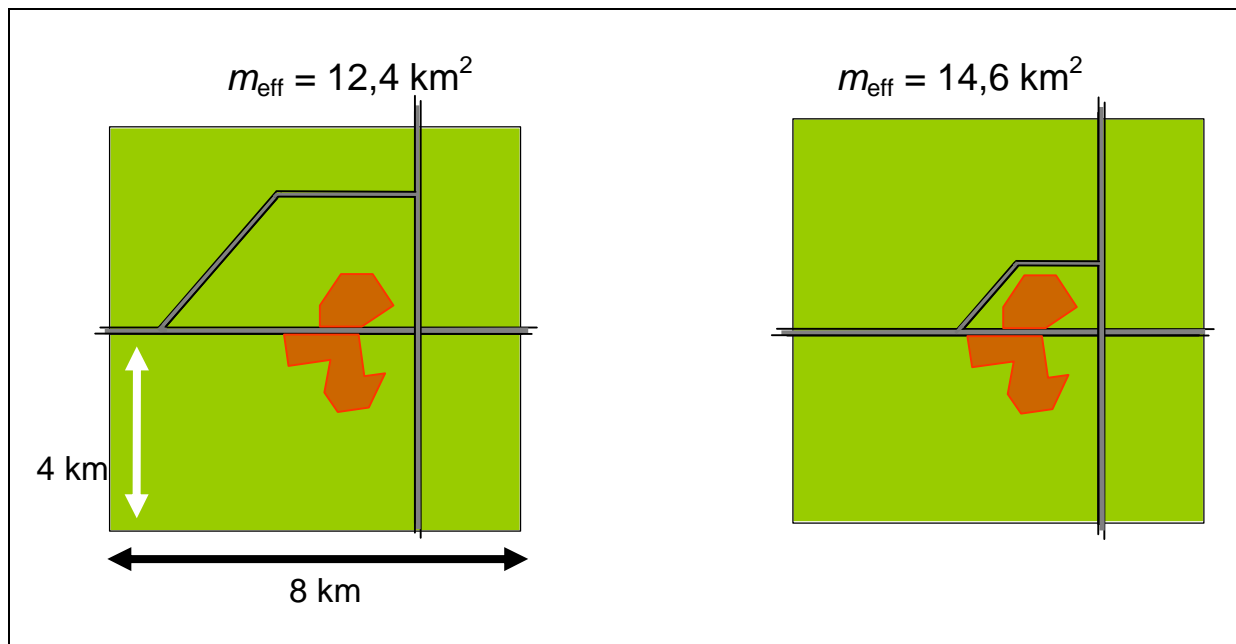


Abbildung 49: Schematisch dargestellter Einfluss der Lage einer Umfahrungsstrasse auf die effektive Maschenweite. Eine Linienführung nahe der Siedlung (rechts) hat eine grössere effektive Maschenweite zur Folge als der Bau der Strasse in grösserer Entfernung zur Siedlung (links).

6.2.5 Ausbau vor Neubau

Der Ausbau von Verkehrswegen verstärkt ihre Barrierewirkung, besonders wenn zugleich das Verkehrsaufkommen zunimmt. Gegenüber dem Neubau von neuen Verkehrswegen an anderem Ort ist ein Ausbau jedoch in aller Regel vorzuziehen, selbst wenn der Neubau gebündelt zu bestehenden Strecken verlaufen würde. Dies zeigt der Vergleich dieser Alternativen mit einem Simulationsmodell, mit dem die Überlebenswahrscheinlichkeit von Tierpopulationen berechnet wurde (JAEGER et al. 2006b). Die effektive Maschenweite wird durch den Ausbau entsprechend der Breitenzunahme des Verkehrswegs (bzw. des Lärmbandes in Abhängigkeit vom Verkehrskommen) um einen geringen Wert verkleinert. (Bei Anwendung einer detaillierteren Methode zum Einbezug der Barrierestärken, wie in Abschnitt 4.1.2 und 7.3 vorgeschlagen, würde die effektive Maschenweite die Zunahme der Barrierewirkung durch den Ausbau genauer wiedergeben.)

6.2.6 Oasenkonzept

Die Grundidee des Oasenkonzeptes besteht darin, für die Erholung geeignete Gebiete („Oasen“) und die Ortschaften vom überörtlichen Verkehr freizuhalten (ARBEITSKREIS STRASSEN IM VCD-KREISVERBAND LUDWIGSBURG 1996, JAEGER 2002). Dazu wird der Strassenverkehr auf wenige Strassen in deutlicher Entfernung von den Ortschaften zusammengeführt, und die Orte werden durch Stichstrassen angebunden. Die heutigen Strassen, welche den Verkehr direkt von Ort zu Ort führen, werden rückgebaut. Einzelne Verbindungen bleiben für den lokalen Verkehr erhalten (rückgebaut auf das Niveau von landwirtschaftlichen Wirtschaftswegen). In der Schweiz gibt es ein Beispiel für ein Gebiet, in dem ein entsprechendes Verkehrsnetz erstellt wurde (aufgrund der Topographie des Naturraums): der Napf im Emmental (Abbildung 50).

Wesentliche Vorteile dieses Konzeptes sind die völlige Entlastung der Orte vom Durchgangsverkehr und die Brechung des Trends zu immer neuen Umgehungsstrassen (welche anziehend auf das Wachstum der umfahrenen Siedlungsteile wirken) in der Umgebung der Orte. Die Anwendung der effektiven Maschenweite auf eine schematisierte Darstellung, welche die Verfahrensweise des Oasenkonzeptes vereinfacht wiedergibt, illustriert, dass der Grad der Landschaftszerschneidung durch das Oasenkonzept prinzipiell reduziert werden kann (JAEGER 1999: 235f.)

Dieses Konzept kann ebenfalls in der Landwirtschaft umgesetzt werden, z. B. im Zuge der voranschreitenden Restrukturierung, um zu ermitteln, wie beim Wegfall von Höfen das neu gestaltete Wegenetz idealerweise aussehen könnte.



Abbildung 50: Der Napf im Emmental ist ein Beispiel für die Entstehung eines Verkehrswegenetzes entsprechend dem Oasenkonzept. Kein Verkehrsweg durchschneidet den Napf, und die Orte werden durch Stichstrassen an das Verkehrswegenetz angebunden (rot = Autobahnen und 1.-Klass-Strassen, orange = 2.-Klass-Strassen, schwarz = 3.-Klass-Strassen; reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA071415)).

6.2.7 Änderung des Ausbaustandards von Strassen bei abnehmendem Verkehr, Flurwege

Bei zunehmendem Verkehrsaufkommen werden Strassen häufig ausgebaut. Wo immer möglich soll auch der umgekehrte Vorgang geplant und umgesetzt werden: Wird eine Strasse z.B. wegen einer neuen Umfahrungsstrasse nur noch von wenig, überwiegend lokalem Verkehr befahren, so soll ihr Ausbaustandard im Sinne von flankierenden Massnahmen zur Umfahrungsstrasse angepasst werden. Je nach Situation kann z.B. die Strasse bautechnisch verschmälert, eine Kernfahrbahn ausgebildet oder die Fahrbahn durch Markierung von Radstreifen optisch eingengt werden.

Landwirtschaftliche Flurwege sollten nur dort mit einem festen Belag versehen werden, wo dies wirklich nötig ist.

6.2.8 Sanierung der beeinträchtigten Wildtierkorridore von überregionaler Bedeutung und Stärkung des REN

Die Sanierung der beeinträchtigten und der weitgehend unterbrochenen Wildtierkorridore von überregionaler Bedeutung gemäss HOLZGANG et al. (2001) bzw. dem REN (BERTHOUD et al. 2004) ist eine wichtige Massnahme zur Erhaltung bzw. Wiederherstellung der Wanderungsmöglichkeiten von Grosssäugern und anderen Tierarten. An wichtigen Stellen sind Bauwerke als Querungshilfen erforderlich bzw. die unversehrten Wildtierkorridore sind vor weiterer Zerschneidung und Bebauung zu schützen. Dazu haben ASTRA und BAFU gemeinsam ein Programm erarbeitet, das unter anderem die Erstellung von 15 neuen Wildtierpassagen bis 2013 vorsieht (HOLZGANG et al. 2005) (vgl. Abschnitt 6.1). Das REN stellt den angestrebten Zielzustand auf dem Massstab 1:25'000 dar. Die Kantone sind aufgerufen, ihre Richt- und Nutzungsplanung entsprechend zu gestalten.

6.3 Raumordnungs- und Verkehrspolitik

6.3.1 Nationale Strategie zur „Defragmentierung“

Auf Bundesebene gibt es bereits zahlreiche Grundlagen und raumwirksame Instrumente, die direkt oder indirekt zu Gunsten einer „Entschneidung“ bzw. „Defragmentierung“ eingesetzt werden können. Beispiele sind das BLN-Inventar, der Sachplan Verkehr, das Landschaftskonzept Schweiz (BÜRGI 1998), das Nationale Ökologische Netzwerk (REN, BERTHOUD et al. 2004), die Korridore für Wildtiere in der Schweiz (HOLZGANG et al. 2001, HOLZGANG et al. 2005, UVEK 2001a, 2001b; Abschnitt 6.2.8) und ökologische Leistungen im Rahmen der Agrarpolitik 2007/11. Nachdem nun eine Methode vorliegt, mit der die „Zerschneidung“ räumlich konkret aufgezeigt werden kann, sollte die Aufgabe der „Defragmentierung“ in den bestehenden Instrumenten auf Bundesebene Eingang finden. Je nach Zuständigkeit sind entsprechende Ziele und Massnahmen zu ergänzen. Am wirkungsvollsten wäre es aber, wenn die Defragmentierung in die Überarbeitung des Landschaftskonzepts Schweiz (LKS) einfließen würde und den Bundesstellen verbindlich aufgezeigt würde, welche Massnahmen wo und mit welchen Mitteln umzusetzen sind.

Gegenüber der Entwicklung einer nationalen „Entschneidungsplanung“, wie sie GRAU (2005) überzeugend vorschlägt, kann eine klare Zuordnung von Defragmentierungsmassnahmen zu bestehenden Instrumenten den Vorteil haben, dass die Umsetzung der Massnahmen früher erfolgt (da die Zuständigkeiten geklärt sind) und sie besser mit anderen Massnahmen verbunden werden können. Um einen Überblick über die Massnahmen auf nationalem Massstab zu haben und regionale Stärken und Defizite besser zu erkennen, ist allerdings eine landesweite Dokumentation und Koordination sinnvoll.

6.3.2 Kantonale Konzepte, Sach- und Richtpläne

In verschiedenen Kantonen liegen ebenfalls Grundlagen und raumwirksame Instrumente vor, die direkt oder indirekt für eine Defragmentierung relevant sind: Kantonale Richtpläne, Landschaftsentwicklungskonzepte, kantonale Schutz- oder Vorranggebiete, Strassenplanungsprogramme usw.

Die Defragmentierung müsste nun auch auf kantonaler Ebenen verstärkt in die Grundlagen und raumwirksamen Instrumente Eingang finden. Dazu zwei Beispiele:

1. Das Landschaftsentwicklungskonzept des Kantons Thurgau besteht aus einem Konzept zur Landschaft und einem Konzept zu den Lebensräumen. Im Konzept Lebensräume sind nicht nur die Naturschutzgebiete und Waldräume auf einer Karte im Massstab 1:50'000 eingetragen, sondern auch wichtige Kerngebiete, Korridore und Barrieren. Im kantonalen Richtplan besteht ein Auftrag (behördenverbindlich) darin, dass die entsprechenden Ausbreitungshindernisse vom Kanton und den Gemeinden gezielt zu beseitigen oder durchlässiger zu machen sind.
2. Im Kanton Bern werden im Kantonalen Landschaftsentwicklungskonzept (KLEK, REGIERUNGSRAT BERN 1998) mehrere Ziele definiert, die sich direkt oder indirekt positiv für eine Defragmentierung auswirken:

- Förderung der Landschaftsaufwertung in kantonalen Aufwertungsgebieten (KLEK-Ziel 4),
- Aufbau eines kantonalen Verbundsystems durch Bund, Kanton, Regionen und Gemeinden (KLEK-Ziel 5),
- Erhaltung von überregionalen Wildwechselkorridoren (KLEK-Ziel 8),
- Erhaltung von noch wenig erschlossenen Landschaftskammern (KLEK-Ziel 10).

Gestützt auf das KLEK hat der Kanton ein detailliertes Konzept zum Abbau von Verbreitungshindernissen für Wildtiere erarbeitet (liegt im Entwurf vor), das im Detail die notwendigen Massnahmen aufzeigt. Dazu gehören Massnahmen am Bauwerk (Bau einer Wildtierpassage, Anpassungen eines bestehenden Bauwerkes, die Lenkung der Wildtiere usw.), Massnahmen zur Vernetzung und Aufwertung sowie Massnahmen zur Raumsicherung (raumplanerische Sicherung, Umzonungen, Schutz-zonen, landwirtschaftliche Massnahmen, Lenkung von Freizeit- und Naherholungsaktivitäten). Sie werden im Rahmen der Nutzungsplanung, des kantonalen Strassenbauprogramms oder bei anderen Tätigkeiten umgesetzt.

6.3.3 Siedlungsbegrenzung und überörtliche Standortplanung

Die Begrenzung von Siedlungsflächen durch die Festlegung von Siedlungsgrenzen, die Ausweisung von Siedlungstrenngürteln und Massnahmen zur Siedlungsentwicklung nach innen in der Richt- und Nutzungsplanung sind wesentliche Beiträge dazu, freie Flächen in der Landschaft zu erhalten. Siedlungstrenngürtel sind zudem als Wandermöglichkeit für Tiere wichtig, besonders wenn Wildtierkorridore darin verlaufen, sowie für die Lesbarkeit der Landschaft. Das Zusammenwachsen von Siedlungen führt hingegen zur völligen Undurchquerbarkeit für Tiere und zur Nichterkennbarkeit von Ortsgrenzen in der Landschaft.

Zudem sollte der Standortwettbewerb zwischen verschiedenen Gemeinden und Kantonen entschärft werden. Durch die Schaffung von regionalen Planungsinstrumenten kann der Zersiedelung und Zerschneidung der Landschaft vorgebeugt werden. Mittels interkommunaler Gewerbeflächen, wie sie z.B. KÖNIG & WUSCHANSKY (2005) vorschlagen, können mehrere Gemeinden gemeinsam einen Beitrag an eine flächensparende und somit auch zerschneidungsärmere Raumentwicklung leisten.

6.3.4 Landmanagement

Landmanagement (umfassende Melioration) hat zum Ziel, aufzuzeigen, wie man mit der Ressource Land nachhaltig umgehen kann. Sie befasst sich nicht nur mit der Erhaltung und Verbesserung von Infrastrukturen und Landwirtschaftsland durch Massnahmen wie Landumlegungen, Bodenverbesserungen und Infrastruktursanierungen, sondern mit einer Vielzahl von Aufgaben wie der Planung und Realisierung von verschiedensten Umnutzungen, der Förderung der ökologischen Vernetzung (Lebensraumverbund, Gewässeraufwertungen) und des Arten- und Biotopschutzes. Eine neue Art der Melioration wird im Siedlungs- und Industriegebiet immer wichtiger, indem für die Umnutzung von bestehenden Bauzonen (Flächenrecycling) gesorgt wird.

6.3.5 Ökologische und landschaftliche Aufwertungen

Wie bereits in Abschnitt 4.1.6 erwähnt, spielen bei einer Defragmentierung land- und forstwirtschaftliche Nutzungen eine wichtige Rolle. Massnahmen wie die ökologische Vernetzung der Landwirtschaft, die Verbesserung und Aufwertung von Gewässern, die Erhöhung der Strukturvielfalt entlang und in den Wäldern, tragen wesentlich zu einer qualitativen Verbesserung der ökologischen Vernetzung in der Region bei und erhöhen auch die Landschafts- und Erholungsqualität. Massnahmen zur Reduktion von Verbreitungshindernissen sollten immer auch mit Massnahmen zu ökologischen und landschaftlichen Aufwertungen verknüpft werden.

6.3.6 Raumbeobachtung (Monitoring)

Das Ziel dieser Massnahmen ist, den Zerschneidungsgrad und die Auswirkungen der Landschaftszerschneidung besser zu erfassen, zu verstehen und zu dokumentieren.

Auf Bundesebene soll der Indikator „effektive Maschenweite bzw. effektive Maschendichte“ Eingang finden in die Beobachtungssysteme des MONET (Indikatorensystem zum Monitoring der Nachhaltigen Entwicklung in der Schweiz), des NUD (Netzwerk Umweltdaten), des BDM (Biodiversitätsmonitoring) und des NISTRA (Nachhaltigkeits-Indikatoren für Strasseninfrastrukturprojekte), siehe Abschnitt 4.3. Auf kantonaler Ebene könnten bestehende kantonale Monitoring-Systeme (z.B. Aargau) oder Berichtserstattungen über den Vollzug der kantonalen Raumentwicklung ebenfalls mit dem Indikator der „effektiven Maschenweite bzw. Maschendichte“ ergänzt werden.

Mit der vorliegenden Arbeit ist ein grosser Schritt in Richtung einer standardisierten Fortschreibung der Zeitreihen zur Landschaftszerschneidung in der Schweiz getan. Diese lange Datenreihe sollte in regelmässigen Abständen fortgesetzt werden (z.B. alle 4 bis 6 Jahre).

6.3.7 Langfristige Siedlungs- und Infrastrukturplanung

Es sollten Zielvorstellungen entwickelt werden, wie künftige nachhaltige, zerschneidungsarme Verkehrssysteme ausgestaltet sein sollen und welche Szenarien sich für den dazu voraussichtlich erforderlichen Umbau daraus sowohl für die Siedlungs- als auch für die Verkehrssysteme ableiten lassen. Entsprechend sollte die Verkehrsplanung von der Nachfrageorientierung mehr und mehr auf eine Zielorientierung umgestellt werden. Erste Überlegungen zu solchen Umbauszenarien liefern BACCINI & OSWALD (1998) für das Beispiel einer urbanen Region im Schweizer Mittelland. Solche und weitere Überlegungen sollten im derzeit laufenden Prozess des Raumkonzepts Schweiz, bei der Weiterbearbeitung des Sachplans Verkehrs oder in die Nachhaltigkeitsstrategie des Bundesrates aufgenommen werden.

Als Grundlage dafür eignen sich Landschaftsleitbilder. Daher sollten Landschaftsleitbilder formuliert werden, einschliesslich der Ausweisung von regional und landesweit bedeutsamen unzerschnittenen Räumen, von Vorranggebieten für Entschneidungsmassnahmen und von Schwerpunktgebieten für den Rückbau von zerschneidenden Bauwerken. Zur Konkretisierung der Leitbilder, so dass ihr Erreichen überprüfbar wird, eignet sich die Aufnahme von Orientierungswerten oder Zielwerten für die Landschaftszerschneidung. Zur Festlegung von Ziel-, Richt- oder Grenzwerten siehe Kapitel 5. In Pilotprojekten sollte überprüft werden, ob sich eher Zielwerte oder eher Grenzwerte eignen (SACHVERSTÄNDIGENRAT FÜR UMWELTFRAGEN 1994, S. 126 Textziffer 248-250, S. 128 Textziffer 253; JAEGER 2001, STREMLow et al. 2003, PENN-BRESSEL 2005). Eine Begrenzung weiterer Zerschneidungen ist unter anderem nützlich, um die Langfristfolgen und Summenwirkungen der bisher erfolgten Zerschneidungen erfassen zu können. In wichtigen Lebensräumen, Grossschutzgebieten und ungeschmälert schützenswerten Landschaften wie den BLN-Gebieten wäre ein Moratorium für weitere Zerschneidungen sinnvoll. Unzerschnittene Räume (UZR) können in einem Inventar erfasst, beschrieben und raumplanerisch gesichert werden, da sie ein grosses Potenzial als Lebensräume für Tiere und als Erholungsräume für den Menschen haben. Der Vorschlag zielt darauf, dass in den verbliebenen UZR keine weiteren Zerschneidungen mehr stattfinden sollten, so dass ihre Grösse erhalten bleibt (STREMLow et al. 2003); dies gilt insbesondere für die UZR grösser als 100 km².

Um die Auswirkungen von Neuzerschneidungen abschätzen zu können, sind vermehrt Netzbetrachtungen nötig, die über das Betrachten des einzelnen Bauwerkes hinausgehen, d.h. es ist eine Strategische Umweltprüfung (SUP) für die Summenwirkungen erforderlich (z.B. UMWELTBUNDESAMT 2004, BAIER 2006). Hierfür wäre der Einsatz einer weiter ausgearbeiteten Methode für die effektive Maschenweite/-dichte sinnvoll, die unterschiedliche Barrierestärken der Verkehrswege einbezieht (siehe Abschnitt 7.3). Mittelfristig sollte die Konzeptentwicklung für ein umgestaltetes Verkehrssystem vorangebracht werden, das nicht auf fossilen Energieressourcen basiert (und langfristig unvermeidlich notwendig wird).

7. Anwendung der Ergebnisse und Ausblick

7.1 Verwendung der Resultate

Die vorliegende Studie dokumentiert die Entwicklung der Landschaftszerschneidung in der Schweiz mit einer Datenreihe von über 100 Jahren. Zugleich liefert sie eine Vergleichsgrundlage für Untersuchungen in anderen Ländern. Mittelfristiges Ziel ist es, europaweite Vergleichsdaten zu schaffen. Die Zeitreihen zur effektiven Maschenweite und -dichte ermöglichen den Vergleich mit früheren Zuständen und die Erkennung von Trendänderungen. Sie eignen sich sehr gut als Indikator für das Monitoring der nachhaltigen Entwicklung der Schweiz (MONET), als Indikator für den Einflussfaktor Erschliessungsdichte (E15) im Biodiversitätsmonitoring (BDM; KOORDINATIONSSTELLE BIODIVERSITÄTSMONITORING SCHWEIZ 2006), für das Landschaftsmonitoring und für das Netzwerk Umweltdaten (NUD) (siehe Abschnitt 4.3).

Von den vier Zerschneidungsgeometrien ist Zerschneidungsgeometrie 4 („Landflächen unterhalb 2100 m“) am vielseitigsten verwendbar und sollte daher auch für das MONET und das BDM ausgewählt werden. Die Daten eignen sich zudem als Indikator für das NISTRA (Nachhaltigkeitsindikatoren für Strasseninfrastrukturprojekte; vgl. Abschnitt 4.3.4). Um den Zugang zu den Daten zu erleichtern und um das Problembewusstsein in der Öffentlichkeit zu erhöhen, ist es sinnvoll, dass ein Bundesamt die Abbildungen zu den einzelnen Kantonen (Abschnitt 9.6) im Internet verfügbar macht.

Die vorhandenen Daten zur Landschaftszerschneidung in der Schweiz sind bereits in den neuen Umweltbericht des BAFU (BAFU, *im Druck*) und in die Umweltstatistik des BFS ("Umweltstatistik in der Tasche 2006"; BFS & BAFU 2006, S. 10) integriert worden. Aus der Fortführung der Datenreihe im MONET können das BDM, der Umweltbericht und die Umweltstatistik auch in Zukunft die jeweils aktuellen Werte übernehmen.

Neben der Fortschreibung der Datenreihen wird die Verwendung der Daten auf kantonaler Ebene von Bedeutung sein. Die Daten sollten in die kantonalen Umweltberichte aufgenommen werden. Das Beispiel des Umweltberichtes 2004 des Kantons Zürich (BAUDIREKTION KANTON ZÜRICH 2005) zeigt, dass Daten zur Landschaft sowie zur Situation der Zerschneidung bisher noch selten sind. Im Zehnjahresbericht zum Naturschutzgesamtkonzept des Kantons Zürich (BAUDIREKTION KANTON ZÜRICH 2006) werden die vorhandenen Daten bereits genutzt, wobei sie mit einem zusätzlichen Zeitschnitt (1996) für den Kanton Zürich versehen wurden. Der kantonale Richtplan des Kantons Bern aus dem Jahr 2002 definiert den Auftrag, ein Konzept zum längerfristigen Abbau der überregionalen Verbreitungshindernisse für Wildtiere zu erarbeiten (AMT FÜR GEMEINDEN UND RAUMORDNUNG et al. 2003), um die Durchgängigkeit des Kantons für wildlebende Wildtiere zu verbessern. Die vorliegende Zerschneidungsanalyse bietet eine weitere Grundlage für kantonale Konzepte zur Erhaltung und Vernetzung von Lebensräumen sowie für die Aufwertung der Landschaftsqualität.³⁴ Auch in den „Umweltdaten 2003 Baden-Württemberg“ und „Umweltdaten 2006 Baden-Württemberg“ wird die Landschaftszerschneidung (gemessen mit der effektiven Maschenweite) als Indikator geführt (LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG & STATISTISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG 2003, UMWELTMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG & LANDESANSTALT FÜR UMWELT, MESSUNGEN UND NATURSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG 2006). Der (rechtlich unverbindliche) Landesentwicklungsbericht Baden-Württemberg 2005 (WIRTSCHAFTSMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG 2005) greift ebenfalls das Thema Landschaftszerschneidung auf.

Anhand der vorliegenden Methode und Daten zur Landschaftszerschneidung können nationale und kantonale Massnahmen auf ihre Wirksamkeit hinsichtlich der Landschaftszerschneidung überprüft werden (vgl. Kapitel 6 und Abschnitt 7.2). Damit kann analysiert werden, ob die aufgestellten Postulate Beachtung finden und die gesetzten Ziele erreicht werden. Die Auswertung zur Wirksamkeit des BLN-Inventars bezüglich Landschaftszerschneidung im Abschnitt 3.2.6 des vorliegenden Berichts dient als Beispiel, wie eine Evaluation eines bestehenden Instrumentes vorgenommen werden kann. Die Auswertung zeigt, dass das BLN hinsichtlich der Landschaftszerschneidung wirksamer war als

³⁴ Zur Anwendung der Methode als Analyseinstrument, z. B. durch die Kantone, siehe Abschnitt 7.2.

hinsichtlich der Siedlungszunahme. Analoge Auswertungen zu anderen Instrumenten sind wünschenswert.

Da Indikatoren zum Zustand der Landschaft, zu ihrer Vielfalt und ihrem Charakter generell noch immer kaum verfügbar sind,³⁵ bietet es sich an, die Werte zum Grad der Landschaftszerschneidung auch für verschiedene landschaftsbezogene Analysen und Evaluationen auf Bundesebene und auf kantonaler Ebene zu verwenden.

Wichtig ist bei solchen und ähnlichen Anwendungen die Wahl der richtigen Zerschneidungsgeometrie (vgl. Abschnitt 2.1.1). Soll zum Beispiel, wie bei der Frage über die Wirksamkeit des BLN-Inventars, ausschliesslich der menschliche Einfluss auf die Landschaft gemessen werden, so dürfen die geogenen Elemente nicht als Trennelemente gewertet werden. Die Zerschneidungsgeometrien 2, 3 und 4 scheiden somit bereits aus, und Zerschneidungsgeometrie 1 („Zivilisationsdruck“) ist die richtige Wahl.

Die Ergebnisse sind planerisch umso besser verwendbar, je gezielter die Resultate mit Empfindlichkeitsuntersuchungen verknüpft werden. Dazu ist es hilfreich, Flächen zu identifizieren, für die die Zerschneidung mit besonders hoher Wahrscheinlichkeit negative Auswirkungen hat (z.B. Beeinträchtigung der Landschaftsqualität und der Erholungseignung, Verringerung der Chance zum Habitatwechsel oder zum notwendigen Individuenaustausch zwischen Teilpopulationen). Beeinträchtigt werden vor allem jene Tierarten, die aufgrund ihrer Habitatansprüche eine Kombination unterschiedlicher Landschaftselemente oder Teilhabitate oder spezielle Landschaftsstrukturen benötigen, sowie Tierarten, die ihre regionale Überlebensfähigkeit über eine erfolgreiche Metapopulationsdynamik gewährleisten müssen. Der Landschaftscharakter und die Eigenart der Landschaft scheinen generell umso empfindlicher gegenüber Zerschneidungen zu sein, je weniger „alltäglich“ sie sind und je mehr sie sich vom Charakter einer Agglomeration unterscheiden. Als ein nächster Schritt wäre daher eine detaillierte Interpretation der Daten für die einzelnen biogeographischen Regionen, Kantone und Bezirke mit Bezug auf ihre Landschaftsfunktionen und ihre Empfindlichkeit zu wünschen. Auf diesem Wege können planerisch-bewertende Aussagen gewonnen werden (z.B. regional bedeutsame unzerschnittene Räume, Schwerpunktbereiche für den Rückbau).

Für die künftige Entwicklung der Landschaftszerschneidung und Landschaftszersiedelung ist die gegenseitige Beeinflussung von Verkehrsplanung und Raumplanung wesentlich. Die Anordnung der Siedlungsflächen, insbesondere das Bauen ausserhalb der Bauzonen, ist von grosser Bedeutung für diesen Zusammenhang, und die Rückzonung von nicht dringend benötigten Bauzonen ist ebenso wie das Unterlassen des Bauens ausserhalb der Bauzonen eine entscheidende Voraussetzung, um Zersiedelung und Zerschneidung wirksam eindämmen zu können.³⁶ Grundsätzlich gilt es, neue, zerschneidungsärmere Raumordnungs- und Verkehrskonzepte zu entwickeln, die der Erhaltung von Freiräumen (vgl. dazu BAIER et al. 2006) und der Biodiversität mehr Rechnung tragen als bisher. Dazu sind mittelfristig auch Änderungen in der Verkehrs- und Siedlungspolitik erforderlich.

7.2 Nutzung der $m_{\text{eff}}/s_{\text{eff}}$ -Methode als Analyseinstrument

Ausser den Wildtierkorridoren und den Lebensräumen für Wildtiere sollten in den Landschaftsentwicklungskonzepten und Richtplänen der Kantone auch die Einflüsse der Zerschneidung auf die Landschaftsqualität und den Landschaftscharakter berücksichtigt werden. Diese Einflüsse werden durch den Bau von Wildtierpassagen nicht ausgeglichen oder rückgängig gemacht. Für diesen Themenbereich bieten das Sanierungskonzept für die Wildtierkorridore und das REN weder eine Analyse noch Lösungen an. Die Angaben zum Zerschneidungsgrad mit der effektiven Maschenweite bzw. Maschendichte sind hingegen für beide Themenbereiche nützlich.

Die Methode der effektiven Maschenweite und effektiven Maschendichte kann auf jeder Ebene, z.B. von den Kantonen, als Analyseinstrument vor Ort für die folgenden Zwecke genutzt werden:

1. *Quantitative Angaben zur Geschwindigkeit des Landschaftswandels seit 1885 hinsichtlich des Einflussfaktors Zerschneidung/Fragmentierung:* Werte für m_{eff} und s_{eff} , die für kleinere Regionen (z.B. Gemeinden) berechnet werden, können in die Diagramme mit den Werten für

³⁵ Die Entwicklung solcher Indikatoren erfordert nach KIENAST et al. (2006) eine intensive landschaftsökologische Forschungsarbeit. Wann sie tatsächlich zur Verfügung stehen werden, kann daher schwer vorhergesagt werden.

³⁶ Das parallel laufende Projekt zur Zersiedelung in der Schweiz im Rahmen des NFP 54 hat unter anderem das Ziel, die Korrelationen zwischen Zerschneidungsgrad und Zersiedlungsgrad zu ermitteln (JAEGER & BERTILLER 2006, JAEGER et al. in Vorb.).

den jeweiligen Kanton (Abschnitte 3.2.4 und 9.6), Naturraum (Abschnitte 3.2.2 und 3.2.3) oder Bezirk (Abschnitt 9.9) eingetragen und verglichen werden. Quantitative Angaben sind wichtig für zeitliche und räumliche Vergleiche, zur Dokumentation von Veränderungen und für das Monitoring, für das Erkennen von Trendänderungen und für überprüfbare Zielvereinbarungen (z. B. dass für bestimmte Erholungsqualitäten und zur Bewahrung des Landschaftscharakters maximal zulässige Zerschneidungsgrade festgelegt werden).

2. *Quantitative Angaben zur weiteren geplanten bzw. erwarteten Entwicklung:* Diese Werte sagen aus, um wie viel die für die nächsten Jahrzehnte geplanten Verkehrswege den Zerschneidungsgrad erhöhen werden, z.B. im Vergleich zur bisherigen Entwicklung. Dies schliesst Netzbetrachtungen ein, d.h. die kumulativen Wirkungen mehrerer Bauvorhaben (einschliesslich des Wachstums der Siedlungsflächen) auf die effektive Maschendichte.
3. *Vergleich des derzeitigen Zerschneidungsgrades und der Entwicklung von verschiedenen Regionen:* Beim Vergleich verschiedener Regionen müssen die naturräumlichen Unterschiede berücksichtigt werden (vgl. Kapitel 4). Hierzu wäre ein Vergleich interessant, wie stark die Regionen in Relation zu ihrer Einwohnerdichte und wirtschaftlichen Produktivität (und anderen relevanten Faktoren) zerschnitten sind, und in welchen Regionen das Wirtschaftswachstum parallel zum Anstieg der Landschaftszerschneidung verläuft und in welchen es erfolgreich vom Grad der Landschaftszerschneidung entkoppelt worden ist (siehe Abschnitt 7.3). Eine solche Untersuchung übersteigt allerdings den Rahmen des vorliegenden Projektes. Auch eine Ermittlung von Korrelationen zwischen dem Zerschneidungsgrad und dem Vorkommen und Bestand von Tierarten wäre von grossem Interesse (vgl. ROEDENBECK & KÖHLER 2006).
4. *Identifikation von Strecken für den Rückbau:* Damit können konkrete Vorschläge für den Rückbau von Verkehrswegen erarbeitet werden, der sich besonders positiv für die effektive Maschenweite/-dichte auswirken würde.
5. *Einbezug weiterer kleinerer Verkehrswege:* Auf diese Weise lässt sich ermitteln, wie viel jede Kategorie von Verkehrswegen zur Gesamtzerschneidung beiträgt (vgl. Abbildung 35 in Abschnitt 4.1.1 für den Vergleich von 2.-, 3.- und 4.-Kl.-Strassen). Diese Werte können z. B. als ein Gefährdungsfaktor für derzeit noch bestehende Vernetzungen dienen, denn die bestehenden kleineren Verkehrswege sind Anzeichen dafür, wo bei steigendem Verkehrsaufkommen künftig ein Ausbau geplant werden könnte. Ein Beispiel: Grosse unzerschnittene Flächen nach ZG 2 („Trennelemente bis 2.-Kl.-Strassen“), die von 3.-Klass-Strassen durchzogen sind, stehen in der Gefahr, dass eine oder mehrere 3.-Klass-Strassen zu 2.-Klass-Strassen aufgewertet werden und die Zerschneidung damit auch auf Ebene der ZG 2 ansteigt.
6. *Planung:* Verschiedene Planungsvarianten für Verkehrswege und Siedlungsgebiete können hinsichtlich ihrer Auswirkung auf die effektive Maschendichte miteinander verglichen werden. Dabei sollten nicht nur einzelne Planungsvorhaben betrachtet werden, sondern die Summenwirkung aller für die Zukunft geplanten Eingriffe und ihr Zusammenspiel sollten gemeinsam betrachtet werden (z. B. in der SUP).³⁷ Für den Themenbereich Landschaftsqualität kann die Methode zu diesem Zweck auch noch weiterentwickelt werden durch den Einbezug von Wertstufen hinsichtlich der Eigenart oder Erholungsqualität und durch den Einbezug von Lärmbändern, z.B. für die Beurteilung des Landschaftscharakters. Für den Themenbereich der Lebensräume für Tierpopulationen kann die Methode weiterentwickelt werden durch den Einbezug von Wertstufen hinsichtlich der ökologischen Qualität der betroffenen Flächen (z. B. nach KAULE 1991) und durch Einbezug der Überquerungswahrscheinlichkeiten von Verkehrswegen und von Querungsbauwerken (wie in Abschnitt 4.1.2 erläutert, vgl. Abschnitt 7.3). Die Methode eignet sich damit zur Bilanzierung von Eingriffen und Ausgleichsmassnahmen hinsichtlich des Zerschneidungsgrades. Die Höhe von Ausgleichszahlungen könnte an die nicht ausgeglichene Zunahme des Zerschneidungsgrades gekoppelt werden.

Die grosse Stärke der Methode liegt darin, quantitative Aussagen zu machen. In der heutigen Zeit, in der quantitative Aussagen oft stärkeres Gewicht erhalten als qualitative, ist dies eine notwendige Voraussetzung, um dem Thema der Landschaftszerschneidung die Berücksichtigung zu geben, die es

³⁷ Ein Beispiel ist die Planung mehrerer neuer Verkehrswege, für die bei der Einzelbetrachtung möglicherweise nur die Bündelung mit den bereits bestehenden Verkehrswegen vorteilhaft erscheint. Bei gemeinsamer Betrachtung könnten alle neuen Verkehrswege miteinander an einem neuen Ort gebündelt werden, und zum Ausgleich könnte ein anderer, jetzt nicht mehr benötigter Verkehrsweg rückgebaut werden. Nur bei der gemeinsamen Betrachtung kommt diese Möglichkeit ins Blickfeld.

erfordert. Mit dem quantitativen Ansatz sind aber auch einige Gefahren verbunden. Der Einsatz von quantitativen Grössen sollte nicht zum Ziel haben, qualitative Wahrnehmungen, z. B. zum Landschaftscharakter, durch quantitative Angaben zu ersetzen. Quantitative Angaben können aber qualitative Beobachtungen untermauern, z. B. dass die Verlärmung und Unruhe in einer Landschaft um ein bestimmtes Mass zugenommen hat. Qualitative Betrachtungen bilden die Grundlage. Sie können durch quantitative Angaben belegt und zum Teil auch präzisiert, aber nicht ersetzt werden (vgl. JAEGER & BERTILLER 2006). Damit bezeichnen die qualitativen Betrachtungen auch die Grenzen, wie weit der Einsatz von quantitativen Messgrössen überhaupt sinnvoll ist.

7.3 Weiterer Forschungsbedarf

Die vorliegende Datenreihe sollte weiter fortgesetzt werden (z. B. alle fünf Jahre). Dies ist auf Grundlage der periodisch aktualisierten digitalen Datenbasis (VECTOR25) mit relativ geringem Aufwand möglich.

Relevante Forschungsfragen für künftige Untersuchungen sind:

1. Wie gross ist der Beitrag kleinerer Verkehrswege (z.B. von 4.-Kl.-Strassen) zur Landschaftszerschneidung?³⁸ Besonders auf kantonaler Ebene wäre der Einbezug noch kleinerer Strassen- bzw. Wegkategorien in eine neue Zerschneidungsgeometrie sinnvoll (z.B. mit 4.-Kl.-Strassen), um damit eine noch detailliertere Auskunft über den Zerschneidungsgrad der Landschaft zu erhalten. Eine solche Untersuchung wäre sowohl aus wissenschaftlichem Interesse als auch aus praktischer Sicht lohnend, z.B. hinsichtlich des Zusammenhangs zwischen der Landwirtschaft (Bau von 4.-Kl.-Strassen) und der Landschaftseignung für die Erholung. Hierbei geht es weniger um die direkten Einflüsse auf Tier- und Pflanzenpopulationen, sondern um Aspekte wie die räumliche Verbreitung von Lärm (z.B. durch Quads auf land- und forstwirtschaftlichen Wegen) und den erhöhten Nutzungsdruck aufgrund der engmaschigeren Erschliessung ehemals abgelegener Landschaftsbereiche für Fahrzeuge. (Es handelt sich hier also um zwei unterschiedliche Perspektiven, mit denen jeweils die Landschaft analysiert wird.)
2. Hinsichtlich der Eigenart und des Erholungswertes von Landschaften und des Landschaftsbildes wäre es aufschlussreich, die Zerschneidung durch Hochspannungsleitungen in einer weiteren Zerschneidungsgeometrie mit zu berücksichtigen.
3. Wie gross wird die effektive Maschenweite/-dichte sein, wenn alle geplanten Verkehrswege (aus dem Sachplan Verkehr des Bundes und den kantonalen Richtplänen) umgesetzt werden? Aussagen zur künftigen Entwicklung der Landschaftszerschneidung aufgrund von heute geplanten Verkehrswegen lassen sich mit der Trendfortschreibung vergleichen, um zu beurteilen, ob sich der Trend voraussichtlich verlangsamten wird (und wie stark) oder nicht. Daher schlagen wir die Berechnung des Zerschneidungsgrades auf Basis der bereits geplanten Umfahrungsstrassen und Grossprojekte in einem Nachfolgeprojekt vor. Dabei sollte auch das voraussichtliche Wachstum der Siedlungsflächen eingezogen werden.³⁹
4. Wie stark sind die Wildtierkorridore und ihre Umgebung zerschnitten und wie stark hat sich ihr Zerschneidungsgrad im Zeitablauf (seit 1885) verändert? Welche Zusammenhänge bestehen zwischen der Zunahme ihrer Zerschneidung und ihrem derzeitigen Erhaltungszustand (siehe Abschnitt 4.3.5)? In einem weiteren Nachfolgeprojekt sollte zu jedem Wildtierkorridor (und in seiner Umgebung) die effektive Maschenweite/-dichte für alle fünf Zeitschnitte berechnet werden und bestimmt werden, wie stark sie sich in den letzten Jahrzehnten verändert hat. Es ist zu vermuten, dass Wildtierkorridore, deren Zustand beeinträchtigt ist, vorwiegend in Gebieten mit kleinen Maschenweiten liegen bzw. in Gebieten, deren Maschenweiten in den letzten Jahrzehnten stark abgenommen haben. Diese Hypothesen sollten in einer Korrelationsanalyse zwischen dem Korridorzustand und der Maschenweite systematisch überprüft werden. Zudem ist ein geringer Wert (sowie eine starke Abnahme) der effektiven Maschenweite ein Anzeichen

³⁸ Vgl. Abschnitt 4.1.2; siehe auch die geplante Erfassung des Zerschneidungsgrades in mehreren Abstufungen (Zerschneidungsgeometrien) für das Landschaftsmonitoring (KIENAST et al. 2006).

³⁹ Hierfür stehen Daten aus dem Projekt „Landschaftszersiedelung Schweiz“, das derzeit im Rahmen des NFP 54 von denselben Autoren bearbeitet wird, zur Verfügung.

dafür, dass die Wildtierkorridore in Gefahr sind, dass sich ihr Zustand in Zukunft aufgrund des hohen Siedlungs- und Verkehrsdruckes weiter verschlechtert. Die Werte der effektiven Maschenweite/-dichte könnten somit als Gefährdungsindikator für die künftige Funktionalität der Wildtierkorridore verwendet werden. Die Wildtierkorridore können dann in Gefährdungsklassen zusammengefasst werden.

5. Wie verändern sich die Resultate, wenn die Breite der Verkehrswege und die Ausdehnung der Störungsbänder (z.B. Lärm) zu beiden Seiten mit einbezogen werden („road effect zone“, vgl. FORMAN & DEBLINGER 2000)? Die Breite der Störungsbänder hängt vom Verkehrsaufkommen ab.⁴⁰ Auf diesem Weg kann der Anstieg des Verkehrsaufkommens in den Werten der effektiven Maschenweite und -dichte indirekt mit berücksichtigt werden. Über Kriterien für „Ruhe“ (zur Bestimmung der Breite der Störbänder) kann mit diesem Ansatz auch die Grössen und die Fragmentierung der verbliebenen Ruheräume in der Schweiz ermittelt werden
6. Wie verändern sich die Resultate, wenn die unterschiedlichen Barrierestärken zwischen 0 und 100% in der Formel für die effektive Maschenweite und -dichte einbezogen werden? In den bisher verwendeten Zerschneidungsgeometrien 1 bis 4 werden die Verkehrswege je nach ihrer Klassierung in den Landeskarten als vollständige Barriere gewertet oder nicht berücksichtigt. Mit einer detaillierteren Methode (JAEGER 2002: Kap. 6.5; JAEGER, in Vorb.) (oder mit einer anders definierten Zerschneidungsgeometrie⁴¹) kann auch die positive Wirkung von Wildtierpassagen in die effektive Maschenweite einfließen (vgl. Abschnitte 4.1.2 und 6.2.1),⁴² d.h., es können künftig auch solche Querungshilfen in die Berechnung der effektiven Maschenweite einbezogen werden, die eine partielle Aufhebung der Barrierewirkung erzielen; ähnlich wie die unterschiedliche Barrierestärke in Abhängigkeit vom Verkehrsaufkommen und der Bauart des Verkehrsweges in die effektive Maschenweite einbezogen werden kann (siehe Abschnitt 4.1.4). Daher sollte zu diesem Zweck in einem Nachfolgeprojekt ein entsprechendes Berechnungs-Tool entwickelt werden. Ein solches Tool wäre auch für die Bestimmung der Linienführung von Verkehrswegen in Hinblick auf die Minimierung der Zerschneidung verwendbar. Dadurch werden die Resultate zum Zerschneidungsgrad artspezifisch, da ein Verkehrsweg auf unterschiedliche Tierarten unterschiedlich stark wirkt. Das Wissen über die Barrierewirkung der verschiedenen Verkehrswege ist allerdings noch sehr lückenhaft (siehe unten). Anhand empirischer Daten für einzelne Tierarten und des Wissens über Barrierewirkungen der Strassen (z. B. durch Modellrechnungen wie bei HELS & BUCHWALD 2001) sollte die Berechnung der effektiven Maschenweite für bestimmte Tierarten erfolgen. Hinsichtlich der Landschaftsqualität, z. B. wie stark der Verkehrsweg als Bruch in der Landschaft empfunden wird, werden die Resultate dadurch von der jeweils betrachteten Eigenschaft der Landschaft abhängig.
7. Wie verändern sich die Resultate, wenn die Qualitäten der betroffenen Flächen durch Wertstufen einbezogen werden? Die bisherige Anwendungsweise berücksichtigt nur die Grössen der Flächen. Hochwertige Flächen könnten durch Wertstufen stärker gewichtet werden als geringwertige Flächen (z.B. nach KAULE 1991). Dann würde sich die Zerschneidung einer kleineren hochwertigen Fläche genauso auf die effektive Maschenweite und -dichte auswirken wie die Zerschneidung einer grösseren geringwertigen Fläche. Auch hier hängen die Resultate dann von der jeweils bewerteten Qualitätseigenschaft ab. Von Interesse wäre auch, die Massnahmen des ökologischen Ausgleichs mit einzubeziehen.
8. Wie kann die Methode der effektiven Maschenweite und -dichte als Bewertungsinstrument und Planungsinstrument künftig in der UVP und SUP eingesetzt werden? Welche Weiterentwicklungen zur Methode wären dazu erforderlich? Mit diesen Verfeinerungen könnte die Methode zur Optimierung der Konfiguration des Verkehrsnetzes eingesetzt werden.
9. Aufschlussreich für das Verständnis und die Interpretation der Ergebnisse wären systematische Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen dem Zerschneidungsgrad und sozio-ökonomischen und physischen Eigenschaften der Regionen (z. B. Wirtschaftsproduktion, Einwohnerdichte, Anteil der Siedlungsfläche, Meereshöhe, Reliefenergie, Waldanteil). Hiermit kann die

⁴⁰ siehe z. B. ESSWEIN et al. (2002) mit Ergebnissen für Baden-Württemberg für den Vergleich mit/ohne Einbezug von Lärm-bändern.

⁴¹ bei der Grünbrücken ab 50 m Breite als Unterbrechungen des Verkehrsweges dargestellt werden.

⁴² Es wäre nötig, ein entsprechendes Berechnungswerkzeug zur Anwendung im GIS zu programmieren, da diese Berechnung deutlich komplizierter ist als bei der bisherigen Anwendungsweise.

Frage untersucht werden, wie stark eine Region in Relation zu ihrer Einwohnerdichte und wirtschaftlichen Produktivität und anderen relevanten Faktoren zerschnitten ist, und in welchen Regionen das Wirtschaftswachstum parallel zum Anstieg der Landschaftszerschneidung verläuft und in welchen es vom Grad der Landschaftszerschneidung entkoppelt ist. Sehr interessant wäre es, Artverbreitungen mit den Ergebnissen der vorliegenden Studie zu vergleichen.⁴³ Korrelationsanalysen zwischen dem Zerschneidungsgrad und dem Vorkommen von Arten könnten über die Auswirkungen Auskunft geben (z.B. im Rahmen einer Habitatsignungsmodellierung; DORMANN et al. 2004).⁴⁴ Überlagerungen mit dem Vorkommen und den Rückgangstendenzen von Arten, insbesondere Arten von Roten Listen, könnten künftig zeigen, inwieweit der Bestand und der Verlust unzerschnittener Räume die Situation der Arten widerspiegeln (vgl. ESSWEIN et al. 2003). Interessant wäre auch ein Vergleich von Fallwildzahlen (die kantonal erhoben werden) mit den vorliegenden Zerschneidungsdaten: Gibt es vor allem dort viel Fallwild, wo die effektive Maschenweite besonders gering ist (vgl. dazu entsprechende Ergebnisse von ROEDENBECK & KÖHLER 2006)?

10. Die Schwellenwerte, z. B. in den Wirkungen steigender Strassendichte auf die langfristige Überlebenswahrscheinlichkeit von Tierpopulationen (vgl. Abschnitt 5.1), sollten in langfristigen und grossräumigen wissenschaftlichen Untersuchungen erforscht werden.
11. Wie kann eine Umstellung von der bedarfsorientierten Planung auf eine leitbildorientierte Planung eingeleitet werden? Wie kann die Entwicklung von Zielvorstellungen organisiert werden, wie künftige nachhaltige Verkehrssysteme aussehen könnten und welche Umbauszenarien sich daraus (im Sinne eines „Back-tracking“) ableiten lassen?

Grundlegender Forschungsbedarf besteht darin, die Auswirkungen von Verkehrswegen auf Tierpopulationen besser zu erfassen. Wie verhalten sich Tiere an Verkehrswegen, und wie wirken sich Verkehrsmortalität und Isolationseffekt auf die Populationsdynamik aus? Welcher Verkehrsweg ist ab welcher Verkehrsstärke für welche Tierart eine Barriere? Im Rahmen solcher Untersuchungen wäre es interessant, die vorliegende Methode für eine bestimmte Tierart anhand empirischer Daten zu präzisieren. Verbreitungsdaten, z.B. über Feldhasen, könnten hinsichtlich der Barrierewirkung von Verkehrswegen ausgewertet werden. Danach liesse sich die Querungswahrscheinlichkeit für jeden Verkehrsweg in die effektive Maschenweite einbeziehen und eine neue differenziertere Zerschneidungsstudie (für einzelne Tierarten) über die ganze Schweiz erstellen. Zusätzlich könnte man die Landnutzung (zwischen den Verkehrswegen und Siedlungen) durch Wertstufen einbeziehen, basierend auf einem Habitatsignungsmodell.

Der Einsatz von Zäunen gilt bei Hochleistungsstrassen und -bahnen als ein unverzichtbares Mittel der Sicherheit für den Menschen. Zäune schützen Wildtiere zwar vor Kollisionen mit Fahrzeugen (und die Fahrzeuge vor Kollisionen mit Wildtieren), verstärken jedoch den Barriere-Effekt des Verkehrsweges erheblich (z.B. JAEGER & FAHRIG 2004); ähnliches gilt für Lärmschutzwände. Für künftige Entscheidungen über den Einsatz von Zäunen sollten die Folgen ihrer hohen Barrierewirkung auf Tierpopulationen besser erforscht werden, damit dies spezifischer in der Planung berücksichtigt werden kann. Weitgehend unklar ist jedoch, in welchen Situationen Zäune sich vorteilhaft oder nachteilhaft auf Tierpopulationen auswirken. JAEGER & FAHRIG (2004) haben mit einem Simulationsmodell aufgezeigt, dass Zäune ab einer bestimmten Verkehrsstärke aus Sicht der Population sinnvoll sein können, um den Populationsrückgang zu verlangsamen, doch oft nur als eine Zwischenlösung und nicht als dauerhafte Lösung. Hierzu sind weitere wissenschaftliche Abklärungen erforderlich (z.B. Vergleich mit anderen Modellen), bevor konkrete Schlussfolgerungen für die Praxis gezogen werden können. Es wäre anschliessend genauer zu untersuchen, entlang welcher Verkehrswege Zäune vorteilhaft sind und wo sie den Populationen mehrheitlich schaden. Daraus könnten direkte Handlungsempfehlungen abgeleitet werden. Auch die Wirkungen von landwirtschaftlichen Zäunen und Flugplatzabzäunungen sollten untersucht werden.

Wie wirksam sind Entschneidungsmassnahmen? Wie kann ihre Wirksamkeit evaluiert werden (Kriterien und Methoden)? Bei dem Versuch, den Erfolg eines Entschneidungsplans auf Bundesebene zu messen, stellen sich ähnliche Schwierigkeiten wie bei der Aufgabe, die negativen Wirkungen von

⁴³ Ein Vergleich der effektiven Maschenweite mit der Grösse der Minimalareale von dauerhaft lebensfähigen Tierpopulationen (soweit bekannt) kann ebenfalls zur Interpretation der Werte hilfreich sein (sowie mit der Grösse der Streifgebiete, mit Dispersal-Distanzen und Migrations-Distanzen).

⁴⁴ Erste Ergebnisse dieser Art geben ROEDENBECK & KÖHLER (2006) für Hessen und POGGESI (2006) für die Lombardei (Italien).

Verkehrswegen auf Tierpopulationen zu ermitteln. Generell sollen die Massnahmen die Landschafts- vernetzung wieder erhöhen und ökosystemare Prozesse zwischen Habitatflächen und über Land- schaften hinweg wiederherstellen. Es gibt hierzu mehrere Ansatzpunkte, die sich in der Kausalkette von Abbildung 44 (Abschnitt 5.1) anordnen lassen (d.h. eher näher an den Einwirkungen oder eher näher an den Auswirkungen). Neben dem üblichen Monitoring zu Querungsraten von Wildtier- passagen sind weitere Kriterien beispielsweise die Verringerung der Häufigkeit von Kollisionen mit Fahrzeugen (in Relation zur Populationsgrösse), höhere Häufigkeit von erfolgreichen Querungen über den Verkehrsweg, Anwesenheit der Art auf beiden Seiten des Verkehrswegs, Genaustausch über den Verkehrsweg hinweg, Erholung von reduzierten Reproduktionsraten und verschobenen Geschlechter- verhältnissen, Rekolonisationserfolg, Ausgleich von verschobenen Weidungsintensitäten auf beiden Seiten des Verkehrswegs und Ausgleich von verschobenen Fangraten von Beutetieren auf den beiden Seiten des Verkehrswegs (FORMAN et al. 2003: 149-167). Meistens erfordert dies Daten von der Situation vorher, d.h. sowohl vor der Entschneidungsmassnahme sowie vor dem Bau des Ver- kehrsweges (andernfalls ist nicht bekannt, ob z. B. die Weidungsintensitäten durch den Verkehrsweg verschoben worden waren). Vorschläge für entsprechende Untersuchungsdesigns machen ROEDEN- BECK et al. (im Druck). Besonders nützlich sind Telemetrieuntersuchungen zur Frage, wie weit und auf welchen Wegen sich die Tiere fortbewegen (vor und nach dem Bau eines Verkehrsweges sowie vor und nach der Umsetzung der Defragmentierungsmassnahmen). Um von den empirischen Daten auf populationsdynamische Prozesse zu schlussfolgern, sind Simulationsmodelle oftmals unentbehrlich. Die ökologische Modellierung besitzt ein grosses Potenzial als ein Werkzeug in der Ermittlung (und Quantifizierung) von Zerschneidungswirkungen auf die Landschafts vernetzung (*landscape connec- tivity*) und auf die Überlebenswahrscheinlichkeiten von Tierpopulationen. Dieses Potenzial, entschei- dungsunterstützende Informationen zu liefern, sollte künftig ausgebaut und weit stärker genutzt werden als bisher.

Ein gravierendes Problem besteht allerdings darin, dass sich die negativen Folgen der Habitatzer- schneidung und -zerstückelung für eine Population meist erst nach Jahrzehnten zeigen, wie es die Arbeit von FINDLAY & BOURDAGES (2000) für den Artenreichtum in Feuchtgebieten nachweist. Es ist daher mit erheblichen Zeitverzögerungen zwischen den Eingriffen und den Auswirkungen zu rechnen, insbesondere sind in den kommenden Jahrzehnten weitere Bestandverluste als Folge der bereits durchgeführten Landschaftseingriffe wahrscheinlich. Da Tierpopulationen mit grossen Zeitverzöge- rungen auf die Verkleinerung und Zerteilung ihrer Lebensräume reagieren, kann es für stabilisierende Massnahmen schon zu spät sein, wenn ein Rückgang der Populationen dokumentiert wird. Ausser- dem ist für die meisten Tierarten nicht bekannt, welche minimale Lebensraumgrössen sie noch ver- kraften können, ohne dass ihr dauerhaftes Überleben aufs Spiel gesetzt wird. Daher ist es wichtig, möglichst alle Verkleinerungen von Lebensräumen und alle bestehenden Trennelemente bei der Ermittlung des Zerschneidungsgrades von Landschaften zu erfassen.

8. Literatur

Abkürzungen:

ARE	Bundesamt für Raumentwicklung
ASTRA	Bundesamt für Strassen
BAFU	Bundesamt für Umwelt
BFS	Bundesamt für Statistik
BUWAL	Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (jetzt BAFU)
UVEK	Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation
VSS	Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute

AMT FÜR GEMEINDEN UND RAUMORDNUNG (AGR), AMT FÜR LANDSCHAFT UND NATUR (LANAT), KOORDINATIONSSTELLE FÜR UMWELTSCHUTZ (KUS), TIEFBAUAMT (TBA) DES KANTONS BERN, BUNDESAMT FÜR STRASSEN (ASTRA) UND BUNDESAMT FÜR UMWELT, WALD UND LANDSCHAFT (BUWAL) (Hrsg., 2003): *Konzept zum Abbau von Verbreitungshindernissen für Wildtiere im Kanton Bern*. Bern, 30 S.

ARBEITSKREIS STRASSEN IM VCD-KREISVERBAND LUDWIGSBURG (Hrsg., 1996): *Positionspapier Oasen-Konzept: Vision 2020*. Hrsg. vom Verkehrsclub Deutschland (VCD). Autor: T. Wolf. Selbstverlag, VCD, Ludwigsburg, 20 S.

BACCINI, P. & OSWALD, F. (Hrsg., 1998): *Netzstadt: Transdisziplinäre Methoden zum Umbau urbaner Systeme*. Vdf Hochschulverlag Zürich, 252 S.

BAIER, H. & HOLZ, R. (2001): Landschaftszerschneidung als Naturschutzproblem: Die Wirkungen und ihre Vermeidungsstrategien. *Naturschutzarbeit in Mecklenburg-Vorpommern*, 44 (1): 11-27.

BAIER, H. (2006): 14.3.2 *Strategische Umweltprüfung*. S. 460-463. In: BAIER, H., ERDMANN, F., HOLZ, R. & A. WATERSTRAAT (Hrsg., 2006): *Freiraum und Naturschutz. Die Wirkung von Störungen und Zerschneidungen in der Landschaft*. Springer, Berlin. Heidelberg, 692 S.

BAIER, H., ERDMANN, F., HOLZ, R. & WATERSTRAAT, A. (Hrsg., 2006): *Freiraum und Naturschutz. Die Wirkung von Störungen und Zerschneidungen in der Landschaft*. Springer, Berlin. Heidelberg, 692 S.

BASCOMPTE, J. & SOLÉ, R.V. (1996): Habitat fragmentation and extinction thresholds in spatially explicit models. *Journal of Animal Ecology* **65**: 465-473.

BASTIAN, O. & SCHREIBER, K.-F. (Hrsg., 1994): *Analyse und ökologische Bewertung der Landschaft*. Gustav-Fischer-Verlag, Jena und Stuttgart. 502 S.

BAUDIREKTION KANTON ZÜRICH (Hrsg., 2005): *Umweltbericht für den Kanton Zürich 2004*. Zürcher Umwelt Praxis, Zürich, 103 S.

BAUDIREKTION KANTON ZÜRICH (Hrsg., 2006): *10 Jahre Naturschutz-Gesamtkonzept für den Kanton Zürich 1995-2005. Stand der Umsetzung*. Fachstelle Naturschutz Kanton Zürich, Zürich, 87 S.

BAUR, B. & ERHARDT, A. (1995): Habitat fragmentation and habitat alterations: principal threats to most animal and plant species. *GAIA* **4**: 221-226.

BECK, O. (1956): Oasen der Ruhe für den Wanderer. *Veröffentlichungen der Landesanstalt für Naturschutz und Landschaftspflege Baden-Württemberg* **24**: 72-79.

BEHRENS, H. (2006): „Freiraum“ und „Freifläche“ in der Geschichte der räumlichen Planung und des Naturschutzes. S. 81-102. In: BAIER, H., ERDMANN, F., HOLZ, R. & WATERSTRAAT, A. (Hrsg.): *Freiraum und Naturschutz. Die Wirkung von Störungen und Zerschneidungen in der Landschaft*. Springer, Berlin. Heidelberg, 692 S.

BEISSINGER, S. & McCULLOUGH, D.R. (2002): *Population Viability Analysis*. University of Chicago Press, Chicago.

- BERTHOUD, G., LEBEAU, R.P. & RIGHETTI, A. (2004): *Nationales ökologisches Netzwerk REN. Schlussbericht*. Schriftenreihe Umwelt Nr. 373. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, 131 S.
- BINSWANGER, M., BELTRANI, G., JOCHEM, A. & SCHELSKE, O. (2005): *Wachstum und Umweltbelastung: Findet eine Entkoppelung statt?* Umwelt-Materialien Nr. 198. Herausgegeben vom Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, 178 S.
- BIZER, K. & BERGMANN, E. (1998): Steuerung der Flächeninanspruchnahme über preisliche Anreize. *Zeitschrift für angewandte Umweltforschung*, **11**(3/4): 358-377.
- BLAB, J. (1990): Die roten Listen werden länger – warum? In: ELLENBERG, H. (Hrsg.): *Eutrophierung – das gravierendste Problem im Naturschutz?* Norddeutsche Naturschutzakademie-Berichte **2** (1): 42–45.
- BÖTTCHER, M., RECK, H., HÄNEL, K. & WINTER, A. (2005): Lebensraumkorridore für Mensch und Natur in Deutschland. *GAIA* **14** (2): 163-166.
- BUND/MISEREOR (Hrsg., 1996): *Zukunftsfähiges Deutschland – Ein Beitrag zu einer global nachhaltigen Entwicklung*. Birkhäuser, Basel.
- BUNDESAMT FÜR LANDESTOPOGRAFIE (Hrsg., 2004a): *VECTOR25 – Das digitale Landschaftsmodell der Schweiz*. Produkteinformation, 29 S.
- BUNDESAMT FÜR LANDESTOPOGRAFIE (Hrsg., 2004b): *DHM25 – Das digitale Höhenmodell der Schweiz*. Produkteinformation, 15 S.
- BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ (Hrsg., 1999): *Daten zur Natur 1999*. Landwirtschaftsverlag, Bonn.
- BUNDESAMT FÜR RAUMENTWICKLUNG (Hrsg., 2005): *Raumentwicklungsbericht 2005*. Bern, 116 S.
- BUNDESAMT FÜR STATISTIK (BFS) & BUNDESAMT FÜR UMWELT (BAFU) (Hrsg., 2006): *Umweltstatistik Schweiz in der Tasche 2006*. Schweizerische Eidgenossenschaft, Bern.
- BUNDESAMT FÜR STATISTIK (BFS), BUNDESAMT FÜR UMWELT, WALD UND LANDSCHAFT (BUWAL) & BUNDESAMT FÜR RAUMENTWICKLUNG (ARE). (Hrsg. 2003): *Monitoring der nachhaltigen Entwicklung MONET. Schlussbericht – Methoden und Resultate*. Neuchâtel, 52 S.
- BUNDESAMT FÜR STATISTIK (Hrsg., 2005): *Arealstatistik Schweiz: Zahlen - Fakten - Analysen*. Neuchâtel, 99 S.
- BUNDESAMT FÜR STATISTIK (Hrsg., 2001): *Bodennutzung im Wandel – Arealstatistik Schweiz*. Neuchâtel, 32 S.
- BUNDESAMT FÜR STATISTIK (Hrsg., 2002): *Umwelt Schweiz 2002 – Statistiken und Analysen*. Neuchâtel, 322 S.
- BUNDESAMT FÜR STRASSEN (Hrsg., 2003): *NISTRA: Nachhaltigkeitsindikatoren für Strasseninfrastrukturprojekte. Ein Instrument zur Beurteilung von Strasseninfrastrukturprojekten unter Berücksichtigung der Nachhaltigkeitsziele*. Methodenbericht, Bern, 136 S.
- BUNDESAMT FÜR UMWELT (im Druck): *Umwelt Schweiz 2006*.
- BUNDESAMT FÜR UMWELT, WALD UND LANDSCHAFT & BUNDESAMT FÜR RAUMPLANUNG (Hrsg., 1998): *Landschaftskonzept Schweiz. Konzepte und Sachpläne (Art. 13 RPG)*, Bern, 175 S.
- BUNDESAMT FÜR UMWELT, WALD UND LANDSCHAFT (Hrsg., 2002): *Umwelt Schweiz – Politik und Perspektiven*. Bern, 356 S.
- BUNDESAMT FÜR UMWELT, WALD UND LANDSCHAFT (Hrsg., 2003): *Landschaft 2020 – Leitbild*. Bern, 25 S.
- BÜRGI, E. (1998): *Landschaftskonzept Schweiz. Konzept*. Bericht. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, 173 S.
- DÄHLER, C. & TANNER, K.M. (2004): BLN – wie weiter? Vorschläge für eine Überarbeitung der Perimeter von BLN-Gebieten. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* **155** (11): 501-504.
- DORMANN, C.F., BLASCHKE, T., LAUSCH, A., SCHRÖDER, B. & SÖNDGERATH D. (Hrsg., 2004): *Habitatmodelle – Methodik, Anwendung, Nutzen*. UFZ Leipzig. UFZ-Berichte 9/2004.

- EGGER, M. & CUCHE, A. (2003): NISTRA: Ein Instrument zur Nachhaltigkeitsbeurteilung von Strasseninfrastruktur-Projekten. *Strasse und Verkehr* **12** (Dezember 2003): 25-29.
- EIDGENÖSSISCHES DEPARTEMENT FÜR UMWELT, VERKEHR, ENERGIE UND KOMMUNIKATION (UVEK) (Hrsg., 2006): Sachplan Verkehr, Teil Programm, 26. April 2006. Bern.
- EIDGENÖSSISCHES DEPARTEMENT FÜR UMWELT, VERKEHR, ENERGIE UND KOMMUNIKATION (UVEK) (2001a): *Grundlagenbericht für die Richtlinie "Planung und Bau von Wildtierpassagen an Verkehrswegen"*. 11. November 2001. ECOTEC Environnement SA (G. Dändliker & P. Durand), Genf. 30 S. Online: http://www.bafu.admin.ch/jagd_wildtiere/00484/00791/index.html?lang=de (abgerufen am 30.11.2006)
- EIDGENÖSSISCHES DEPARTEMENT FÜR UMWELT, VERKEHR, ENERGIE UND KOMMUNIKATION (UVEK) (2001b): *Planung und Bau von Wildtierpassagen an Verkehrswegen*. Richtlinie vom 10. November 2001. Bern. 1 S. Online: http://www.bafu.admin.ch/jagd_wildtiere/00484/00791/index.html?lang=de (abgerufen am 30.11.2006)
- ESSWEIN, H. & SCHWARZ-VON RAUMER, H.-G. (2003): *Darstellung und Analyse der Landschaftszerschneidung in Bayern*. Endbericht, im Auftrag des Landesamtes für Umweltschutz Bayern, 42 S.
- ESSWEIN, H. & SCHWARZ-VON RAUMER, H.-G. (2004): *Analyse der Landschaftszerschneidung in Hessen*. Endbericht, im Auftrag des Hessischen Landesamtes für Umwelt und Geologie, 34 S.
- ESSWEIN, H., JAEGER, J., SCHWARZ-VON 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*. Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg, Arbeitsbericht Nr. 214, Selbstverlag, Stuttgart, 124 S.
- ESSWEIN, H., JAEGER, J. & SCHWARZ-VON RAUMER, H.-G. (2003): Der Grad der Landschaftszerschneidung als Indikator im Naturschutz: Unzerschnittene verkehrssarme Räume (UZR) oder effektive Maschenweite (m_{eff})? *NNA-Berichte* **16** (2): 53-68.
- ESSWEIN, H., JAEGER, J. & SCHWARZ-VON RAUMER, H.-G. (2004): *Landschaftszerschneidung in Baden-Württemberg, Bayern und Hessen – Ein Ländervergleich*. S. 49-70. In: AKADEMIE FÜR NATUR- UND UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG (Hrsg.): *Geografische Informationssysteme im Naturschutz und in der Planung*. Tagungsdokumentation, 103 S.
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (EEA) (2002): *Paving the way for EU enlargement. Indicators of transport and environment integration - TERM 2002*. Environmental issue report No 32. Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities. 64 S.
- FAHRIG, L. (2002a): Effect of habitat fragmentation on the extinction threshold: a synthesis. *Ecological Applications* **12**: 346-353.
- FINDLAY, C.S. & BOURDAGES, J. (2000): Response time of wetland biodiversity to road construction on adjacent lands. *Conservation Biology* **14** (1): 86-94.
- FISCHBACHER, U. (1995): Wie kann man die Zerschneidung einer Landschaft messen? *Informationsblatt Forschungsbereich Landschaftsökologie WSL* **26**: 3-4.
- FISCHER, M. & MATTHIES, D. (1998a): Effects of population size on performance in the rare plant *Gentianella germanica*. *Journal of Ecology* **86**: 195-204.
- FISCHER, M. & MATTHIES, D. (1998b): RAPD variation in relation to population size and plant fitness in the rare *Gentianella germanica* (Gentianaceae). *American Journal of Botany* **85** (6): 811-819.
- FORMAN, R.T.T. (1995): *Land mosaics. The ecology of landscapes and regions*. Cambridge University Press, Cambridge, 632 S.
- FORMAN, R.T.T.; SPERLING, D.; BISSONETTE, J.A.; CLEVINGER, A.P.; CUTSHALL, C.D.; DALE, V.H.; FAHRIG, L.; FRANCE, R.; GOLDMAN, C.R.; HEANUE, K.; JONES, J.A.; SWANSON, F.J.; TURRENTINE, T. & WINTER, T.C. (2003): *Road Ecology. Science and Solutions*. Island Press, Washington
- FORMAN, R.T.T. & DEBLINGER, R.D. (2000): The ecological road-effect zone of a Massachusetts (USA) suburban highway. *Conservation Biology* **14**: 36-46.

- FORUM BIODIVERSITÄT SCHWEIZ (Hrsg., 2004): *Biodiversität in der Schweiz: Zustand, Erhaltung, Perspektiven*. Haupt Verlag, Bern, 237 S.
- FRANKHAM, R. (1995): Effective population size/adult population size ratios in wildlife: a review. *Genetical Research* **66**: 95-107.
- FRANKHAM, R., BALLOU, J. D., BRISCOE, D.A. (2004): *A primer to conservation genetics*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- FRANKLIN, I.R. (1980): Evolutionary change in small populations. In: SOULÉ, M.E., WILCOX, B.A. (Eds.): *Conservation Biology: An Evolutionary-Ecological Perspective*. Sinauer, Sunderland, Massachusetts, S. 135-150.
- GERLACH, G. & MUSOLF, K. (2000): Fragmentation of landscapes as a cause for genetic subdivision in bank voles. *Conservation Biology* **14** (4): 1066-1074.
- GIBBS, J.P. & SHRIVER, G. (2002): Estimating the Effects of Road Mortality on Turtle Populations. *Conservation Biology* **16**(6): 1647-1652.
- GLITZNER, I., BEYERLEIN, P., BRUGGER, C., EGERMANN, F., PAILL, W., SCHLÖGEL, B. & TATARUCH, F. (1999): *Literaturstudie zu anlage- und betriebsbedingten Auswirkungen von Straßen auf die Tierwelt. Endbericht*. Erstellt im Auftrag des Magistrates der Stadt Wien, Abteilung 22-Umweltschutz. "G5"-Game-Management, Graz 1999 (online: <http://www.magwien.gv.at/ma22/pool/doc/TiereundStrassen.pdf>).
- GONSETH, Y., WOHLGEMUTH, T., SANSONNENS, B. & BUTTLER, A. (2001): *Die biogeographischen Regionen der Schweiz. Erläuterungen und Einteilungsstandard*. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern, Umwelt Materialien Nr. 137, 48 S.
- GRAU, S. (2005): Grossflächige Planungen zur Landschaftsentscheidung in Deutschland. *GAIA* **14** (2): 153-162.
- GUSTAFSON, E. (1998): Quantifying landscape spatial pattern: What is the state of the art? *Ecosystems* **1**: 143–156.
- HABER, W. (1993): *Ökologische Grundlagen des Umweltschutzes*. Economica, Bonn.
- HANSKI, I. (1999): *Metapopulation Ecology*. Oxford University Press, Oxford etc., 313 S.
- HAUER, S.; ANSORGE, H. & O. ZINKE (2002): Mortality patterns of otters (*Lutra lutra*) from Eastern Germany. *Journal of Zoology* **256**: 361-368.
- HELTS, T. & BUCHWALD, E. (2001): The effect of road kills on amphibian populations. *Biological Conservation* **99**: 331-340.
- HOLZGANG, O., PFISTER, H.P., HEYNEN, D., BLANT, M., RIGHETTI, A., BERTHOUD, G., MARCHESI, P., MADDALENA, T., MÜRI, H., WENDELSPIESS, M., DÄNDLIKER, G., MOLLET, P. & BORNHAUSER-SIEBER, U. (2001): *Korridore für Wildtiere in der Schweiz – Grundlagen zur Überregionalen Vernetzung von Lebensräumen*. BUWAL, SGW und Vogelwarte Sempach, Schriftenreihe Umwelt Nr. 326, Bern, 116 S.
- HOLZGANG, O., RIGHETTI, A. & PFISTER, H.-P. (2005): Schweizer Wildtierkorridore auf dem Papier, in den Köpfen und in der Landschaft. *GAIA* **14**(2): 148-151.
- HOLZGANG, O., SIEBER, U., HEYNEN, D., LERBER, F., KELLER, V. & PFISTER, H.P. (2000): *Wildtiere und Verkehr – eine kommentierte Bibliographie*. Schweizerische Vogelwarte, Sempach, 72 S. (online: http://www.vogelwarte.ch/pdf/pr_bib-dt.pdf)
- INFRAS, ORL & C.E.A.T. (2001): *Kantonale Richtplanung und Nachhaltige Entwicklung. Eine Arbeitshilfe*. Bundesamt für Raumentwicklung, Bern, 59 S.
- IUELL, B., BEKKER, H., CUPERUS, R., DUFEK, J., FRY, G., HICKS, C., HLAVÁČ, V., KELLER, V., ROSELL, C., SANGWINE, T., TORSLOV, N. & WANDALL, B. (Hrsg., 2003): *Wildlife and Traffic: A European Handbook for Identifying Conflicts and Designing Solutions*. COST 341 Habitat Fragmentation due to Transportation Infrastructure, KNNV Publishers.
- JAEGER, J. (1999): *Gefährdungsanalyse der anthropogenen Landschaftszerschneidung*. Diss. ETH Zürich Nr. 13503 (Departement für Umweltnaturwissenschaften), 619 S.

- JAEGER, J.A.G. (2000): Landscape division, splitting index, and effective mesh size: new measures of landscape fragmentation. *Landscape ecology* **15** (2): 115–130.
- JAEGER, J. (2001a): Beschränkung der Landschaftszerschneidung durch die Einführung von Grenz- oder Richtwerten. *Natur und Landschaft* **76** (1): 26-34.
- JAEGER, J. (2001b): *Quantifizierung und Bewertung der Landschaftszerschneidung*. Arbeitsbericht Nr. 167, Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg, Selbstverlag, Stuttgart, 166 S.
- JAEGER, J. (2002): *Landschaftszerschneidung. Eine transdisziplinäre Studie gemäss dem Konzept der Umweltgefährdung*. Eugen Ulmer, Stuttgart, 447 S.
- JAEGER, J. (2003): II-5.3 *Landschaftszerschneidung*. In: KONOLD, W., BÖCKER, R. & HAMPICKE, U. (Hrsg., 1999 ff.): *Handbuch Naturschutz und Landschaftspflege*. Ecomed-Verlag, Landsberg.
- JAEGER, J. (2004): VII-12 *Zerschneidung der Landschaft durch Verkehrswege und Siedlungsgebiete*. In: KONOLD, W., BÖCKER, R. & HAMPICKE, U. (Hrsg., 1999 ff.): *Handbuch Naturschutz und Landschaftspflege*. Ecomed-Verlag, Landsberg.
- JAEGER, J. (2006): Wie wirken Minderungsmaßnahmen zur Entschneidung auf Wildtierpopulationen? Simulation von Überlebenswahrscheinlichkeiten. *Naturschutz und Landschaftsplanung* **38**(10-11): 323-329.
- JAEGER, J.A.G. (in Vorb.): Measuring landscape connectivity by incorporating variable barrier strengths of transportation infrastructure into the effective mesh size. In Vorb.
- JAEGER, J.A.G. & FAHRIG, L. (2004): Effects of Road Fencing on Population Persistence. *Conservation Biology* **18** (6): 1651–1657.
- JAEGER, J. & HOLDEREGGER, R. (2005): Schwellenwerte der Landschaftszerschneidung. *GAIA* **14** (2): 113-118.
- JAEGER, J. & BERTILLER, R. (2006): *Ziele und Grenzen von Landschaftsstrukturmassen – das Beispiel Zersiedelung*. S. 159-184. In: TANNER, K.M., BÜRGI, M. & COCH, T. (Hrsg.): *Landschaftsqualitäten*. Haupt Verlag, Bern/Stuttgart/Wien, 320 S.
- JAEGER, J.A.G. & FAHRIG, L. (in Vorb.): Thresholds in species' responses to landscape fragmentation by roads.
- JAEGER, J., ESSWEIN, H., SCHWARZ-VON RAUMER, H.-G. & MÜLLER, M. (2001): Landschaftszerschneidung in Baden-Württemberg. Ergebnisse einer landesweiten räumlich differenzierten quantitativen Zustandsanalyse. *Naturschutz und Landschaftsplanung* **33** (10): 305–317.
- JAEGER, J., GRAU, S. & HABER, W. (Hrsg., 2005): *Landschaftszerschneidung: Von der Problemerkennung zum Handeln*. Themenschwerpunktheft der Zeitschrift *GAIA* **14**(2): 120 S.
- JAEGER, J., GRAU, S. & HABER, W. (2005): Einführung: Landschaftszerschneidung und die Folgen. *GAIA* **14** (2): 98-100.
- JAEGER, J.A.G., BERTILLER, R., SCHWARZ-VON RAUMER, H.-G. & ESSWEIN, H. (2005): Increase of landscape fragmentation in Europe: are the ecological effects visible, or can they be made visible? S. 56-57. In: LANGE, E. & MILLER, D. (Hrsg.): *Proceedings 'Our shared landscape'*. Integrating ecological, socio-economic and aesthetic aspects in landscape planning and management. Ascona, Switzerland, May 2 – May 6, 2005, 171 pp.
- JAEGER, J., ESSWEIN, H. & SCHWARZ-VON RAUMER, H.-G. (2006a): Landschaftszerschneidung in Baden-Württemberg: Fortschreibung zeigt weitere starke Zunahme der Zerschneidung an. In: *Zerschnitten, zerstückelt – oder vernetzt? Landschaftszerschneidung contra Lebensraumverbund*. Bad Boll Skripte 3/2006, ISSN 1860-0859, S. 17-48.
- JAEGER, J.A.G., FAHRIG, L. & EWALD, K. (2006b): Does the configuration of road networks influence the degree to which roads affect wildlife populations? In: IRWIN, C.L., GARRETT, P., MCDERMOTT, K.P. (eds.): *Proceedings of the 2005 International Conference on Ecology and Transportation (ICOET)*. Center for Transportation and the Environment, North Carolina State University, Raleigh, NC, pages 151-163.

- JAEGER, J., BERTILLER, R., SCHWICK, C. & KIENAST, F. (2007): Weiterhin steigende Zersiedelung der Schweiz: Wie lässt sich eine Trendwende erreichen? *Geomatik Schweiz* 3/2007: 114-117.
- JAEGER, J., BERTILLER, R. & SCHWICK, C. (im Druck): Landschaftszerschneidung Schweiz. Kurzfassung. Herausgegeben vom Bundesamt für Statistik, Neuchâtel.
- JAEGER, J.A.G.; BERTILLER, R.; CAVENS, D.; TRACHSLER, B.; EWALD, K. & F. KIENAST (in prep. a): Degree of urban dispersion: a new measure of urban sprawl. In prep.
- JAEGER, J.A.G., KOLÁR, J., SOUKUP, T., KLEESCHULTE, S. & STEENMANS, C. (in prep. b): Measuring the state of landscape fragmentation for environmental reporting in Europe.
- JEDICKE, E. (1994): *Biotopverbund. Grundlagen und Massnahmen einer neuen Naturschutzstrategie*. 2. Auflage, E. Ulmer, Stuttgart. 287 S.
- KAULE, G. (1991): Arten- und Biotopschutz. UTB, Eugen Ulmer, Stuttgart, 2. Auflage. 519 S.
- KAULE, G. (1998): Verminderung der strassenbedingten Isolationswirkung – Querungsmöglichkeiten für Tiere. In: FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN- UND VERKEHRSWESSEN (Hrsg.): *Strassenbau und Umweltplanung: Anspruch – Umsetzung – Problembewältigung*. Landschaftstagung am 22. und 23. Mai 1997 in Erfurt. FGSV-Verlag, Köln, S. 40-51.
- KELLER, I. & LARGIADÈR, C.R. (2003): Recent habitat fragmentation caused by major roads leads to reduction of gene flow and loss of genetic variability in ground beetles. *Proc. R. Soc. Lond. B* **270**: 417-423.
- KÉRY, M., MATTHIES, D. & SPILLMANN, H.-H. (2000): Reduced fecundity and offspring performance in small populations of the declining grassland plants *Primula veris* and *Gentiana lutea*. *Journal of Ecology* **88**: 17-30.
- KIENAST, F., BÜRGI, M., GEHRING, K., HERSPERGER, A., HUNZIKER, M., HÄGELI, M. & WILDI, O. (2006): *Vorstudie LAQUE: Monitoring Landschaftsqualität CH*. Schlussbericht Phase 1. Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf.
- KLAR, N., HERRMANN, M. & KRAMER-SCHADT, S. (2006): Effects of roads on a founder population of lynx in the biosphere reserve "Pfälzerwald - Vosges du Nord". *Naturschutz und Landschaftsplanung* **38**(10/11): 330-337.
- KLAUS, G., SCHMILL, J., SCHMID, B. & EDWARDS, P.J. (2001): *Biologische Vielfalt – Perspektiven für das neue Jahrhundert. Erkenntnisse aus dem Schweizer Biodiversitätsprojekt*. Birkhäuser Verlag, Basel.
- KOEPPEL, H.-D., SCHMITT, H.M., LEISER F. (1991): *Landschaft unter Druck. Zahlen und Zusammenhänge über Veränderungen in der Landschaft Schweiz*. Herausgeber: Bundesamt für Raumplanung und Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. EDMZ, Bern.
- KÖHL, M. & OEHMICHEN, K. (2003): Zur Verwendung von Landschaftsmasszahlen bei Wald- und Landschaftsinventuren: Überblick und Kritik. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* **154** (1): 8-16.
- KÖNIG, K. & WUSCHANSKY, B. (2005): Interkommunale Gewerbeflächenentwicklung als zukunftsgerichtete Strategie. *Forum Raumentwicklung* 3/05, 12-14.
- KOORDINATIONSSTELLE BIODIVERSITÄTSMONITORING SCHWEIZ (Hrsg., 2006): Zustand der Biodiversität in der Schweiz. Ergebnisse des Biodiversitätsmonitorings Schweiz (BDM) im Überblick. Stand: Mai 2006. Umwelt-Zustand Nr. 0604. Bundesamt für Umwelt, Bern, 67 S.
- KRAMER-SCHADT, S., REVILLA, E., WIEGAND, T. & BREITENMOSER, U. (2004): Fragmented landscapes, road mortality and patch connectivity: modelling influences on the dispersal of Eurasian lynx. *Journal of Applied Ecology* **41**: 711-723.
- LANDE, R. (1987): Extinction thresholds in demographic models of territorial populations. *American Naturalist* **130**: 624-635.
- LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG & STATISTISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG (2003): *Umweltdaten 2003 Baden-Württemberg*. Kurzfassung und Langfassung. Karlsruhe und Stuttgart. ISSN 1612-801X. Greiserdruck, Rastatt.
- LASSEN, D. (1979): Unzerschnittene verkehrsarme Räume in der Bundesrepublik Deutschland. *Natur und Landschaft* **54**: 333-334.

- LASSEN, D. (1990): Unzerschnittene verkehrsarme Räume über 100 km² – eine Ressource für die ruhige Erholung. *Natur und Landschaft* **65**: 326-327.
- LEVINS, R. (1969): Some demographic and genetic consequences of environmental heterogeneity for biological control. *Bulletin of the Entomological Society of America* **15**: 237-240.
- MADER, H.-J. & PAURITSCH, G. (1981): Nachweis des Barriere-Effektes von verkehrsarmen Straßen und Forstwegen auf Kleinsäuger der Waldbiozönose durch Markierungs- und Umsetzungsversuche. *Natur und Landschaft* **56**: 451-454.
- MCGARIGAL, K. & MARKS, B.J. (1995): *FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structure*. General Technical Report PNW-GTR-351. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. Portland, OR.
- MILLS, L. S. & ALLENDORF, F.W. (1996): The One-Migrant-per-Generation Rule in Conservation and Management. *Conservation Biology* **10** (6): 1509-1518.
- MOSER, B., JAEGER, J.A.G., TASSER, E., EISELT, B. & TAPPEINER, U. (2007): Modification of the effective mesh size for measuring landscape fragmentation to solve the boundary problem. *Landscape Ecology*, in press.
- NEUMANN-FINKE, A. (2004): *Landschaftszerschneidung in Schleswig-Holstein: GIS-gestützte Bestandsaufnahme und Bewertung*. Diplomarbeit Univ. Kiel
- OGGIER, P., RIGHETTI, A. & BONNARD, L. (2001): *Zerschneidung von Lebensräumen durch Verkehrsinfrastrukturen*. COST 341. Schriftenreihe Umwelt Nr. 332, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft; Bundesamt für Raumentwicklung; Bundesamt für Verkehr; Bundesamt für Strassen. Bern, 102 S.
- PARLAMENTARISCHE VERWALTUNGSKONTROLLE (2003): *Evaluation des Bundesinventars der Landschaften und Naturdenkmäler von nationaler Bedeutung (BLN)*. Bericht zuhanden der Geschäftsprüfungskommission, Bern, 85 S.
- PENN-BRESSEL, G. (2005): Begrenzung der Landschaftszerschneidung bei der Planung von Verkehrswegen. *GAIA* **14**(2): 130-134.
- PETER, U. & MEIER, S. (2003): Zerschnittene Landschaft – ein Problem im Kanton Aargau? *Umwelt Aargau* **22**: 29-32.
- PFISTER, H.P., KOHLI, L., KÄSTLI, P. & BIRRER, S. (2002a): *Feldhase. Schlussbericht 1991-2000*. Schriftenreihe Umwelt Nr. 334, herausgegeben vom Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, 150 S.
- PFISTER, H.P., KELLER, V., HEYDEN, D. & HOLZGANG, O. (2002b): Wildtierökologische Grundlagen im Strassenbau. *Strasse und Verkehr* 3/2002: 101-108.
- PINKAU, K. & RENN, O. (Hrsg., 1998): *Environmental standards. Scientific foundation and rational procedures of regulation with emphasis on radiological risk management*. Kluwer Academic Publishers, Boston.
- POGGESI, M.C. (2006): *Valutazione del contributo delle infrastrutture stradali alla frammentazione dei paesaggi*. Tesi di Laurea, Università degli studi di Milano-Bicocca, Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali. 122 S.
- PSARROS, N. (1999): *Vom Sein zum Sollen? Die Problematik der Festlegung chemischer Grenzwerte vor dem Hintergrund toxikologisch-chemischer Wirkungserkenntnisse*. In: JANICH, P., THIEME, P.C. & PSARROS, N. (Hrsg.) *Chemische Grenzwerte. Eine Standortbestimmung von Chemikern, Juristen, Soziologen und Philosophen*. Wiley-VCH, Weinheim, 135-156.
- RECK, H. & KAULE, G. (1993): *Strassen und Lebensräume. Ermittlungen und Beurteilung strassenbedingter Auswirkungen auf Pflanzen, Tiere und ihre Lebensräume*. Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik, Heft 654, Bonn – Bad Godesberg.
- RECK, H., RASSMUS, J., KLUMP, G.M., BÖTTCHER, M., BRÜNING, H., GUTSMIEDEL, I., HERDEN, C., LUTZ, K., MEHL, U., PEEN-BRESSEL, G., ROWECK, H., TRAUTNER, J., WENDE, W., WINKELMANN, C. & ZSCHALICH, A. (2001): Auswirkungen von Lärm und Planungsinstrumente des Naturschutzes. *Naturschutz und Landschaftsplanung* **33** (5): 145-149.

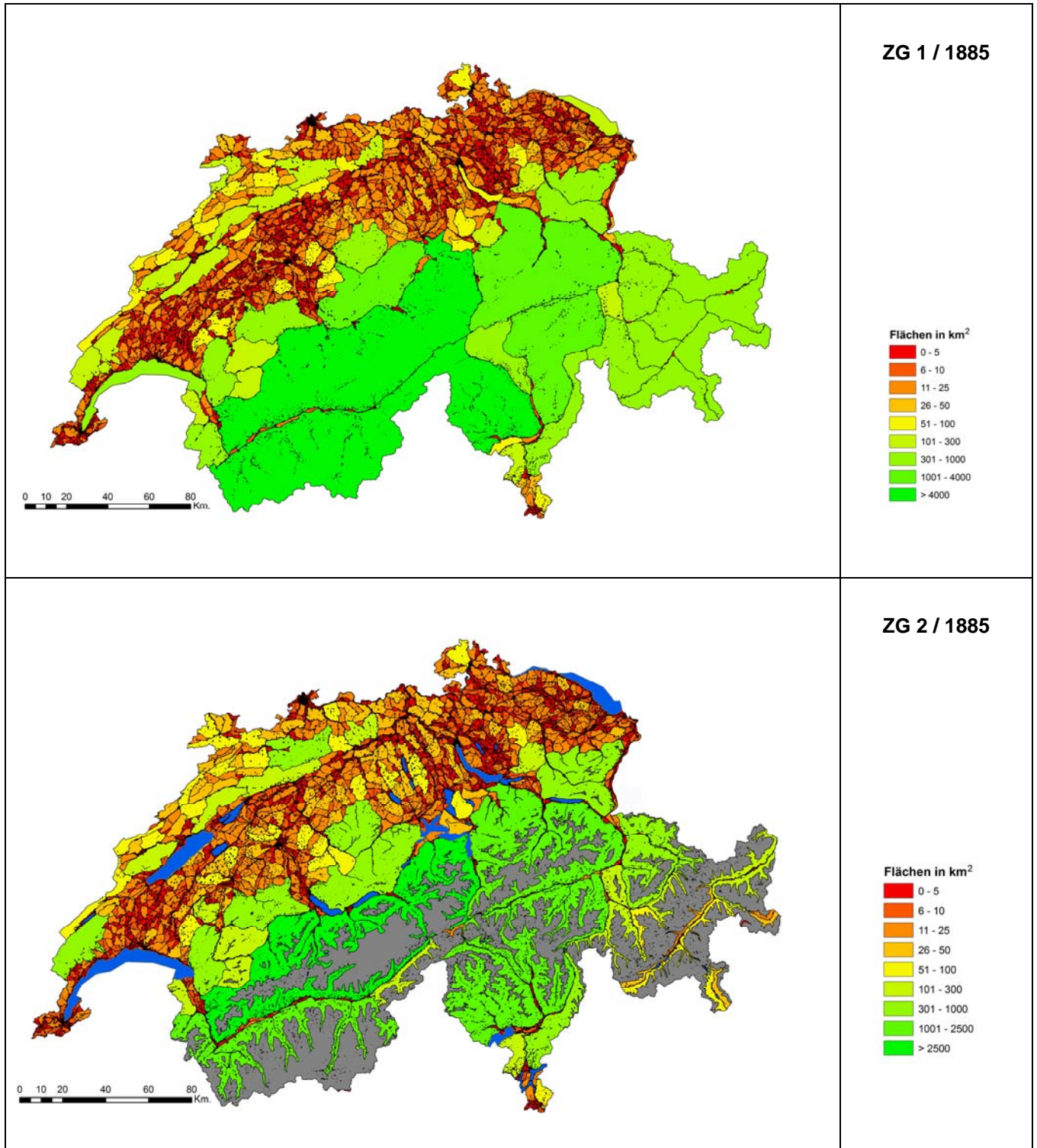
- RECK, H.; HÄNEL, K.; BÖTTCHER, M.; TILLMANN, J. & WINTER, A. (Bearb., 2005): *Lebensraumkorridore für Mensch und Natur*. Naturschutz und Biologische Vielfalt 17. Bundesamt für Naturschutz, Bonn.
- REED, D.H.; O'GRADY, J.J.; BROOK, B.W.; BALLOU, J.D. & FRANKHAM, R. (2003): Estimates of minimum viable population sizes for vertebrates and factors influencing those estimates. *Biological Conservation* **113**(1): 23-34.
- REGIERUNGSRAT DES KANTONS BERN (1998): *Landschaftsentwicklungskonzept*. 126 S.
- REH, W. & SEITZ, A. (1990): The influence of land use on the genetic structure of populations of the common frog *Rana temporaria*. *Biological conservation* **54**: 239-249.
- REIJNEN, R., FOPPEN, R. & MEEUWSEN, H. (1996): The effect of traffic on the density of breeding birds in Dutch agricultural grassland. *Biological Conservation* **75**: 255-260.
- REIJNEN, R., FOPPEN, R., BRAAK, C.T. & THISSEN, J. (1995): The effects of car traffic on breeding bird populations in woodland. III: Reduction of density in relation to the proximity of main roads. *Journal of Applied Ecology* **32**: 187-202.
- RENN, O. (1996): *Möglichkeiten und Grenzen diskursiver Verfahren bei umweltrelevanten Planungen*. S. 161-197. In: BIESECKER, A., GRENZDÖRFER, K. (Hrsg.): *Kooperation, Netzwerk, Selbstorganisation*. Centaurus-Verlagsgesellschaft, Pfaffenweiler.
- RENN, O., LEÓN, C.D. & CLAR, G. (2000a): *Nachhaltige Entwicklung in Baden-Württemberg: Statusbericht 2000. Kurzfassung*. Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg, Selbstverlag, Stuttgart.
- RENN, O., LEÓN, C.D. & CLAR, G. (2000b): *Nachhaltige Entwicklung in Baden-Württemberg. Statusbericht 2000. Langfassung*. Arbeitsbericht der Akademie für Technikfolgenabschätzung Nr. 173, Selbstverlag, Stuttgart.
- ROEDENBECK, I. A. (2005a): *Entwicklung der Landschaftszerschneidung in Hessen von 1930 bis 2002*. Statusbericht für das Hessische Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG). Institut für Biometrie und Populationsgenetik, Justus-Liebig-Universität Giessen, 41 S.
- ROEDENBECK, I. A. (2005b): Landschaftszerschneidung in Hessen. *GAIA* **14** (2): 152.
- ROEDENBECK, I.A. & JAEGER, J. (Hrsg., 2006): Strassenökologische Forschung. Themenheft der *Zeitschrift Naturschutz und Landschaftsplanung* **38** (10-11): 293-356.
- ROEDENBECK, I.A., & KÖHLER, W. (2006): Effekte der Landschaftszerschneidung auf die Unfallhäufigkeit und Bestandsdichte von Wildtierpopulationen. Zur Indikationsqualität der effektiven Maschenweite. *Naturschutz und Landschaftsplanung* **38** (10-11): 314-322.
- ROEDENBECK, I.A., ESSWEIN, H. & KÖHLER, W. (2005): Landschaftszerschneidung in Hessen. Entwicklung, Vergleich zu Baden-Württemberg und Trendanalyse als Grundlage für ein landesweites Monitoring. *Naturschutz und Landschaftsplanung* **37** (10): 293-300 (mit Kartenbeilage).
- ROEDENBECK, I.A., FAHRIG, L., FINDLAY, C.S., HOULAHAN, J.E., JAEGER, J.A.G., KLAR, N., KRAMER-SCHADT, S. & VAN DER GRIFT, E.A. (im Druck.): The Rauschholzhausen-Agenda for Road Ecology. Im Druck bei *Ecology and Society*.
- ROTH, U., et al. (in Vorb.): *Landschaft unter Druck. 3. Fortschreibung 1990-2001*. Herausgeber: Bundesamt für Raumentwicklung/Bundesamt Umwelt. Bern. In Vorbereitung.
- ROTH, U., KELLER, V., ZEH, H., GREMMINGER, T., ENGEL, J. (2001): *Landschaft unter Druck. 2. Fortschreibung 1984-1995*. Herausgeber: Bundesamt für Raumentwicklung/Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. Bern, 48 S.
- SACHVERSTÄNDIGENRAT FÜR UMWELTFRAGEN (Hrsg., 1994): *Umweltgutachten 1994*. Metzler-Poeschel, Stuttgart.
- SACHVERSTÄNDIGENRAT FÜR UMWELTFRAGEN (Hrsg., 1996): *Umweltgutachten 1996*. Metzler-Poeschel, Stuttgart.
- SACHVERSTÄNDIGENRAT FÜR UMWELTFRAGEN (Hrsg., 2005): *Umwelt und Strassenverkehr. Hohe Mobilität – Umweltverträglicher Verkehr*. Sondergutachten. Nomos Verlagsgesellschaft, Berlin, 347 S.

- SCHERFKE, M. (2002): *Untersuchung der Landschaftszerschneidung in Sachsen*. Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie. Dresden. Veröffentlichung auf den Webseiten des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie geplant.
- SCHMIDT-POSTHAUS, H., BREITENMOSER-WÜRSTEN, C., POSTHAUS, H., BACCIARINI, L. & BREITENMOSER, U. (2002) Causes of mortality in reintroduced Eurasian lynx in Switzerland. *Journal of Wildlife Diseases* **38**: 84-92.
- SCHUMACHER, U. & WALZ, U. (2000): *Landschaftszerschneidung durch Infrastrukturtrassen*. S. 132-135. In: INSTITUT FÜR LÄNDERKUNDE LEIPZIG (Hrsg.): *Nationalatlas Bundesrepublik Deutschland. Band 10: Freizeit und Tourismus*. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin.
- SCHUPP, D. (2005): Umweltindikator Landschaftszerschneidung – Ein zentrales Element zur Verknüpfung von Wissenschaft und Politik. *GAIA* **14** (2): 101-106.
- SCHWEIZERISCHE GESELLSCHAFT FÜR KARTOGRAPHIE (Hrsg., 2002): *Topographische Karten: Kartengrafik und Generalisierung*. CD-Rom.
- SCHWEIZERISCHE GESELLSCHAFT FÜR WILDTIERBIOLOGIE (Hrsg., 1995): *Wildtiere, Strassenbau und Verkehr*. Wildtierbiologische Informationen für die Praxis, Chur, 54 S.
- SCHWEIZERISCHER BUNDESRAT (Hrsg., 2002): *Strategie Nachhaltige Entwicklung 2002*. Bericht des Schweizerischen Bundesrates vom 27. März 2002, Bern 44 S.
- SCHWEIZERISCHER VERBAND DER STRASSEN- UND VERKEHRSFACHLEUTE (VSS) (Hrsg., 2004a): *Fauna und Verkehr – Grundnorm*. Schweizer Norm SN 640690a. Gültig ab 1. August 2004. Zürich.
- SCHWEIZERISCHER VERBAND DER STRASSEN- UND VERKEHRSFACHLEUTE (VSS) (Hrsg., 2004b): *Fauna und Verkehr – Planungsverfahren*. Schweizer Norm SN 640691a. Gültig ab 1. August 2004. Zürich.
- SCHWEIZERISCHER VERBAND DER STRASSEN- UND VERKEHRSFACHLEUTE (VSS) (Hrsg., 2004c): *Fauna und Verkehr – Faunaanalysemethoden*. Schweizer Norm SN 640692. Gültig ab 1. August 2004. Zürich.
- SCHWEIZERISCHER VERBAND DER STRASSEN- UND VERKEHRSFACHLEUTE (VSS) (Hrsg., 2004d): *Fauna und Verkehr – Schutzmassnahmen*. Schweizer Norm SN 640694. Gültig ab 1. August 2004. Zürich.
- SEILER, A. & HELLDIN, J. O. (2006): Mortality in wildlife due to transportation. In: DAVENPORT, J. & DAVENPORT, J. L. (Eds.), *The ecology of transportation: managing mobility for the environment*. Kluwer, Amsterdam, S. 165-190.
- SETTELE, J., MARGULES, C., POSCHLOD, P. & HENLE, K. (Hrsg., 1996): *Species survival in fragmented landscapes*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- STAUCH, C. (1999): *GIS als entscheidungsunterstützendes Werkzeug in der Verkehrsplanung - am Beispiel von Flächenzerschneidung und Immissionsbelastung*. <http://elib.uni-stuttgart.de/opus/volltexte/2000/652/>
- STREMLow, M., ISELIN, G., KIENAST, F., KLÄY, P. & MAIBACH, M. (2003): *Landschaft 2020 – Analysen und Trends. Grundlage zum Leitbild des BUWAL für Natur und Landschaft*. Schriftenreihe Umwelt Nr. 352, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, 152 S.
- TANNER, K.M. (1999): *Augen-Blicke. Bilder zum Landschaftswandel im Baselbiet*. Quellen und Forschungen zur Geschichte und Landeskunde des Kantons Basel-Landschaft, Band 68, Verlag des Kantons Basel-Landschaft, Liestal, 264 S.
- THÜRINGER LANDESANSTALT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (Hrsg., 2004): *Landschaftszerschneidung in Thüringen*. Schriftenreihe der Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie Nr. 66.
- TILLMANN, J.E. (2005): Habitat Fragmentation and Ecological Networks in Europe. *GAIA* **14** (2): 119-123.
- TILMAN, D., MAY, R. M., LEHMANN, C.L. & NOVARK, M.A. (1994): Habitat destruction and the extinction debt. *Nature* **371**: 65-66.

- TROCME, M. (Hrsg., 2003): *Habitat fragmentation due to transportation infrastructure. The European review*. European cooperation in the field of scientific and technical research, Transport, COST Action 341, Luxembourg, 251 S.
- TURNER, M.G. & GARDNER, R.H. (Hrsg., 1991): *Quantitative methods in landscape ecology: the analysis and interpretation of landscape heterogeneity*. Springer, New York.
- UMWELTBUNDESAMT (Hrsg., 2003): *Reduzierung der Flächeninanspruchnahme durch Siedlung und Verkehr*. Materialienband, UBA-Texte 90/03, Berlin.
- UMWELTBUNDESAMT (Hrsg., 2005): *Determinanten der Verkehrsentstehung*. UBA-Texte 26/05, Dessau, 64 S.
- UMWELTMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG & LANDESANSTALT FÜR UMWELT, MESSUNGEN UND NATURSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG (LUBW) (Hrsg., 2006): *Umweltdaten 2006 Baden-Württemberg*. ISBN 3-88251-306-3, JVA Mannheim.
- VAN APELDOORN, R.C. (1997): *Fragmented mammals: What does that mean?* S. 121-126. In: CANTERS, K., PIEPERS, A. & HENDRIKS-HEERSMA, D (Hrsg.): *Habitat fragmentation & infrastructure*. Proceedings of the international conference «Habitat fragmentation, infrastructure and the role of ecological engineering», 17-21 September 1995, Maastricht and The Hague.
- VAN DER GRIFT, E.A. (1999): Mammal and railroads: Impacts and management implications. *Lutra* **42**: 77-98.
- VAN DER GRIFT, E.A. (2005): Mammal and railroads: Impacts and management implications. *GAIA* **14** (2): 144-147.
- VAN DER ZEE, F.F.; WIERTZ, J.; TER BRAAK, C.J.F. & APELDOORN, R. C. (1992): Landscape change as a possible cause of the badger *Meles meles* L. decline in the Netherlands. *Biological Conservation* **61**: 17-22.
- VOERKEL, D. (2005): Entwicklung der Landschaftszerschneidung im Thüringer Wald. S. 23-32. In: VERWALTUNG BIOSPHÄRENRESERVAT VESSERTAL (Hrsg.): *Biotopverbund im Thüringer Wald*. Tagungsband 2004, Tagungsreihe Naturschutz im Naturpark Thüringer Wald und im Biosphärenreservat Vessertal, 65 S.
- WALZ, U. (2005): Landschaftszerschneidung in Grenzräumen – Sachsen und die Sächsisch-Böhmische Schweiz. *GAIA* **14** (2): 171-174.
- WATERSTRAAT, A., BAIER, H., HOLZ, R., SPIESS, H.-J. & ULBRICHT, J. (1996): Unzerschnittene, störungsarme Landschaftsräume – Versuch der Beschreibung eines Schutzgutes. *Schriftenreihe des Landesamtes für Umwelt und Natur, Mecklenburg-Vorpommern* **1**: 5-24.
- WHITLOCK, J.C. (2000): Fixation of new alleles and the extinction of small populations: drift load, beneficial alleles, and sexual selection. *Evolution* **65**: 1855-1861.
- WHITLOCK, M.C. & MCCAULEY, D.E. (1999): Indirect measures of gene flow and migration. $F_{ST} \neq 1/(4Nm + 1)$. *Heredity* **82**: 117-125.
- WIRTSCHAFTSMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG (Hrsg., 2005): *Landesentwicklungsbericht Baden-Württemberg 2005 (LEB 2005): Räumliche Entwicklung, Flächeninanspruchnahme, Demografischer Wandel*. 252 S.

9. Anhang

9.1 Zerschneidungskarten Schweiz 1885



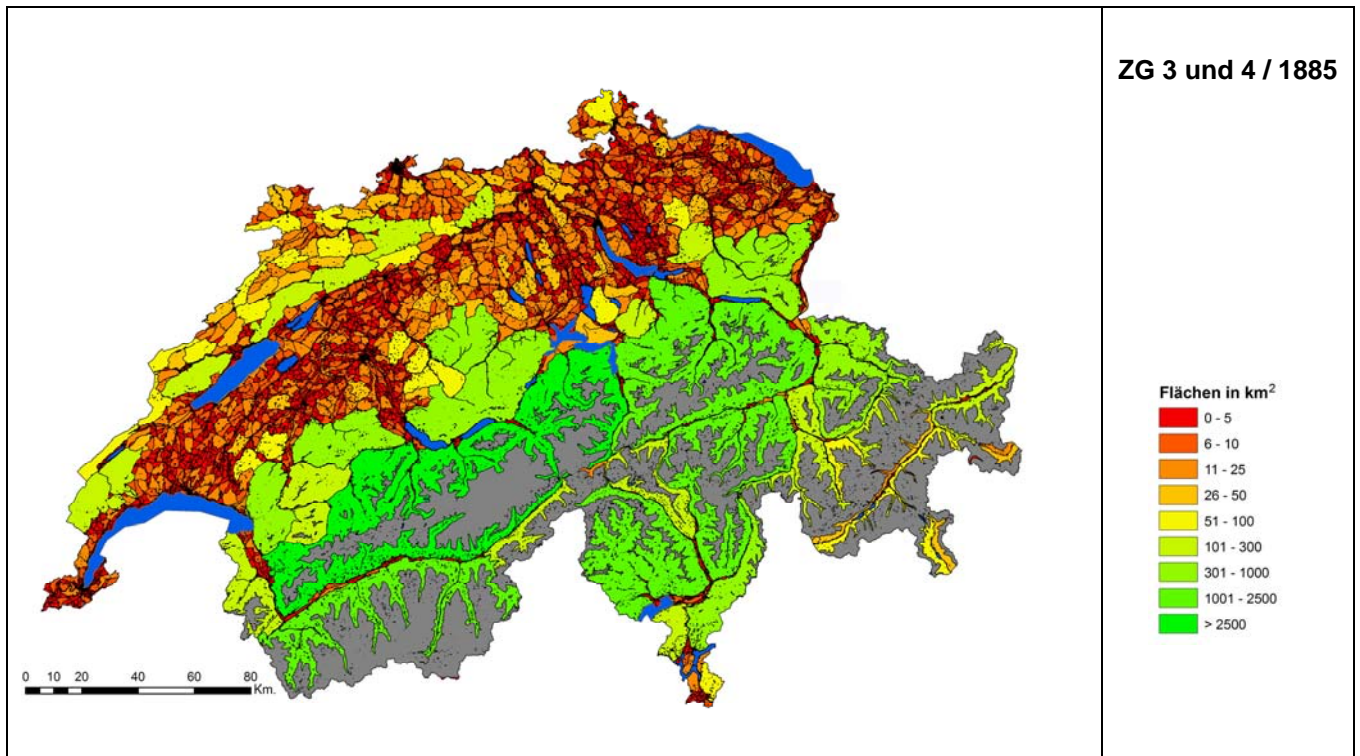
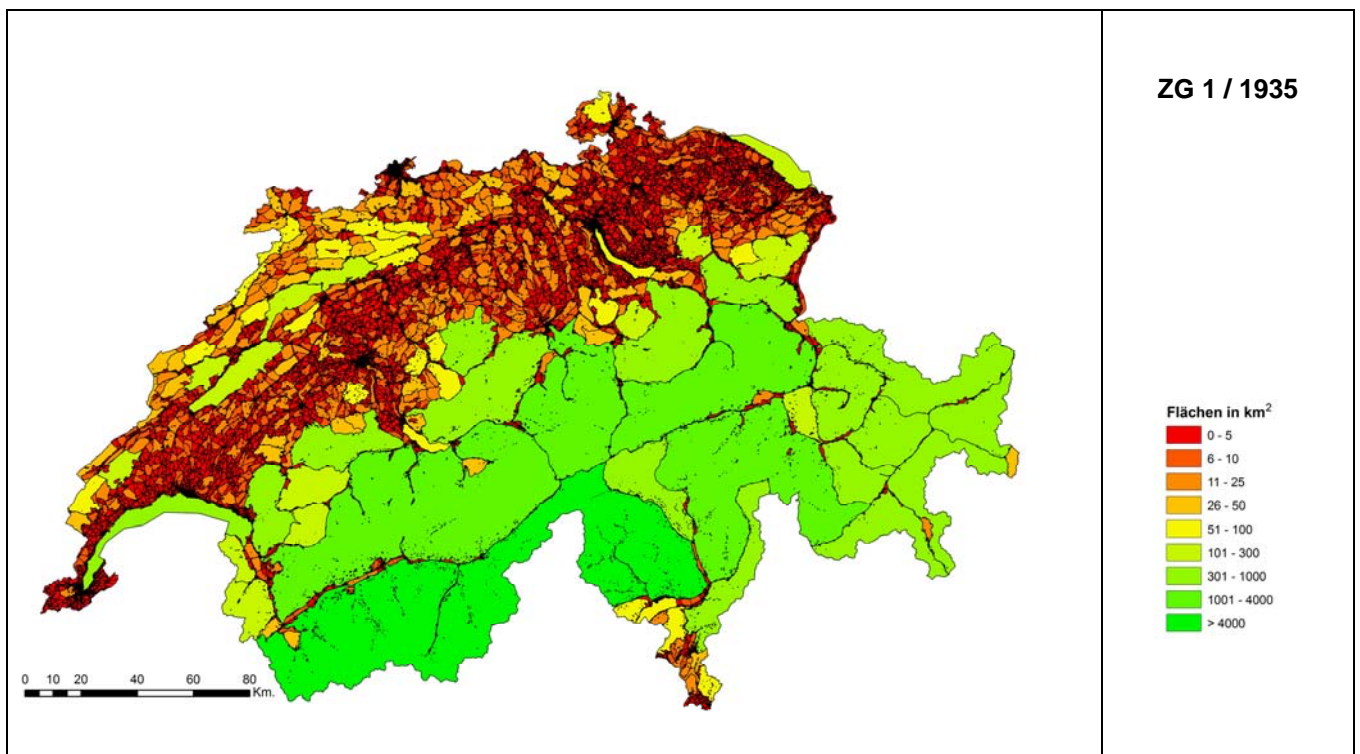


Abbildung 51: Zerschneidungskarte der Schweiz für das Jahr 1885 (ZG 1 = „Zivilisationsdruck“, ZG 2 = „Trennelemente bis 2.-Kl.-Strassen“, ZG 3 = „Trennelemente bis 3.-Kl.-Strassen“, ZG 4 = „Landflächen unterhalb 2100 m“).

9.2 Zerschneidungskarten Schweiz 1935



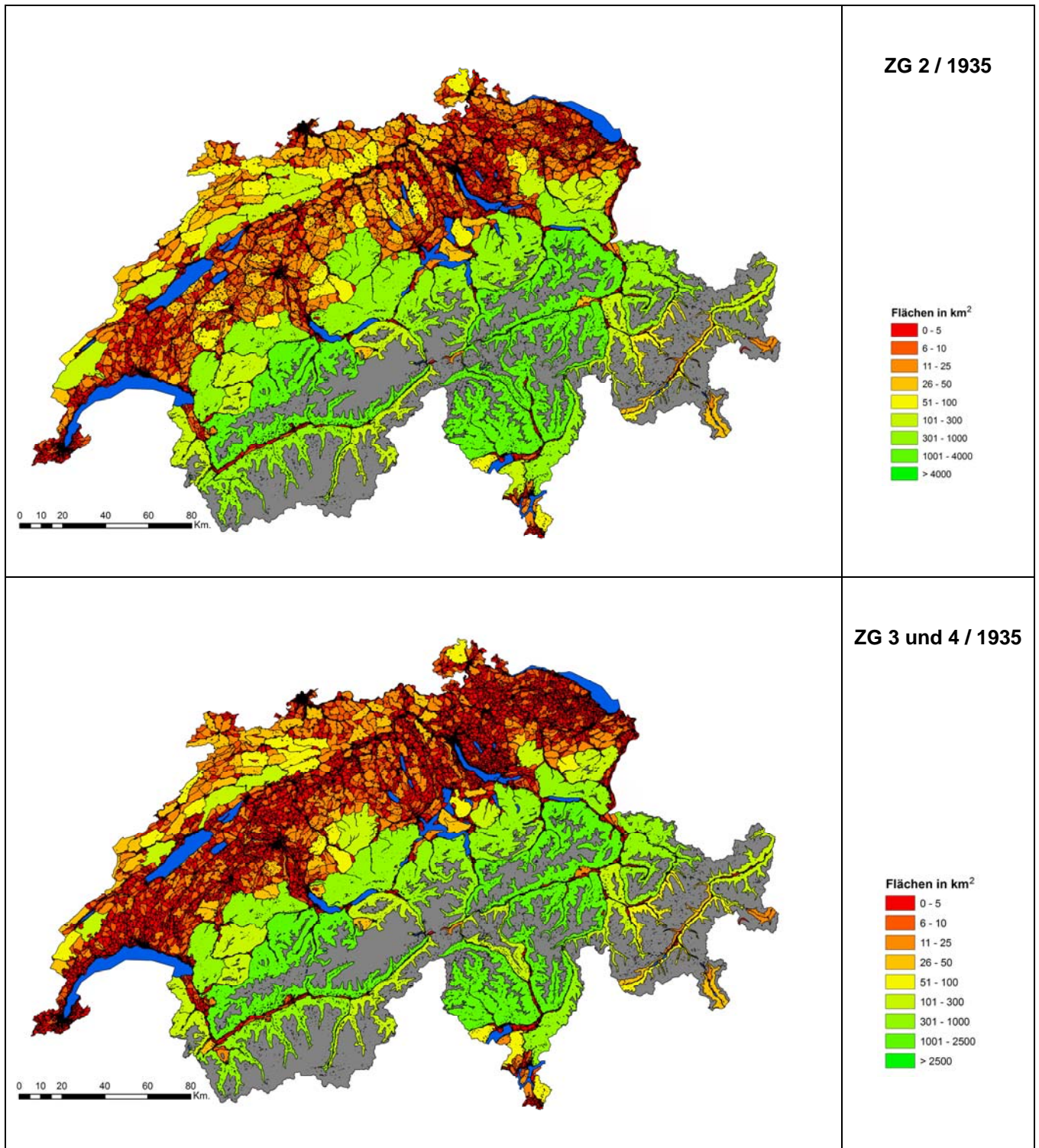
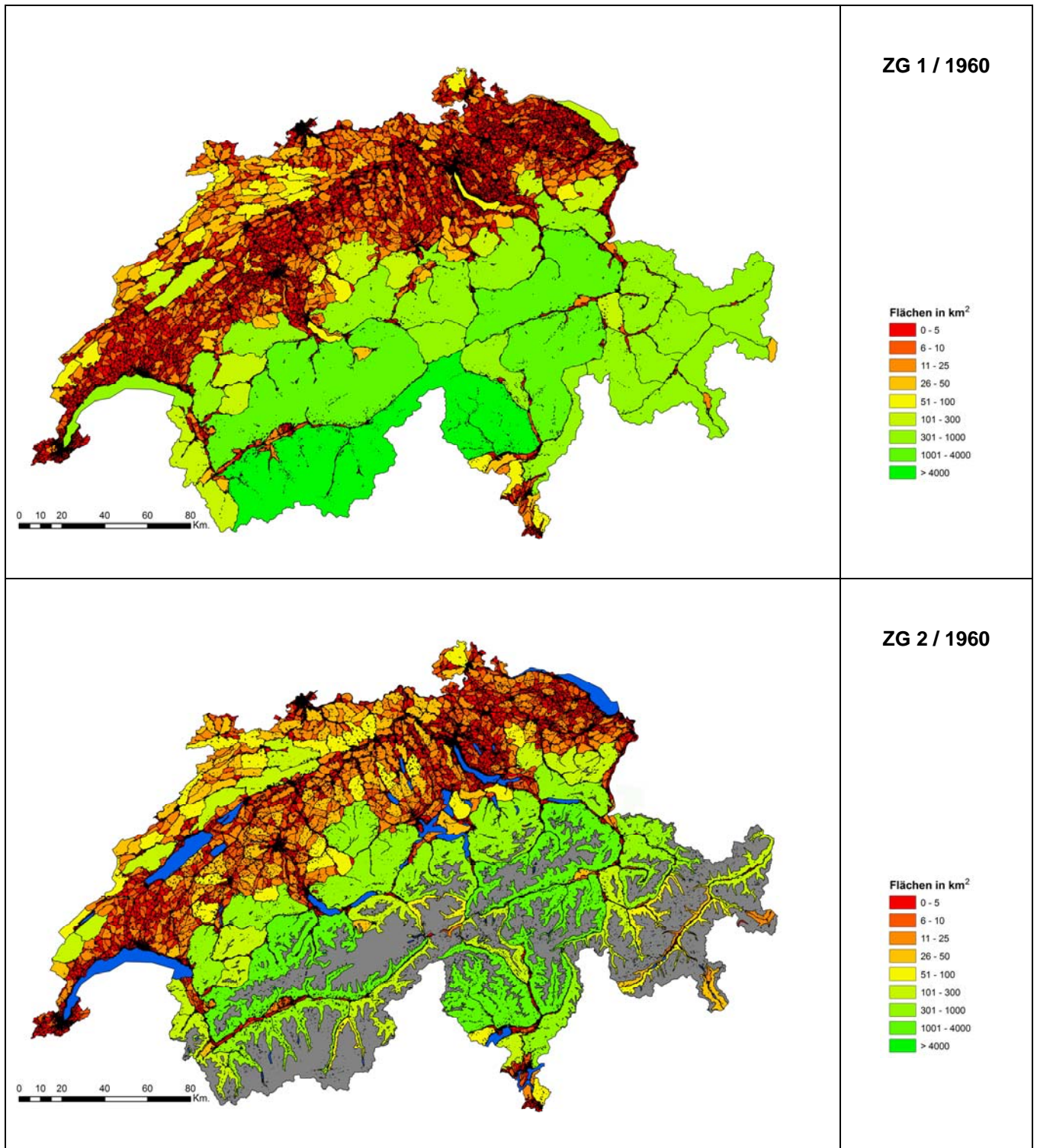


Abbildung 52: Zerschneidungskarte der Schweiz für das Jahr 1935 (ZG 1 = „Zivilisationsdruck“, ZG 2 = „Trennelemente bis 2.-Kl.-Strassen“, ZG 3 = „Trennelemente bis 3.-Kl.-Strassen“, ZG 4 = „Landflächen unterhalb 2100 m“).

9.3 Zerschneidungskarten Schweiz 1960



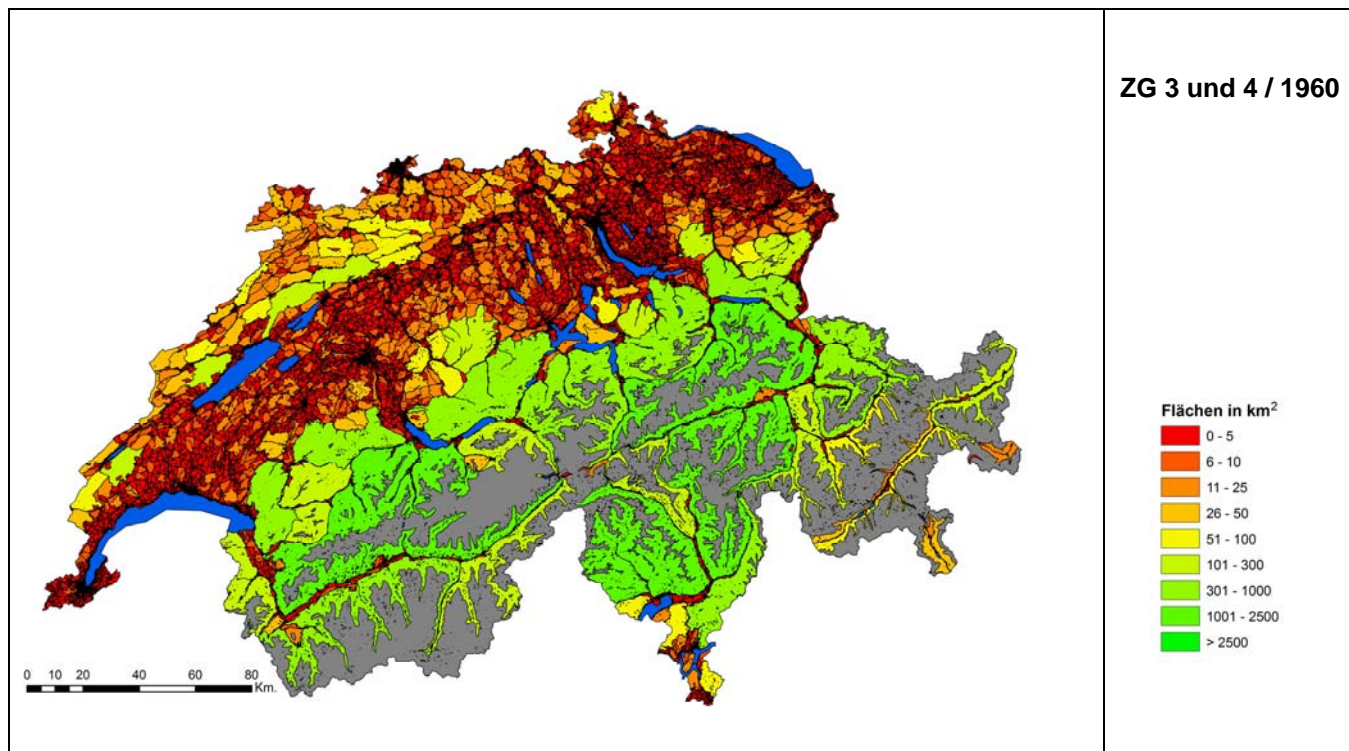
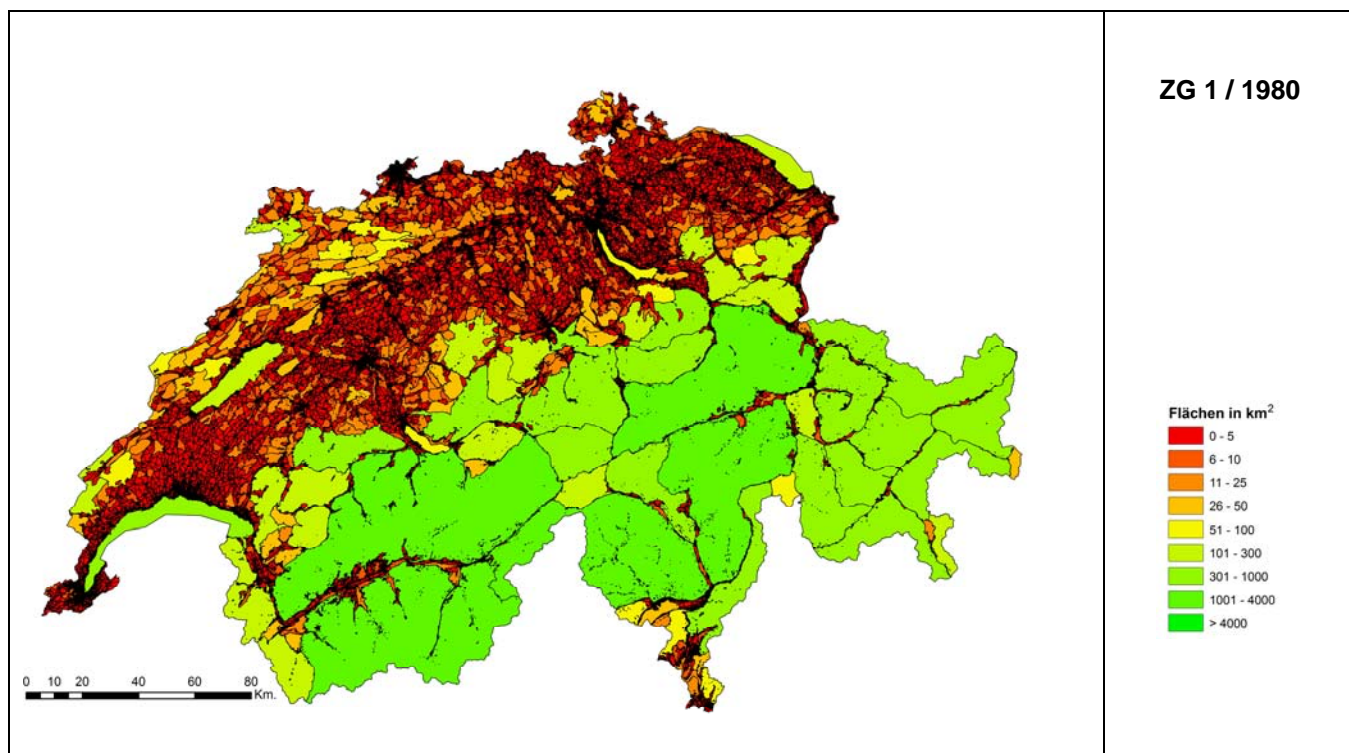


Abbildung 53: Zerschneidungskarte der Schweiz für das Jahr 1960 (ZG 1 = „Zivilisationsdruck“, ZG 2 = „Trennelemente bis 2.-Kl.-Strassen“, ZG 3 = „Trennelemente bis 3.-Kl.-Strassen“, ZG 4 = „Landflächen unterhalb 2100 m“).

9.4 Zerschneidungskarten Schweiz 1980



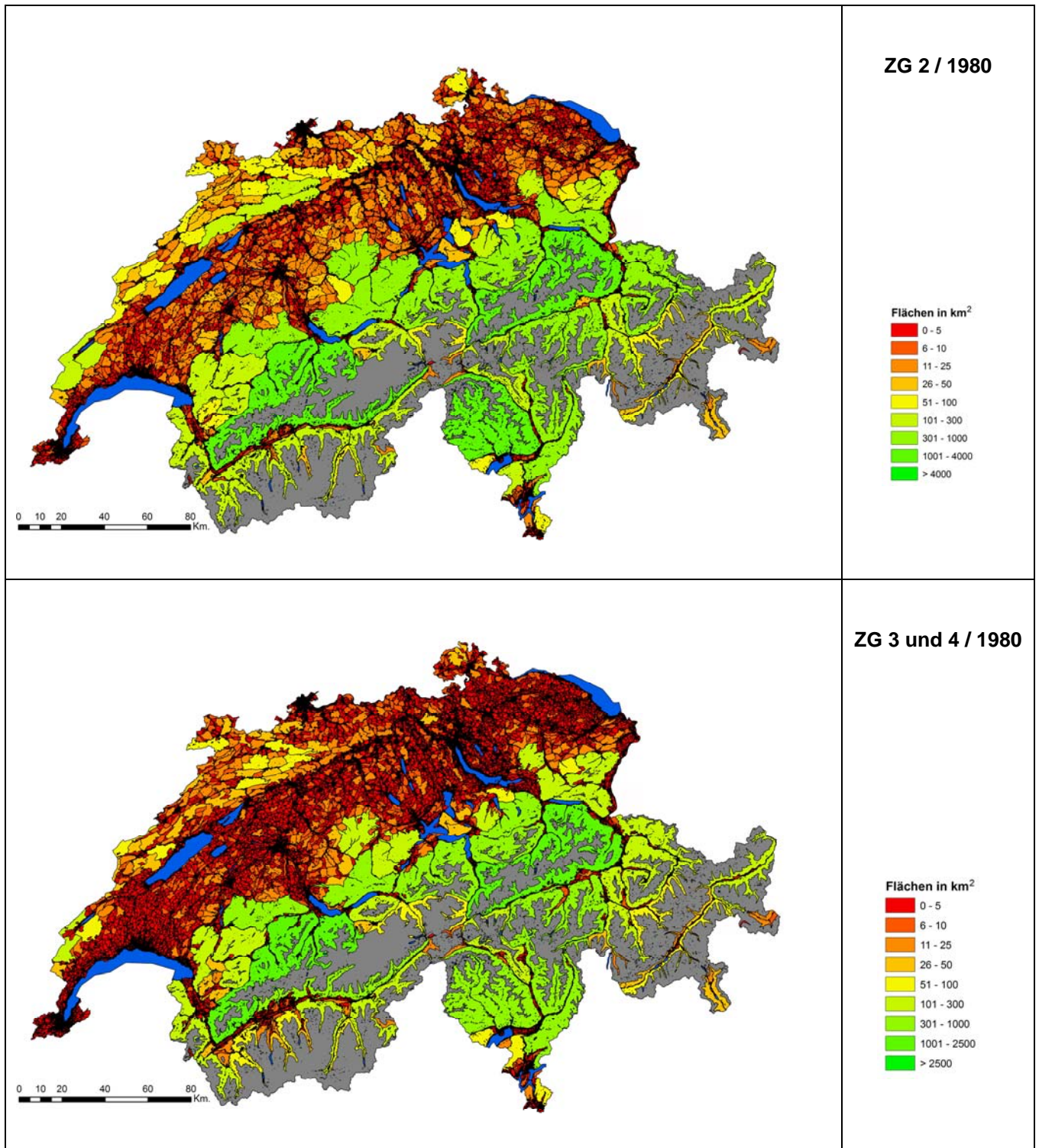
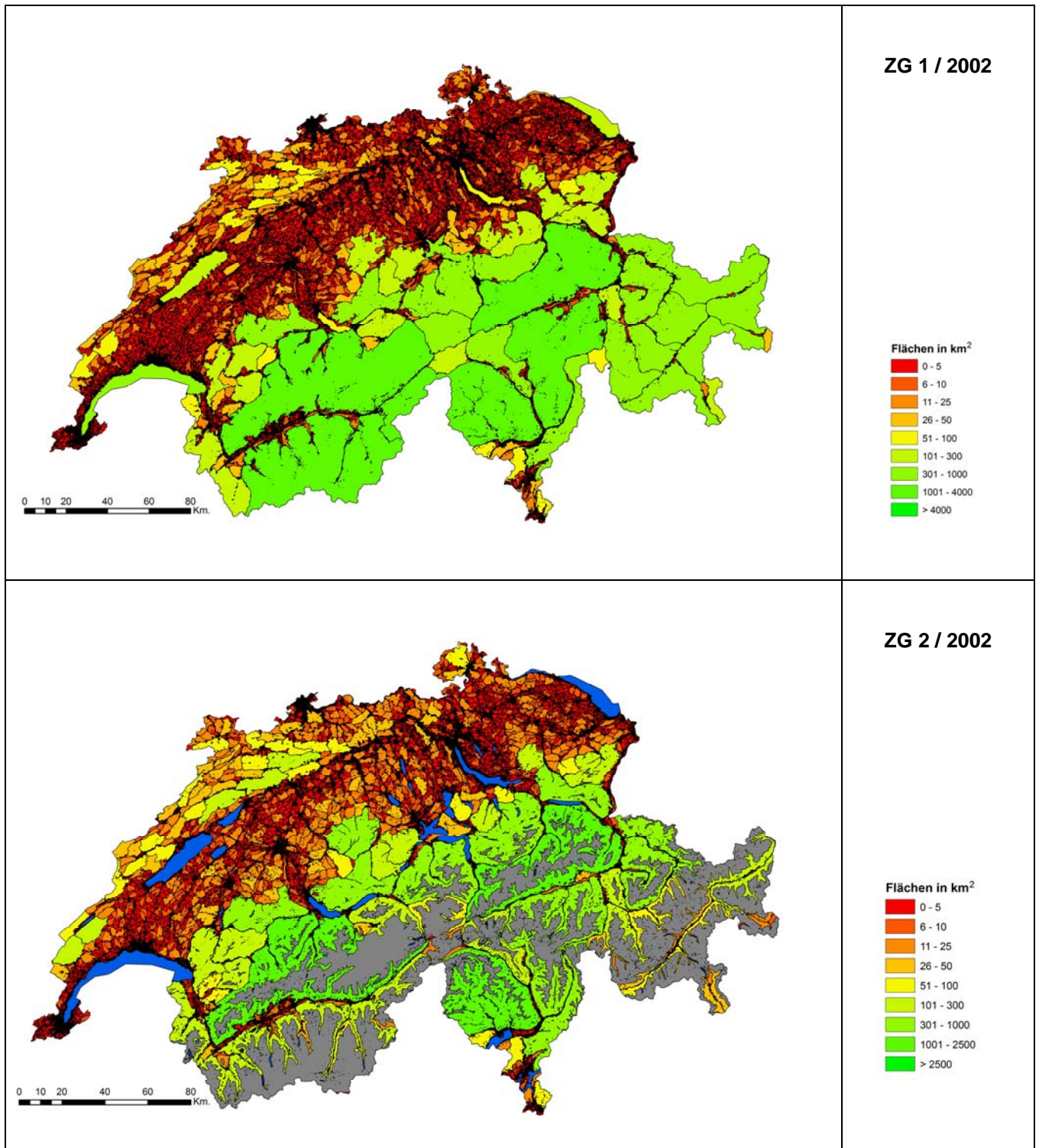


Abbildung 54: Zerschneidungskarte der Schweiz für das Jahr 1980 (ZG 1 = „Zivilisationsdruck“, ZG 2 = „Trennelemente bis 2.-Kl.-Strassen“, ZG 3 = „Trennelemente bis 3.-Kl.-Strassen“, ZG 4 = „Landflächen unterhalb 2100 m“).

9.5 Zerschneidungskarten Schweiz 2002



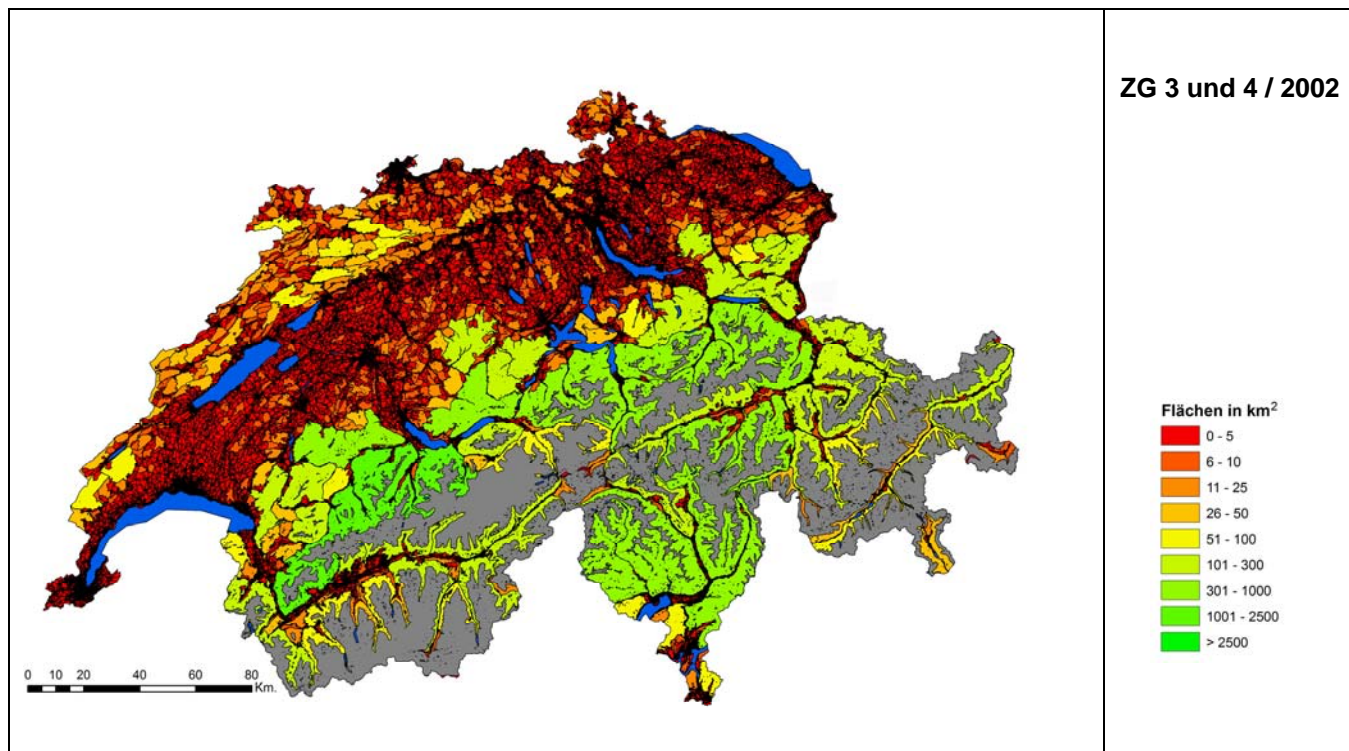


Abbildung 55: Zerschneidungskarte der Schweiz für das Jahr 2002 (ZG 1 = „Zivilisationsdruck“, ZG 2 = „Trennelemente bis 2.-Kl.-Strassen“, ZG 3 = „Trennelemente bis 3.-Kl.-Strassen“, ZG 4 = „Landflächen unterhalb 2100 m“).

9.6 Kantone

Wie im Abschnitt 3.2.4 erläutert, erfolgt hier eine Darstellung aller Kantone. Diese Ergebnisse bilden den zentralen Hauptteil des vorliegenden Berichts.

Der besseren Lesbarkeit wegen werden die Kartenausschnitte und Diagramme und der Text gegenüber gestellt.

Kanton Aargau

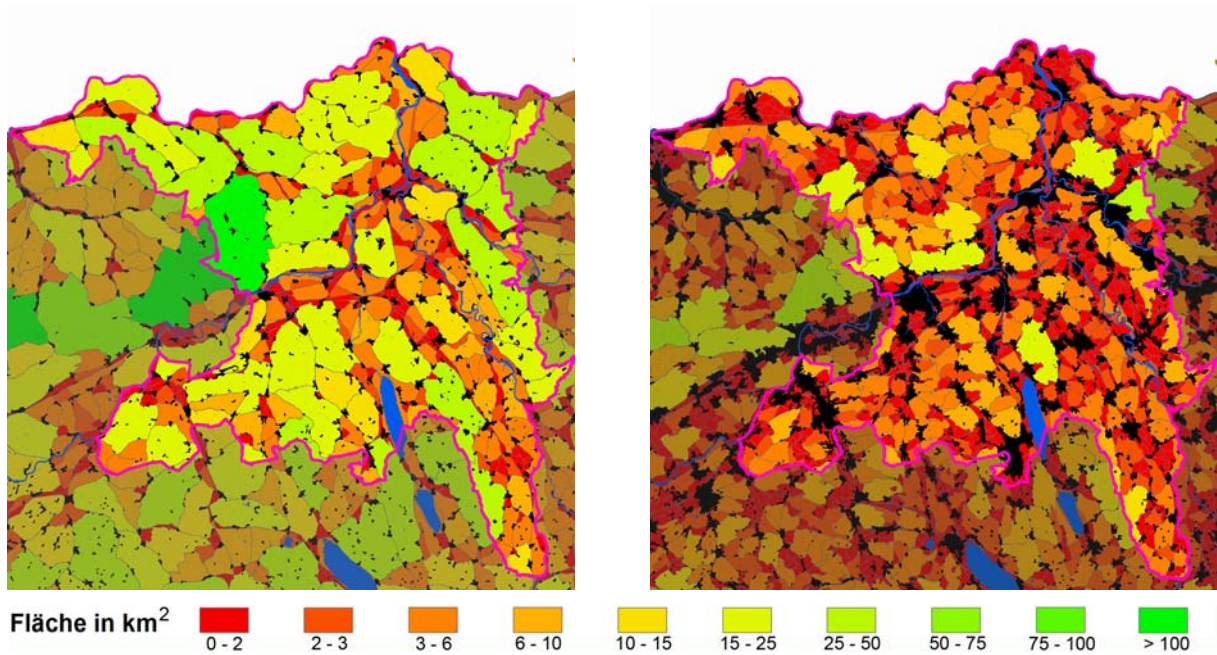


Abbildung 56: Kanton Aargau – Situation der Zerschneidung in den Jahren 1885 (links) und 2002 (rechts), dargestellt mit Zerschneidungsgeometrie 4 (Massstab ungefähr 1:760'000).

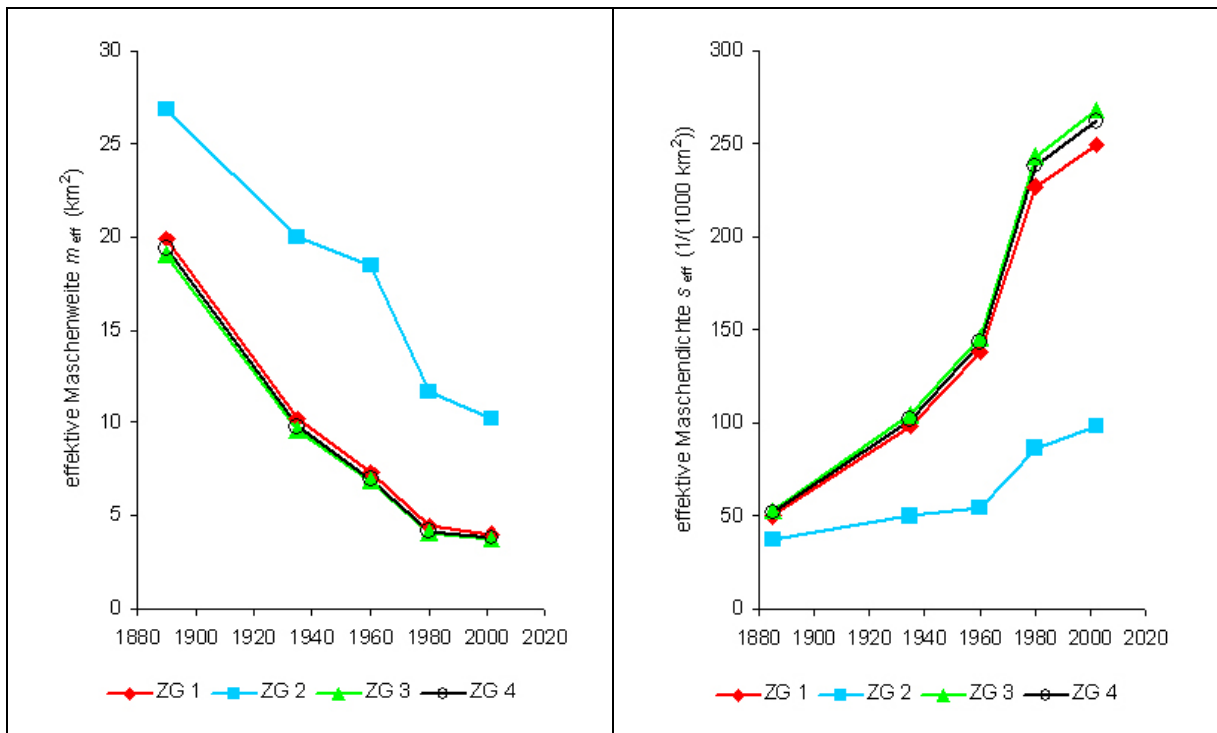


Abbildung 57: Kanton Aargau – Entwicklung der effektiven Maschenweite (links) und Maschendichte (rechts) zwischen 1885 und 2002, dargestellt für die vier Zerschneidungsgeometrien (ZG 1 = „Zivilisationsdruck“, ZG 2 = „Trennelemente bis 2.-Kl.-Strassen“, ZG 3 = „Trennelemente bis 3.-Kl.-Strassen“, ZG 4 = „Landflächen unterhalb 2100 m“).

Im Kanton Aargau ist die Grösse der verbliebenen Flächen über die gesamte Kantonsfläche markant gesunken (Abbildung 26). Nur noch etwa sechs grössere Flächen sind übrig geblieben: nordöstlich des Hallwiler Sees (*Rietenberg*), nordöstlich von Aarau (*Homberg* und *Gisliflue*) und ein Gebiet nordwestlich von Aarau (*Egg*), westlich von Frick (*Tiersteinberg*), und eines östlich von Baden (*Lägeren*) und nördlich von Baden (*Gländ*). Die Siedlungsfläche ist in grossen Teilen des Kantons sehr stark angewachsen. (Zum heutigen Zerschneidungsgrad im Aargau vgl. auch die Arbeit von PETER & MEIER 2003).

Die Kurven der effektiven Maschenweite in den drei Zerschneidungsgeometrien 1, 2 und 4 verlaufen fast aufeinander (parallel und sehr nahe beieinander; Abbildung 57), ähnlich wie auch in den Kantonen Basel-Landschaft, Schaffhausen und Solothurn. Die Ursache dafür ist, dass abgesehen vom Hallwiler See keine grösseren Seen und keine Gebirgsflächen im Kanton liegen. Die drei Kurven nehmen relativ gleichmässig ab, mit einer etwas stärkeren Abnahme zwischen 1885 und 1935 sowie zwischen 1960 und 1980. In diesen zwei Phasen wurden besonders viele neue Verkehrswege gebaut; auch die Siedlungsflächen nahmen stark zu (Abbildung 56). Damit ist der Kanton heute einer der am stärksten zerschnittenen Kantone der Schweiz.

Die Werte in ZG 2 liegen deutlich höher als in ZG 3 und 4, ähnlich wie im Kanton Zürich. Zwischen 1935 und 1960 fällt die Kurve weniger rasch, da in dieser Zeit überwiegend 3.-Klass-Strassen gebaut wurden, auch zwischen 1885-1935. In der Zeit danach erfolgte die Abnahme der effektiven Maschenweite wieder steiler, bedingt durch starken Autobahnbau (z.B. Bau von A1 und A2 nach Basel, Bern, Zürich und Luzern), der nicht gebündelt erfolgte, und durch den Ausbau von 3.- zu 2.-Klass-Strassen. Seit 1980 erfolgten die Höherklassierungen etwas abgeschwächt, aber es zeigt sich noch immer ein klarer Negativtrend. Eine fortgesetzte Abschwächung der Abnahme könnte zu einem konstanten Wert der effektiven Maschenweite auf einem Niveau von etwa 3.5 km^2 führen (diese Abschätzung basiert auf einer visuellen Extrapolation der Kurvenkrümmung).

Die effektive Maschenzahl pro 1000 km^2 (Abbildung 57 rechts) hat sich seit 1885 mehr als verdreifacht. In allen vier Kurven ist zwar eine Abschwächung des ansteigenden Trends erkennbar, aber der Anstieg ist noch immer stark, und der Trend muss sich noch erheblich abschwächen, bevor ein konstanter Wert erreicht werden kann (das Niveau von $m_{\text{eff}} = 3.5 \text{ km}^2$ entspricht einer Maschendichte von 286 Maschen pro 1000 km^2).

Kanton Appenzell-Ausserrhoden

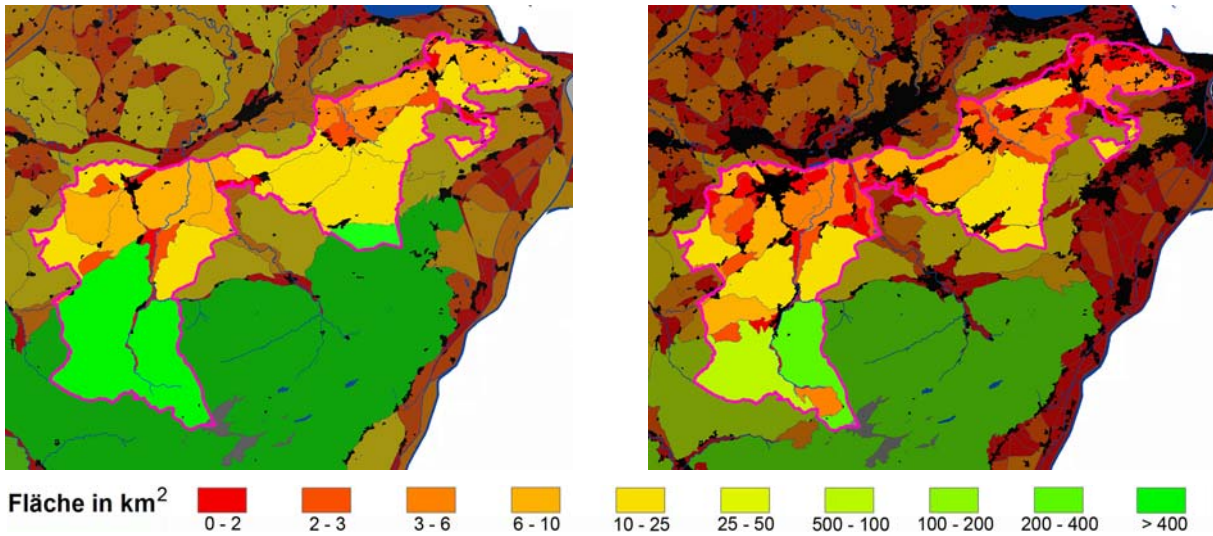


Abbildung 58: Kanton Appenzell-Ausserrhoden – Situation der Zerschneidung in den Jahren 1885 (links) und 2002 (rechts), dargestellt mit Zerschneidungsgeometrie 4 (Massstab ungefähr 1:470'000).

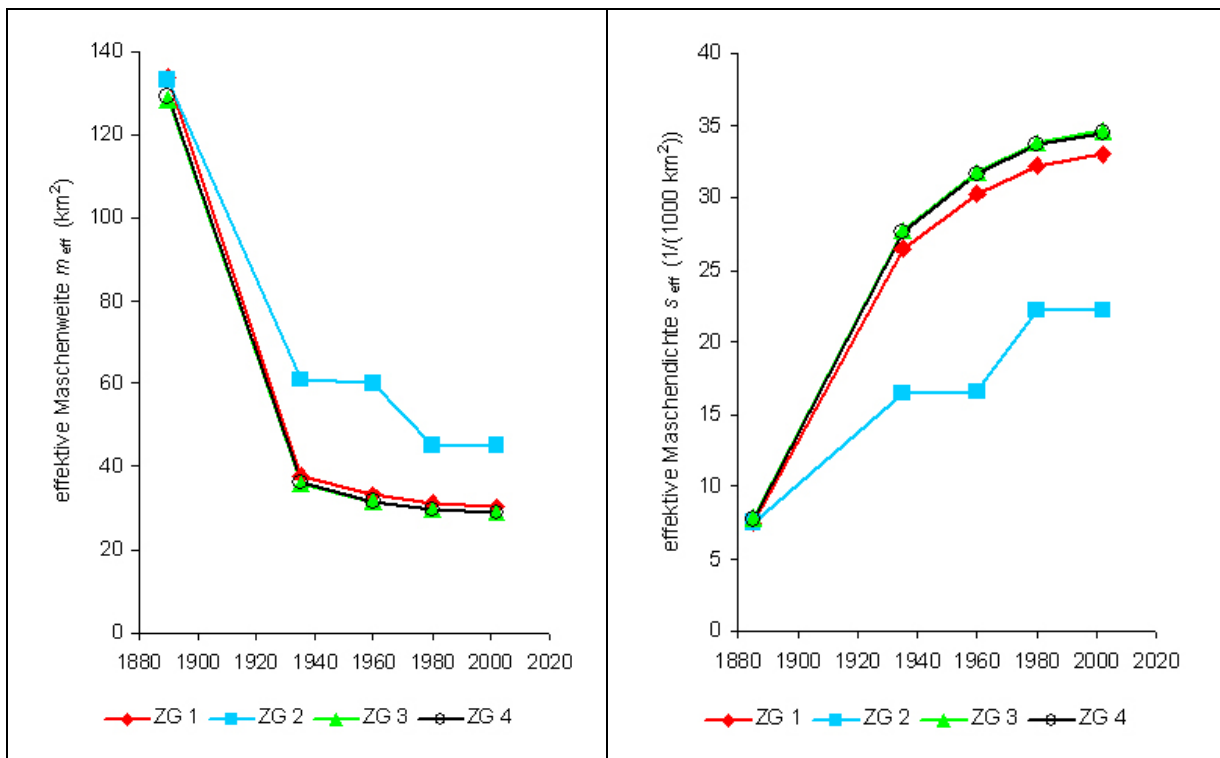


Abbildung 59: Kanton Appenzell-Ausserrhoden – Entwicklung der effektiven Maschenweite (links) und Maschendichte (rechts) zwischen 1885 und 2002, dargestellt für die vier Zerschneidungsgeometrien (ZG 1 = „Zivilisationsdruck“, ZG 2 = „Trennelemente bis 2.-Kl.-Strassen“, ZG 3 = „Trennelemente bis 3.-Kl.-Strassen“, ZG 4 = „Landflächen unterhalb 2100 m“).

Im Jahr 1885 wiesen im Kanton Appenzell-Ausserrhoden alle Zerschneidungsgeometrien eine nahezu identische effektive Maschenweite auf. Dies lag daran, dass es keine zerschneidungsrelevanten 3.-Klass-Strassen gab und kaum Seen und kein Gebirge vorhanden sind. Danach folgte bis 1935 eine erhebliche Abnahme der effektiven Maschenweite auf ein Drittel bis die Hälfte der Werte. Dabei weicht die Kurve in ZG 2 (ohne 3.-Kl.-Strassen) von den übrigen Kurven ab, welche fast deckungsgleich verlaufen.

Insbesondere der Bau der Passstrasse über die Schwägalp und zweier Verbindungen von Appenzell ins Rheintal führten – wegen der Zerschneidung grosser, bislang unzerschnittener Flächen – zu dieser starken Abnahme. Die Siedlungsflächen haben sich ausgedehnt, allerdings hat die Ausdehnung der Siedlungsflächen nur einen sehr geringen Anteil an dieser Verminderung der effektiven Maschenweite. Verglichen mit anderen Kantonen war die Ausdehnung der Siedlungsflächen recht schwach. Die Stärke der Veränderungen hat sich seit 1960 allmählich abgeschwächt, wie an der effektiven Maschendichte (Abbildung 59 rechts) erkennbar ist. Die grösste verbliebene Fläche ist die an den Säntis angrenzende Fläche im Süden des Kantons (in Verbindung zu den Kantonen Appenzell-Innerrhoden und St. Gallen).

Kanton Appenzell-Innerrhoden

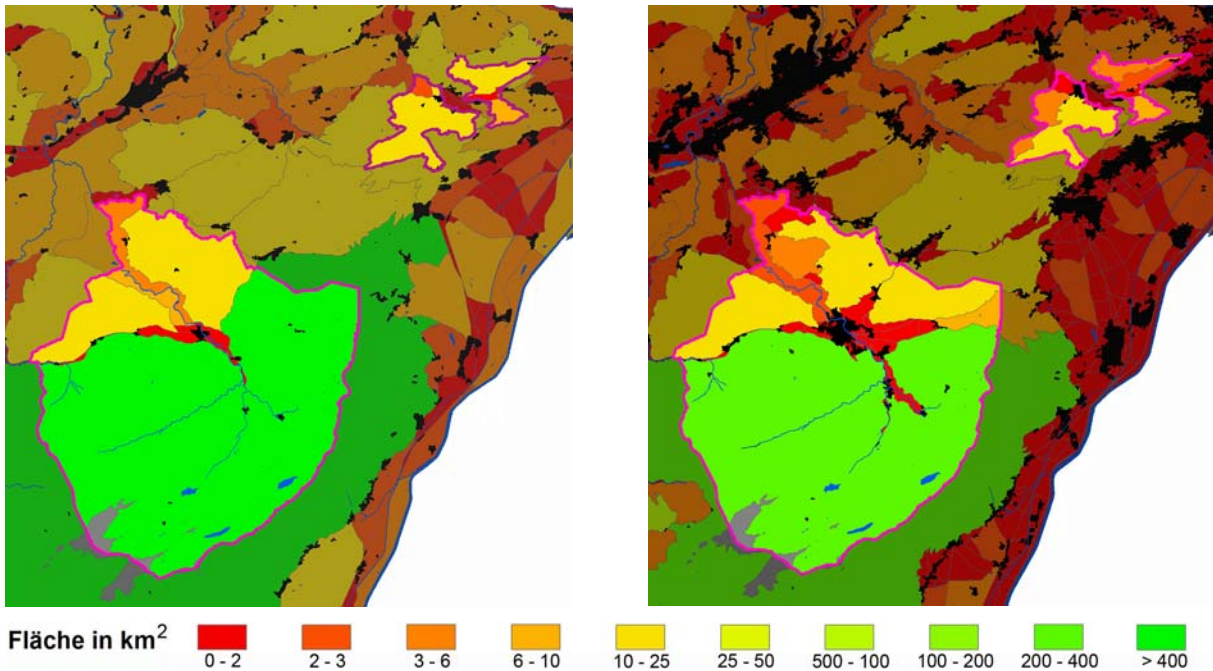


Abbildung 60: Kanton Appenzell-Innerrhoden – Situation der Zerschneidung in den Jahren 1885 (links) und 2002 (rechts), dargestellt mit Zerschneidungsgeometrie 4 (Massstab ungefähr 1:320'000).

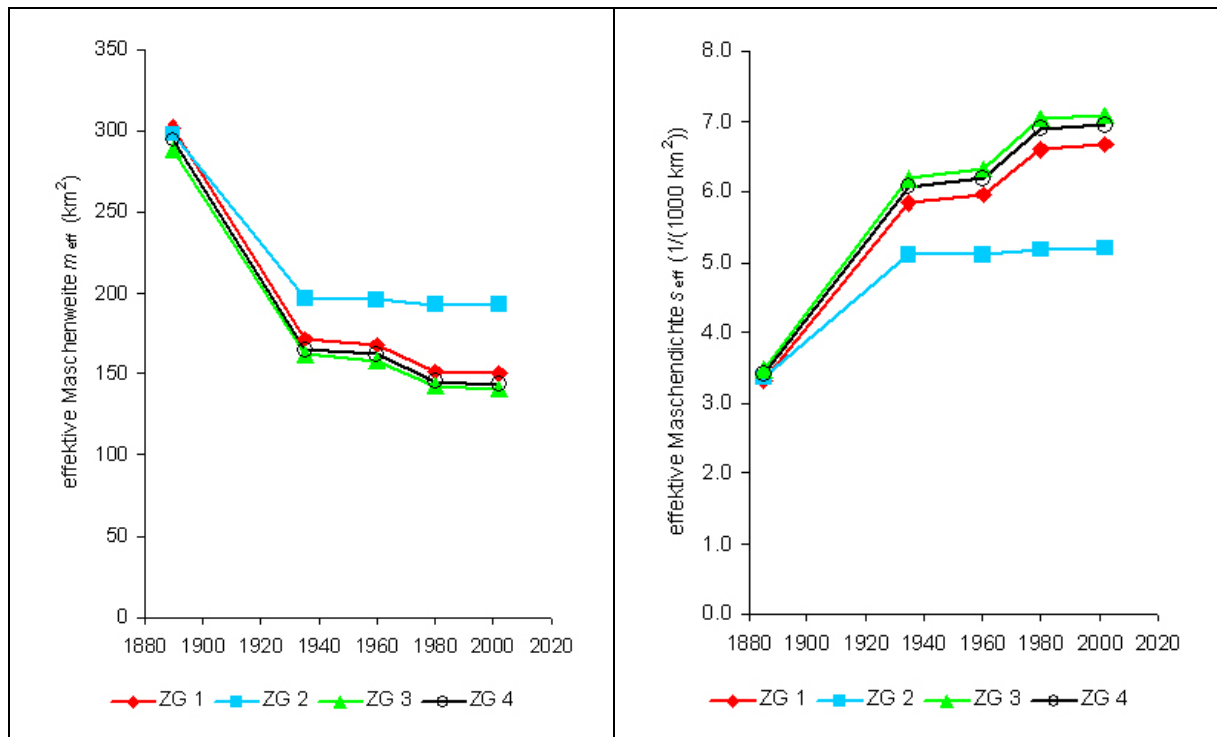


Abbildung 61: Kanton Appenzell-Innerrhoden – Entwicklung der effektiven Maschenweite (links) und Maschendichte (rechts) zwischen 1885 und 2002, dargestellt für die vier Zerschneidungsgeometrien (ZG 1 = „Zivilisationsdruck“, ZG 2 = „Trennelemente bis 2.-Kl.-Strassen“, ZG 3 = „Trennelemente bis 3.-Kl.-Strassen“, ZG 4 = „Landflächen unterhalb 2100 m“).

Im Kanton Appenzell-Innerhoden (Abbildung 61) fand eine ähnliche Entwicklung der Landschaftszerschneidung wie im Kanton Appenzell-Ausserhoden (Abbildung 59) statt. Allerdings liegen die Werte der effektiven Maschenweite hier deutlich höher. Dies liegt vor allem am grösseren Anteil an der unzerschnittenen Fläche in der Südhälfte des Kantons rund um den Säntis, der über 2100 m hoch ist. Insbesondere die Werte in ZG 1 liegen daher höher. Nach 1935 nahm die effektive Maschenweite – gegenüber der starken Abnahme zwischen 1885 und 1935 – nur noch wenig ab.

Die Siedlungsfläche der Gemeinde Appenzell ist angewachsen, allerdings fiel das Siedlungswachstum deutlich weniger stark aus als in anderen Kantonen. Die Kurve der effektiven Maschendichte (Abbildung 61 rechts) zeigt wiederum zwei Phasen intensiver Zunahme der Zerschneidung (1885 bis 1935 und 1960 bis 1980) und zwei ruhigere Phasen.

Kanton Basel-Landschaft

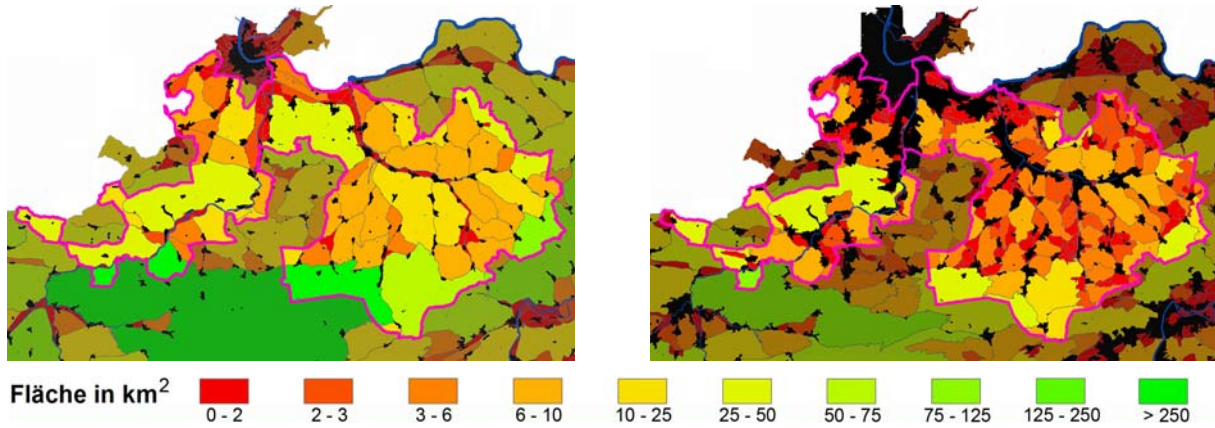


Abbildung 62: Kanton Basel-Landschaft – Situation der Zerschneidung in den Jahren 1885 (links) und 2002 (rechts), dargestellt mit Zerschneidungsgeometrie 4 (Massstab ungefähr 1:650'000).

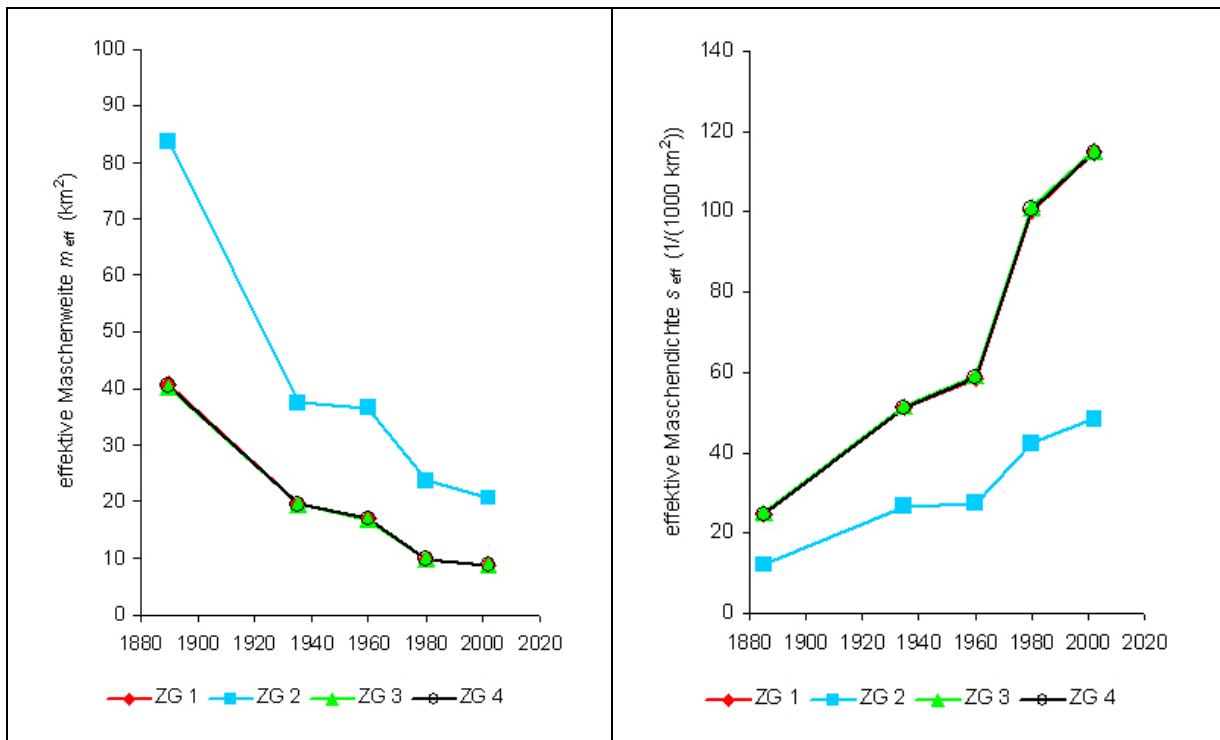


Abbildung 63: Kanton Basel-Landschaft – Entwicklung der effektiven Maschenweite (links) und Maschendichte (rechts) zwischen 1885 und 2002, dargestellt für die vier Zerschneidungsgeometrien (ZG 1 = „Zivilisationsdruck“, ZG 2 = „Trennelemente bis 2.-Kl.-Strassen“, ZG 3 = „Trennelemente bis 3.-Kl.-Strassen“, ZG 4 = „Landflächen unterhalb 2100 m“).

Im Kanton Basel-Landschaft (Abbildung 63) verlief die Entwicklung der effektiven Maschenweite ähnlich wie im Kanton Solothurn (Abbildung 91): Auch hier ist ein sehr starkes Siedlungswachstum zu verzeichnen (Abbildung 62). Die Abnahme der effektiven Maschenweite erfolgt in zwei deutlichen Schritten: der erste Schritt erfolgte zwischen 1885 und 1935 und der zweite zwischen 1960 und 1980. Zwischen 1970 und 1980 wurde ein Grossteil der Autobahnen A2 und A3 gebaut. Da es keine Seen und Gebirge gibt, verlaufen die Kurven in ZG 1, 3 und 4 gleich. In ZG 2 nahm die effektive Maschenweite zwischen 1885 und 1935 stärker ab, da viele neue höherklassige Strassen und die Schienenstrecke im Waldenburgerthal entstanden.

Die Verkleinerung der Maschengrössen fand flächendeckend über den ganzen Kanton statt. Die grösste noch verbliebene Fläche liegt im Westen des Kantons (*Blauen*), die nächst grösseren sind *Ritzigrund-La Reselle* ganz im Westen des Kantons, *Riedberg-Bogental* (im Südwesten des Kantons südwestlich Reigoldswil), *Rehhag* (nördlich von Langenbruck) und *Leutschenberg* (im Südosten des Kantons, in Verbindung zum Kanton Solothurn).

Die effektive Maschendichte (Abbildung 63 rechts) verdeutlicht, dass der Trend ungebrochen ist, nur ein wenig flacher als vor 1980, aber steiler als in der Zeit vor 1960.

Im Zeitraum zwischen 1904 und 1997 erfolgte eine Zunahme des Fahrzeugbestands im Kanton von 4 Personenwagen auf 108'450 (mit 1528 Personenwagen im Jahr 1930). Im gleichen Zeitraum stieg die Einwohnerzahl von 68'497 (im Jahr 1900) auf 240'922 im Jahr 1997, mit 92'541 Einwohnern im Jahr 1930 (TANNER 2001: 127-137 und 247-250). Im Laufe der Jahrzehnte hat sich der Einzugsbereich der Stadt Basel immer weiter nach aussen ausgedehnt.

Kanton Basel-Stadt

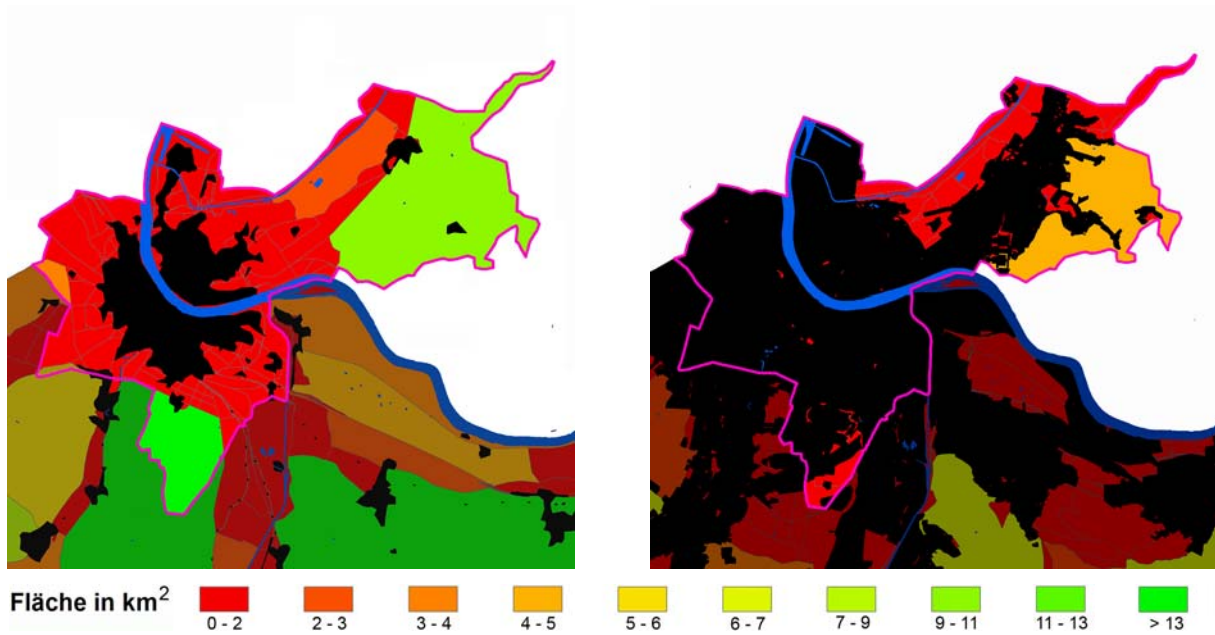


Abbildung 64: Kanton Basel-Stadt – Situation der Zerschneidung in den Jahren 1885 (links) und 2002 (rechts), dargestellt mit Zerschneidungsgeometrie 4 (Massstab ungefähr 1:160'000).

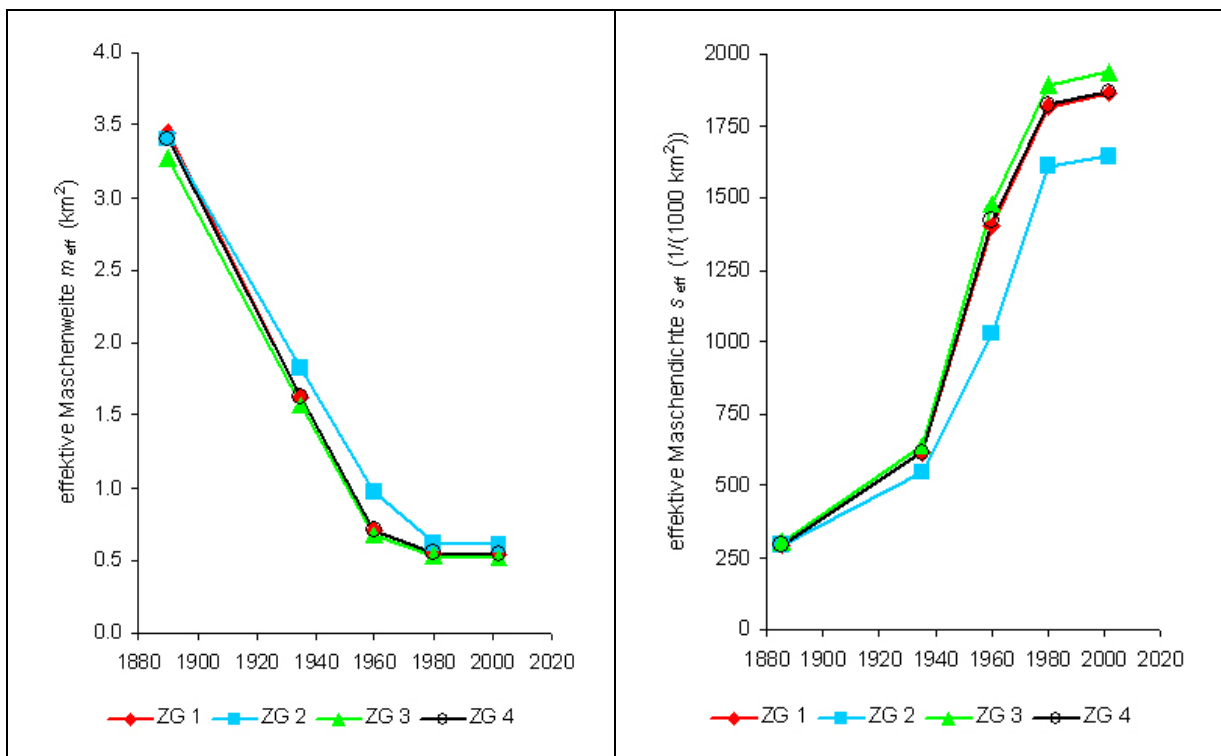


Abbildung 65: Kanton Basel-Stadt – Entwicklung der effektiven Maschenweite (links) und Maschendichte (rechts) zwischen 1885 und 2002, dargestellt für die vier Zerschneidungsgeometrien (ZG 1 = „Zivilisationsdruck“, ZG 2 = „Trennelemente bis 2.-Kl.-Strassen“, ZG 3 = „Trennelemente bis 3.-Kl.-Strassen“, ZG 4 = „Landflächen unterhalb 2100 m“).

Im Kanton Basel-Stadt haben sich die Siedlungsflächen in den letzten 120 Jahren massiv ausgedehnt und überdecken heute fast den ganzen Kanton. Die Kurven der effektiven Maschenweite in den vier Zerschneidungsgeometrien verlaufen nahezu identisch. Der Einfluss der 3.-Klass-Strassen ist relativ gering (es bestehen nur geringe Unterschiede zwischen ZG 2 und ZG 3), da praktisch der gesamte Kanton überbaut ist und somit die Siedlungsfläche die Maschenweite am stärksten dezimiert. Entsprechend tief sind die Werte der effektiven Maschenweite mit 0.52 km^2 bis 0.61 km^2 . Unter allen Kantonen in der Schweiz sind dies die tiefsten Werte.

Die Zunahme der effektiven Maschendichte erscheint abgebremst (Abbildung 65, rechts), was aber vielmehr eine Folge davon ist, dass kaum noch unzerschnittene Flächen verbleiben, und daher nicht als eine Trendumkehr interpretiert werden kann. Als offene (unzerschnittene) Flächen verblieben sind lediglich der Rhein (nur in ZG 1), durch die Brücken unterbrochen, und eine etwas grössere Waldfläche ($< 4 \text{ km}^2$) und 9 sehr kleine Flächen in der Gemeinde Riehen (im Norden des Kantons, Abbildung 64). Die Werte der effektiven Maschendichte mit 1645 bis 1939 Maschen pro 1000 km^2 sind die höchsten in der Schweiz.

Kanton Bern

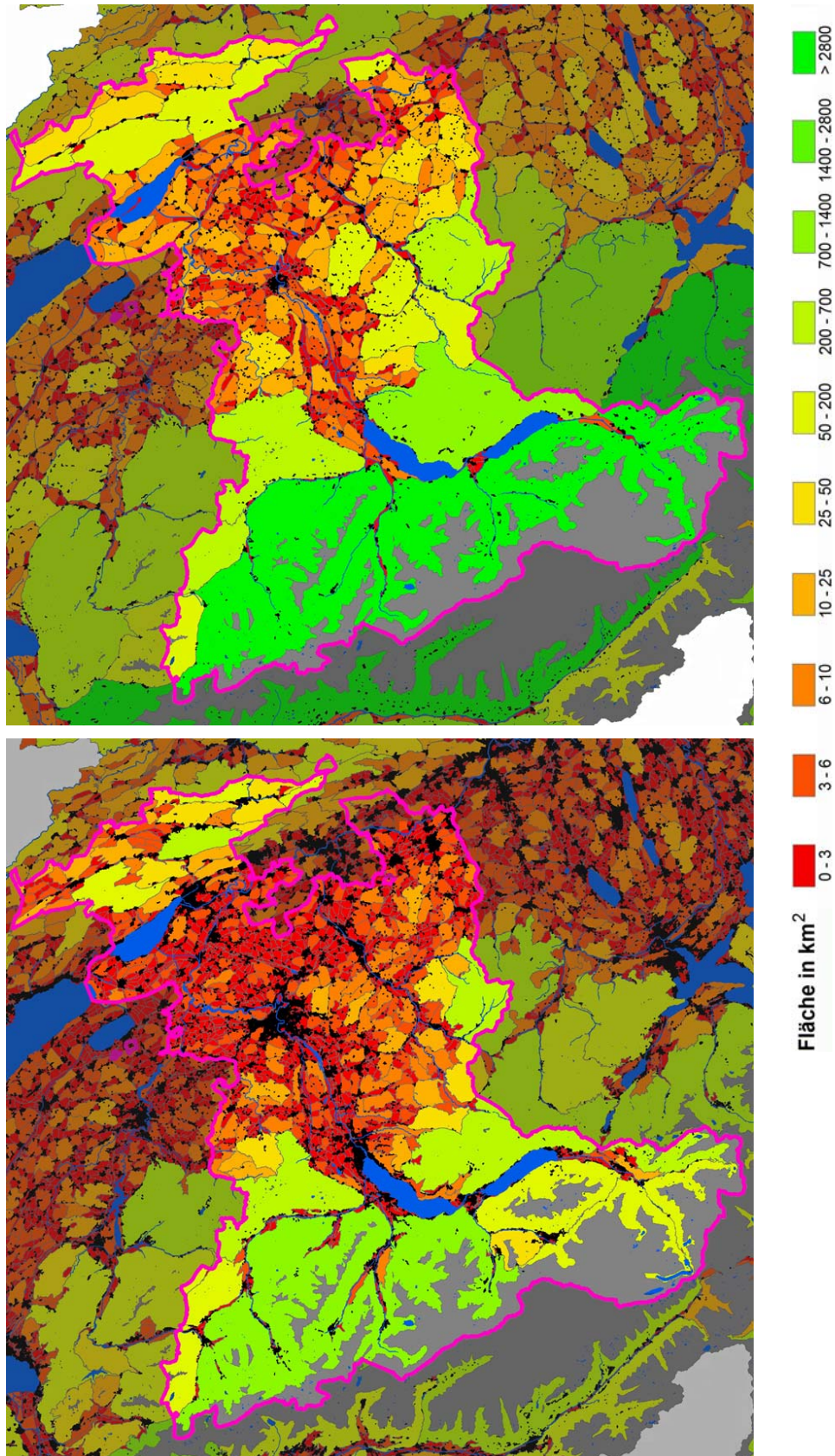


Abbildung 66: Kanton Bern – Situation der Zerschneidung in den Jahren 1885 (oben) und 2002 (unten), dargestellt mit Zerschneidungsgeometrie 4 (Massstab ungefähr 1:1'090'000).

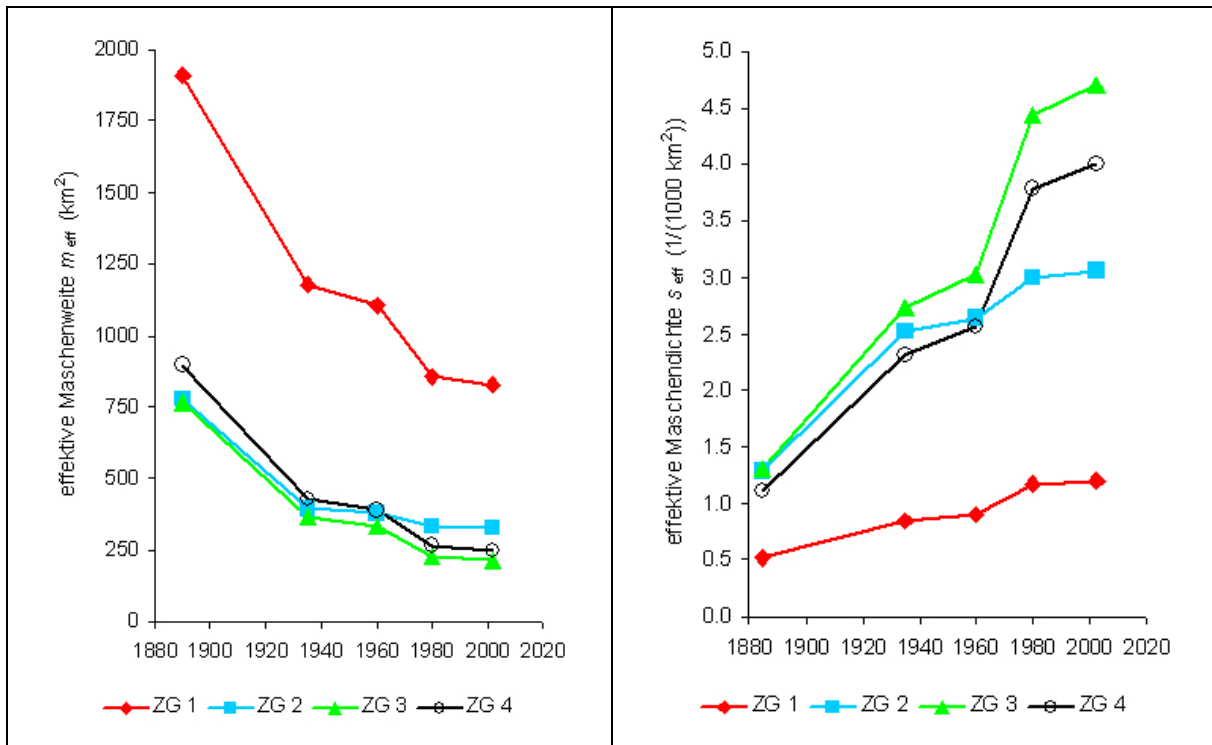


Abbildung 67: Kanton Bern – Entwicklung der effektiven Maschenweite (links) und Maschendichte (rechts) zwischen 1885 und 2002, dargestellt für die vier Zerschneidungsgeometrien (ZG 1 = „Zivilisationsdruck“, ZG 2 = „Trennelemente bis 2.-Kl.-Strassen“, ZG 3 = „Trennelemente bis 3.-Kl.-Strassen“, ZG 4 = „Landflächen unterhalb 2100 m“).

Starkes Siedlungsflächenwachstum fand im Kanton Bern vor allem im Aaretal, entlang der Emme, im Seeland und im Jura statt. Einige grosse Flächen sind noch in den Alpen und im Jura verblieben sowie der Napf im Osten des Kantons. Die beiden Gebiete *Hohgant/Schrattenfluh* und *Gantrisch/Kaiseregg* gehören ebenfalls zu den wenigen noch verbliebenen grösseren Flächen. Im Jura sollten vor allem die drei noch verbliebenen grösseren Gebiete (*Chasseral*, *Montoz* und *Montagne de Moutier*) vor Zerschneidung bewahrt werden.

Die stärkste Verdichtung der Zerschneidung erfolgte im Mittellandteil des Kantons. Die schon früh relativ stark zerschnittenen Bereiche haben sich bis in die Bergregionen hinein ausgedehnt und zum Teil die Form von Fransen (bedingt durch die Topographie).

Alle Kurven der effektiven Maschenweite verlaufen parallel, nur jene der ZG 2 weicht seit 1960 leicht ab, indem sie etwas langsamer absinkt (Abbildung 67 links). Ab 1960 nehmen die 3.-Kl.-Strassen stärker zu als die höherklassigen Strassen. Die Werte der ZG 1 verlaufen auf einem deutlich höheren Niveau, was durch die grossen Flächenanteile der Seen (2.4% der Kantonsfläche) und des Gebirges (12.3% der Kantonsfläche) bedingt ist. Insgesamt hat die Landschaftszerschneidung durch den Bau neuer Verkehrswege und die Ausdehnung der Siedlungsflächen stark zugenommen. Der Bau neuer Verkehrswege (vor allem 3.-Klass-Strassen) geschah zu einem grossen Teil im Emmental, im Jura und in peripheren Regionen in den Alpentälern, der Siedlungsausbau erfolgte primär im Mittelland.

Im Jahr 1885 bestand noch keine Strasse über den Grimselpass (zumindest keine 3.-Klass-Strasse). Sie war im Jahr 1935 gebaut und zerteilt eine grosse Fläche in zwei Teile, weshalb die effektive Maschenweite deutlich abnahm. Die Werte nahmen in ZG 1 zwischen 1885 und 1935 stärker ab als in den anderen Zerschneidungsgeometrien, da in den ZG 2 bis 4 das Gebirge als Trennelement betrachtet wird und der Bau der Grimsel-Passstrasse (Grimselpasshöhe = 2165 m ü.M.) sich somit weniger stark ausgewirkt hat als in ZG 1.

Für die effektive Maschendichte (Abbildung 67 rechts) ist in ZG1 in den letzten Jahren nur eine geringe Abschwächung der Entwicklung erkennbar, in ZG 2 bis 4 ist insgesamt (d.h. gegenüber den 100 Jahren davor) keine oder nur eine geringe Abschwächung des Entwicklungstrends zu beobachten.

Kanton Freiburg

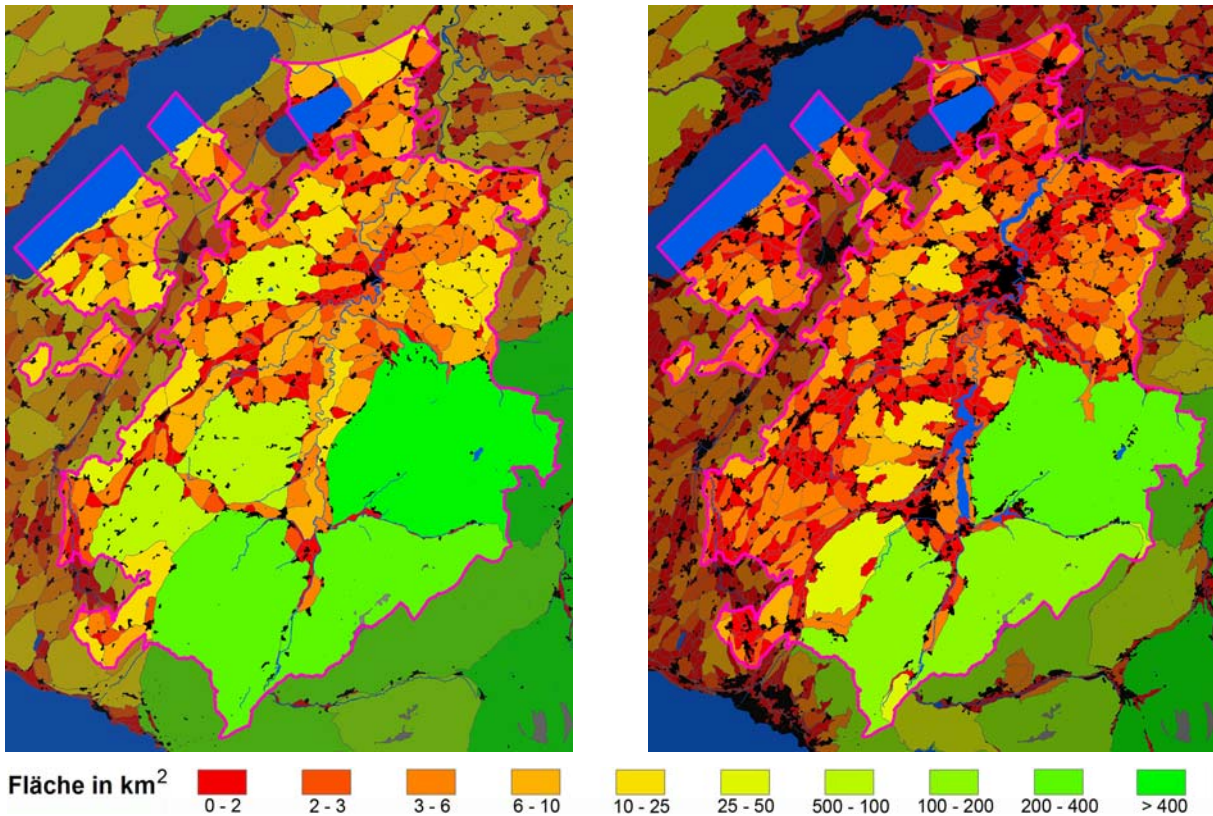


Abbildung 68: Kanton Freiburg – Situation der Zerschneidung in den Jahren 1885 (links) und 2002 (rechts), dargestellt mit Zerschneidungsgeometrie 4 (Massstab ungefähr 1:680'000).

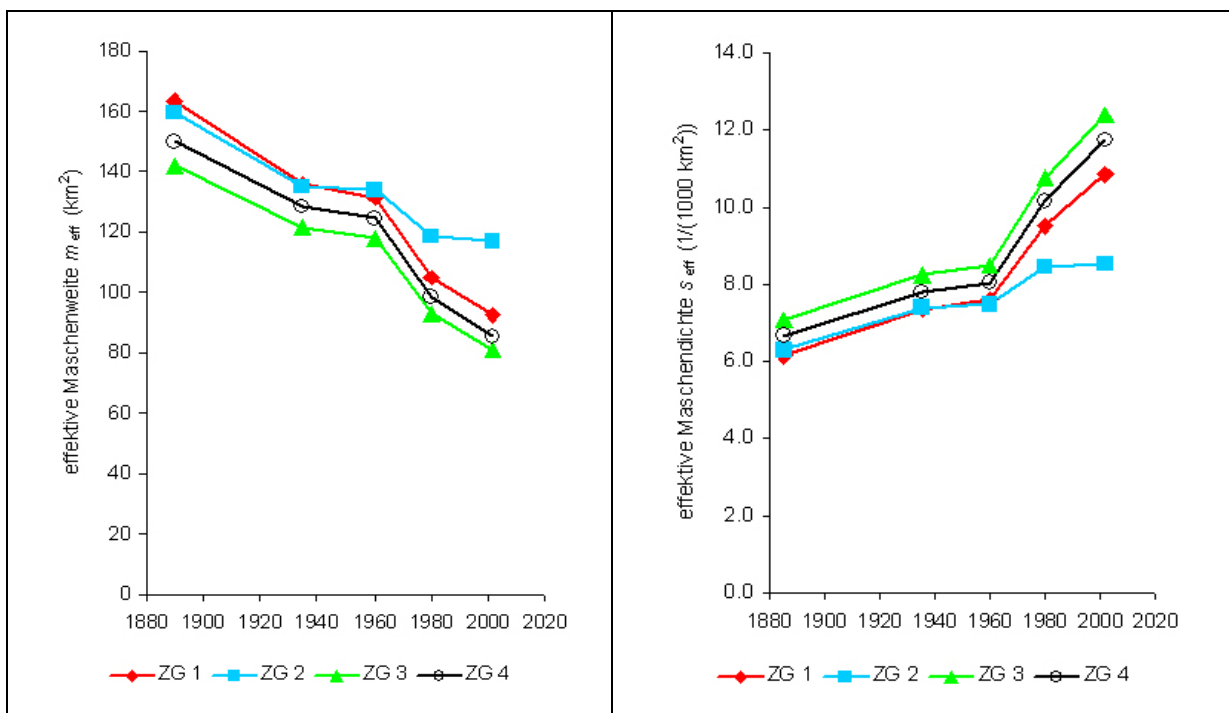


Abbildung 69: Kanton Freiburg – Entwicklung der effektiven Maschenweite (links) und Maschendichte (rechts) zwischen 1885 und 2002, dargestellt für die vier Zerschneidungsgeometrien (ZG 1 = „Zivilisationsdruck“, ZG 2 = „Trennelemente bis 2.-Kl.-Strassen“, ZG 3 = „Trennelemente bis 3.-Kl.-Strassen“, ZG 4 = „Landflächen unterhalb 2100 m“).

In den nördlichen zwei Dritteln des Kantons Freiburg hat sich das Verkehrsnetz stark verdichtet. Drei grosse Flächen sind aufgrund starker Zerschneidung entfallen: *Le Gibloux*, *Bouloz* und Umgebung, und *Ponthaux* und Umgebung westlich von Fribourg. Die Randflächen im Süden sind deutlich verkleinert worden (*Gantrisch* im Südwesten in Verbindung mit dem Kanton Bern, *Le Moléson* und *Dent de Brenleire*). Zwei Stauseen sind hinzugekommen (Lac de Gruyère und Schiffenensee). Die Siedlungsentwicklung ist vor allem um Fribourg, Bulle, Estavayer-le-Lac konzentriert verlaufen, aber greift von dort ziemlich stark in die Umgebung hinein. Der Entwicklungstrend in ZG 1, 3 und 4 hat seit 1960 deutlich zugelegt und in ZG 2 ist der Trend relativ konstant, wie die Kurve der effektiven Maschendichte (Abbildung 69 rechts) aufzeigt.

Im Kanton Freiburg ist eine vergleichsweise schwache Abnahme der effektiven Maschenweite zu verzeichnen, eine der niedrigsten unter allen Kantonen seit 1885. Die Abnahme beträgt in ZG 1 zwischen 1885 und 2002 aber auch hier noch 43.5%.

Der Kanton Freiburg war schon immer dezentral besiedelt und zeigt bis 1960 als ländlicher Raum nur eine relativ geringe Entwicklung. Lediglich die Regionen von Bulle und Fribourg weisen eine „städtische“ Entwicklung auf. Erst seit 1960 ist eine starke Abnahme der effektiven Maschenweite sichtbar, was vor allem am Bau von 3.-Klass-Strassen in den voralpinen Regionen des Kantons (im südöstlichen Teil) zurückzuführen ist. Daher sind die Werte in ZG 2 anders als in den anderen Zerschneidungsgeometrien. Die seit 1960 erfolgten Veränderungen lassen erwarten, dass die Hauptphase einer zunehmenden Zerschneidung derzeit abläuft und künftig noch weitergehen wird.

Die im Jahr 2000 neu gebaute Autobahn A1 verläuft oft durch Tunnels bzw. durch bereits stark zerschnittene Gebiete und beeinflusst die effektive Maschenweite nur relativ gering, obwohl sie nicht mit bestehenden Infrastrukturanlagen gebündelt wurde.

Kanton Genf

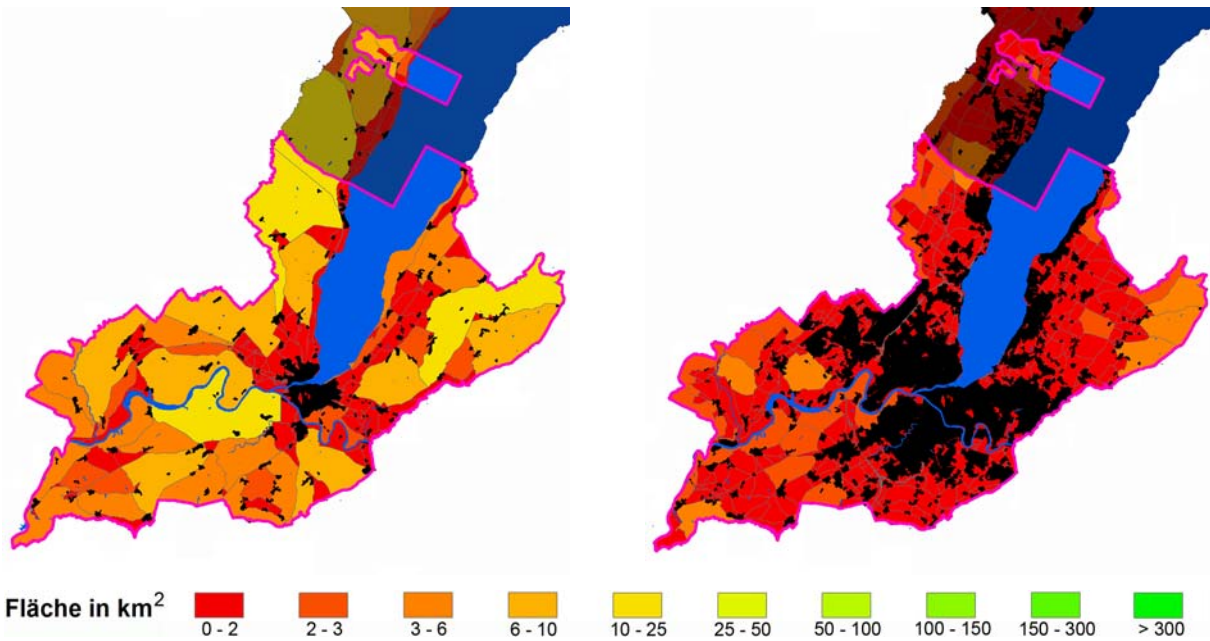


Abbildung 70: Kanton Genf – Situation der Zerschneidung in den Jahren 1885 (links) und 2002 (rechts), dargestellt mit Zerschneidungsgeometrie 4 (Massstab ungefähr 1:520'000).

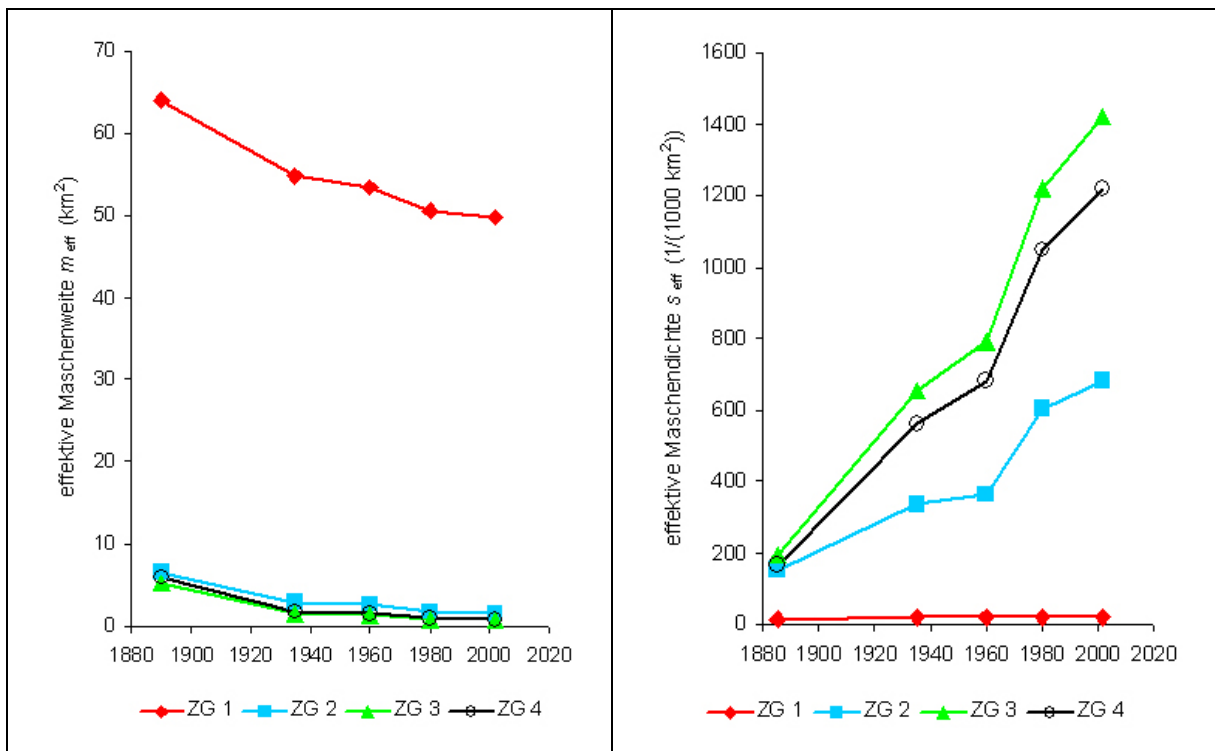


Abbildung 71: Kanton Genf – Entwicklung der effektiven Maschenweite (links) und Maschendichte (rechts) zwischen 1885 und 2002, dargestellt für die vier Zerschneidungsgeometrien (ZG 1 = „Zivilisationsdruck“, ZG 2 = „Trennelemente bis 2.-Kl.-Strassen“, ZG 3 = „Trennelemente bis 3.-Kl.-Strassen“, ZG 4 = „Landflächen unterhalb 2100 m“).

Massive Siedlungsflächenausdehnung dominiert den Kanton Genf. Flächendeckend sind die Maschen aufgrund der Verdichtung des Verkehrsnetzes verkleinert worden. Es sind keine grösseren Flächen mehr vorhanden. Die grössten Flächen (um 6 km²) liegen im Wald (im Gebiet *Les Grands Bois* im Osten des Kantons) und am Flusslauf des L'Allandon (im Nordwesten). Der Entwicklungstrend ist in ZG 3 und 4 stark und ungebremst fortschreitend; bei ZG 2 nur wenig schwächer.

Im Kanton Genf fällt auf, dass die Werte der effektiven Maschenweite in ZG 1 sehr viel höher liegen als in den drei anderen Zerschneidungsgeometrien. Die Ursache hierfür ist der Genfer See, der 29% der Kantonsfläche einnimmt (im Kanton liegen keine Flächen > 2100 m). Die Kurven verlaufen in ZG 3 und 4 parallel, auch in ZG 2 verläuft die Kurve weitgehend parallel dazu. Der Abstand zwischen der Kurve von ZG 2 ist in der Zeit zwischen 1935 und 1960 am grössten, danach wird er wieder geringer. Dies deutet auf den Bau von 3.-Klass-Strassen zwischen 1885 und 1960 hin, von denen ein grosser Teil nach 1960 ausgebaut und höherklassiert wurde.

Gründe für die Abnahme der effektiven Maschenweite sind die erhebliche Flächenausdehnung der Siedlungsbereiche und mehrere neue Verkehrswege. Die Entwicklung verlief relativ gleichmässig, mit einer etwas stärkeren Phase zwischen 60 und 80 (in diese Zeit fällt auch der Autobahnbau). Neueren Datums (zwischen 1980 und 2002) ist ein Teilstück der Autobahn im Westen von Genf. Es sind keine Anzeichen für eine Trendänderung erkennbar.

Kanton Glarus

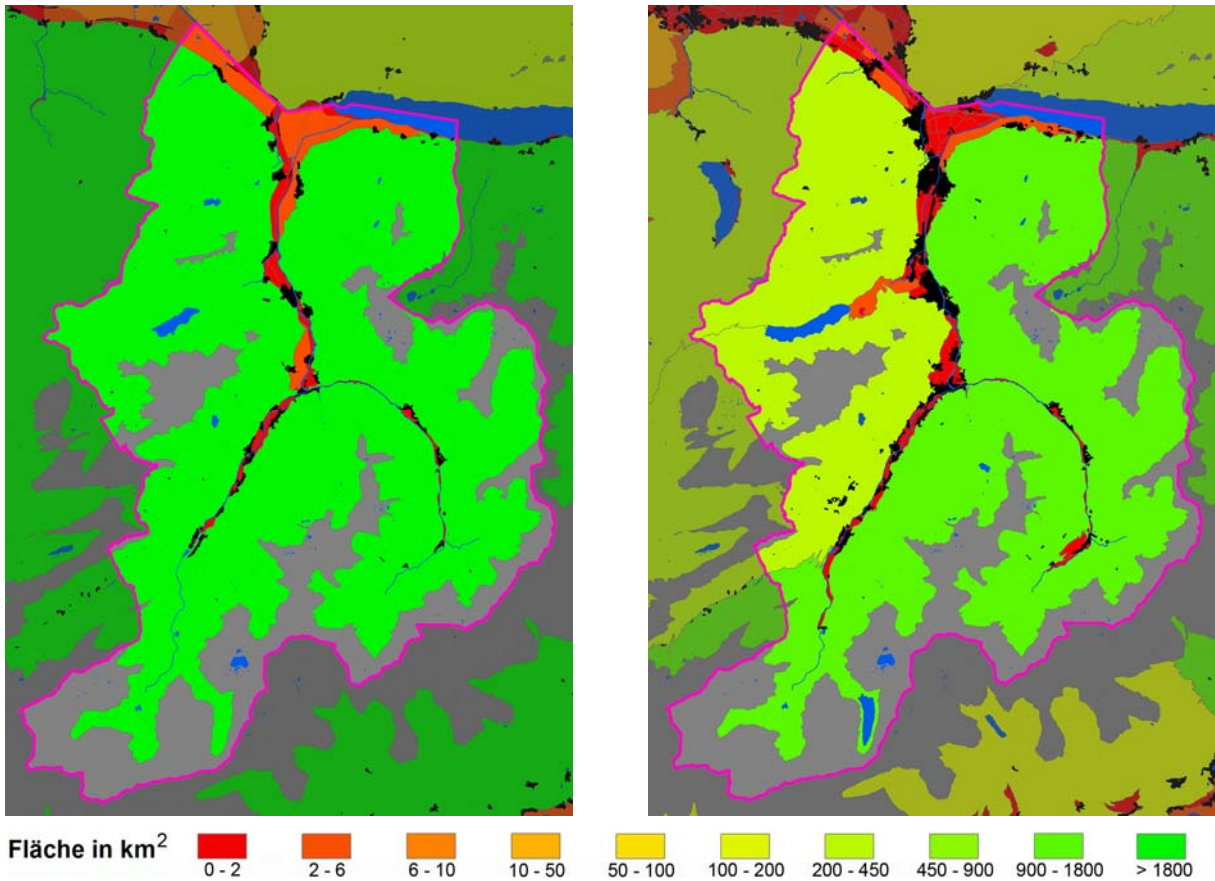


Abbildung 72: Kanton Glarus – Situation der Zerschneidung in den Jahren 1885 (links) und 2002 (rechts), dargestellt mit Zerschneidungsgeometrie 4 (Massstab ungefähr 1:420'000).

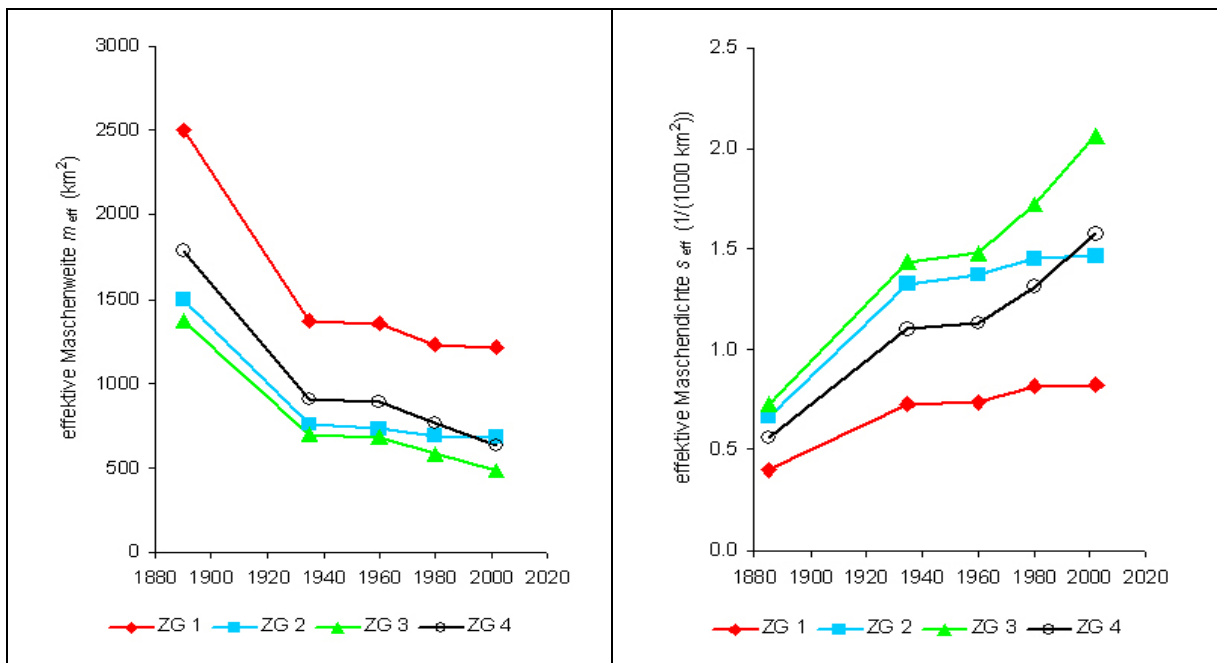


Abbildung 73: Kanton Glarus – Entwicklung der effektiven Maschenweite (links) und Maschendichte (rechts) zwischen 1885 und 2002, dargestellt für die vier Zerschneidungsgeometrien (ZG 1 = „Zivilisationsdruck“, ZG 2 = „Trennelemente bis 2.-Kl.-Strassen“, ZG 3 = „Trennelemente bis 3.-Kl.-Strassen“, ZG 4 = „Landflächen unterhalb 2100 m“).

Der Kanton Glarus bestand 1885 fast gänzlich aus einer grossen Fläche (mit Ausnahme des Talbodens), heute wird er grösstenteils von drei relativ grossen Flächen bedeckt. Der Talboden ist allerdings viel stärker zerschnitten, im nördlichen Teil des Talbodens gab es eine starke Siedlungsflächenzunahme. In ZG 3 und 4 zeigt sich keine Abschwächung des Trends. Die Entwicklung in ZG 1 und 2 erscheint abgeschwächt, aber aufgrund der topographischen Verhältnisse sind diese beiden ZGs hier weniger relevant, denn ZG 1 ist von grossen Gebirgsflächen (die sogar über Glarus hinausreichen) dominiert und für ZG 2 gilt, dass alle aus Verkehrssicht sinnvoll denkbaren Strassen der Klasse 2 und höher für einen Kanton dieser Lage (Tal, das von hohen Bergen umgeben ist) bereits gebaut sind.

Seit 1935 fand nur noch eine geringe Zunahme der Landschaftszerschneidung statt, da der Kanton Glarus als Talkanton damals bereits seine Grunderschliessung abgeschlossen hatte und kaum noch grosse neue Zerschneidungswirkungen durch Infrastrukturbauten entstehen konnten. Die wesentlichen Schritte in der Abnahme der effektiven Maschenweite fallen mit dem Bau der Klausen-Passstrasse (zwischen 1885 und 1935) und, mit geringerer Wirkung, dem Bau der Passstrasse über den Prigel (im Kanton Schwyz, mit Glarus verbunden über das Grenzverbindungsverfahren, vgl. Abschnitt 2.2.4) (zwischen 1960 und 1980) zusammen.

Die Kurven für ZG 3 und 4 verlaufen parallel. Zwischen 1980 und 2002 flachen die Kurven in ZG 1 und ZG 2 ab, im Unterschied zu den beiden anderen Zerschneidungsgeometrien. Dies liegt unter anderem daran, dass eine 3.-Klass-Stichstrasse bei Flims (GR) in ZG 3 und 4 ans Gebirge (> 2100 m) anschliesst und somit zerschneidungswirksam ist (mit Glarus verbunden über das Grenzverbindungsverfahren). In ZG 2 geht nur von höherklassigen Strassen eine Zerschneidungswirkung aus und in ZG 1 wird kein Gebirge ausgeschieden, so dass die Stichstrasse hier keine Flächen durchschneidet.

Der Verlauf der Kurven ist sehr ähnlich wie im Kanton Graubünden. Der heutige Trend der effektiven Maschendichte (Abbildung 73 rechts) ist steil aufwärts in ZG 3 und 4 und sehr flach in ZG 1 und 2.

Kanton Graubünden

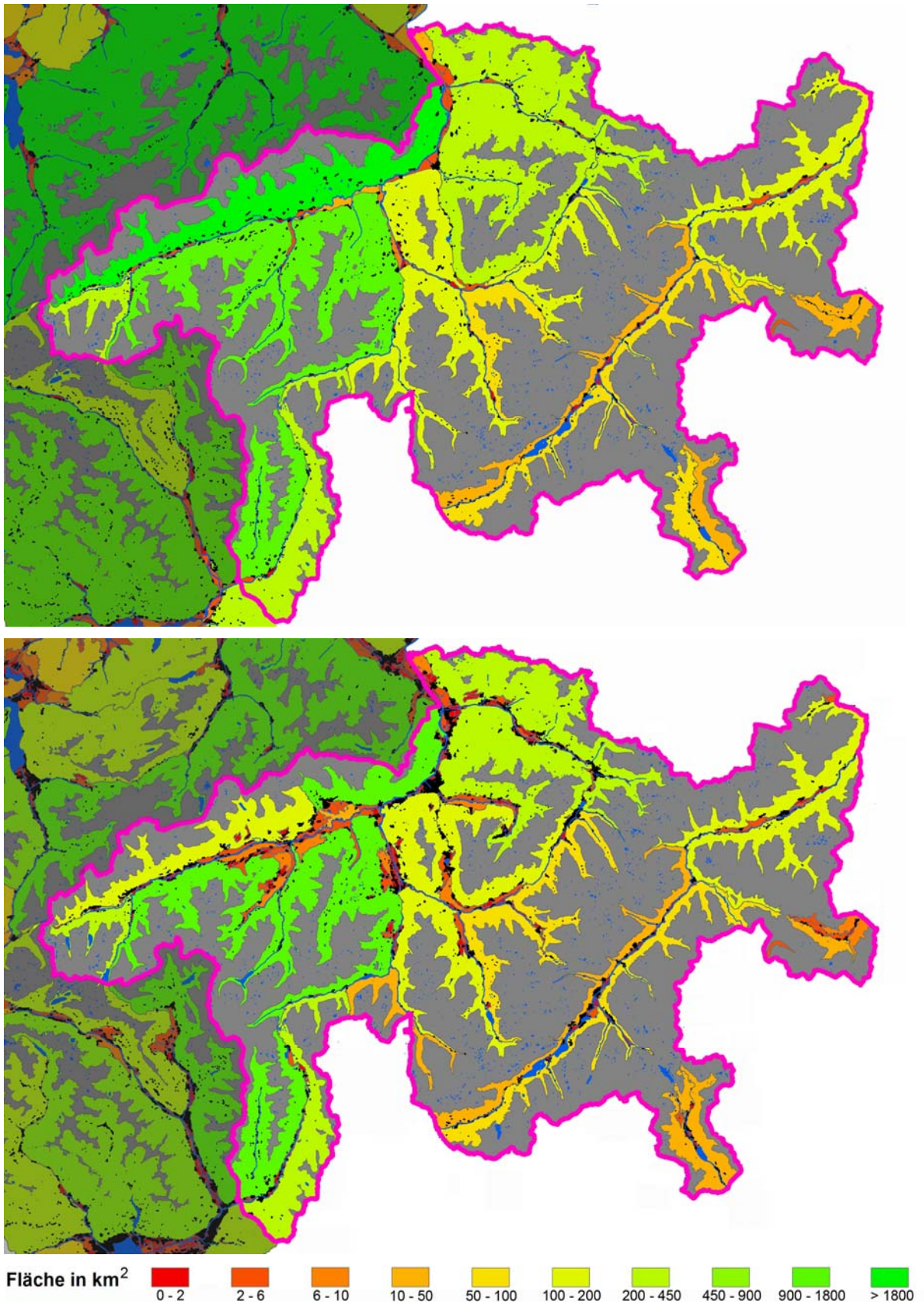


Abbildung 74: Kanton Graubünden – Situation der Zerschneidung in den Jahren 1885 (oben) und 2002 (unten), dargestellt mit Zerschneidungsgeometrie 4 (Massstab ungefähr 1:920'000).

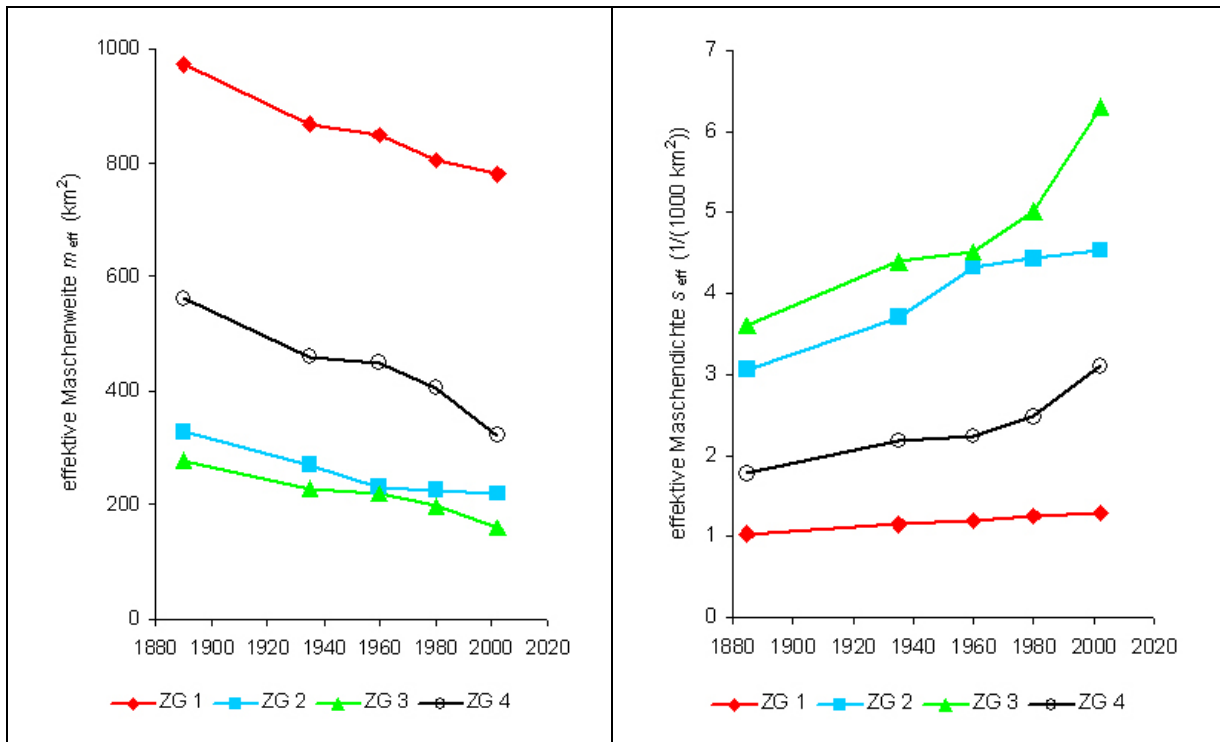


Abbildung 75: Kanton Graubünden – Entwicklung der effektiven Maschenweite (links) und Maschendichte (rechts) zwischen 1885 und 2002, dargestellt für die vier Zerschneidungsgeometrien (ZG 1 = „Zivilisationsdruck“, ZG 2 = „Trennelemente bis 2.-Kl.-Strassen“, ZG 3 = „Trennelemente bis 3.-Kl.-Strassen“, ZG 4 = „Landflächen unterhalb 2100 m“).

Die Zunahme der Zerschneidung im Kanton Graubünden ist Folge aufgrund der Siedlungs- und Verkehrsentwicklung in den Talböden.

Die Werte der effektiven Maschenweite waren in Graubünden 1885 sehr hoch und sind auch heute noch sehr hoch. Die Abnahme um 19.9% (ZG 1) erfolgte kontinuierlich; damit weist der Kanton Graubünden zwischen 1885 und 2002 die schwächste Abnahme der effektiven Maschenweite unter allen Kantonen in ZG 1 auf.

Die Kurven der effektiven Maschenweite für ZG 1, 3 und 4 verlaufen parallel. Die Werte für ZG 1 liegen aufgrund der Gebirgsflächen am höchsten (50.1% der Kantonsfläche). Bereits 1885 waren alle relevanten Passstrassen im Kanton als 1.- oder 2.-Kl.-Strassen vorhanden. Die Werte der ZG 2 haben seit 1960 kaum mehr abgenommen. Eine 3.-Kl.-Stichstrasse bei Flims schliesst ans Gebirge (> 2100 m) an und ist daher in ZG 3 und 4 zerschneidungswirksam, nicht aber in ZG 2 und ZG 1. Bei einer zweiten Stichstrasse bei Samnaun ist ein ähnlicher Effekt zu beobachten, der jedoch eine kleinere Zerschneidungswirkung hat. Der Wert der effektiven Maschenweite für ZG 4 sinkt daher stärker ab als für ZG 3.

Der Trend der effektiven Maschendichte (Abbildung 75 rechts) nimmt in ZG 3 und 4 seit 1980 zu, in ZG 2 und ZG 1 verläuft er relativ gleichmässig. Es gilt aber eine ähnliche Argumentation wie im Kanton Glarus zur geringeren Relevanz von ZG 1 und 2 gegenüber ZG 3 und 4.

Kanton Jura

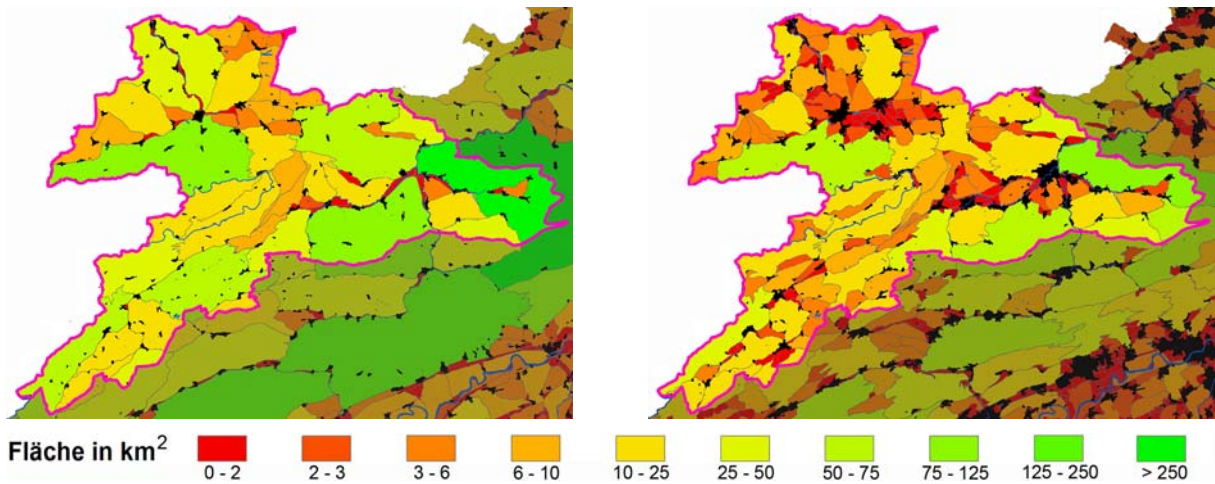


Abbildung 76: Kanton Jura – Situation der Zerschneidung in den Jahren 1885 (links) und 2002 (rechts), dargestellt mit Zerschneidungsgeometrie 4 (Massstab ungefähr 1:790'000).

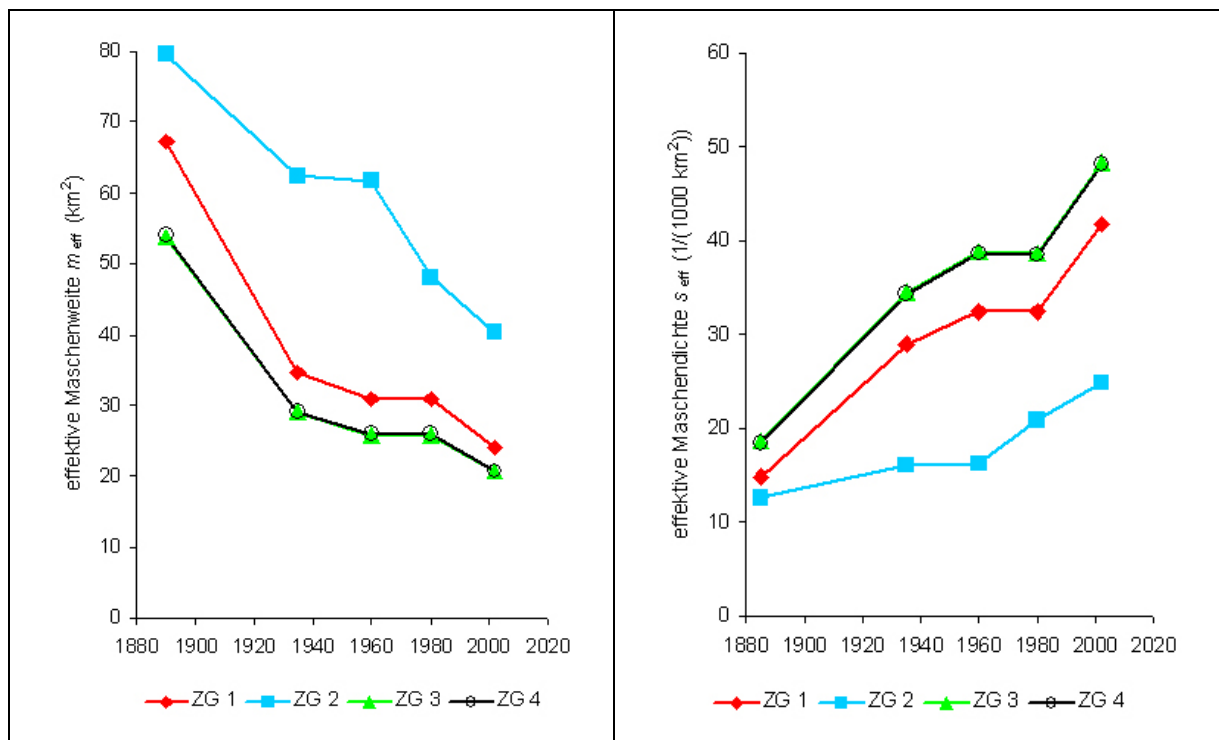


Abbildung 77: Kanton Jura – Entwicklung der effektiven Maschenweite (links) und Maschendichte (rechts) zwischen 1885 und 2002, dargestellt für die vier Zerschneidungsgeometrien (ZG 1 = „Zivilisationsdruck“, ZG 2 = „Trennelemente bis 2.-Kl.-Strassen“, ZG 3 = „Trennelemente bis 3.-Kl.-Strassen“, ZG 4 = „Landflächen unterhalb 2100 m“).

Der Kanton Jura ist überall stark zerschnitten worden bis auf lediglich drei grössere Regionen: *Les Chainions* südlich von Porrentruy, *Le Bambois-Neufs Champs* östlich von Delémont, *Mont* südlich von Courtételle. An vierter Stelle folgt das Gebiet *Sous le Mont-Sous les Craux* im Westen des Kantons. Die Siedlungsflächen haben vor allem in der Region Delémont und um Porrentruy zugenommen, ansonsten war die Siedlungsentwicklung gering.

Im Kanton Jura verlaufen die Kurven der effektiven Maschenweite in ZG 3 und 4 übereinander, da es keine Höhen über 2100 m ü.M. und keine Seen im Kanton gibt. Die Kurve in ZG 1 läuft parallel dazu. Allerdings bewirkt der Fluss Doubs, dass die Kurve von ZG 1 höher liegt als von ZG 3 und 4, anders als in den Kantonen Aargau und Solothurn, wo sie auf den Kurven von ZG 3 und 4 liegt. Der Doubs läuft zum Teil an der Grenze zu Frankreich entlang (dies hat jedoch aufgrund des Ausschneideverfahrens entlang der Landesgrenze keinen Einfluss) und zum Teil ganz innerhalb des Juras. Auf dem südlichen Teilstück innerhalb des Juras (bis St-Ursanne) wird er nicht von einer Strasse begleitet. In ZG 3 und 4 zerteilt er zwei mittelgrosse Gebiete, die in ZG 1 verbunden sind, da der Fluss hier nicht als Barriere gilt. In den übrigen Kantonen sind Flüsse in der Regel von Strassen entlang ihres Verlaufs begleitet, so dass die Flüsse dann nicht in einem Unterschied der Werte zwischen ZG 1 und ZG 3 zum Ausdruck kommen. (Flächenmässig fällt der Doubs hingegen nicht ins Gewicht, daher sind die Werte von ZG 3 und 4 gleich.)

Anders als bei den meisten anderen Kantonen fanden nach einer ersten Phase starker Zerschneidung zwischen 1935 und 1980 deutlich geringere Veränderungen statt (in ZG 1, 3 und 4). Erst seit 1980 ist die Abnahme wieder sehr stark und stärker ausgeprägt als in den meisten anderen Kantonen. Dies lässt darauf schliessen, dass die starken zerschneidungswirksamen Aktivitäten im Kanton Jura derzeit stattfinden, 20 bis 30 Jahre später als in den anderen Kantonen, wo die stärksten Aktivitäten in den Jahren 1960 bis 1980 durchgeführt wurden.

Zwischen 1960 und 1980 hat die effektive Maschenweite in ZG 2 drastisch abgenommen, während sie in ZG 3 und 4 konstant blieb. Dies wurde durch den Ausbau und die Hochklassierung vieler 3.-Klass-Strassen verursacht (bis auf den Neubau zweier kurzer, zerschneidungswirksamer 2.-Klass-Strassen). Ab 1980 verläuft die Kurve in ZG 2 parallel zu den anderen Kurven, d.h. es wurden vor allem 3.-Klass-Strassen und keine weiteren 2.-Klass-Strassen gebaut. Ein neuer Autobahnabschnitt, der zwischen 1980 und 2002 gebaut wurde, liegt in einem Gebiet, das schon relativ zerschnitten war. Bei den Bahnlinien sind zwischen 1885 und 2002 keine Veränderungen erfolgt. Der Bau der 3.-Klass-Strassen erfolgte in Gebieten, die noch eher unzerschnitten waren (z.B. im Norden und Süden des Kantons).

Der Trend der effektiven Machendichte (Abbildung 77 rechts) verdeutlicht, dass die Zerschneidung in den letzten 20 Jahren wieder stark zugenommen hat. Eine Abschwächung des Trends scheint nicht in Sicht.

Kanton Luzern

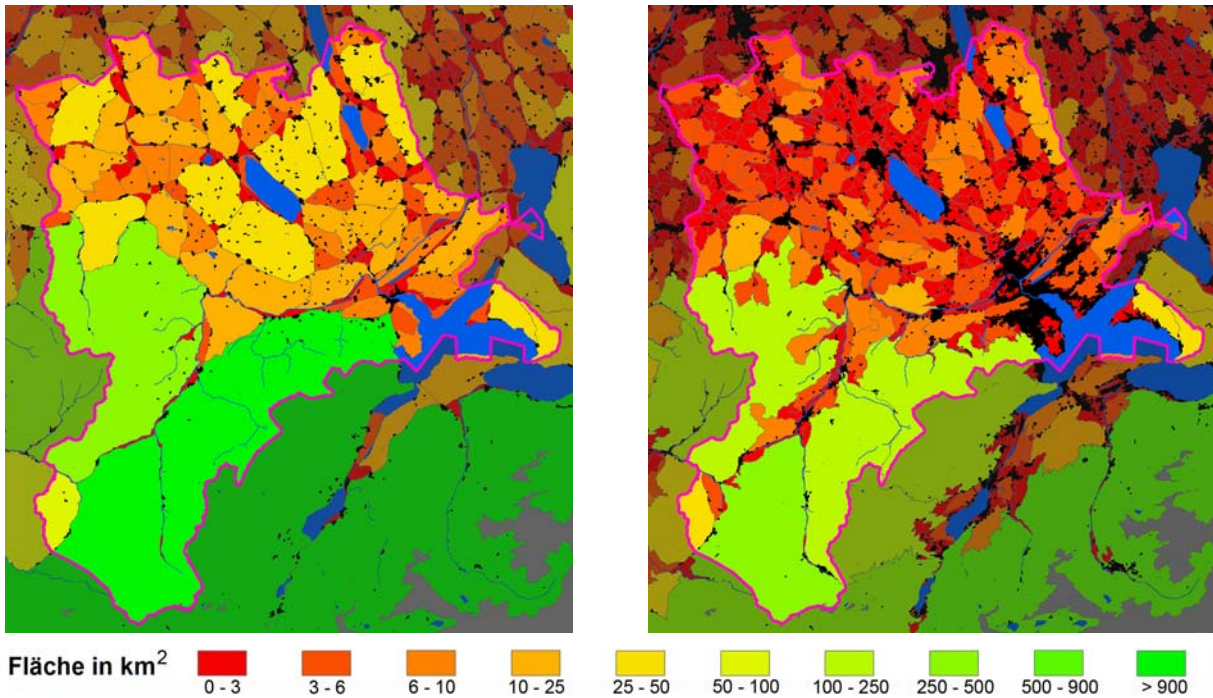


Abbildung 78: Kanton Luzern – Situation der Zerschneidung in den Jahren 1885 (links) und 2002 (rechts), dargestellt mit Zerschneidungsgeometrie 4 (Massstab ungefähr 1:730'000).

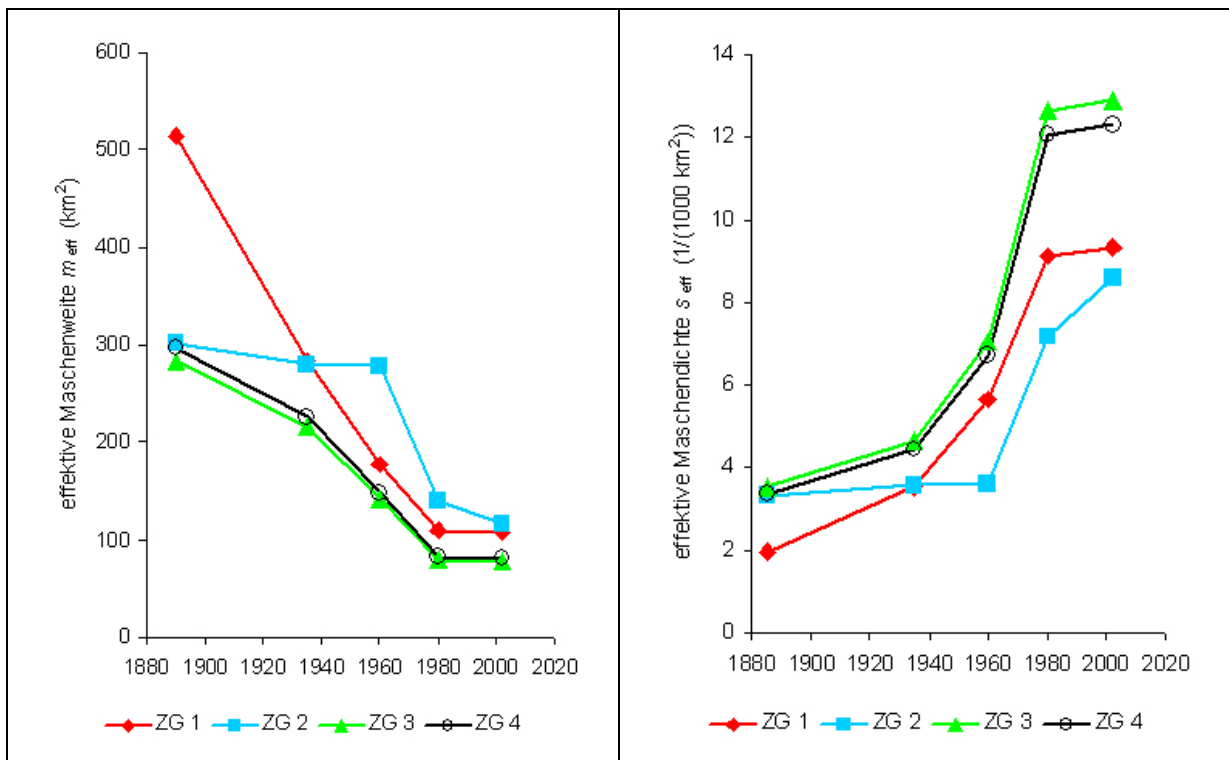


Abbildung 79: Kanton Luzern – Entwicklung der effektiven Maschenweite (links) und Maschendichte (rechts) zwischen 1885 und 2002, dargestellt für die vier Zerschneidungsgeometrien (ZG 1 = „Zivilisationsdruck“, ZG 2 = „Trennelemente bis 2.-Kl.-Strassen“, ZG 3 = „Trennelemente bis 3.-Kl.-Strassen“, ZG 4 = „Landflächen unterhalb 2100 m“).

Auffällig ist eine extrem starke und ausufernde Siedlungsentwicklung um Luzern, aber auch um Sursee und entlang der A2. Nur noch vier grössere Regionen sind verblieben: der Napf im Westen sowie Schratzenfluh (in Verbindung mit dem Kanton Bern) und die beiden Gebiete westlich und östlich des Glaubenbergpasses.

Im Kanton Luzern verlaufen nur die Werte der ZG 3 und 4 parallel, die beiden anderen Kurven weichen deutlich davon ab (Abbildung 79). So verläuft die Kurve der ZG 2 zu Beginn flach, bis zwischen 1960 und 1980 eine starke Abnahme der effektiven Maschenweite erfolgte. Gründe für diese Abnahme in ZG 2 sind der Bau der A2 (Olten-Luzern) sowie der Glaubenbergpass (Entlebuch-Sarnen) und Glaubenbüelenpass (Sörenberg-Giswil), welche grössere Flächen neu zerschnitten haben. Zahlreiche neue Verkehrswege und starkes Siedlungswachstum vor allem im Nordteil des Kantons haben die Landschaftszerschneidung erhöht. Heute ist der nördliche Teil weitaus stärker zerschnitten als der südliche.

Der Wert der effektiven Maschenweite in ZG 1 für das Jahr 1885 ist sehr hoch (514.7 km²), da über das Grenzverbindungsverfahren Flächen an den Kanton Luzern angeschlossen waren, die sich weit über die Kantonsgrenze hinaus nach Süden erstreckten (Abbildung 78); vgl. Abschnitt 2.2.4 zum Grenzverbindungsverfahren. Über Thuner- und Brienersee hinweg, an denen es damals noch keine Strasse bzw. Schiene entlang des Ufers gab, bestanden Verbindungen über die Berner Alpen bis ins Wallis und über den Susten bis in den Kanton Uri. In den anderen Zerschneidungsgeometrien zerteilen Seen oder Gebirgsflächen über 2100 m ü.M. diese grossen Flächen.

Der stark ansteigende Trend der effektiven Maschendichte (Abbildung 79 rechts) hat sich seit 1980 abgeschwächt in ZG 1, 3 und 4, ist aber in ZG 2 noch immer stark ansteigend.

Kanton Neuenburg

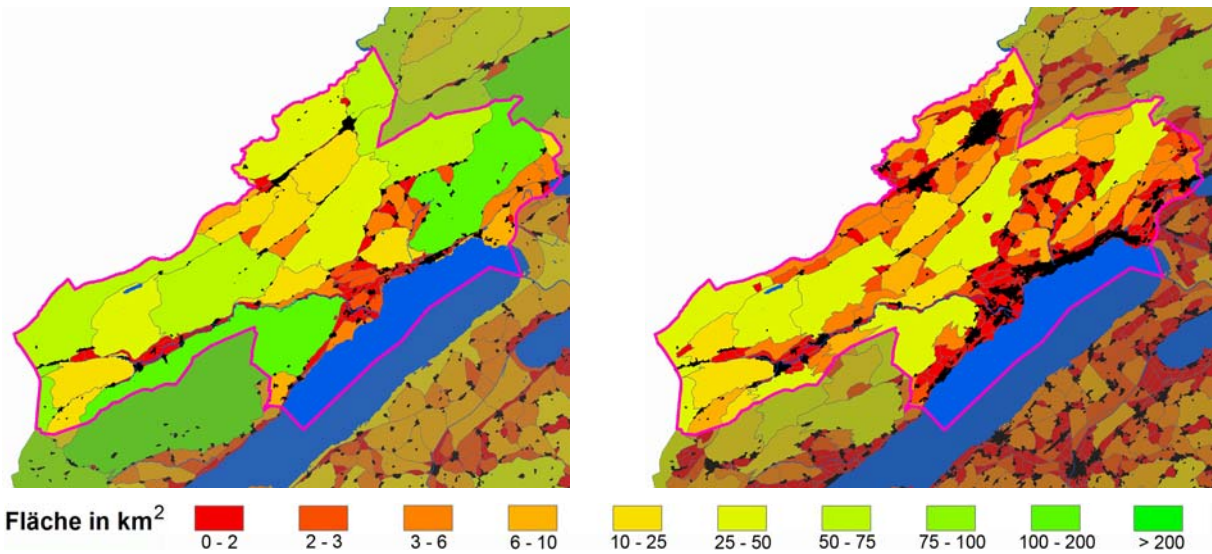


Abbildung 80: Kanton Neuenburg – Situation der Zerschneidung in den Jahren 1885 (links) und 2002 (rechts), dargestellt mit Zerschneidungsgeometrie 4 (Massstab ungefähr 1:680'000).

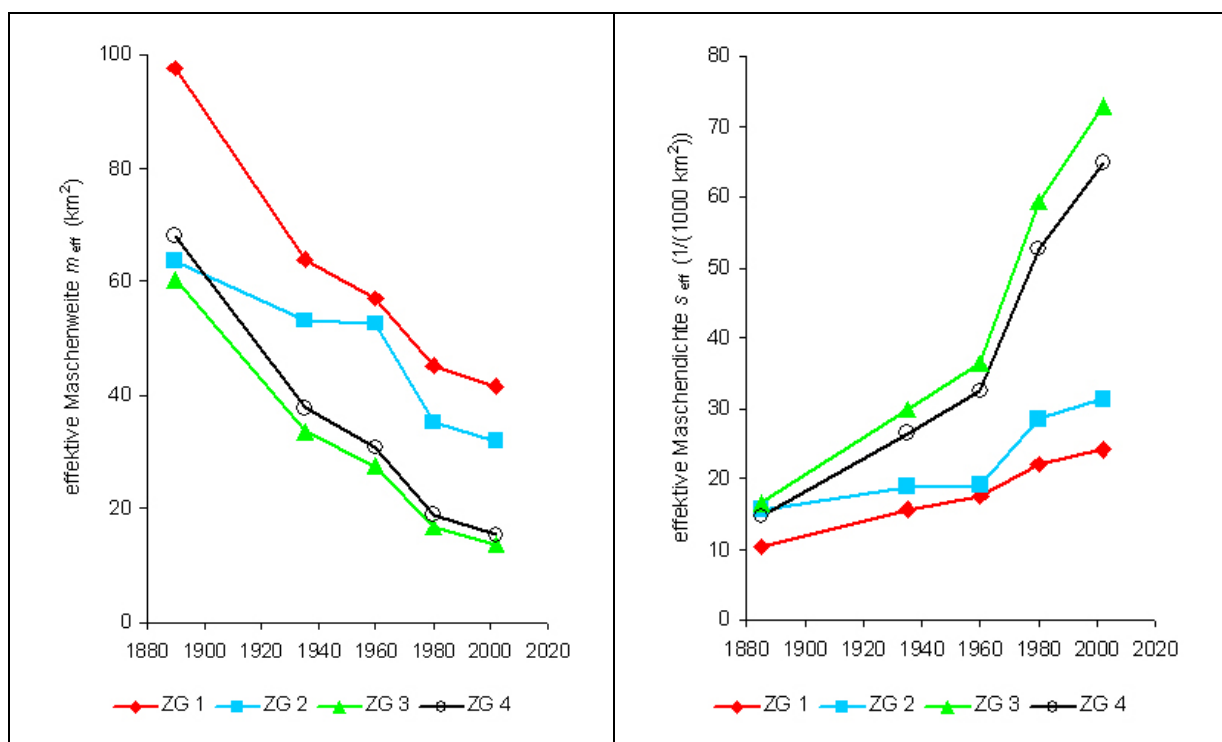


Abbildung 81: Kanton Neuenburg – Entwicklung der effektiven Maschenweite (links) und Maschendichte (rechts) zwischen 1885 und 2002, dargestellt für die vier Zerschneidungsgeometrien (ZG 1 = „Zivilisationsdruck“, ZG 2 = „Trennelemente bis 2.-Kl.-Strassen“, ZG 3 = „Trennelemente bis 3.-Kl.-Strassen“, ZG 4 = „Landflächen unterhalb 2100 m“).

Überall im Kanton Neuenburg haben die Flächengrössen massiv abgenommen. Lediglich im Raum *Crêt des Allemands* und *Crêt du Cervelat* (Höhenzug im Westen des Kantons) und im Raum *Tête-de-Ran* bis *Mont Racine* (zentral in der Mitte des Kantons gelegen) sind heute noch grössere Flächen vorhanden. Entlang des Seeufers und im Nordosten um La-Chaux-de-Fonds und Le Locle ist eine sehr starke Zerschneidung und Siedlungsflächenentwicklung zu beobachten.

Im Kanton Neuenburg ist bei der effektiven Maschenweite in ZG 1, 3 und 4 ein abfallender Trend erkennbar, der weitgehend gleichmässig verläuft, mit zwei etwas stärkeren Phasen (1885 bis 1935 und 1960 bis 1980). Die Abnahme erfolgte dabei über 120 Jahre von etwa 60 km² auf lediglich noch 13,7 km² (ZG 3). ZG 1 verläuft am höchsten, parallel zu ZG 3 und 4. Der Abstand zu den anderen Kurven ist durch den Anteil des Kantons am Neuenburger See bedingt (16.8% der Kantonsfläche).

Die Kurve in ZG 2 verlief bis 1960 viel langsamer abwärts, zwischen 1935 und 1960 war sie weitgehend stabil. Danach folgte ein starker Schub zwischen 1960 und 1980. In dieser Zeit erfolgte der Anstieg der Strassen 2. Klasse und höher etwa zur Hälfte durch den Ausbau (und die Höherstufung) von 3.-Klass-Strassen, zur anderen Hälfte durch neu gebaute 2.-Klass-Strassen. Diese Entwicklung ist zu einem Teil durch die Situation im Jura zu erklären, dass die Querungen der Jura-Bergrücken erst zu späteren Zeitpunkten gebaut wurden als die Verkehrswege entlang der Täler.

Die Kurve der effektiven Maschendichte (Abbildung 81 rechts) zeigt nur eine ganz geringe Abschwächung des Trends zwischen 1980 und 2002 gegenüber der Zeit 1960 bis 1980.

Die Autobahnen im Kanton Neuenburg haben nur einen geringen Einfluss auf die effektive Maschendichte/-weite, da sie in Tunnelstrecken oder entlang von schon bestehenden Verkehrswegen geführt wurden (A5 Vaumarcus–LeLanderon und H20 Neuchâtel–La-Chaux-de-Fonds, vgl. Abb. 48 in Abschnitt 6.2.3). Die vorhandenen Bahnlinien bestanden zum Teil schon vor 1885, die weiteren wurden vor 1935 gebaut. Die Werte von ZG 2 und ZG 3 lagen 1885 nahe beisammen, da es nur wenige 3.-Klass-Strassen gab, die zudem in den meisten Fällen nur als Stichstrassen bestanden und erst später geschlossen wurden, so dass dann die betroffenen Flächen vollständig durchschnitten wurden.

Kanton Nidwalden

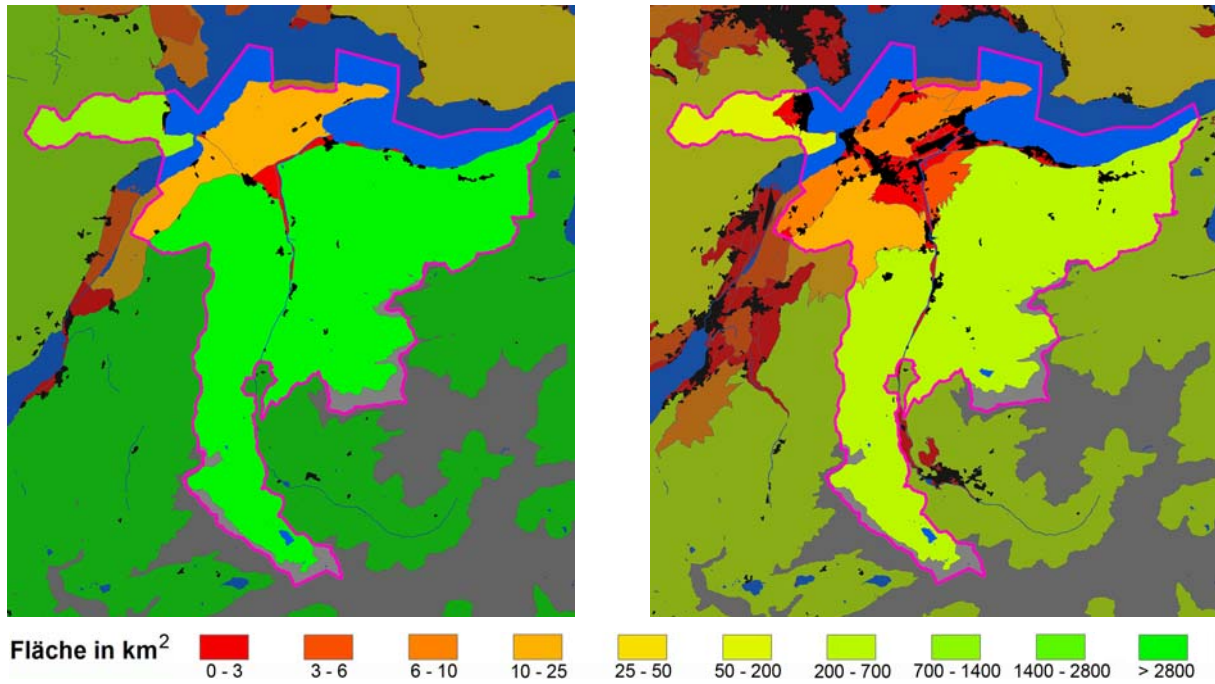


Abbildung 82: Kanton Nidwalden – Situation der Zerschneidung in den Jahren 1885 (links) und 2002 (rechts), dargestellt mit Zerschneidungsgeometrie 4 (Massstab ungefähr 1:390'000).

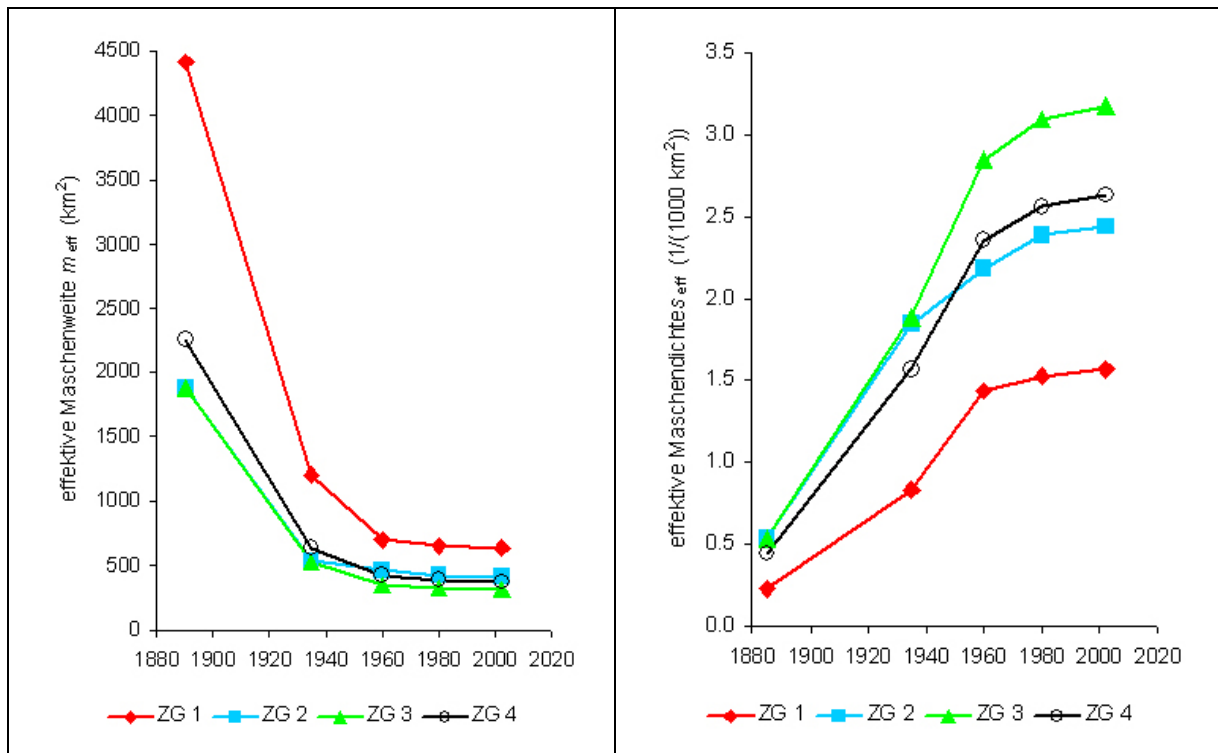


Abbildung 83: Kanton Nidwalden – Entwicklung der effektiven Maschenweite (links) und Maschendichte (rechts) zwischen 1885 und 2002, dargestellt für die vier Zerschneidungsgeometrien (ZG 1 = „Zivilisationsdruck“, ZG 2 = „Trennelemente bis 2.-Kl.-Strassen“, ZG 3 = „Trennelemente bis 3.-Kl.-Strassen“, ZG 4 = „Landflächen unterhalb 2100 m“).

Das flache Gebiet um Stans-Buochs ist heute stark zerschnitten und durch ein deutliches Wachstum der Siedlungsflächen geprägt. Grössere unzerschnittene Flächen liegen in Bereichen mit grosser Steigung.

Im Jahr 1885 war die effektive Maschenweite für ZG 1 im Kanton Nidwalden die höchste unter allen Kantonen. (Der Kanton Wallis lag an zweiter Stelle.) Dies liegt daran, dass der Kanton viele Flächen über 2100 m ü.M. aufweist, die über das Grenzverbindungsverfahren mit grossen unzerschnittenen Flächen in Nachbarkantonen verbunden sind bzw. waren (Abbildung 82).

Seit 1885 erfolgte eine sehr starke Abnahme der m_{eff} -Werte aller Zerschneidungsgeometrien bis ins Jahr 1935 (Abbildung 83). Starke Abnahmen der effektiven Maschenweite in ZG 1 (auch für ZG 2, 3, 4) verursachten der Bau der Grimselpassstrasse (1894) und der Bau der Strasse über den Susten (1945), da durch diese Strassen die Verbindungen zwischen dem Kanton Nidwalden und grossen ausserhalb des Kantons liegenden Flächen abgetrennt wurden. Die Berücksichtigung solcher Verbindungen über Kantonsgrenzen hinweg ist eine Stärke des Grenzverbindungsverfahrens (siehe Abschnitt 2.2.4).

Da im Kanton Nidwalden (wie weitestgehend überall in der Schweiz) heute alle relevanten Passstrassen gebaut sind, ist in diesem Kanton keine weitere starke Zunahme der Zerschneidung mehr zu erwarten. Die Kurve der Maschendichte (Abbildung 83 rechts) zeigt eine deutliche Abschwächung des Trends in allen Zerschneidungsgeometrien seit 1960.

Kanton Obwalden

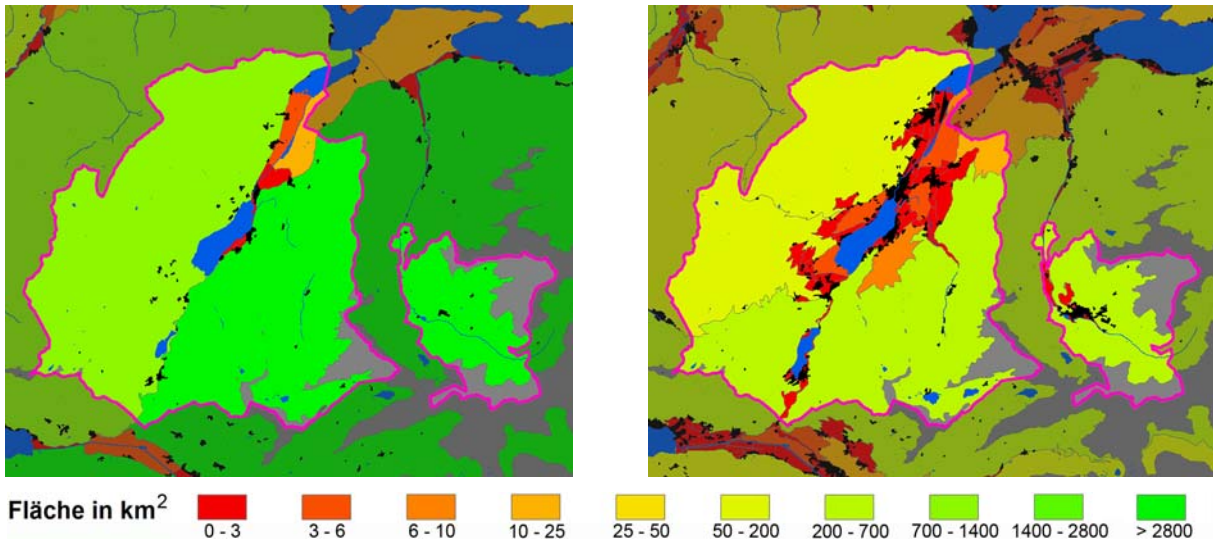


Abbildung 84: Kanton Obwalden – Situation der Zerschneidung in den Jahren 1885 (links) und 2002 (rechts), dargestellt mit Zerschneidungsgeometrie 4 (Massstab ungefähr 1:500'000).

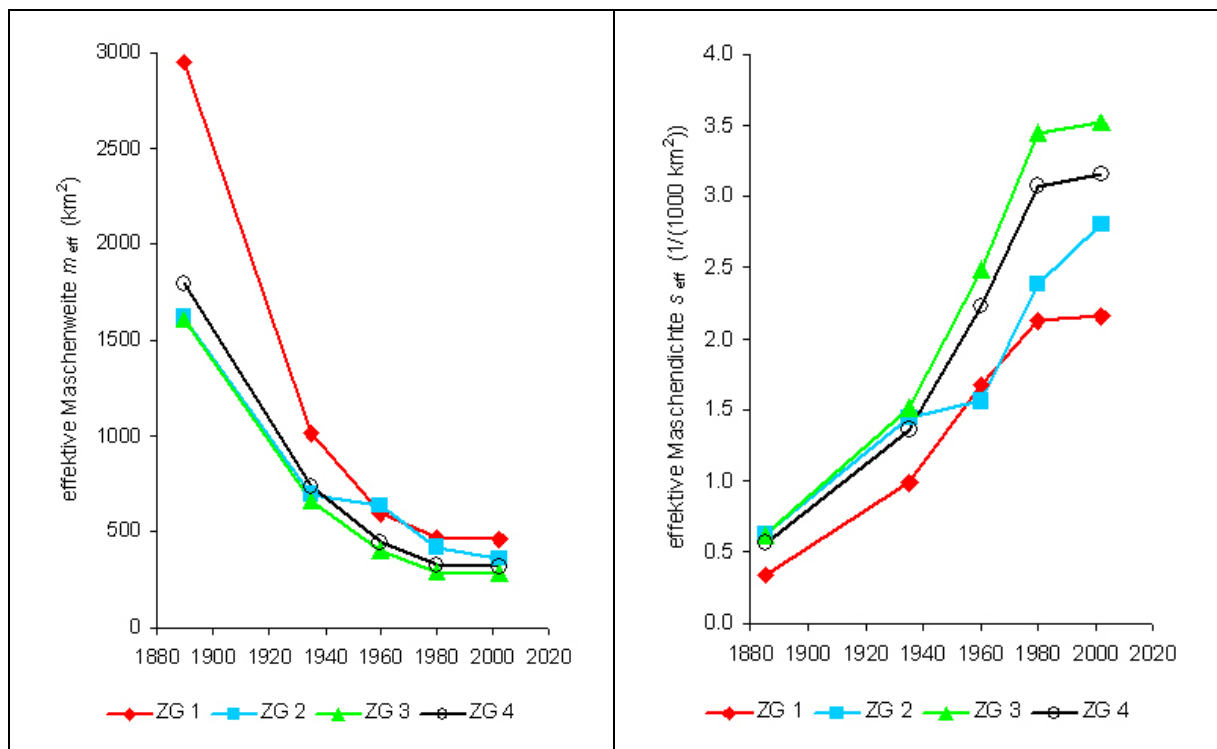


Abbildung 85: Kanton Obwalden – Entwicklung der effektiven Maschenweite (links) und Maschendichte (rechts) zwischen 1885 und 2002, dargestellt für die vier Zerschneidungsgeometrien (ZG 1 = „Zivilisationsdruck“, ZG 2 = „Trennelemente bis 2.-Kl.-Strassen“, ZG 3 = „Trennelemente bis 3.-Kl.-Strassen“, ZG 4 = „Landflächen unterhalb 2100 m“).

Der Talboden des Kantons Obwalden leidet unter einer starken Zerschneidung, die Siedlungsflächenentwicklung ist aber gegenüber anderen Kantonen eher moderat (Sarneraatal). Grössere unzerschnittene Flächen liegen zwischen 600 m und 2200 m Höhe und haben eine grosse Steigung.

Im Kanton Obwalden erfolgte eine ausgeprägte Abnahme der effektiven Maschenweite (ähnlich wie in Nidwalden) zwischen 1885 und 1935, danach hat sich die Entwicklung verlangsamt (Abbildung 85). Seit 1935 bis heute hat die effektive Maschenweite in ZG 1 aber immer noch um 22% abgenommen und noch stärker in ZG 3 und 4.

Die starke Abnahme der Werte in ZG 1 zwischen 1885 und 1935 ist unter anderem darauf zurückzuführen, dass am Nordufer des Brienersees ein Schienenweg und am Nordufer des Thunersees eine Strasse gebaut wurden, die Flächen ausserhalb der Kantons Obwalden abtrennen, welche zuvor über das Grenzverbindungsverfahren mit dem Kanton ebenfalls verbunden waren (siehe auch Kanton Luzern; zum Grenzverbindungsverfahren siehe Abschnitt 2.2.4). Zwischen 1960 und 1980 erfolgte der Bau der Passstrassen über Glaubenbüelen und Glaubenberg. Da es sich bei beiden Strassen um 2.-Kl.-Strassen handelt, haben die Werte in ZG 2 in diesem Zeitabschnitt am stärksten abgenommen (neben der Abnahme zwischen 1885 und 1935).

Entsprechend zeigt die effektive Maschendichte (Abbildung 85 rechts) zwischen 1980 und 2002 in ZG2 eine weitere Zunahme; bei den anderen drei ZGs ist eine deutliche Abschwächung der Zunahme feststellbar.

Kanton Schaffhausen

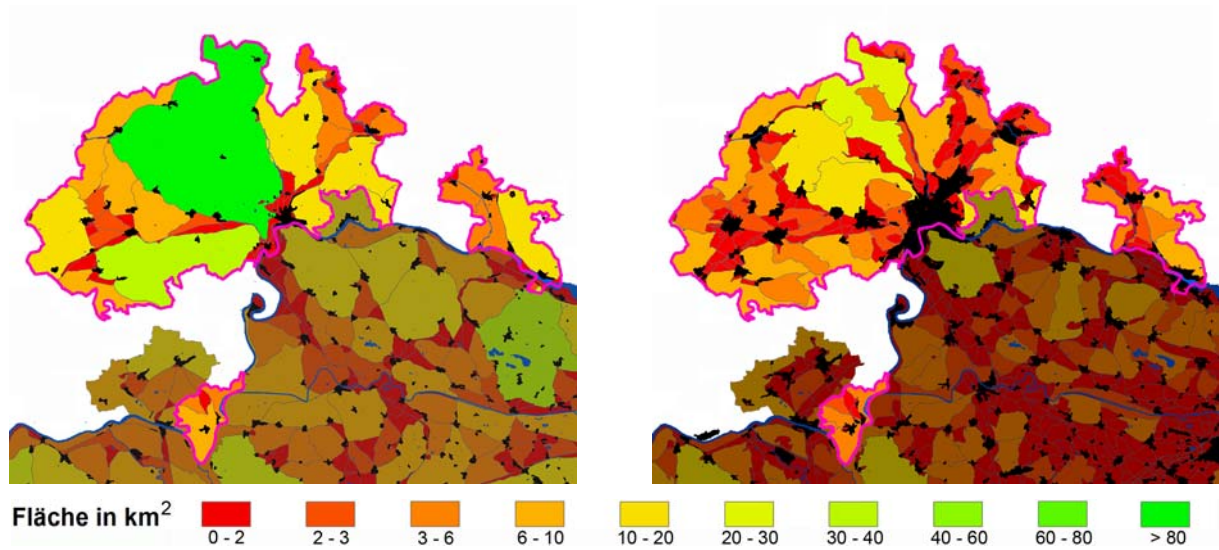


Abbildung 86: Kanton Schaffhausen – Situation der Zerschneidung in den Jahren 1885 (links) und 2002 (rechts), dargestellt mit Zerschneidungsgeometrie 4 (Massstab ungefähr 1:480'000).

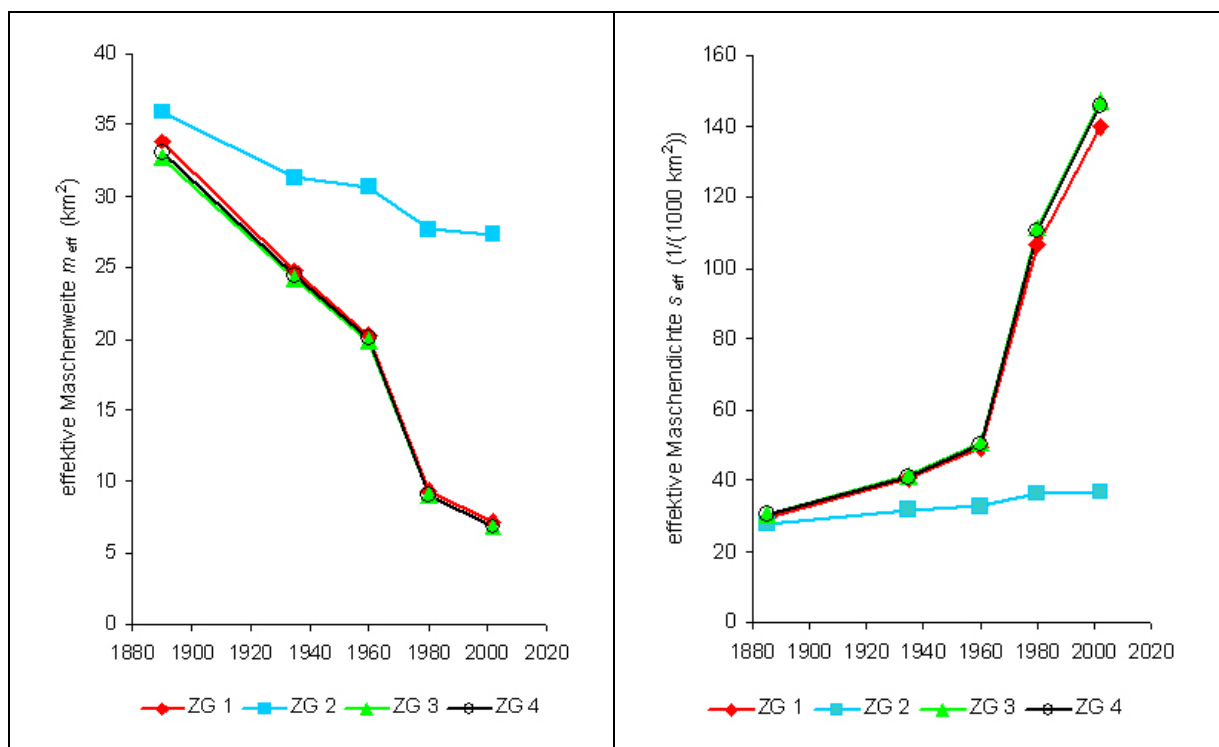


Abbildung 87: Kanton Schaffhausen – Entwicklung der effektiven Maschenweite (links) und Maschendichte (rechts) zwischen 1885 und 2002, dargestellt für die vier Zerschneidungsgeometrien (ZG 1 = „Zivilisationsdruck“, ZG 2 = „Trennelemente bis 2.-Kl.-Strassen“, ZG 3 = „Trennelemente bis 3.-Kl.-Strassen“, ZG 4 = „Landflächen unterhalb 2100 m“).

Die grösste unzerschnittene Fläche im Kanton Schaffhausen, das Gebiet um den Ort Hemmental (fast alles Waldgebiet), wurde stark unterteilt, ebenso die grosse Fläche im Süden (südlich von Guntmadingen, ebenfalls überwiegend Waldgebiet). Im Vergleich zur Grösse des Kantons ist das Siedlungsflächenwachstum sehr stark.

Mit Werten von ca. 35 km² für die effektive Maschenweite war die Landschaft im Kanton Schaffhausen bereits 1885 sehr stark zerschnitten. Einen gewissen Einfluss darauf hat die methodische Festlegung, dass an der Landesgrenze nicht das Grenzverbindungsverfahren wie an den Kantonsgrenzen zur Anwendung kommt, sondern das Ausschneideverfahren (damit werden Flächen, die weiter ins Ausland reichen, durch die Landesgrenze künstlich zerteilt). Da in Schaffhausen fast 90% der Kantonsgrenze gleichzeitig Landesgrenze ist (Abbildung 86), wird der Einfluss dieser methodischen Festlegung spürbar.

Die Kurven in den ZG 1, 3 und 4 verlaufen nahezu identisch, da es keinen Einfluss von Seen oder Gebirge gibt. Die Werte der effektiven Maschenweite haben seit 1885 stark abgenommen, vor allem in ZG 1, 3 und 4, während die Werte in ZG 2 weit weniger absanken. Zwischen 1960 und 1980 war die Abnahme besonders stark (Abbildung 57 links), was auf einen starken Ausbau des 3.-Kl.-Strassennetzes zurückzuführen ist. Auch in ZG 2 ist die Abnahme in diesem Zeitraum auf stärksten.

Bei der effektiven Maschendichte (Abbildung 87 rechts) wird deutlich, dass die stärkste Zunahme der Entwicklung zwischen 1960 und heute stattfand und weitaus stärker war als in der Zeit davor (ausser bei ZG 2). Eine Trendänderung ist aus der Kurvenform für ZG 1, 3 und 4 nicht absehbar.

Kanton Schwyz

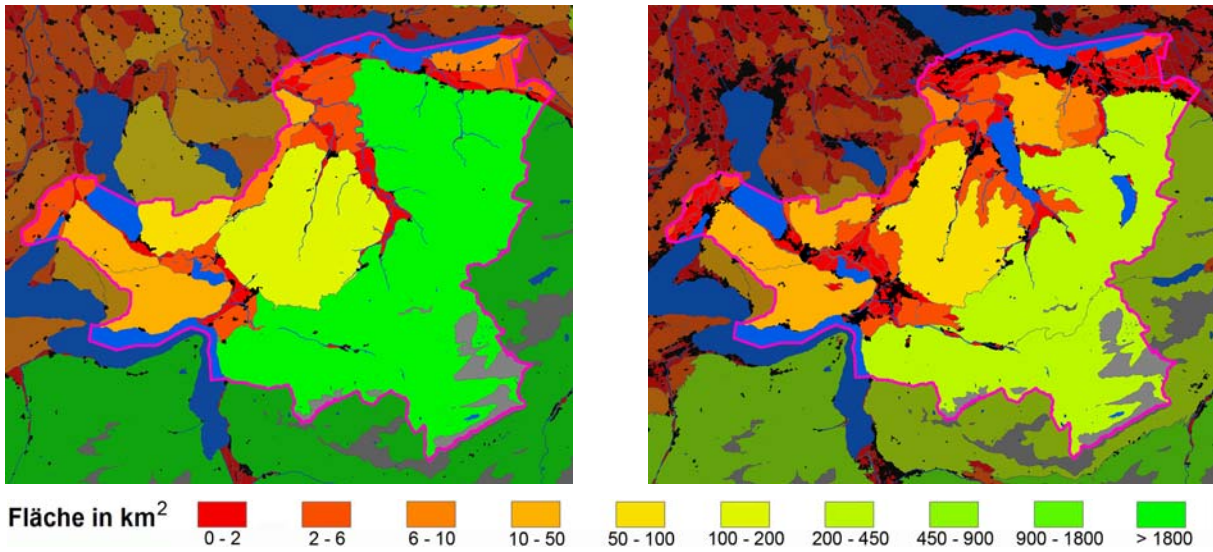


Abbildung 88: Kanton Schwyz – Situation der Zerschneidung in den Jahren 1885 (links) und 2002 (rechts), dargestellt mit Zerschneidungsgeometrie 4 (Massstab ungefähr 1:650'000).

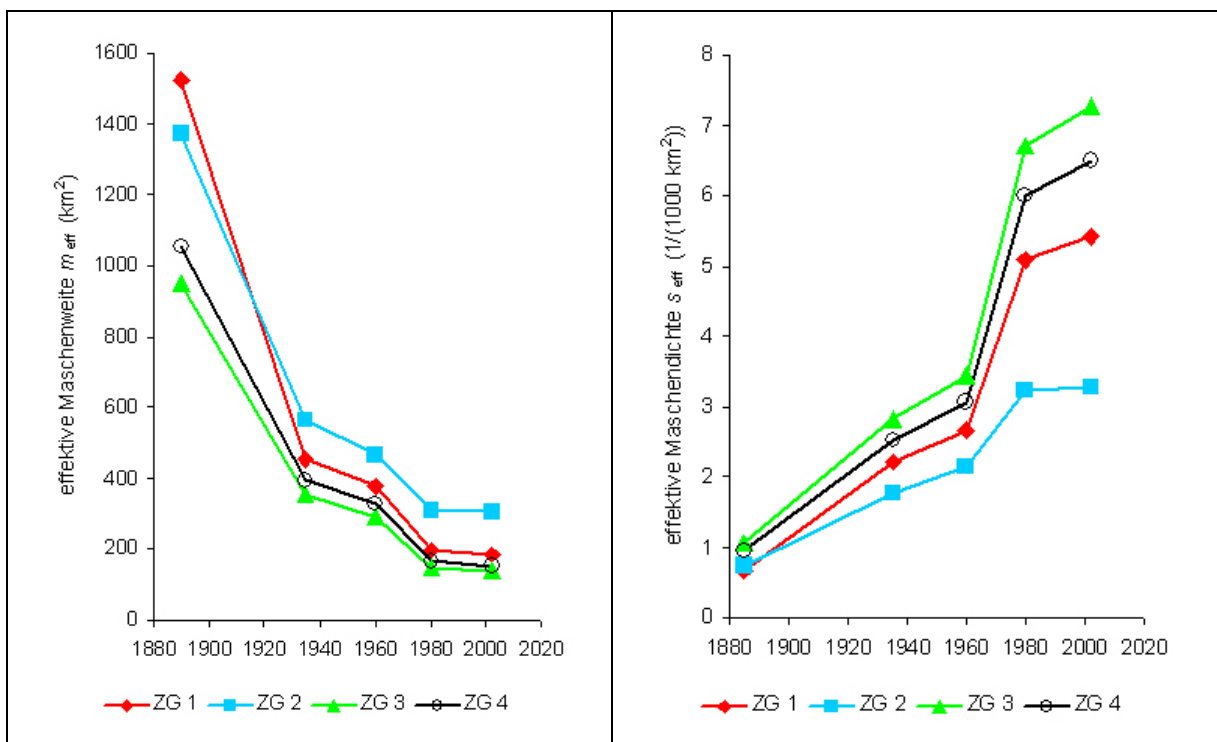


Abbildung 89: Kanton Schwyz – Entwicklung der effektiven Maschenweite (links) und Maschendichte (rechts) zwischen 1885 und 2002, dargestellt für die vier Zerschneidungsgeometrien (ZG 1 = „Zivilisationsdruck“, ZG 2 = „Trennelemente bis 2.-Kl.-Strassen“, ZG 3 = „Trennelemente bis 3.-Kl.-Strassen“, ZG 4 = „Landflächen unterhalb 2100 m“).

Die grossen unzerschnittenen Flächen im Kanton Schwyz sind verkleinert worden, aber noch erkennbar. Dies sind der Rigi, das Gebiet um den Mythen, und die Gebiete nördlich und südlich des Pragelpasses. Die Siedlungsflächen sind am Ufer des oberen Zürichsees, in Einsiedeln und um Schwyz und Arth Goldau herum deutlich gewachsen.

Mit 87.9% Abnahme der effektiven Maschenweite verzeichnet der Kanton Schwyz in ZG 1 die stärkste Abnahme von allen Kantonen zwischen 1885 und 2002. Die Abnahme war insbesondere zwischen 1885 und 1935 besonders stark. In dieser Zeitspanne verlief die Kurve in ZG 1 nicht parallel mit den anderen Kurven (Abbildung 89 links). Dies liegt vor allem an der Passstrasse über den Klausen (Verbindung des Kantons Uri mit dem Kanton Glarus, Berücksichtigung über das Grenzverbindungsverfahren), die erst ab 1901 als durchgehende Strasse vorhanden ist. Zwischen 1885 und 1935 sind die beiden Stauseen Wägitalersee und Sihlsee entstanden. Diese sind ab 1935 in ZG 1 als unzerschnittene Flächen berücksichtigt, in den anderen Zerschneidungsgeometrien als Barrieren bzw. ausgeklammerte Flächen (ZG 4). Durch die Aufhebung der Strassen im Gebiet des Sihlsees, die überflutet wurden, ergab die Seenbildung einen kleinen positiven Beitrag zur effektiven Maschenweite (dies waren vorher landwirtschaftliche und besiedelte Gebiete).

Der zweite starke Schub in der Landschaftszerschneidung fand zwischen 1960 und 1980 statt. Sehr viele neue 3.-Klass-Strassen und 2.-Klass-Strassen wurden gebaut, so dass die Werte der effektiven Maschenweite allein in dieser Zeit nochmals um ca. 50% sanken.

Dieser Schub wird in der Kurve der effektiven Maschendichte (Abbildung 89 rechts) besonders deutlich, da sich die Werte in dieser Zeit verdoppelten. (Eine Halbierung der effektiven Maschenweite entspricht einer Verdoppelung der effektiven Maschendichte.) Danach schwächte sich der Trend zwar ab, zeigt aber noch immer stark aufwärts.

Kanton Solothurn

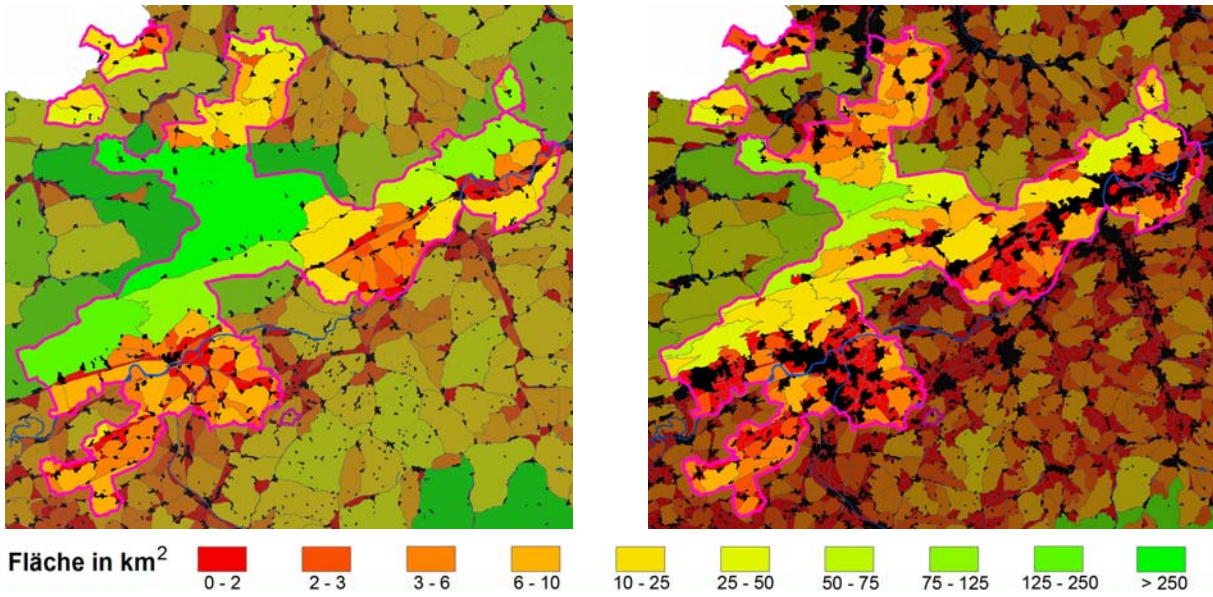


Abbildung 90: Kanton Solothurn – Situation der Zerschneidung in den Jahren 1885 (links) und 2002 (rechts), dargestellt mit Zerschneidungsgeometrie 4 (Massstab ungefähr 1:700'000).

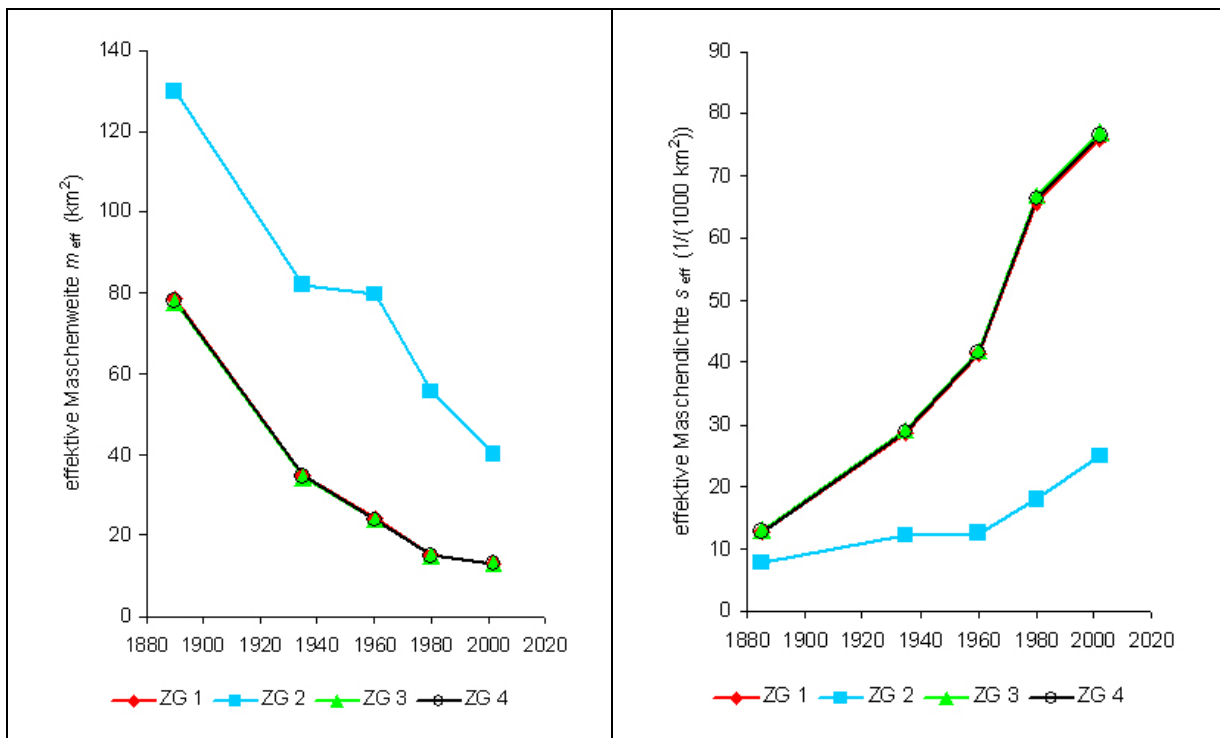


Abbildung 91: Kanton Solothurn – Entwicklung der effektiven Maschenweite (links) und Maschendichte (rechts) zwischen 1885 und 2002, dargestellt für die vier Zerschneidungsgeometrien (ZG 1 = „Zivilisationsdruck“, ZG 2 = „Trennelemente bis 2.-Kl.-Strassen“, ZG 3 = „Trennelemente bis 3.-Kl.-Strassen“, ZG 4 = „Landflächen unterhalb 2100 m“).

Alle grösseren Flächen im Kanton Solothurn sind erheblich zerschnitten worden. Überreste von ihnen liegen nördlich und südlich des Scheltenpasses. Die Siedlungsfläche hat sich entlang des Jurasüdfusses massiv ausgedehnt.

Im Kanton Solothurn verlaufen die Kurven der Zerschneidungsgeometrien 1, 3 und 4 deckungsgleich, da keine Seen und Gebirge vorkommen, genau wie in den Kantonen Schaffhausen und Aargau. Die Abnahme der effektiven Maschenweite erfolgte in allen 4 Zerschneidungsgeometrien kontinuierlich und schnell, sehr ähnlich wie im Kanton Basel-Landschaft (Abbildung 63). In den letzten 120 Jahren ist die effektive Maschenweite auf etwa ein Viertel abgesunken. Zwischen 1935 und 1960 wurden etwas weniger 2.-Kl.-Strassen und höherklassige Strassen gebaut (ZG 2 verläuft flacher), danach wieder deutlich mehr. Hier fand ein Ausbau von 3.-Kl.-Strassen, die Jurafalten überqueren, zu 2.-Kl.-Strassen statt (wie auch im Kanton Jura), und zusätzlich wurden neue 3.-Kl.-Strassen gebaut.

Die effektive Maschendichte (Abbildung 91 rechts) hat recht gleichmässig rasch zugenommen mit einer besonders starken Phase zwischen 1960 und 1980 in ZG 1, 3 und 4 und zwischen 1960 bis 2002 in ZG 2. Es ist keine Trendänderung erkennbar.

Kanton St. Gallen

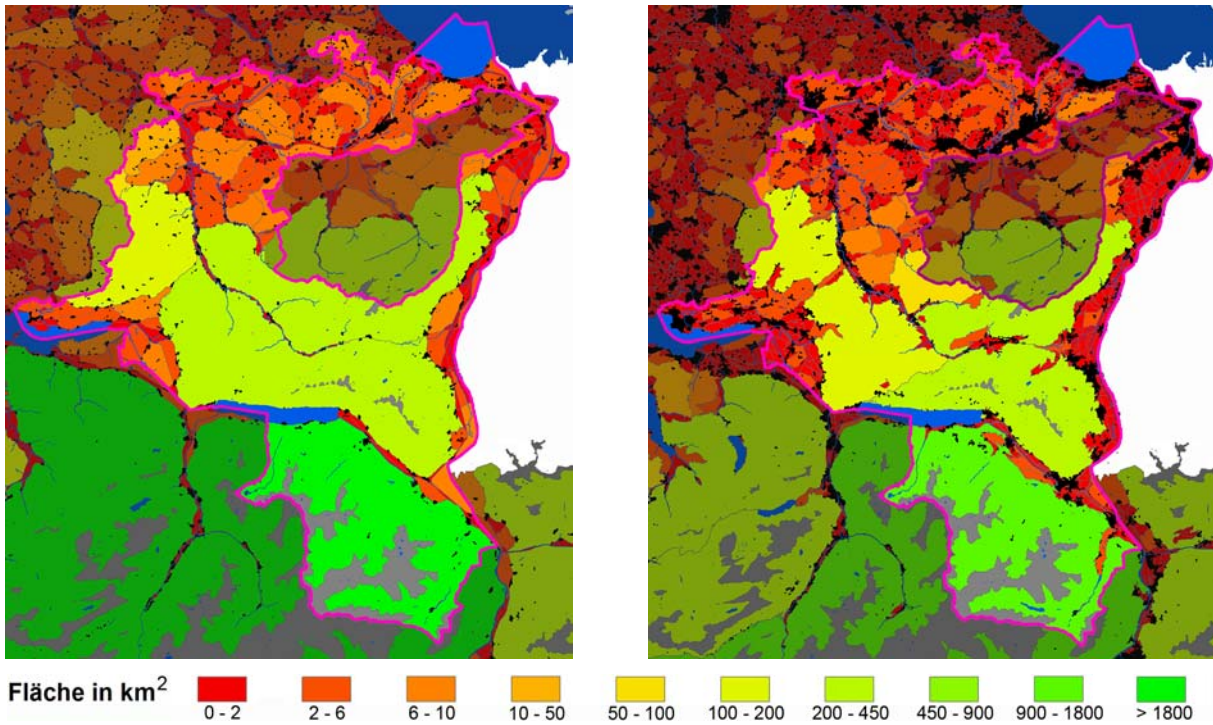


Abbildung 92: Kanton St. Gallen – Situation der Zerschneidung in den Jahren 1885 (links) und 2002 (rechts), dargestellt mit Zerschneidungsgeometrie 4 (Massstab ungefähr 1:900'000).

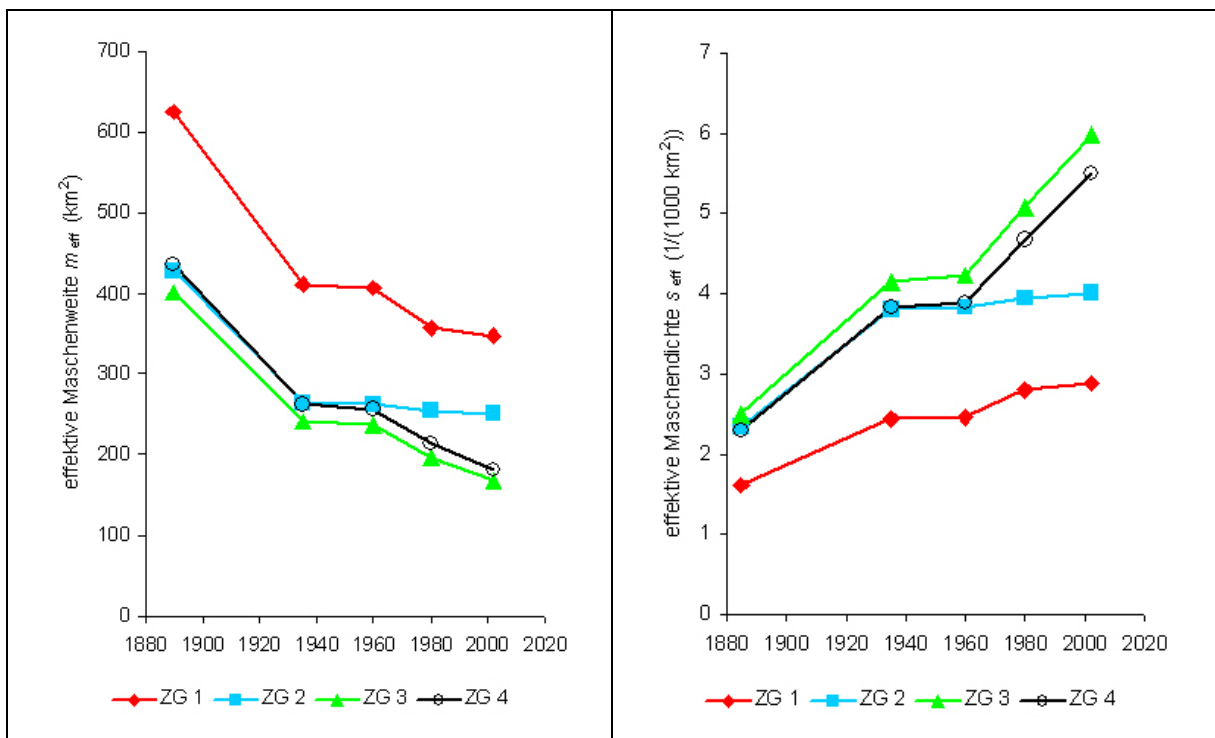


Abbildung 93: Kanton St. Gallen – Entwicklung der effektiven Maschenweite (links) und Maschendichte (rechts) zwischen 1885 und 2002, dargestellt für die vier Zerschneidungsgeometrien (ZG 1 = „Zivilisationsdruck“, ZG 2 = „Trennelemente bis 2.-Kl.-Strassen“, ZG 3 = „Trennelemente bis 3.-Kl.-Strassen“, ZG 4 = „Landflächen unterhalb 2100 m“).

Eine starke Siedlungsentwicklung und Zerschneidung fand im Kanton St. Gallen vor allem in den Gebieten statt, die schon um 1885 stark zerschnitten waren. Die grossen unzerschnittenen Gebiete sind deutlich verkleinert worden, aber noch erkennbar: rund um das Weisstannental, das Gebiet um die Churfürsten, das Gebiet um den Säntis und das Gebiet um den Mattstock.

Der Kanton St. Gallen weist vergleichsweise hohe Werte der effektiven Maschenweite auf. Dies liegt an seinem Anteil am Boden- und Walensee und an den unzerschnittenen Flächen im Gebirge unter 2100 m ü. M., über die einige Flächen im Kanton St. Gallen mit Flächen bis ins Bündnerland und bis in den Kanton Uri verbunden sind (durch das Grenzverbindungsverfahren). Die Anteile an den Seen sind auch dafür verantwortlich, dass die Kurve der effektiven Maschenweite in ZG 1 oberhalb der drei anderen Kurven liegt.

Alle Kurven verlaufen parallel, nur die Kurve in ZG 2 verläuft seit 1935 flacher. Die Werte für ZG 2 und ZG 3 lagen zwischen 1885 und 1960 nahe beieinander, da es in St. Gallen vor 1960 nur wenige 3.-Klass-Strassen gab. Seit 1960 wurden im Kanton St. Gallen zahlreiche 3.-Klass-Strassen, aber abgesehen vom Ausbau der Nationalstrassen kaum noch höherklassige Strassen (2.-Kl.-Strassen und höher) gebaut. Die Kurve für ZG 2 nimmt daher weniger stark ab. ZG 1 zeigt zwischen 1980 und 2002 ebenfalls eine deutlich geringere Abnahme der effektiven Maschenweite als ZG 3 und 4. Die Ursache ist eine 3.-Klass-Stichstrasse bei Flims (GR), die auf über 2100 m ansteigt und somit in ZG 3 und 4 eine grosse Fläche zerteilt (ähnlich wirkt sie sich in den Kantonen Graubünden und Glarus aus; durch das Grenzverbindungsverfahren mit dem Kanton St. Gallen verbunden, siehe Abschnitt 2.2.4). In ZG 1 wirkt das Gebirge hingegen nicht als Trennelement, und in ZG 2 werden die 3.-Kl.-Strassen nicht als Trennelemente behandelt, weshalb in diesen Geometrien die Abnahme schwächer ausfällt.

Im Diagramm der effektiven Maschendichte (Abbildung 93 rechts) ist seit 1960 bis 2002 in ZG 2, 3 und 4 keine Trendänderung erkennbar; in ZG 1 besteht nur eine eher geringe Abschwächung der Zunahme.

Kanton Tessin

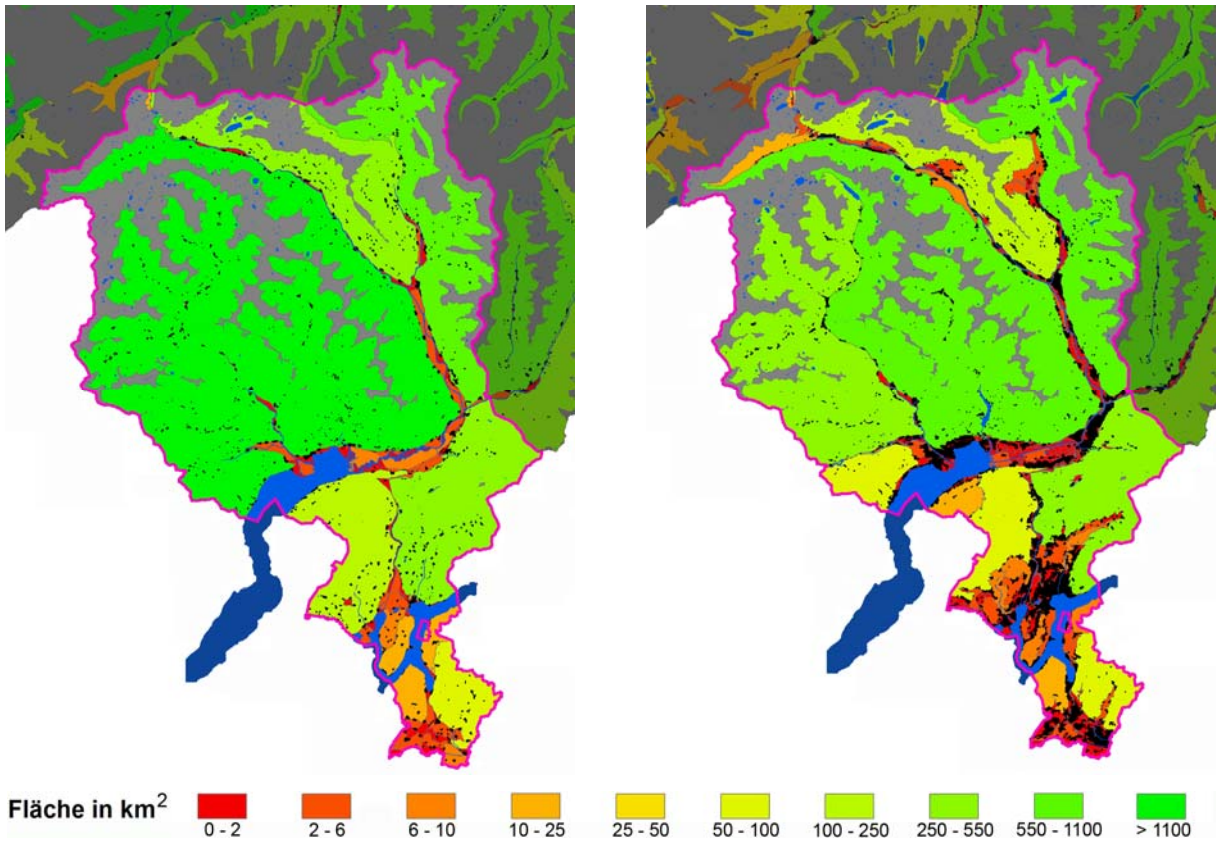


Abbildung 94: Kanton Tessin – Situation der Zerschneidung in den Jahren 1885 (links) und 2002 (rechts), dargestellt mit Zerschneidungsgeometrie 4 (Massstab ungefähr 1:910'000).

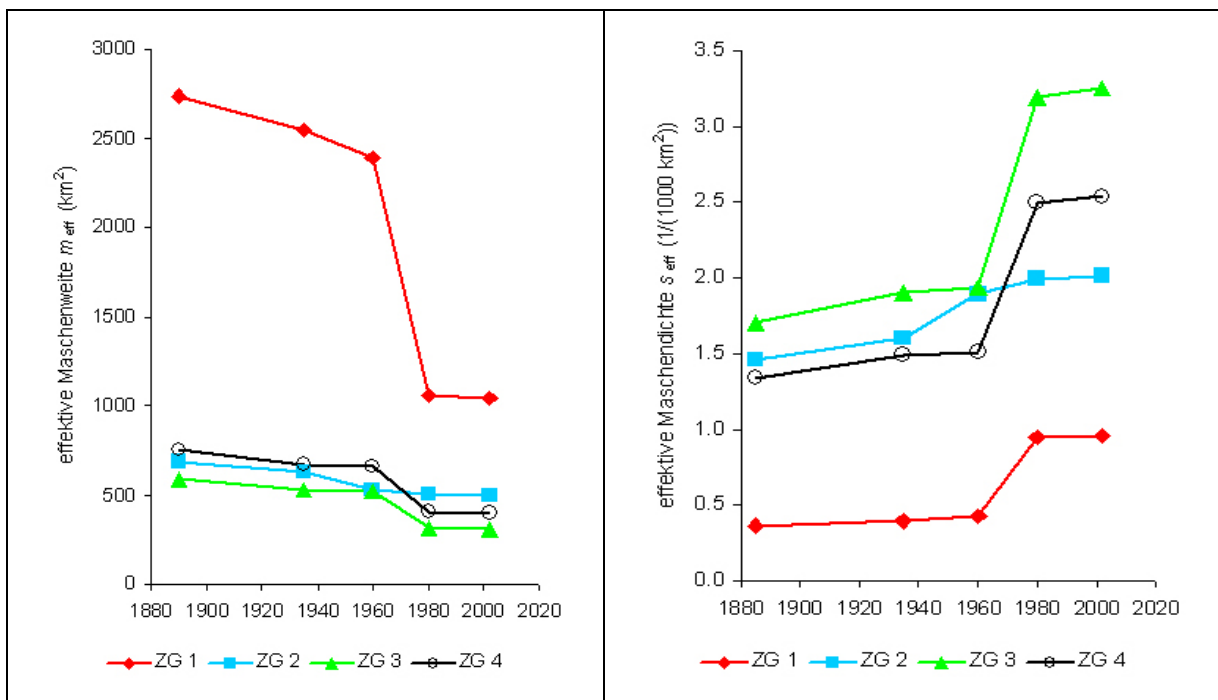


Abbildung 95: Kanton Tessin – Entwicklung der effektiven Maschenweite (links) und Maschendichte (rechts) zwischen 1885 und 2002, dargestellt für die vier Zerschneidungsgeometrien (ZG 1 = „Zivilisationsdruck“, ZG 2 = „Trennelemente bis 2.-Kl.-Strassen“, ZG 3 = „Trennelemente bis 3.-Kl.-Strassen“, ZG 4 = „Landflächen unterhalb 2100 m“).

Der Kanton Tessin ist durch eine stark ausgeprägte Siedlungsentwicklung um Lugano, Chiasso und Locarno-Bellinzona gekennzeichnet. Die grossen unzerschnittenen Flächen hingegen sind – zumindest zum Teil – fast gleich geblieben: das Gebiet zwischen Gotthard und Lukmanierpass, das Gebiet östlich der Lukmanierpassstrasse, das Gebiet zwischen Bellinzona und Lugano (um *Monte Bre*). Das grösste Gebiet um das Maggiatal und das Verzasca-Tal wurde dreigeteilt (durch eine Drittklass- und eine Zweitklassstrasse in Kombination mit einer Eisenbahnlinie). Die Fläche um den *Monte Tamaro* wurde allerdings stark verkleinert.

Im Kanton Tessin fällt die Lage der Kurve für ZG 1 auf: Die Werte der effektiven Maschenweite sind weitaus höher als für die anderen Zerschneidungsgeometrien aufgrund der grossen Flächen, die oberhalb von 2100 m liegen. Die Strasse über den Nufenenpass (2.-Klass-Strasse, in den 60er Jahren gebaut) führt auf 2400 m hoch und wirkt sich daher recht stark in ZG1 aus, während sie für ZG 2, 3 und 4 fast keine Wirkung hat, da sie im Tal nur kleinere Randflächen neu zerschneidet. Wegen des Gotthardpasses (schon 1830 erbaut) ist die Gebirgsfläche, die dadurch abgetrennt wird, aber nicht sehr gross.

Die Kurven für ZG 3 und 4 verlaufen parallel (mit leichtem Abstand), die Kurve für ZG 2 hingegen bleibt fast konstant. Am stärksten sinkt die Kurve für ZG 2 zwischen 1935 und 1960. Dies ist ein auffälliger Unterschied zu den meisten anderen Kantonen, in denen in der Regel die stärksten Veränderungen zwischen 1960 und 1980 durchgeführt wurden. Der *Lago del Sambuco* (Stausee im Maggiatal), der 1956 angelegt wurde, wirkt sich auf ZG 2, 3 und 4 aus, nicht aber in ZG 1. Eine 3.-Klass-Strasse, die zwischen 1960 und 80 gebaut wurde, führt auf über 2100 m und wirkt sich daher in ZG 3 und 4 aus. Neue 3.-Klass-Strassen wurden in der Magadino-Ebene, in der Leventina, im Bleniotal (Tal zum Lukmanier) angelegt, und die Dörfer am Hang wurden mit einer schlaufenartigen Strassengestalt erschlossen (zwischen 1960 und 2000). Die Zersiedelung der Täler schreitet immer weiter voran (Abbildung 64).

Entsprechend zeigen die Kurven der effektiven Maschendichte (Abbildung 95 rechts) für ZG 1, 3 und 4 zwischen 1960 und 1980 den stärksten Zuwachs (und zwischen 1935 und 1960 für ZG 2), und der Trend hat sich seit 1980 stark abgeschwächt, deutet aber noch immer auf eine leichte weitere Zunahme der Zerschneidung hin.

Kanton Thurgau

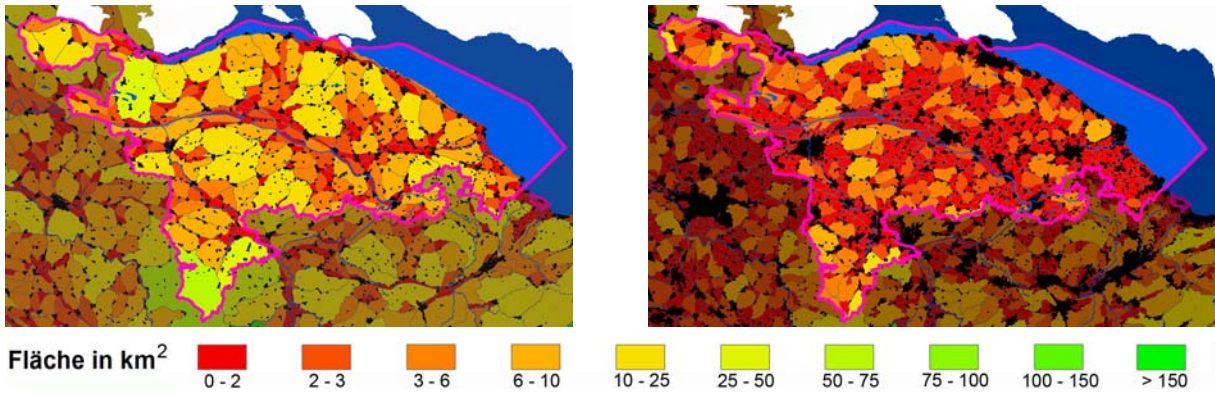


Abbildung 96: Kanton Thurgau – Situation der Zerschneidung in den Jahren 1885 (links) und 2002 (rechts), dargestellt mit Zerschneidungsgeometrie 4 (Massstab ungefähr 1:860'000).

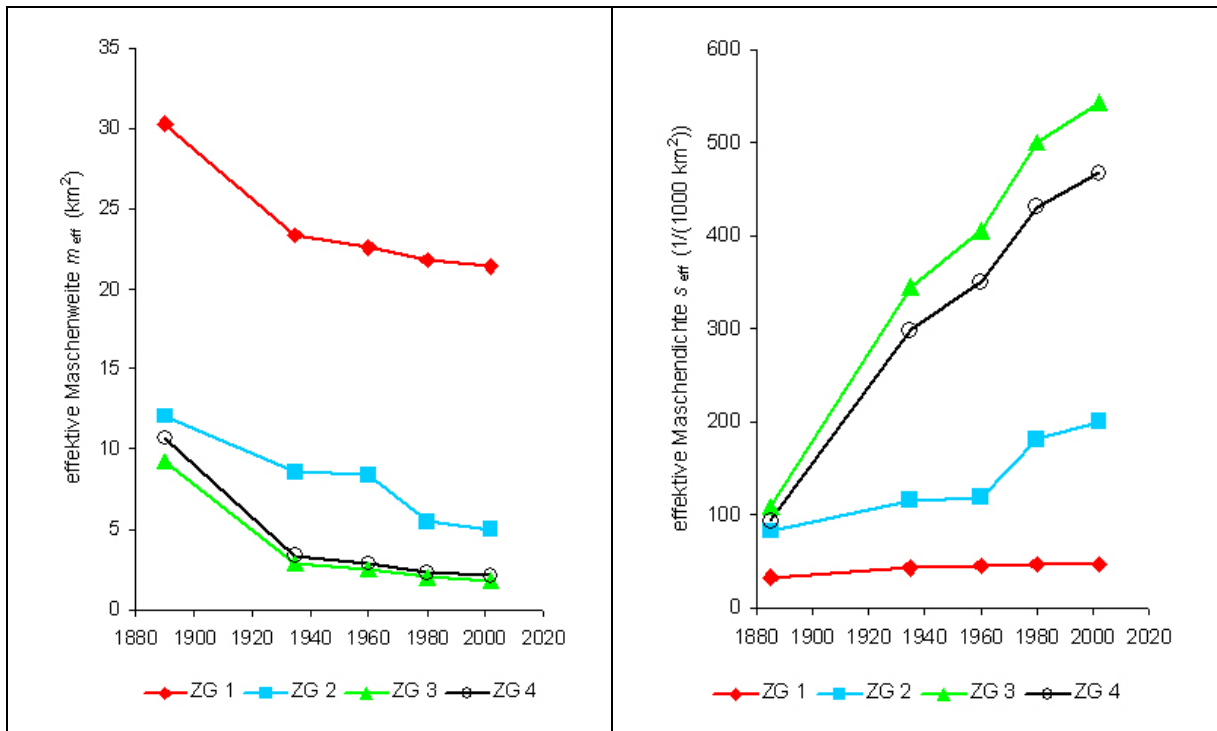


Abbildung 97: Kanton Thurgau – Entwicklung der effektiven Maschenweite (links) und Maschendichte (rechts) zwischen 1885 und 2002, dargestellt für die vier Zerschneidungsgeometrien (ZG 1 = „Zivildrucksdruck“, ZG 2 = „Trennelemente bis 2.-Kl.-Strassen“, ZG 3 = „Trennelemente bis 3.-Kl.-Strassen“, ZG 4 = „Landflächen unterhalb 2100 m“).

Im Kanton Thurgau hat die Zerschneidung flächendeckend stark zugenommen, ohne Ausnahme; es verbleiben keine grösseren unzerschnittenen Flächen. Die Siedlungen haben sich ebenfalls fast überall deutlich ausgedehnt.

Die Werte der effektiven Maschenweite liegen im Kanton Thurgau auf einem sehr tiefen Niveau. Der Kanton war von Anfang an sehr stark zerschnitten, am stärksten von allen Nicht-Stadt-Kantonen. Es gibt viele Dörfer, die nahezu gleichmässig über den Kanton verteilt sind. Da Thurgau ein relativ flacher Kanton ist, entstanden frühzeitig viele Verbindungen zwischen allen Dörfern. Die Kurven für ZG 3 und 4 verlaufen nahe beieinander und parallel. Die Kurve für ZG 1 liegt viel höher, bedingt durch den Anteil am Bodensee mit zwei grossen Flächen, ähnlich wie im Kanton Genf. (Es gibt im Kanton keine Höhenlagen über 2100 m.)

Für ZG 2 zeigt die Kurve der effektiven Maschenweite eine verstärkte Abnahme zwischen 1960-80 an: Zu Beginn der 1960er Jahre wurden die Autobahnen gebaut (A7 Winterthur - Konstanz, A1 Winterthur - St.Gallen).

Die Entwicklung verläuft sehr ähnlich wie im Kanton Aargau. Zunächst entstanden viele neue 3.-Klass-Strassen (bis 1935), danach war die Zerschneidungssituation für zwei Jahrzehnte relativ stabil, bis ein zweiter Schub stattfand (1960-80), der durch viele Höherklassierungen gekennzeichnet war. Die Tendenz der effektiven Maschenweite ist noch immer negativ. Die Krümmung der Kurve scheint auf eine effektive Maschenweite von 1.5 km² hinauszulaufen (ZG 3 und 4); das wäre für einen Flächenkanton ein ausgesprochen tiefer Wert.

Für den Anstieg der effektiven Maschendichte (Abbildung 97 rechts) ist im gesamten Verlauf seit 1885 keine Trendänderung erkennbar. Zwischen 1980 und 2002 verläuft die Kurve zwar etwas schwächer als zwischen 1960 und 1980, aber immer noch so steil ansteigend wie in der Zeit vor 1960.

Kanton Uri

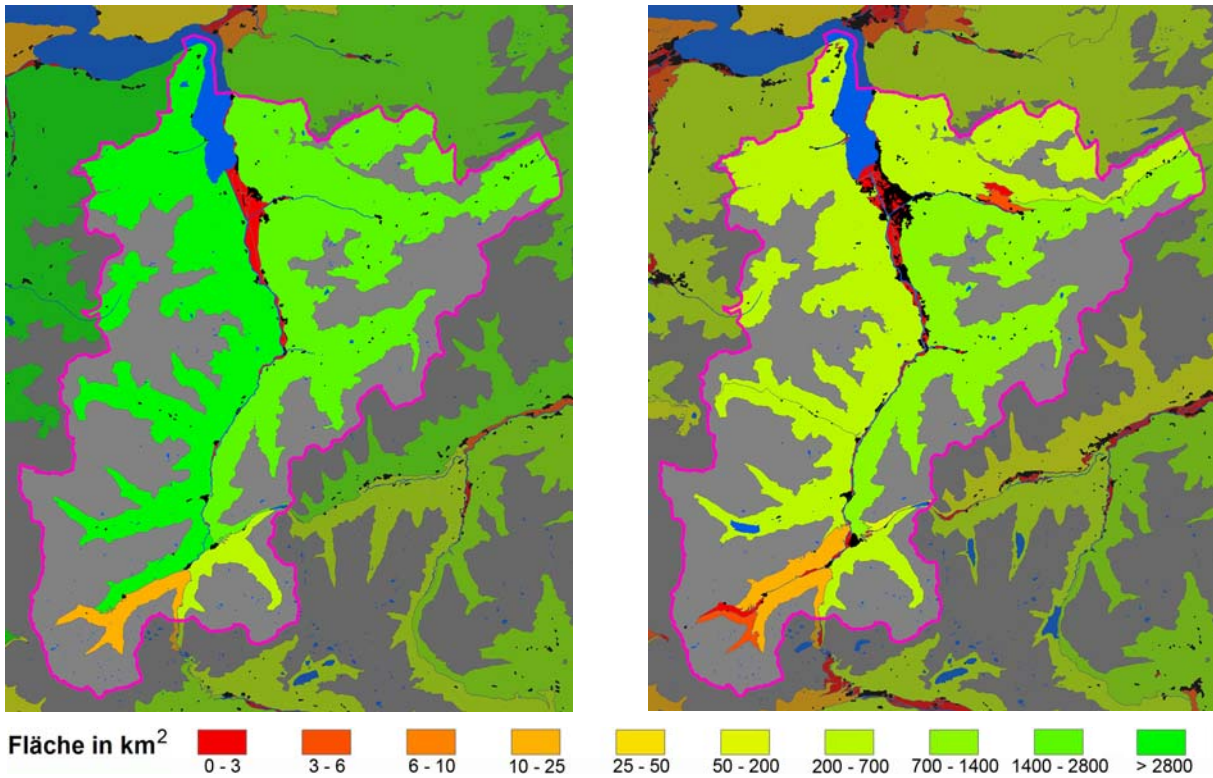


Abbildung 98: Kanton Uri – Situation der Zerschneidung in den Jahren 1885 (links) und 2002 (rechts), dargestellt mit Zerschneidungsgeometrie 4 (Massstab ungefähr 1:580'000).

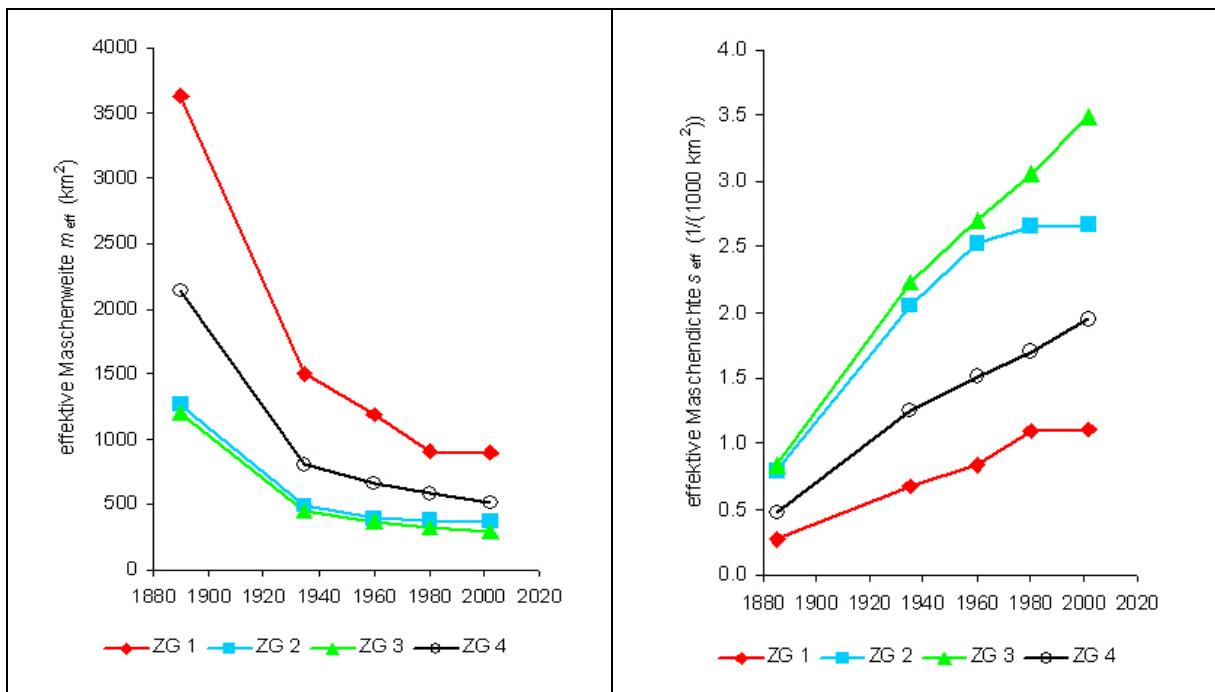


Abbildung 99: Kanton Uri – Entwicklung der effektiven Maschenweite (links) und Maschendichte (rechts) zwischen 1885 und 2002, dargestellt für die vier Zerschneidungsgeometrien (ZG 1 = „Zivilisationsdruck“, ZG 2 = „Trennelemente bis 2.-Kl.-Strassen“, ZG 3 = „Trennelemente bis 3.-Kl.-Strassen“, ZG 4 = „Landflächen unterhalb 2100 m“).

Im Kanton Uri konzentrierte sich die Siedlungsentwicklung auf das Gebiet um Altdorf. Die beiden grossen Flächen (westlich und östlich des Haupttales) sind jeweils zweigeteilt worden.

Der Kanton Uri weist hohe Werte für die effektive Maschenweite auf. Die Reihenfolge der Werte der verschiedenen Zerschneidungsgeometrien ändert sich im Zeitverlauf nicht. ZG 2 und ZG 3 verlaufen fast deckungsgleich. Dies liegt daran, dass im Kanton Uri nur relativ wenig Talboden zur Verfügung steht (gegenüber einem grossen Anteil an steilem Gelände und Gebirge, 42.1% > 2100 m ü. M.) und die 3.-Kl.-Strassen nur einen geringen Einfluss auf die effektive Maschenweite haben, da nur kleinere Flächen von ihnen betroffen sind.

Die Werte für ZG 4 nähern sich im Lauf der Zeit jenen für ZG 2 und 3 an. Der Grund dafür ist, dass der Anteil des Talbodens am Untersuchungsgebiet in ZG 4 grösser ist als in ZG 2 und ZG 3 und daher der relative Einfluss der 3.-Klass-Strassen grösser wird. Strassen wurden zwischen 1980 und 2002 stark gebaut. Zwischen 1960 und 1980 verlief die Kurve für ZG 1 steiler als für die anderen Zerschneidungsgeometrien. Dies gibt vor allem den Einfluss der Nufenen-Passstrasse wieder, die im Jahr 1964 gebaut wurde. Die stärkere Abnahme von ZG 1 gegenüber ZG 2 und 3 zwischen 1885 und 1935 ist wie im Kanton Luzern erklärbar.

Der Trend der effektiven Maschendichte (Abbildung 99 rechts) ist in ZG 3 und 4 ungebrochen, in ZG 2 und ZG 1 zeigt sich eine deutliche Abschwächung (wie in Glarus und St. Gallen). Es ist zu erwarten, dass sich die Werte für ZG 2 in Zukunft nur noch gering verändern werden, da alle wichtigen Verkehrsachsen zur Verbindung mit Nachbarkantonen bereits vorhanden sind und nur noch relativ wenige Flächen für neues Siedlungswachstums zur Verfügung stehen. Hingegen setzt sich der Trend bei ZG 3 und 4 wahrscheinlich noch weiter fort.

Kanton Waadt

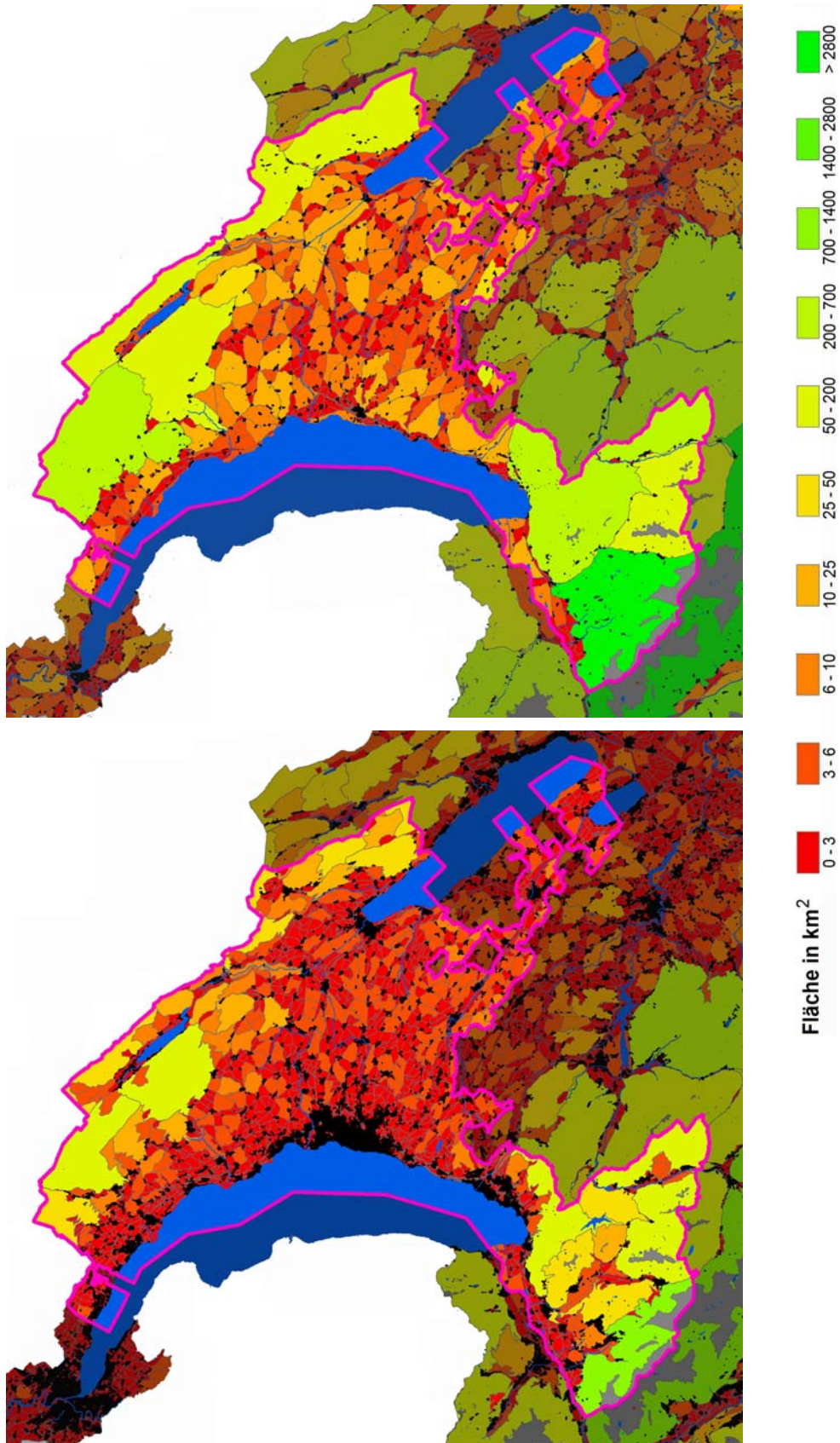


Abbildung 100: Kanton Waadt – Situation der Zerschneidung in den Jahren 1885 (oben) und 2002 (unten), dargestellt mit Zerschneidungsgeometrie 4 (Massstab ungefähr 1:780'000).

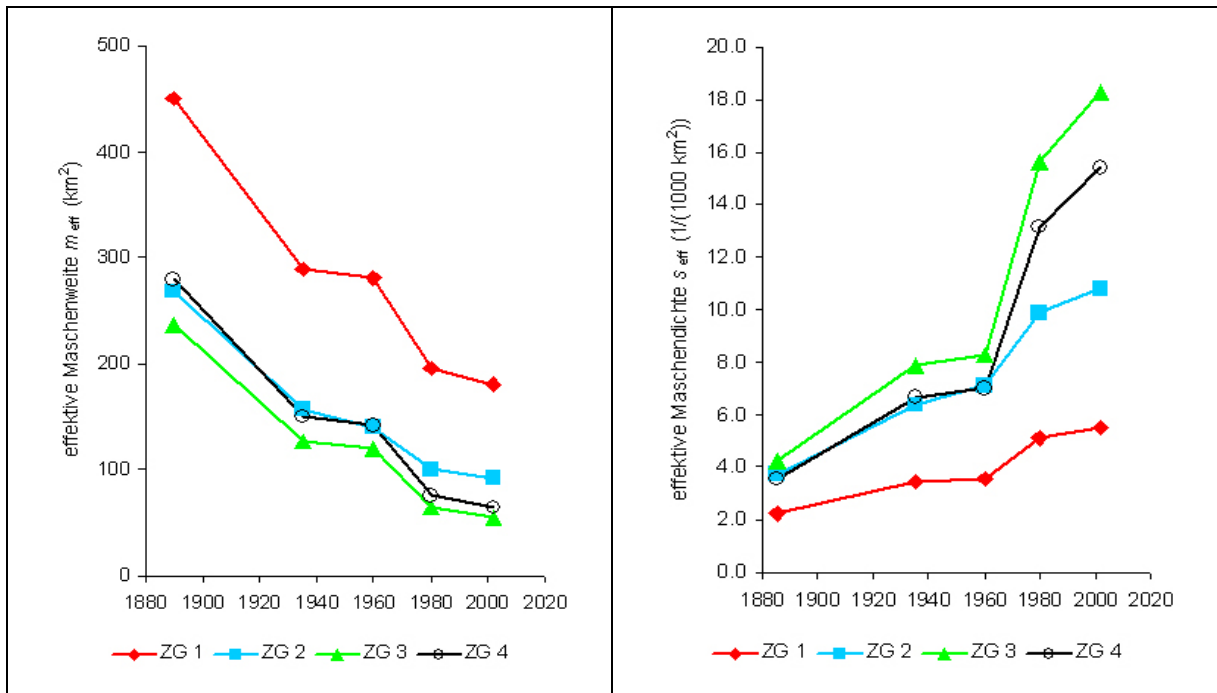


Abbildung 101: Kanton Waadt – Entwicklung der effektiven Maschenweite (links) und Maschendichte (rechts) zwischen 1885 und 2002, dargestellt für die vier Zerschneidungsgeometrien (ZG 1 = „Zivilisationsdruck“, ZG 2 = „Trennelemente bis 2.-Kl.-Strassen“, ZG 3 = „Trennelemente bis 3.-Kl.-Strassen“, ZG 4 = „Landflächen unterhalb 2100 m“).

Im Mittellandteil des Kantons Waadt ist die Zerschneidung flächendeckend sehr weit fortgeschritten. Im Jurateil des Kantons sind von den ursprünglichen fünf grösseren unzerschnittenen Flächen nur noch zwei teilweise erhalten: südlich des *Lac de Joux* (*Mont Tendre*) und das Gebiet um *Le Noirmont*. Im Alpenraum des Kantons sind von vier grossen Flächen nur noch zwei vorhanden: das Gebiet um den *Rocher du Midi* und nördlich von *Château d'Oex*. Das Gebiet um *Diablerets* ist stark verkleinert worden. Die Siedlungsentwicklung ist entlang des Genfersees extrem stark, und deutlich ausgeprägt auch um *Yverdon-les-Bains* und in den Skigebieten im Süden des Kantons.

Die Kurve der effektiven Maschenweite in ZG 1 liegt am höchsten und verläuft parallel zu den Kurven für ZG 3 und 4. Die Differenz in der Lage der Kurven ist durch den grossen Anteil des Kantons am Genfer See und am Neuenburgersee sowie einen sehr geringen Anteil am Gebirge > 2100 m ü. M. begründet. Ganz deutlich sind zwei Phasen in der Entwicklung erkennbar: zwischen 1885 und 1935 und zwischen 1960 und 1980. Die Kurve für ZG 2 verläuft zunächst weniger steil, danach steiler, dann wieder weniger steil als die Kurven für die anderen Zerschneidungsgeometrien.

In der ersten Schubphase bis 1935 wurden im *Vallée de Joux* mehrere 3.-Klass-Strassen gebaut (im Wald) sowie mehrere Verbindungen über die Jurabergrücken. Zwischen 1935 und 1960 erfolgte ein Ausbau von mehreren 3.-Klass-Strassen zu höherklassifizierten Strassen. Nach 1960 entstanden wiederum zahlreiche neue 3.-Klass-Strassen. Zum Beispiel wurden zwischen 1960 und 1980 zwei 3.-Klass- und zwei 2.-Klass-Strassen in den Bezirken *Aigle* und *Pays d'Enhaut* (im Südosten des Kantons) gebaut. Im ländlichen Gebiet des Kantons, das im Mittelland liegt, fand schon sehr früh die erste Zerschneidung statt (vor 1885), später wurden hier noch einige 3.-Klass-Strassen hinzugefügt. In der Alpenregion fanden die Zerschneidungen zwischen 1940 und 1980 statt. Danach hat sich der Verkehrswegebau hier wieder abgeschwächt. Drei grosse Gebiete (um 100 km²) im Jura-Naturraum sind noch unzerschnitten. Im Jura weisen die Bezirke *La Vallée* (42.79 km², ZG 3) und *Vevey* (48.47 km², ZG 3) noch Werte über 40 km² auf. Im Alpenraum im Süden des Kantons ist noch eine Verbindung mit grossen Alpengebieten vorhanden (über das Grenzverbindungsverfahren). Dies zeigt sich auch an den relativ hohen Werten der effektiven Maschenweite in den hier gelegenen Bezirken *Aigle* (283.61 km², ZG 3) und *Pays-d'Enhaut* (123.07 km²).

Die Kurve der effektiven Maschendichte (Abbildung 101 rechts) zeigt, dass der Trend zwar gegenüber dem Zeitraum 1960 bis 1980 leicht schwächer geworden ist, aber auch für 1980 bis 2002 immer noch dem langfristigen Schnitt entspricht, also sehr stark ist.

Kanton Wallis

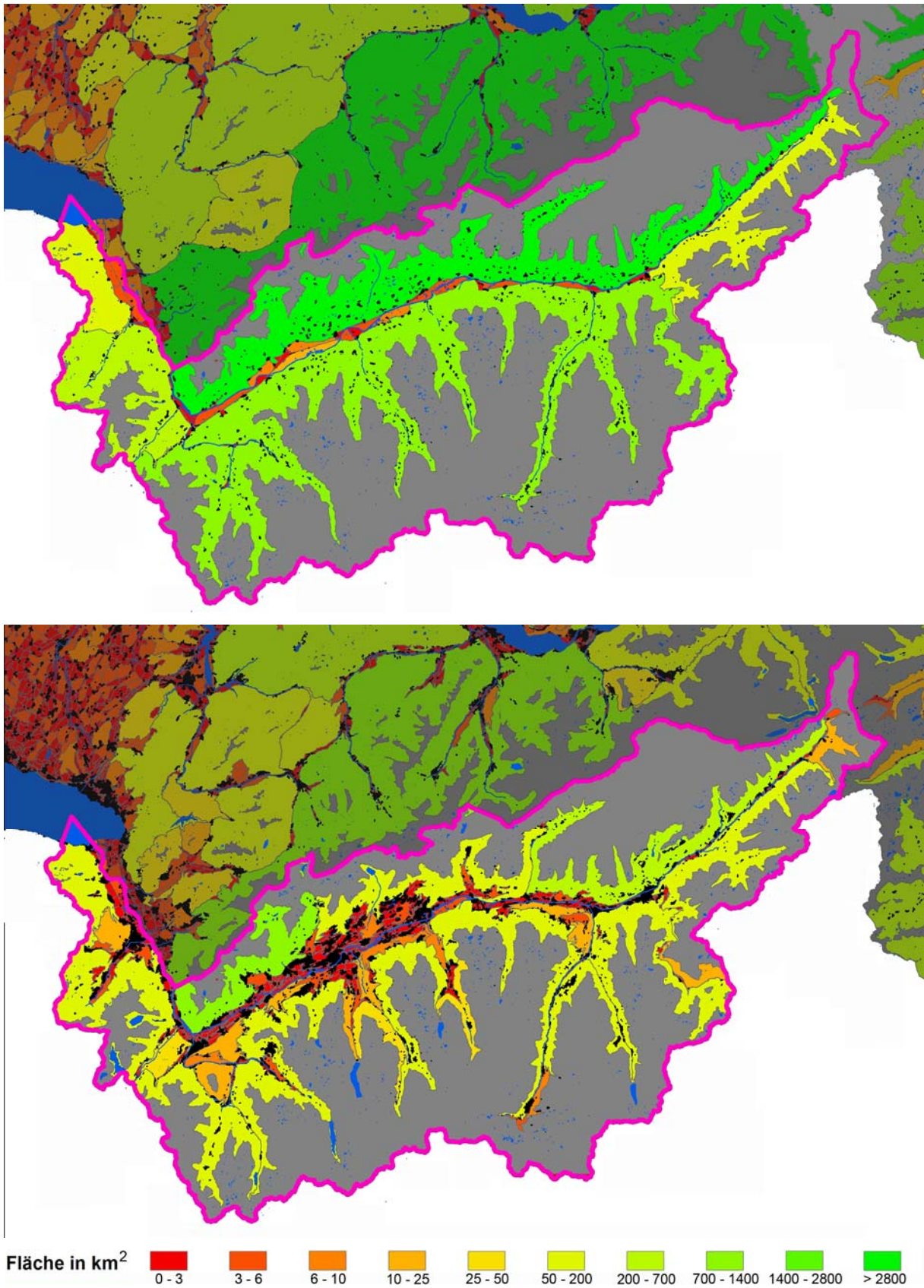


Abbildung 102: Kanton Wallis – Situation der Zerschneidung in den Jahren 1885 (oben) und 2002 (unten), dargestellt mit Zerschneidungsgeometrie 4 (Massstab ungefähr 1:830'000).

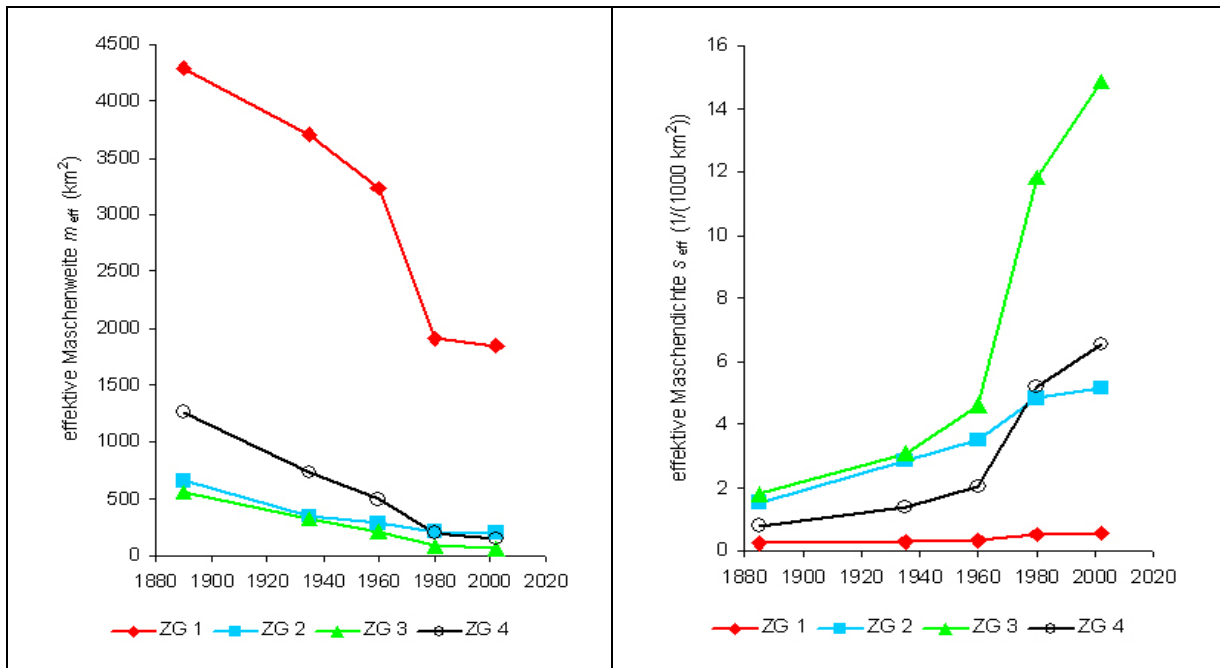


Abbildung 103: Kanton Wallis – Entwicklung der effektiven Maschenweite (links) und Maschendichte (rechts) zwischen 1885 und 2002, dargestellt für die vier Zerschneidungsgeometrien (ZG 1 = „Zivilisationsdruck“, ZG 2 = „Trennelemente bis 2.-Kl.-Strassen“, ZG 3 = „Trennelemente bis 3.-Kl.-Strassen“, ZG 4 = „Landflächen unterhalb 2100 m“).

Der gesamte Kanton Wallis ist heute unterhalb von 2100 m sehr stark zerschnitten und überbaut. Lediglich die südliche Hälfte des Goms ist nur ein wenig verkleinert worden. Die Siedlungsentwicklung ist sowohl im Haupttal als auch in zahlreichen Nebentälern sehr ausgeprägt. Die Kurven der effektiven Maschenweite für ZG 3 und 4 verlaufen gleichartig, die Werte für ZG 4 betragen dabei konsistent etwas mehr als das Doppelte der Werte für ZG 3. Dies ist durch den grossen Anteil an Gebirge > 2100 m ü.M. begründet, der bei ZG 4 ausgeklammert wird. Aufgrund des Gebirgsanteils liegt die Kurve für ZG 1 weit höher, ähnlich wie im Tessin. Die Abnahme der Werte ist im Wallis für ZG 3 und 4 aber deutlich stärker als im Tessin. 1894 wurde die Strasse über den Grimselpass gebaut. Im Südwesten des Kantons liegt die Strasse über den St. Bernhard, die ebenfalls für den Wert von 1935 wirksam wird (gebaut 1905). Die Abnahme der effektiven Maschenweite in ZG 1 zwischen 1960 und 1980 ist teilweise durch die Nufenenpassestrasse bedingt, doch ist das abgetrennt Gebiet nicht sehr gross. In gleicher Weise wirkte die Strasse auf der Scheidegg, da durch diese Strasse die Verbindungen zwischen dem Kanton Wallis und grossen ausserhalb des Kantons liegenden Flächen abgetrennt wurden (vgl. Abschnitt 2.2.4 zum Grenzverbindungsverfahren). Dieses Gebiet wurde durch eine 3.-Klass-Strasse zwischen Meiringen und Grindelwald zerschnitten (zwischen 1960 und 1980). Vom Kanton Waadt her kommt zwischen 1960 und 1980 eine 3.-Klass-Strasse hinzu, wie auch im Kanton Bern. Ab 1980 kommen kaum noch neue Strassen mit vergleichbar starken Wirkungen hinzu (nur kleine Stücke).

Die Kurve der effektiven Maschenweite in ZG 1 verläuft zwischen 1935 und 1960 schneller abwärts als für die anderen Zerschneidungsgeometrien. Dies ist bedingt durch die Summe mehrerer Bauten: Die Strasse über den Sustenpass, erbaut zwischen 1935 und 60, verläuft zwischen den Kantonen Bern und Uri. Dieses Gebiet war vorher mit dem Rhonegletschergebiet verbunden (das bis an den Vierwaldstättersee reicht). Die Strasse durch dieses Gebiet wirkt sich auf ZG 1, aber nicht auf ZG 3 und 4 aus. Vor 1935 bestand bereits die Mürren-Grindelwald-Bahn, die auf die kleine Scheidegg führt. Es sind zwar zwischen 1940 und 1980 mehrere Stauseen neu angelegt worden, aber da sie meist auf einer Höhe über 2100 m liegen, wirken sie sich in ZG 2, 3 und 4 nicht auf die effektive Maschenweite aus. Die Autobahn führt entlang des Talbodens, daher sind von ihr eher kleinere Flächen betroffen, zum Teil verläuft sie auch gebündelt mit anderen Verkehrswegen und wirkt sich daher nicht mehr stark auf die effektive Maschenweite aus. Die Abnahme der effektiven Maschenweite für ZG 4 ist seit 1885 sehr ausgeprägt (um 87.9%). Die Kurven der effektiven Maschendichte (Abbildung 103 rechts) zeigen, dass der Trend sich in ZG 3 und 4 bisher nur unwesentlich abgeschwächt hat und selbst in ZG 1 und 2 nur wenig schwächer geworden ist. Eine Trendänderung ist nicht in Sicht.

Kanton Zug

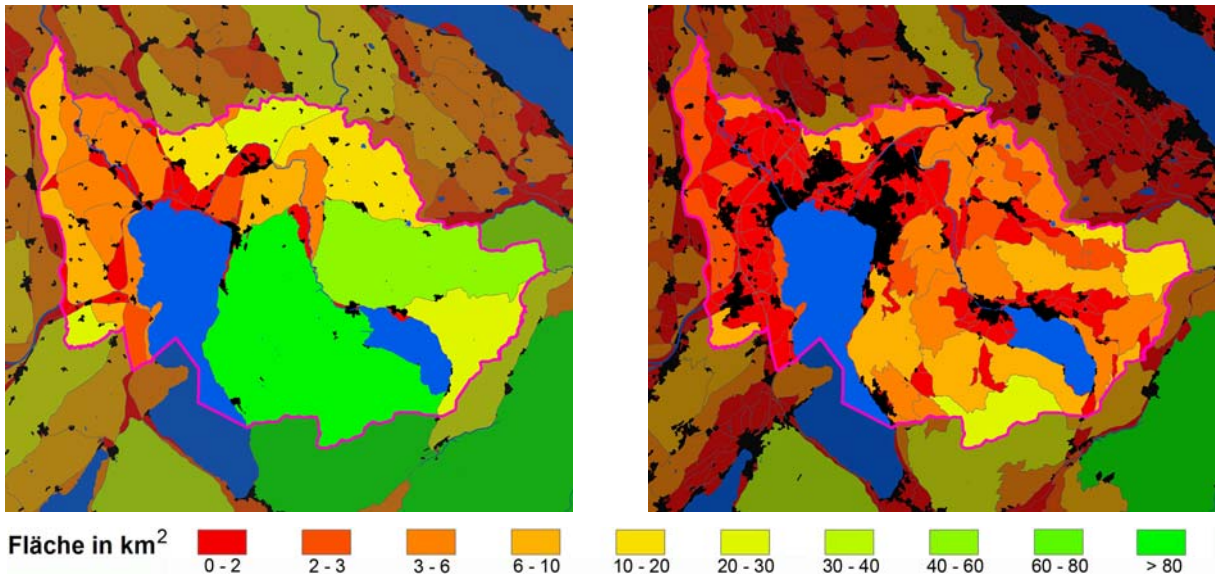


Abbildung 104: Kanton Zug – Situation der Zerschneidung in den Jahren 1885 (links) und 2002 (rechts), dargestellt mit Zerschneidungsgeometrie 4 (Massstab ungefähr 1:330'000).

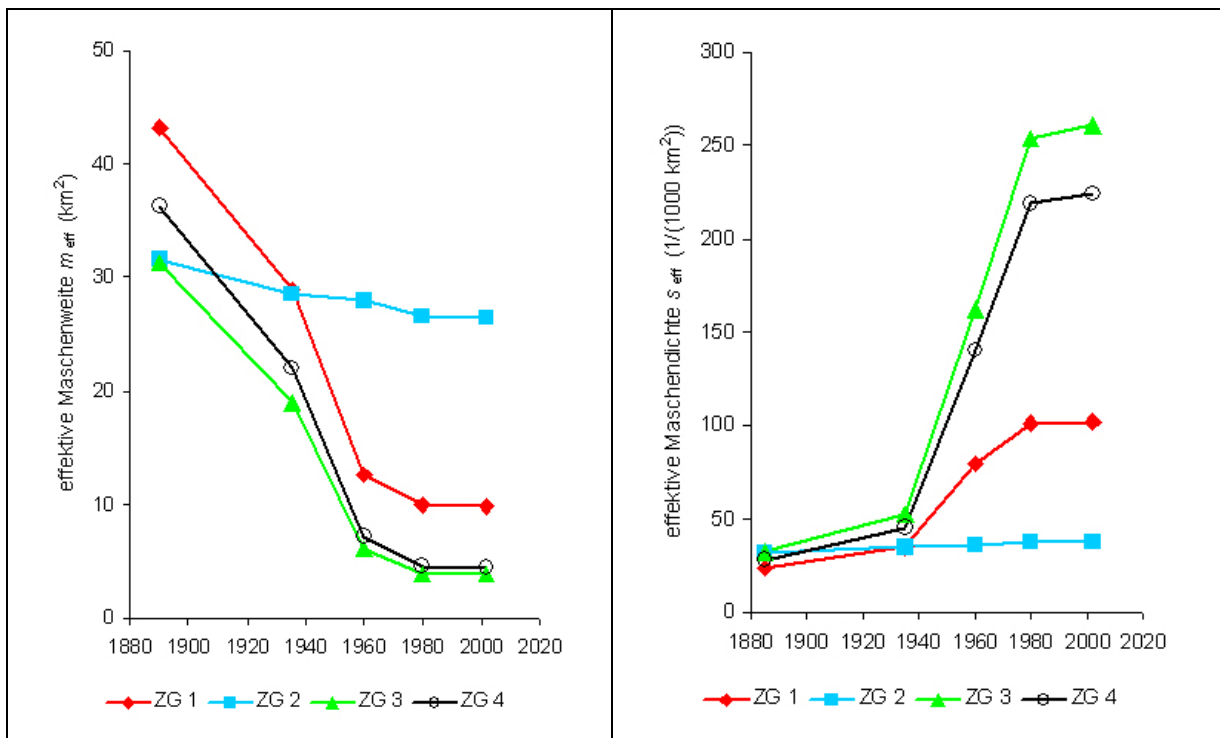


Abbildung 105: Kanton Zug – Entwicklung der effektiven Maschenweite (links) und Maschendichte (rechts) zwischen 1885 und 2002, dargestellt für die vier Zerschneidungsgeometrien (ZG 1 = „Zivilisationsdruck“, ZG 2 = „Trennelemente bis 2.-Kl.-Strassen“, ZG 3 = „Trennelemente bis 3.-Kl.-Strassen“, ZG 4 = „Landflächen unterhalb 2100 m“).

Überall im Kanton hat die Zerschneidung markant zugenommen. Es sind keine grösseren unzerschnittenen Flächen verblieben. Die Siedlungsflächenentwicklung ist im Gebiet von Zug und Cham besonders stark ausgeprägt.

Die Abnahme der Werte der effektiven Maschenweite im Kanton Zug verläuft für die Zerschneidungsgeometrien 1, 3 und 4 parallel. Der Zugersee ist die Ursache für den Abstand der Kurven voneinander. Der Rückgang der effektiven Maschenweite ist zwischen 1935 und 1960 am stärksten. Dies ist vor allem auf den Bau von 3.-Kl.-Strassen und auf das starke Siedlungswachstum zurückzuführen. Besonders auffällig ist der Bau von 3.-Kl.-Strassen in der Region des Ägerisees. Die Werte der effektiven Maschenweite sind heute nur noch sehr gering.

Eine Ausnahme von dieser Entwicklung ist der Verlauf der m_{eff} -Kurve für ZG 2, die nur gering abnimmt. Im Jahr 1885 war ein Grossteil der höherklassigen Strassen bereits gebaut. 1885 waren die Werte für ZG 2 und 3 identisch, da es kaum 3.-Klass-Strassen gab. Mit der Eröffnung der Autobahn A4 im Knonaueramt (2007/08) werden die Werte für alle Zerschneidungsgeometrien nochmals abnehmen.

Die Kurve für die effektive Maschendichte (Abbildung 105 rechts) lässt zwar bei ZG 1, 3 und 4 eine Abschwächung des Trends seit 1980 erkennen, aber die Entwicklung scheint sich durchaus noch weiter fortzusetzen (z.B. durch die neue Autobahn und das weitere Siedlungswachstum).

Kanton Zürich

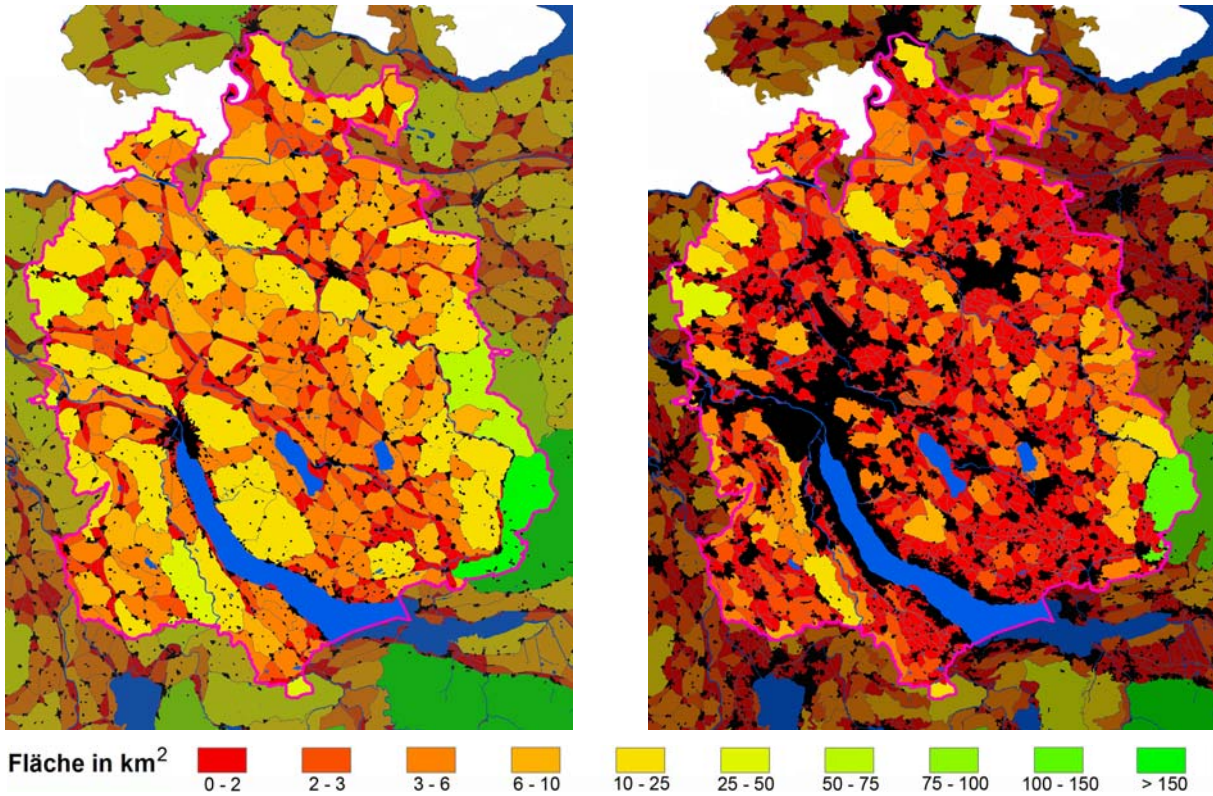


Abbildung 106: Kanton Zürich – Situation der Zerschneidung in den Jahren 1885 (links) und 2002 (rechts), dargestellt mit Zerschneidungsgeometrie 4 (Massstab ungefähr 1:660'000).

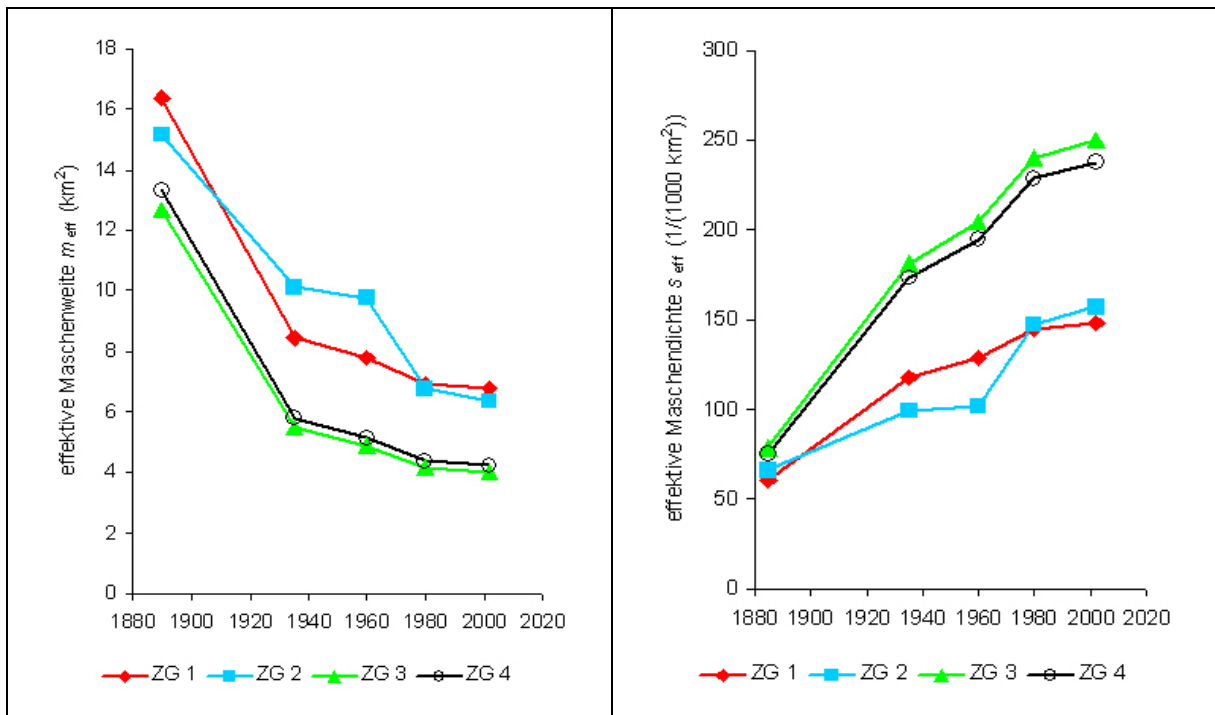


Abbildung 107: Kanton Zürich – Entwicklung der effektiven Maschenweite (links) und Maschendichte (rechts) zwischen 1885 und 2002, dargestellt für die vier Zerschneidungsgeometrien (ZG 1 = „Zivilisationsdruck“, ZG 2 = „Trennelemente bis 2.-Kl.-Strassen“, ZG 3 = „Trennelemente bis 3.-Kl.-Strassen“, ZG 4 = „Landflächen unterhalb 2100 m²“).

Der ganze Kanton Zürich ist durch eine sehr starke Zerschneidung und Siedlungsflächenausdehnung geprägt. Als Flächen mittlerer Grösse sind lediglich der Sihlwald, das Gebiet um den Tössstock (im Südosten), das Gebiet Lägeren und das Waldgebiet Hochwacht übrig geblieben. Gegenüber 1885 sind sie jedoch erheblich verkleinert worden.

Im Kanton Zürich waren die Werte der effektiven Maschenweite bereits 1885 mit 17 km^2 (ZG 4) auf einem tiefen Niveau, sie nahmen bis ins Jahr 2002 aber nochmals stark ab (Abbildung 77). Die Besiedelung des Kantons erfolgte dezentral. Da er nur relativ wenig hügelig ist, war er gut besiedelbar, und bei allen Orten konnten bereits früh Verbindungswege zu den Nachbarorten gebaut werden. Die m_{eff} -Kurven der ZG 1, 3 und 4 verlaufen parallel, die Kurve in ZG 2 weicht davon ab (weniger steil am Beginn). Gegenüber 1885 zerschneiden zahlreiche neue Strassen die Landschaft in der gesamten Kantonsfläche. Auffallend ist auch die sehr starke Ausdehnung der Siedlungsflächen im ganzen Kanton (Abbildung 106). Zwischen 1885 und 1960 wurden vor allem 3.-Kl.-Strassen gebaut (erkennbar an der deutlicheren Abnahme bei ZG 3 als bei ZG 2), zwischen 1960 und 1980 wurden viele 3.-Kl.-Strassen ausgebaut und aufklassiert (ZG 2 nimmt stark ab, ZG 3 deutlich weniger).

Die Regionen des Zürcher Weinlandes (nördlicher Kantonsteil bei Schaffhausen) und das Zürcher Oberland sind heute etwas weniger stark zerschnitten als die anderen Teile des Kantons. Diese Regionen waren zwar schon seit sehr langer Zeit besiedelt und erschlossen, machten aber eine weniger starke Entwicklung durch als andere Gebiete. Ab 1960 ist der Flughafen auf den Landeskarten als Hartpiste erfasst und zählt somit seither als Trennelement, davor war noch eine Graspiste verzeichnet.

Der Trend der effektiven Maschendichte (Abbildung 107 rechts) zeigt zwar eine Abschwächung seit 1980, die Abschwächung fällt jedoch eher gering aus (in allen Zerschneidungsgeometrien). Eine weitere Zunahme der Zerschneidung ist daher wahrscheinlich (z.B. aufgrund der zahlreichen noch geplanten Ortsumfahrungen).

9.7 Effektive Maschenweiten der Schweiz und der Kantone von 1885 bis 2002

Tabelle 17: Effektive Maschenweiten der Schweiz und der Kantone von 1885 bis 2002, in km² (ZG 1 = „Zivilisationsdruck“, ZG 2 = „Trennelemente bis 2.-Ki.-Strassen“, ZG 3 = „Trennelemente bis 3.-Ki.-Strassen“, ZG 4 = „Landflächen unterhalb 2100 m“).

Zerschneidungsgeometrie	2002				1980				1960				1935				1885			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Schweiz insgesamt	661.61	213.11	133.29	176.33	681.47	220.27	150.96	199.69	1013.14	257.92	218.76	289.15	1125.15	290.12	251.61	331.79	1512.24	489.96	439.63	579.72
Kanton Zürich	6.75	6.36	4.00	4.20	6.92	6.78	4.16	4.37	7.75	9.78	4.88	5.13	8.45	10.10	5.51	5.78	16.39	15.16	12.67	13.31
Kanton Bern	828.91	326.94	212.53	249.60	856.88	333.53	225.18	264.46	1105.28	379.17	330.89	388.59	1175.94	396.02	367.01	430.95	1908.50	776.34	763.53	894.30
Kanton Luzern	107.27	116.52	77.51	81.34	109.53	139.63	79.03	82.94	177.14	277.52	141.96	148.98	282.89	280.20	215.61	226.27	514.75	301.31	282.75	296.73
Kanton Uri	898.43	374.26	286.28	513.48	910.16	376.60	327.31	587.06	1186.77	395.92	370.27	663.98	1499.28	487.97	448.60	802.87	3630.50	1263.96	1198.66	2143.66
Kanton Schwyz	184.44	305.78	137.76	154.22	196.91	309.24	148.92	166.71	375.67	468.11	292.08	326.84	454.49	566.55	354.41	396.61	1522.28	1371.99	950.44	1051.40
Kanton Obwalden	462.49	357.37	283.81	317.50	472.19	420.44	290.44	324.91	594.98	640.13	401.55	448.25	1016.92	694.71	658.33	735.26	2952.56	1613.14	1608.82	1792.70
Kanton Nidwalden	638.93	409.85	314.88	379.79	654.14	420.22	324.00	390.79	697.65	457.70	351.98	424.54	1200.69	541.87	529.90	638.62	4412.43	1885.56	1877.15	2262.19
Kanton Glarus	1214.13	681.82	485.52	635.14	1227.97	688.39	581.32	760.46	1356.99	730.25	677.29	886.00	1374.92	753.85	696.56	908.30	2499.98	1499.75	1372.41	1783.35
Kanton Zug	9.77	26.47	3.84	4.45	9.92	26.60	3.94	4.57	12.61	27.99	6.15	7.14	28.88	28.52	18.99	22.02	43.17	31.57	31.26	36.25
Kanton Freiburg	92.41	117.12	80.82	85.40	105.25	118.65	93.10	98.38	131.70	134.03	117.86	124.53	135.91	135.19	121.68	128.52	163.41	159.47	141.87	149.81
Kanton Solothurn	13.18	40.22	13.00	13.09	15.18	55.69	14.97	15.07	24.21	79.86	23.82	23.98	34.88	81.98	34.42	34.66	78.41	129.87	77.60	78.12
Kanton Basel-Stadt	0.54	0.61	0.52	0.54	0.55	0.62	0.53	0.55	0.71	0.97	0.68	0.70	1.63	1.83	1.56	1.63	3.44	3.40	3.27	3.40
Kanton Basel-Landschaft	8.73	20.63	8.69	8.73	10.00	23.57	9.92	9.96	17.09	36.57	16.91	16.98	19.64	37.59	19.45	19.53	40.74	83.73	40.32	40.50
Kanton Schaffhausen	7.15	27.30	6.79	6.86	9.37	27.66	8.98	9.07	20.30	30.64	19.83	20.02	24.80	31.30	24.26	24.49	33.81	35.95	32.76	33.08
Kanton Appenzell-Ausser rhoden	30.34	45.02	28.87	29.00	31.06	45.13	29.57	29.70	33.05	60.21	31.48	31.61	37.81	60.76	36.04	36.20	133.73	133.10	128.49	129.05
Kanton Appenzell-Inner rhoden	150.11	192.86	141.08	143.92	151.42	193.19	142.32	145.18	167.98	195.55	158.44	161.62	171.30	196.24	161.51	164.76	302.07	297.51	288.36	294.16
Kanton St. Gallen	347.78	249.92	167.42	182.21	356.44	253.93	196.89	214.29	406.45	261.95	236.51	256.95	410.94	263.33	240.78	261.59	625.32	428.60	400.32	434.91
Kanton Graubünden	779.04	221.30	158.97	321.98	805.67	225.65	199.30	403.68	848.73	231.21	221.50	448.29	867.06	270.20	228.01	460.50	972.20	327.77	278.20	562.01
Kanton Aargau	4.01	10.18	3.73	3.81	4.42	11.61	4.11	4.20	7.27	18.41	6.85	6.99	10.18	19.97	9.61	9.81	19.91	26.84	19.02	19.41
Kanton Thurgau	21.41	5.00	1.84	2.14	21.80	5.52	2.00	2.32	22.54	8.39	2.47	2.86	23.37	8.61	2.90	3.36	30.27	12.07	9.25	10.72
Kanton Tessin	1041.38	497.57	307.72	393.87	1054.73	502.95	313.46	401.22	2384.94	528.72	517.90	661.82	2546.43	624.80	527.39	672.78	2732.97	685.29	588.13	750.26
Kanton Waadt	180.44	92.53	54.76	64.85	195.59	100.98	64.09	75.88	281.48	139.83	120.45	142.44	289.60	156.39	126.73	149.85	450.67	267.91	236.43	279.78
Kanton Valais	1850.75	194.24	67.37	153.43	1903.57	206.92	84.55	192.57	3237.25	285.65	216.44	492.40	3705.34	351.29	322.24	731.60	4292.99	652.72	557.80	1266.79
Kanton Neuenburg	41.60	32.01	13.74	15.44	45.19	35.19	16.88	18.97	57.08	52.72	27.52	30.94	63.91	53.18	33.53	37.69	97.47	63.59	60.44	67.93
Kanton Genéve	49.71	1.46	0.70	0.82	50.60	1.66	0.82	0.96	53.44	2.76	1.26	1.47	54.68	2.97	1.53	1.79	64.06	6.55	5.16	6.02
Kanton Jura	23.98	40.39	20.74	20.81	30.78	48.10	25.89	25.97	30.87	61.81	25.82	25.90	34.61	62.42	29.01	29.11	67.26	79.57	53.84	54.02
Enklaven (Büdingen und Campione))	17.25	8.85	7.50	9.41	17.76	9.11	7.94	9.97	18.18	9.54	8.16	10.24	18.86	10.13	8.57	10.76	22.67	11.60	11.60	14.56

9.8 Effektive Maschenweiten der Naturräume und der biogeographischen Regionen von 1885 bis 2002

Tabelle 18: Effektive Maschenweiten der Naturräume und der biogeographischen Regionen von 1885 bis 2002, in km² (ZG 1 = „Zivilisationsdruck“, ZG 2 = „Trennelemente bis 2.-Kl.-Strassen“, ZG 3 = „Trennelemente bis 3.-Kl.-Strassen“, ZG 4 = „Landflächen unterhalb 2100 m“).

Zerschneidungsgeometrie	2002				1980				1980				1935				1885			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Jura	19.96	46.02	18.91	19.02	24.03	58.71	22.67	22.81	29.71	71.33	28.22	28.40	41.25	80.49	39.54	39.78	81.57	115.16	77.46	77.94
Mittelland	29.22	21.47	9.86	10.78	30.30	22.38	10.58	11.57	36.70	34.10	15.84	17.32	41.43	35.69	18.46	20.17	81.53	48.19	37.24	40.71
Alpenordflanke	883.73	430.58	293.30	367.52	912.45	442.00	324.37	406.46	1172.46	523.85	451.29	565.11	1316.15	561.72	514.22	643.56	2414.80	1149.97	1064.34	1328.80
Zentralalpen	1310.24	213.64	112.23	249.80	1350.92	222.42	146.17	325.33	1995.32	263.11	223.22	496.58	2222.86	314.70	277.83	616.62	2555.51	469.73	416.80	925.38
Alpensüdflanke	990.01	410.07	272.58	381.72	1005.94	414.48	278.98	390.68	2037.65	435.52	426.46	596.25	2165.11	515.70	435.79	608.37	2314.43	578.53	494.38	690.22
Hochrhein- und Genferseegebiet	34.54	6.49	2.54	2.82	35.01	7.15	2.63	2.92	37.80	9.71	4.30	4.77	39.85	11.36	5.83	6.46	50.11	20.22	13.73	15.23
Jura und Randen	20.61	47.45	19.57	19.67	24.80	60.82	23.44	23.55	30.42	74.23	28.92	29.06	42.33	84.80	40.59	40.79	86.25	124.12	81.83	82.22
Nordalpen	985.69	454.68	314.06	396.68	1016.87	467.56	347.98	439.53	1265.77	548.87	477.45	602.73	1399.98	580.60	540.17	681.46	2597.29	1209.74	1132.36	1424.99
Östliche Zentralalpen	792.13	200.25	134.26	309.29	819.74	204.89	179.97	414.60	897.64	209.79	200.51	461.58	916.31	253.26	207.47	476.30	1059.40	319.91	265.92	610.75
Östliches Mittelland	11.62	7.11	2.86	3.13	12.08	7.85	3.18	3.48	13.93	13.45	4.34	4.75	18.15	16.40	6.26	6.86	34.48	26.96	18.95	20.74
Südalpen	1062.27	404.52	276.26	450.27	1079.96	408.76	284.52	463.73	2089.76	429.26	423.30	689.20	2206.24	568.54	431.24	700.03	2269.63	592.74	450.97	732.05
Südlicher Tessin	839.05	491.28	314.78	349.05	849.16	496.70	319.69	354.50	1923.33	520.14	505.40	559.19	2095.81	538.63	515.55	570.43	2923.21	618.01	600.54	664.40
Voralpen	259.10	276.69	166.56	171.62	272.69	279.17	178.84	194.28	362.90	348.56	284.68	272.73	403.60	368.77	300.09	309.22	737.48	550.94	499.20	513.61
Westliche Zentralalpen	1966.00	202.18	66.80	162.00	2021.71	215.66	84.41	204.71	3457.40	299.59	225.23	545.60	3962.15	370.23	339.09	819.89	4582.79	660.66	591.80	1431.31
Westliches Mittelland	28.62	9.17	3.30	3.67	29.73	10.04	3.96	4.40	33.60	20.78	6.46	7.17	35.23	21.23	7.46	8.26	46.89	28.60	15.81	17.52
Berner Alpen	1417.66	555.08	372.31	473.51	1471.28	562.85	399.09	507.56	1923.51	649.91	606.61	771.13	1978.01	664.20	641.12	814.96	2950.31	1227.15	1220.16	1548.28
Berner Jura	29.55	70.33	28.39	28.49	31.50	84.78	29.92	30.02	35.88	111.34	34.25	34.36	64.63	112.77	62.83	63.04	98.97	135.43	94.54	94.87
Bregaglia	484.34	27.02	26.38	61.95	488.51	27.32	26.66	62.62	517.74	27.64	27.06	63.54	520.59	27.71	27.12	63.69	539.78	28.55	28.52	66.96
Engadin	555.98	27.92	26.13	91.82	559.43	28.02	26.41	92.81	587.53	28.49	27.17	95.39	595.55	28.54	27.26	95.71	584.51	29.03	28.27	99.26
Freiberge	16.19	31.39	12.10	12.14	19.58	32.17	13.77	13.81	27.64	32.55	20.65	20.71	30.61	32.73	22.81	22.89	52.33	39.92	35.77	35.88
Genferseegebiet	96.81	3.48	1.30	1.75	97.87	3.77	1.35	1.82	101.36	5.03	1.97	2.66	103.23	10.85	2.43	3.28	124.15	34.60	17.65	23.85
Glarner Alpen	1314.19	721.24	524.89	689.62	1334.57	731.90	638.48	838.86	1448.78	762.61	718.10	942.36	1463.34	778.87	731.74	958.65	2503.47	1495.18	1371.84	1793.83
Innerschweizer Alpen	511.07	325.46	225.99	295.71	524.71	346.64	245.24	320.90	721.70	478.11	338.08	442.14	1042.07	563.49	479.57	626.76	2843.37	1348.17	1215.59	1582.71
LU, AG und ZH Gebiet	16.03	9.94	3.31	3.63	16.70	10.85	3.63	3.97	21.75	20.96	7.44	8.14	35.17	23.92	12.15	13.30	103.73	34.07	27.68	30.29
Muestair	331.53	5.97	4.05	11.88	348.89	5.98	5.75	16.87	412.12	6.00	5.99	17.56	412.59	6.01	6.00	17.59	551.28	8.71	8.70	25.51
Nepherland	58.07	121.06	57.49	57.61	61.99	122.04	61.16	61.30	90.46	177.71	88.68	88.88	97.81	178.65	95.28	95.49	265.01	201.96	179.33	179.73
Neuenburger Jura	16.42	34.00	14.33	14.42	20.29	37.82	17.99	18.10	30.80	49.47	28.11	28.29	36.75	49.97	33.39	33.60	64.28	61.01	57.38	57.72
Nördliche Po-Ebene	1.36	1.26	1.21	1.22	1.40	1.46	1.35	1.35	2.79	3.06	2.72	2.73	3.29	3.46	3.22	3.23	8.53	7.43	7.41	7.43

Zerschneidungsgeometrie	2002				1980				1960				1935				1885			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Nördlicher Tafeljura	8.05	35.11	8.02	8.03	10.98	35.37	10.95	10.96	25.67	39.33	25.63	25.66	31.51	39.86	31.46	31.50	41.63	45.49	41.48	41.53
Nord- und Mittelbünden	906.70	297.72	199.20	354.57	945.23	304.33	263.18	468.45	987.55	311.55	297.36	528.98	1014.70	365.53	306.68	544.17	1165.74	455.23	384.71	682.86
Oberrheinische Tiefebene	1.47	2.40	1.45	1.48	1.79	2.76	1.75	1.79	2.93	3.66	2.87	2.93	4.47	4.73	4.33	4.43	7.15	7.14	6.91	7.07
Östlicher Tafeljura	4.44	13.29	4.36	4.40	5.24	15.12	5.16	5.21	11.00	25.28	10.82	10.92	13.84	26.54	13.60	13.72	22.95	51.93	22.55	22.75
Poschiavo	249.09	21.07	19.36	39.30	255.87	21.10	20.61	41.82	452.57	21.25	20.83	42.27	454.23	21.32	21.05	42.72	529.79	27.83	27.83	56.48
Rhein-Thur-Gebiet	17.48	7.16	3.67	4.06	17.87	7.71	3.92	4.34	18.74	10.39	4.57	5.06	19.40	10.70	4.96	5.49	31.83	19.27	16.21	17.95
SO, AG, BS und BL Jura	21.75	66.27	21.69	21.69	24.25	91.20	24.17	24.17	38.48	127.59	38.41	38.41	53.04	129.84	52.95	52.96	133.74	216.86	133.10	133.11
Savoyer Alpen	174.52	101.50	69.12	89.10	192.05	105.06	80.93	104.33	241.44	127.91	106.47	136.49	526.26	172.63	129.12	164.93	657.89	623.40	201.41	257.11
Schwarzenburgerland	10.51	20.17	7.16	7.18	10.78	20.25	7.24	7.26	15.86	24.34	9.24	9.27	27.80	24.53	16.27	16.32	68.32	69.11	38.71	38.82
Simplon-Süd	2074.61	45.23	43.78	103.60	2119.85	45.82	45.22	107.01	4286.62	69.67	69.67	164.89	4589.79	95.98	95.66	226.39	4723.06	526.59	426.52	1009.40
Sopra Ceneri	1200.80	564.06	367.83	486.52	1218.81	569.54	376.51	498.00	2543.31	594.63	585.38	772.97	2703.70	707.15	594.44	783.67	2886.39	765.13	650.61	857.70
Sotto Ceneri	133.19	111.70	108.96	118.08	134.58	116.80	110.14	119.36	141.97	140.37	116.19	125.91	163.23	145.44	134.08	145.30	214.46	180.08	179.91	194.97
Thur-Alpen	113.11	187.05	100.36	102.88	117.85	187.80	103.73	106.34	186.28	196.32	163.51	167.61	191.90	197.38	169.88	174.14	281.42	264.17	254.14	260.52
Tössbergland	22.62	28.29	22.50	22.58	23.12	29.27	22.99	23.07	24.97	39.57	24.71	24.79	26.43	39.96	26.16	26.25	47.89	49.48	46.92	47.08
Waadtländer Jura	34.12	64.07	33.54	34.02	45.01	95.59	44.65	45.29	41.33	89.71	40.88	41.46	50.91	140.87	50.43	51.15	142.52	217.65	140.16	142.16
Wallis	2003.22	207.07	63.44	155.76	2060.77	221.36	82.07	201.50	3523.49	309.89	230.22	565.03	4020.18	379.61	349.59	856.10	4661.37	658.15	601.33	1473.00
Westlicher Tafeljura	10.39	18.46	9.63	9.66	20.84	29.77	18.41	18.46	15.58	26.07	14.79	14.82	16.26	26.38	15.35	15.39	27.01	36.73	22.45	22.51
südwestliches Aaregebiet	21.27	11.22	4.14	4.52	22.32	12.18	4.73	5.17	27.59	20.01	8.56	9.35	30.05	20.68	10.52	11.46	43.21	31.17	18.06	19.70
unteres Aare-Rheingebiet	3.70	8.34	3.53	3.59	4.04	10.43	3.85	3.92	6.90	17.29	6.57	6.68	9.43	18.43	8.96	9.11	15.28	22.87	14.07	14.30

Tabelle 19: Effektive Maschenweiten der Biogeographische Regionen gemäss BDM von 1885 bis 2002, in km² (ZG 1 = „Zivilisationsdruck“, ZG 2 = „Trennelemente bis 2.-Kl.-Strassen“, ZG 3 = „Trennelemente bis 3.-Kl.-Strassen“, ZG 4 = „Landflächen unterhalb 2100 m“).

Zerschneidungsgeometrie	2002				1980				1960				1935				1885			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Jura	20.61	47.45	19.57	19.67	24.80	60.82	23.44	23.55	30.42	74.23	28.92	29.06	44.21	84.80	40.59	40.79	86.25	124.12	81.83	82.22
Mittelland	23.27	7.88	2.99	3.30	24.01	8.66	3.41	3.77	26.91	15.89	5.24	5.79	30.47	17.52	6.69	7.38	42.78	26.39	16.61	18.33
Nördliche Voralpen	816.10	413.14	279.63	335.51	843.17	423.59	308.50	370.16	1055.04	502.12	427.79	513.04	1176.97	531.16	484.13	580.29	2163.20	1055.97	984.57	1177.29
Zentralalpen	1318.61	200.50	103.06	242.94	1358.92	209.14	136.02	320.64	2052.50	249.87	211.09	497.16	2302.31	306.31	267.16	627.79	2657.27	474.44	413.71	972.50
Südliche Voralpen	963.91	442.75	293.23	395.96	978.26	447.51	300.02	405.12	2016.43	469.31	459.48	619.44	2142.27	555.36	468.39	630.49	2293.24	603.88	516.88	695.75

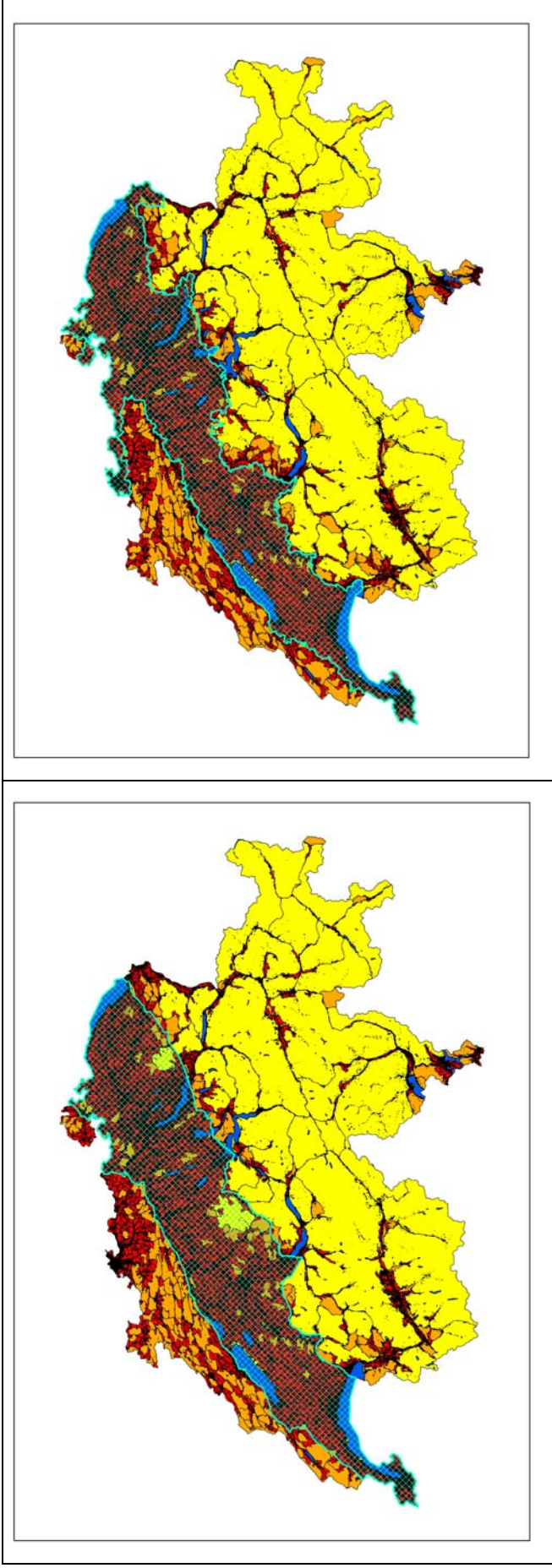


Abbildung 108: Abgrenzung des Mittellandes nach zwei unterschiedlichen Definitionen, die beide nebeneinander gebräuchlich sind. Die linke Definition ist breiter gefasst und schliesst auch Teile der Voralpen mit ein. Die rechte Definition ist schmäler; sie wird unter anderem im Biodiversitätsmonitoring verwendet. Die Farben bedeuten: rot = 0 - 10 km², orange = 10-100 km², gelb = grösser 100 km² unzerschnittene Flächen nach ZG1 im Jahr 2002.

Anmerkung zur Abgrenzung der Gebiete: Der Naturraum Mittelland nach dem Biodiversitätsmonitoring (kleinere Werte der effektiven Maschenweite, Abbildung 109) ist eine Aggregation aus den Biogeographischen Regionen (Biogreg_R10_D). Das Mittelland besteht dabei aus den Teilen Östliches und Westliches Mittelland sowie dem Hochrhein- und dem Genferseegebiet.

Im Gegensatz dazu besteht der Naturraum Mittelland in Abbildung 108 oben aus einer Aggregation der 33 Naturräume des Naturraum-Datensatzes der WSL. Aggregiert ist hier das Mittelland aus dem Genferseegebiet, dem südwestlichen Aaregebiet, Schwarzenburgerland, Napfbergland, dem unteren Aare-Rheingebiet, dem LU, AG, ZH-Gebiet, dem Rhein-Thur-Gebiet und dem Toessbergland. Dieses Gebiet ist daher deutlich breiter gefasst und beinhaltet auch Gebiete der Voralpen. Die folgenden grossen unzerschnittenen Räume werden von dieser Einteilung des Mittellandes ganz (G) oder teilweise (T) erfasst: Gantrisch (T), Napfgebiet (G), Südliches Entlebuch (T), Zürcher Oberland (G), Südliches Untertoggenburg (T). Zudem sind hier noch viele mittelgrosse Gebiete zwischen dem Napf und dem Gantrisch ganz oder teilweise im Mittelland enthalten.

Diese grossen Unterschiede der beiden Abgrenzungen des Mittellandes erklären die unterschiedlichen Werte in der effektiven Maschenweite (Tabelle 18 und 19), da bei der weiter gefassten Definition mehrere grosse Flächen einbezogen werden, die den Wert der effektiven Maschenweite stark positiv beeinflussen.

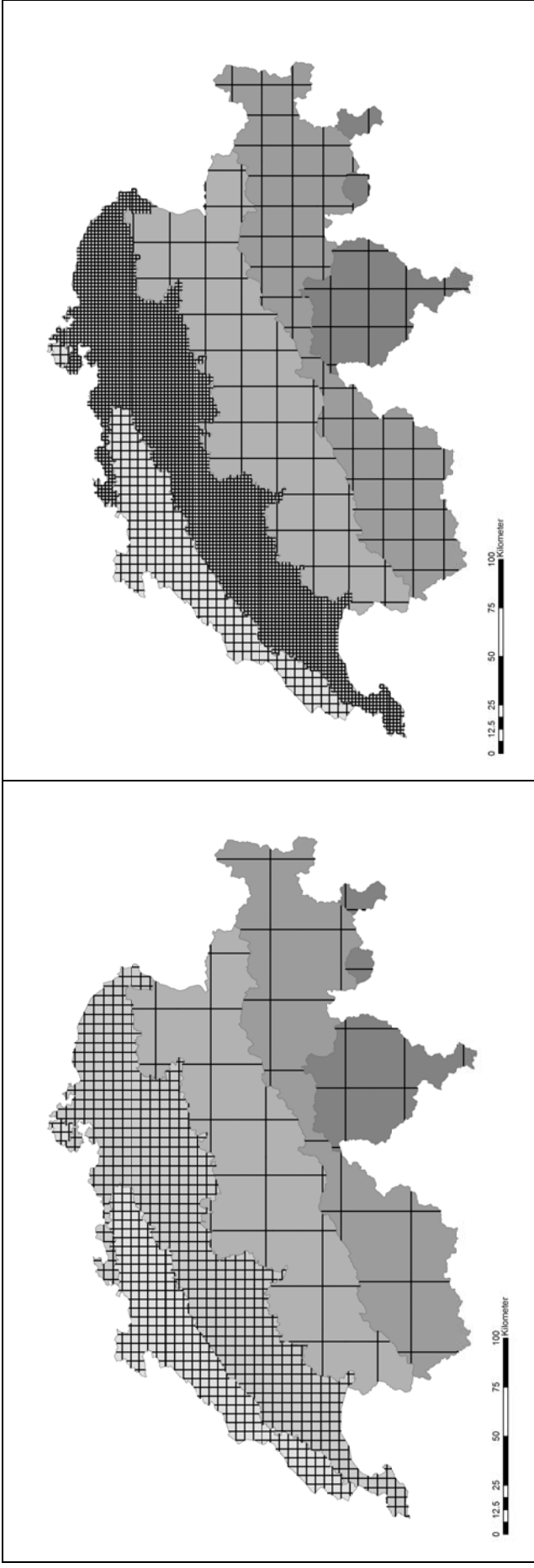


Abbildung 109: Darstellung der effektiven Maschenweite m_{eff} im Jahr 2002 als regelmässiges Raster in den fünf biogeographischen Regionen gemäss der Abgrenzung im BDM für die Zerschneidungsgeometrien 1 (links) und 4 (rechts). Mittelland und Jura sind weitaus stärker zerschnitten als die drei Alpenräume. In ZG 1 („Zivilisationsdruck“) wirken sich die Seen im Mittelland positiv für die Maschenweite aus. In ZG 4 („Landfläche < 2100 m²“) ist das Mittelland deutlich stärker zerschnitten als die Jura-Region. (Für die Gitterdarstellung zur Abgrenzung der Naturräume gemäss dem Datensatz der WSL (Abbildung 108 links; siehe Abschnitt 3.1.2.)

9.9 Effektive Maschenweiten der Bezirke von 1885 bis 2002

Tabelle 20: Effektive Maschenweiten der Bezirke von 1885 bis 2002, in km² (ZG 1 = „Zivilisationsdruck“, ZG 2 = „Trennelemente bis 2.-Kl.-Strassen“, ZG 3 = „Trennelemente bis 3.-Kl.-Strassen“, ZG 4 = „Landflächen unterhalb 2100 m²“).

Zerschneidungsgeometrie	2002				1980				1960				1935				1885			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Affoltern (Bezirk 101)	2.70	5.11	2.54	2.56	3.32	5.51	3.14	3.16	3.72	7.61	3.52	3.55	4.01	7.76	3.70	3.73	8.57	10.13	7.88	4.46
Andelfingen (Bezirk 102)	3.74	6.01	3.31	3.37	3.93	6.61	3.48	3.54	4.54	7.45	3.86	3.93	4.76	7.58	4.05	4.12	10.58	10.78	7.78	4.89
Bülach (Bezirk 103)	2.26	4.70	1.91	1.93	2.34	5.01	1.97	1.99	3.85	7.06	3.09	3.12	4.35	7.51	3.55	3.58	9.00	10.03	7.16	4.58

Zerschneidungsgeometrie	2002				1980				1960				1935				1885			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Dielsdorf (Bezirk 104)	5.73	9.38	5.60	5.62	5.62	9.49	5.46	5.49	7.69	14.38	7.45	7.48	9.45	14.73	9.21	9.25	11.87	16.55	11.48	10.08
Hinwil (Bezirk 105)	17.95	21.34	17.82	17.94	18.05	21.76	17.92	18.04	18.87	27.13	18.73	18.86	19.80	27.63	19.65	19.78	40.26	42.15	40.01	20.07
Horgen (Bezirk 106)	3.31	6.11	2.37	2.40	3.28	6.21	2.36	2.39	4.32	8.29	3.04	3.08	5.29	8.60	3.78	3.83	13.72	12.39	10.58	4.33
Meilen (Bezirk 107)	1.71	1.72	1.23	1.23	1.53	1.96	1.06	1.06	1.79	2.56	1.17	1.18	2.28	2.98	1.49	1.49	12.12	11.14	10.83	1.78
Pfärfikon (Bezirk 108)	2.98	4.93	2.76	2.81	3.38	5.38	3.14	3.19	4.31	12.05	4.05	4.12	4.89	12.21	4.61	4.69	14.81	17.61	14.12	4.83
Uster (Bezirk 109)	1.87	2.08	1.30	1.31	2.07	2.35	1.49	1.49	2.26	3.07	1.64	1.65	2.57	3.24	1.93	1.93	6.38	6.97	5.75	2.45
Winterthur (Bezirk 110)	2.03	3.86	1.98	1.98	2.30	4.81	2.24	2.25	2.74	9.02	2.67	2.68	3.37	9.26	3.29	3.31	12.51	14.06	12.06	3.55
Dietikon (Bezirk 111)	2.22	5.09	2.19	2.22	3.18	5.83	3.14	3.18	4.80	7.27	4.58	4.64	5.87	7.99	5.58	5.66	11.95	15.70	10.17	6.40
Zürich (Bezirk 112)	1.15	2.13	1.13	1.15	0.93	2.29	0.90	0.92	1.43	3.88	1.31	1.33	2.26	4.56	2.10	2.12	11.32	10.70	9.56	3.12
Aarberg (Bezirk 201)	2.01	6.05	1.63	1.64	2.99	8.01	2.36	2.38	5.42	13.82	2.91	2.94	6.79	14.07	3.66	3.69	11.78	21.94	8.54	4.80
Aarwangen (Bezirk 202)	3.36	9.19	3.29	3.31	3.46	9.28	3.39	3.41	7.27	18.78	7.11	7.15	7.56	19.04	7.40	7.45	21.17	21.68	19.60	7.74
Bern (Bezirk 203)	3.38	8.94	2.93	2.97	3.86	9.57	3.18	3.22	5.56	14.12	4.46	4.52	7.63	14.47	5.92	6.00	15.19	29.42	12.48	6.64
Biel (Bezirk 204)	4.66	5.98	4.52	4.54	4.75	6.32	4.61	4.63	5.79	39.13	5.62	5.64	7.25	40.96	6.90	6.93	31.42	79.68	30.92	7.09
Büren (Bezirk 205)	3.42	7.56	3.07	3.15	3.77	9.03	3.30	3.38	5.63	27.05	4.83	4.94	7.31	28.89	6.46	6.61	20.35	31.94	19.40	7.01
Burgdorf (Bezirk 206)	3.86	10.63	3.81	3.89	4.31	10.92	4.25	4.33	6.34	17.37	6.25	6.31	7.68	17.67	7.53	7.58	24.23	28.25	23.69	8.57
Courtailly (Bezirk 207)	22.08	80.85	22.07	22.08	20.34	92.96	20.33	20.33	33.20	112.75	33.19	33.20	78.52	113.92	78.50	78.51	106.27	125.22	106.23	81.30
Efflach (Bezirk 208)	15.16	8.00	2.08	2.09	17.90	8.12	2.43	2.44	24.10	8.84	4.68	4.71	26.58	9.08	5.52	5.55	41.55	13.62	11.99	8.37
Fraubrunnen (Bezirk 209)	2.04	3.98	1.91	1.92	2.20	5.40	2.04	2.06	3.45	9.18	3.25	3.27	3.86	9.38	3.61	3.63	5.69	12.83	5.38	4.18
Frutigen (Bezirk 210)	2725.68	998.64	673.18	990.91	2871.01	1014.64	729.59	1073.93	3246.30	1076.45	1051.10	1546.88	3306.67	1105.79	1087.35	1600.24	4813.36	1859.39	1853.06	1604.93
Interlaken (Bezirk 211)	1387.55	426.55	292.00	408.68	1416.06	432.97	303.18	424.33	2371.16	542.47	465.68	651.76	2480.60	551.69	533.76	747.04	3886.35	1504.85	1500.41	750.47
Konolfingen (Bezirk 212)	4.31	15.88	4.15	4.17	6.51	17.05	6.35	6.37	15.88	31.06	15.45	15.50	17.40	31.53	16.83	16.98	29.60	37.28	28.75	17.09
Laupen (Bezirk 213)	2.65	4.39	1.43	1.48	4.76	5.25	1.83	1.91	8.30	23.90	2.98	3.07	9.11	24.23	3.43	3.53	12.63	29.06	5.91	3.85
Moutier (Bezirk 214)	32.79	90.00	32.76	32.78	35.57	112.03	35.53	35.56	41.18	138.08	41.14	41.17	76.05	140.12	75.91	75.97	102.68	173.06	102.30	77.05
La Neuveville (Bezirk 215)	32.49	84.38	32.35	32.35	18.69	84.92	18.55	18.55	22.00	104.98	21.83	21.83	88.07	105.29	87.84	87.85	112.19	112.96	111.88	90.63
Nidau (Bezirk 216)	5.85	6.41	3.33	3.39	6.78	6.98	3.94	4.01	9.82	9.33	6.20	6.31	11.24	9.71	7.31	7.43	14.42	10.33	9.17	8.05
Nidersimmental (Bezirk 217)	1775.25	1009.18	690.62	725.58	1819.55	1023.88	712.05	748.09	2158.77	1077.41	1037.02	1089.51	2209.05	1101.92	1074.63	1129.02	3250.66	1784.03	1771.42	1139.62
Oberhasli (Bezirk 218)	1541.50	141.15	89.04	195.31	1591.72	141.86	104.51	229.25	1958.29	144.56	134.65	295.35	2327.22	242.87	235.50	515.39	4773.31	1251.49	1247.27	518.02
Obersimmental (Bezirk 219)	2173.77	1008.79	696.12	809.17	2225.99	1025.29	738.84	858.83	2551.72	1081.75	1056.19	1227.71	2602.15	1108.68	1091.84	1269.16	3780.39	1826.49	1818.03	1272.87
Saanen (Bezirk 220)	1759.86	816.13	564.59	647.44	1826.99	828.91	609.11	698.49	2067.09	875.34	854.13	979.46	2105.46	897.92	882.63	1012.15	3067.67	1483.83	1478.66	1017.80
Schwarzenburg (Bezirk 221)	69.10	74.66	65.76	66.11	65.06	74.88	61.68	62.00	82.44	96.59	75.02	75.41	85.89	96.80	76.54	76.84	314.33	319.68	284.01	76.96
Seftigen (Bezirk 222)	55.83	78.21	54.46	54.90	16.45	78.52	15.33	15.46	60.21	81.99	58.12	58.59	76.74	82.63	73.53	74.12	100.41	125.43	93.93	74.30
Signau (Bezirk 223)	100.00	209.28	98.37	98.86	108.59	209.76	105.35	105.88	184.94	293.70	179.58	180.49	222.58	294.96	212.82	213.89	642.05	375.07	364.41	216.17
Thun (Bezirk 224)	120.08	275.38	118.88	119.50	140.84	276.91	138.86	139.57	261.31	468.98	258.48	259.81	369.12	474.45	354.71	356.53	618.85	530.99	523.39	358.50

Zerschneidungsgeometrie	2002				1980				1960				1935				1885			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Trachselwald (Bezirk 225)	40.45	125.54	40.14	40.24	42.28	125.76	41.96	42.07	75.12	186.19	74.26	74.45	78.05	187.08	76.98	77.17	182.89	190.26	177.83	78.03
Wangen (Bezirk 226)	4.27	15.95	4.18	4.21	5.17	44.56	5.09	5.12	12.87	55.93	12.56	12.57	17.84	57.30	17.45	17.46	28.51	68.82	25.55	18.18
Entlebuch (Bezirk 301)	212.08	293.82	208.09	209.13	214.19	353.77	209.96	211.00	420.11	666.70	411.27	413.30	621.64	671.00	593.30	596.24	866.99	705.01	697.09	606.58
Hochdorf (Bezirk 302)	4.57	8.18	4.32	4.34	4.75	8.33	4.48	4.49	5.90	23.32	5.35	5.36	7.18	25.25	6.59	6.61	16.19	26.54	15.13	7.21
Luzern (Bezirk 303)	72.32	54.36	40.05	40.43	72.81	95.15	39.07	39.44	103.44	275.89	51.93	52.43	365.04	281.76	208.69	210.66	699.46	348.86	347.91	213.38
Sursee (Bezirk 304)	9.09	23.30	8.86	8.89	9.59	24.13	9.35	9.38	14.45	40.43	14.06	14.11	15.80	41.06	15.34	15.39	35.90	47.24	35.08	17.65
Willisau (Bezirk 305)	54.98	99.48	54.54	54.61	59.57	101.88	59.14	59.21	80.97	193.93	80.20	80.31	83.46	195.26	82.45	82.56	145.59	198.28	142.74	84.11
Uri (Bezirk 400)	898.43	374.26	286.28	513.48	910.16	376.60	327.31	587.06	1186.77	395.92	370.27	663.98	1499.28	487.97	448.60	802.87	3630.50	1263.96	1198.66	812.69
Einsiedeln (Bezirk 501)	81.71	238.32	79.80	80.30	114.45	241.50	107.79	108.46	239.99	551.46	215.69	217.03	350.96	716.13	314.36	316.32	1190.84	1721.13	806.59	317.93
Gersau (Bezirk 502)	56.24	46.56	45.50	45.51	57.38	46.72	46.29	46.29	59.29	47.41	46.93	46.93	65.94	47.83	47.72	47.72	122.14	48.56	48.56	47.72
Höfe (Bezirk 503)	8.82	15.41	5.63	5.67	21.31	26.55	16.09	16.21	12.53	27.96	8.14	8.20	117.53	295.36	101.63	102.40	405.96	702.89	291.26	103.58
Küsnacht am Rigi (Bezirk 504)	36.60	17.22	14.27	14.28	39.83	17.34	15.15	15.16	49.23	18.51	17.40	17.40	71.76	19.05	17.89	17.89	220.24	21.39	19.28	18.33
March (Bezirk 505)	166.26	373.96	161.58	166.57	182.24	378.73	176.02	181.46	431.22	455.68	364.59	375.85	608.07	668.89	522.82	538.97	2125.77	1656.57	1525.51	541.20
Schwyz (Bezirk 506)	226.62	376.65	176.68	189.80	235.51	379.80	185.53	199.31	448.76	581.76	359.90	386.40	484.31	633.01	390.89	419.67	1558.36	1518.92	1009.99	421.68
Obwalden (Bezirk 600)	462.49	357.37	283.81	317.50	472.19	420.44	290.44	324.91	594.98	640.13	401.55	448.25	1016.92	694.71	658.33	735.26	2952.56	1613.14	1608.82	744.60
Nidwalden (Bezirk 700)	638.93	409.85	314.88	379.79	654.14	420.22	324.00	390.79	697.65	457.70	351.98	424.54	1200.69	541.87	529.90	638.62	4412.43	1885.56	1877.15	645.54
Glarus (Bezirk 800)	1214.13	681.82	485.52	635.14	1227.97	688.39	581.32	760.46	1356.99	730.25	677.29	886.01	1374.92	753.85	696.56	908.30	2499.98	1499.75	1372.41	925.39
Zug (Bezirk 900)	9.77	26.47	3.84	4.45	9.92	26.60	3.94	4.57	12.61	27.99	6.15	7.14	28.88	28.52	18.99	22.02	43.17	31.57	31.26	22.73
La Broye (Bezirk 1001)	15.03	8.81	3.24	3.24	18.39	12.00	4.79	4.80	25.85	20.13	7.81	7.82	26.45	20.56	8.14	8.15	29.78	22.19	10.22	8.36
La Glâne (Bezirk 1002)	3.56	12.26	3.46	3.47	4.54	12.47	4.38	4.40	7.03	32.27	6.98	7.00	9.40	32.52	9.33	9.36	37.78	55.41	29.01	9.73
La Gruyère (Bezirk 1003)	195.37	259.97	190.01	191.82	224.54	261.44	218.38	220.47	268.87	283.55	261.95	264.45	278.52	285.78	271.05	273.65	319.79	318.29	305.02	273.74
La Sarine (Bezirk 1004)	31.22	36.21	30.26	30.62	32.62	38.49	31.40	31.77	35.49	50.17	34.21	34.61	36.64	51.12	34.89	35.30	61.40	71.81	47.25	35.56
See (Bezirk 1005)	3.40	8.30	2.56	2.57	4.09	9.75	3.22	3.25	6.00	16.96	4.62	4.61	6.61	17.12	4.89	4.88	10.29	32.53	7.76	5.58
Sense (Bezirk 1006)	110.04	140.26	107.63	108.89	107.15	141.29	104.81	106.04	138.96	144.87	132.10	133.62	141.10	145.31	134.05	135.60	180.61	177.95	160.84	135.86
La Veveyse (Bezirk 1007)	42.09	140.53	41.74	41.77	92.00	142.49	91.21	91.26	174.60	184.22	173.86	173.96	180.09	186.06	179.05	179.15	204.80	224.34	203.36	179.21
Gäu (Bezirk 1101)	4.05	9.61	4.00	4.02	6.37	12.50	6.33	6.35	9.32	16.76	9.28	9.32	11.20	18.27	11.15	11.20	12.34	19.58	12.18	11.38
Thal (Bezirk 1102)	26.82	95.21	26.79	26.79	31.40	130.62	31.36	31.36	49.89	185.90	49.86	49.86	71.60	189.63	71.55	71.56	182.07	304.63	180.98	77.61
Bucheggberg (Bezirk 1103)	3.23	5.49	3.01	3.02	3.49	5.69	3.23	3.25	4.13	13.04	3.71	3.73	4.25	13.23	3.80	3.82	5.55	13.46	5.04	4.24
Dorneck (Bezirk 1104)	7.95	15.85	7.94	7.95	10.02	17.28	9.98	9.99	15.18	18.20	15.13	15.14	17.13	18.92	17.08	17.09	20.69	24.98	20.63	18.05
Gösigen (Bezirk 1105)	11.54	31.77	11.46	11.63	12.46	37.93	12.36	12.54	22.55	54.38	22.40	22.73	23.32	55.88	23.09	23.43	71.70	96.67	71.41	24.94
Wasseramt (Bezirk 1106)	1.99	2.98	1.76	1.78	2.14	3.04	1.93	1.95	2.68	10.64	2.28	2.30	3.51	11.48	2.92	2.95	4.91	12.32	4.12	3.23
Lebern (Bezirk 1107)	10.82	63.30	10.38	10.50	13.45	115.12	12.90	13.06	22.67	143.86	21.47	21.73	60.50	148.30	59.17	59.90	87.32	207.40	85.66	62.12
Ollen (Bezirk 1108)	5.52	12.86	5.43	5.51	6.05	13.47	5.95	6.04	6.81	20.04	6.56	6.66	8.95	21.80	8.62	8.75	20.19	23.40	19.79	10.68

Zerschneidungsgeometrie	2002				1980				1960				1935				1885			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Solothurn (Bezirk 1109)	0.67	0.69	0.20	0.21	0.83	0.84	0.26	0.27	3.41	1.07	1.06	1.11	5.95	2.22	2.13	2.23	7.58	55.29	2.78	2.25
Thierstein (Bezirk 1110)	29.04	54.03	28.73	28.73	31.01	58.41	30.60	30.61	51.15	107.23	50.66	50.67	55.07	108.85	54.57	54.58	163.72	216.65	162.62	55.78
Basel-Stadt (Bezirk 1200)	0.54	0.61	0.52	0.54	0.55	0.62	0.53	0.55	0.71	0.97	0.68	0.70	1.63	1.83	1.56	1.63	3.44	3.40	3.27	2.10
Aflesheim (Bezirk 1301)	5.25	10.46	5.23	5.29	5.83	11.08	5.78	5.84	11.18	12.52	11.09	11.21	13.70	13.98	13.53	13.67	16.53	16.53	16.29	14.47
Laufen (Bezirk 1302)	17.45	32.69	17.24	17.37	21.39	39.40	20.99	21.14	34.21	52.32	33.63	33.87	36.29	53.24	35.70	35.95	58.11	67.85	57.07	36.32
Liestal (Bezirk 1303)	3.12	10.68	3.10	3.12	3.73	11.29	3.71	3.74	10.74	20.60	10.59	10.65	13.18	21.61	13.03	13.11	16.74	65.79	16.45	15.07
Sissach (Bezirk 1304)	5.55	13.89	5.54	5.55	6.27	19.22	6.26	6.27	12.04	40.03	11.93	11.94	13.10	40.72	12.98	12.99	22.78	64.57	22.62	14.23
Waldenburg (Bezirk 1305)	13.37	36.87	13.37	13.37	14.24	37.43	14.24	14.24	19.85	53.60	19.84	19.85	24.96	54.75	24.95	24.95	91.87	199.36	91.36	27.35
Oberklettgau (Bezirk 1401)	5.36	23.98	5.36	5.36	7.74	24.31	7.74	7.74	13.38	25.86	13.38	13.38	15.90	26.33	15.90	15.90	26.81	32.61	26.79	17.19
Reiat (Bezirk 1402)	3.94	5.01	3.50	3.52	4.00	5.07	3.51	3.53	4.95	5.37	4.43	4.45	5.97	6.30	5.31	5.34	10.64	10.13	9.86	5.78
Schaffhausen (Bezirk 1403)	8.43	40.23	7.92	8.04	11.09	40.82	10.56	10.72	30.36	46.25	29.47	29.91	38.11	47.34	37.18	37.73	51.36	50.77	49.51	41.72
Schleitheim (Bezirk 1404)	12.91	51.63	12.84	12.86	19.28	52.04	19.20	19.24	42.63	56.01	42.55	42.63	50.36	56.57	50.28	50.37	56.98	58.47	56.85	52.52
Stein (Bezirk 1405)	5.29	7.19	4.42	4.53	5.54	7.44	4.54	4.65	4.86	7.60	4.24	4.35	5.42	7.69	4.42	4.53	9.85	8.13	7.47	4.62
Unterklettgau (Bezirk 1406)	4.11	9.73	4.04	4.05	4.24	9.86	4.17	4.18	5.27	11.96	5.19	5.20	6.70	12.06	6.62	6.63	13.48	24.92	13.29	6.98
Hinterland (Bezirk 1501)	47.48	62.67	45.07	45.36	48.60	62.79	46.16	46.45	51.56	89.10	48.99	49.30	59.70	89.82	56.82	57.18	210.88	209.86	202.49	57.64
Mittelland (Bezirk 1502)	12.35	36.64	12.02	12.05	12.59	36.78	12.26	12.29	13.23	37.09	12.89	12.92	13.85	37.53	13.42	13.45	54.65	53.98	52.70	13.90
Vorderland (Bezirk 1503)	3.50	4.21	3.29	3.29	3.67	4.24	3.45	3.46	4.54	5.62	4.32	4.32	4.77	5.80	4.55	4.55	10.44	10.98	10.15	4.67
Appenzel-Innernoden (Bezirk 1600)	150.11	192.86	141.08	143.92	151.42	193.19	142.32	145.18	167.98	195.55	158.44	161.62	171.30	196.24	161.51	164.76	302.07	297.51	288.36	165.35
St. Gallen (Bezirk 1701)	2.70	3.79	1.94	1.97	2.87	4.07	2.07	2.10	2.79	4.41	1.94	1.97	3.42	4.73	2.50	2.54	13.33	11.15	8.30	3.39
Rorschach (Bezirk 1702)	5.07	4.36	3.91	3.93	4.75	4.54	3.58	3.59	5.54	5.20	4.26	4.28	5.68	5.40	4.43	4.45	10.93	9.46	9.19	4.49
Untermotal (Bezirk 1703)	5.40	1.23	1.04	1.07	7.14	1.31	1.11	1.14	8.67	1.88	1.42	1.46	11.71	2.23	1.70	1.75	19.56	3.67	3.38	1.85
Obermotal (Bezirk 1704)	46.48	91.25	45.00	45.53	49.78	91.72	48.11	48.67	65.10	92.48	62.89	63.62	67.13	92.92	64.86	65.62	152.53	189.72	148.56	65.81
Werdenberg (Bezirk 1705)	151.58	247.31	132.73	135.84	157.42	248.75	138.04	141.28	243.88	251.33	218.68	223.81	246.29	252.46	223.35	228.59	302.72	286.60	276.55	230.40
Sargans (Bezirk 1706)	1359.35	745.10	551.69	682.35	1391.17	761.49	682.48	844.12	1477.96	771.29	742.46	915.80	1484.46	774.67	746.78	921.14	2242.33	1364.01	1258.65	943.66
Gaster (Bezirk 1707)	113.57	279.77	109.14	109.63	123.10	281.12	118.50	119.04	278.97	283.42	252.23	253.38	298.17	285.24	272.47	273.71	314.87	290.06	287.63	275.00
See (Bezirk 1708)	41.41	70.73	40.66	40.83	42.42	71.22	41.62	41.80	65.11	74.94	60.87	61.13	69.76	75.90	65.32	65.59	115.13	110.71	109.91	65.85
Obertoggenburg (Bezirk 1709)	153.17	267.94	139.83	142.96	156.52	268.53	143.05	146.25	267.72	283.93	240.22	245.60	273.81	285.79	247.92	253.46	417.41	391.54	383.37	256.58
Neutoggenburg (Bezirk 1710)	40.58	74.20	40.34	40.56	42.33	75.22	41.93	42.16	63.73	116.45	60.79	61.12	65.39	118.00	62.80	63.14	243.00	260.14	235.76	63.54
Altoggenburg (Bezirk 1711)	35.49	43.85	35.12	35.39	37.54	44.71	37.14	37.43	40.32	52.72	39.90	40.21	41.26	53.12	40.83	41.14	73.61	72.02	71.67	43.92
Untertoggenburg (Bezirk 1712)	4.29	5.18	3.92	3.96	4.51	7.29	4.11	4.15	5.33	9.80	4.82	4.87	5.61	9.98	4.92	4.97	15.46	16.12	13.83	5.88
Willi (Bezirk 1713)	2.70	4.68	2.16	2.18	2.78	4.83	2.27	2.29	3.43	5.39	2.84	2.87	4.12	5.80	3.27	3.29	8.17	9.13	7.04	3.61
Gossau (Bezirk 1714)	3.87	7.10	3.29	3.30	3.34	7.50	2.87	2.88	3.73	8.30	3.21	3.22	3.88	8.47	3.33	3.34	11.37	12.21	8.08	4.50
Albula (Bezirk 1821)	428.53	74.23	44.47	96.95	437.90	76.58	47.16	102.81	464.24	80.97	74.20	161.77	468.61	81.27	76.57	166.71	488.49	84.93	82.65	166.93

Zerschneidungsgeometrie	2002				1980				1960				1935				1885			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Bemina (Bezirk 1822)	253.18	20.55	18.89	39.29	259.78	20.58	20.10	41.81	454.66	20.74	20.33	42.28	456.30	20.80	20.54	42.73	531.09	27.15	27.15	42.78
Hinterrhein (Bezirk 1823)	792.79	261.89	218.84	409.92	836.87	265.60	243.14	455.45	949.54	287.92	272.64	510.71	967.02	352.97	284.25	530.59	986.20	356.88	291.85	530.70
Imboden (Bezirk 1824)	1289.79	538.14	441.68	610.87	1301.00	543.97	521.20	720.86	1322.53	552.84	538.54	744.83	1419.48	583.77	551.40	762.82	2232.94	1113.76	1009.72	905.12
Inn (Bezirk 1825)	610.90	34.78	32.27	94.95	617.48	34.86	32.88	96.74	641.77	35.37	33.72	99.06	607.68	35.41	33.77	99.22	636.46	36.01	34.90	99.23
Landquart (Bezirk 1826)	845.89	462.63	346.20	374.95	871.41	467.26	403.37	436.87	915.95	480.07	452.28	489.85	930.58	484.62	458.29	496.35	1220.42	723.61	669.13	505.82
Maloja (Bezirk 1827)	439.53	14.35	13.72	56.36	441.77	14.49	13.83	56.79	481.48	15.50	14.99	61.54	484.90	15.55	15.10	62.02	509.74	16.33	16.30	63.93
Moessa (Bezirk 1828)	1023.65	446.82	418.47	611.24	1051.33	451.51	435.75	636.48	1080.59	466.87	455.50	664.29	1094.78	560.30	467.96	682.25	1112.94	573.08	478.76	682.83
Plessur (Bezirk 1829)	440.05	220.11	109.28	152.82	473.47	222.77	113.92	159.31	508.85	226.20	219.62	307.12	516.57	227.58	222.44	310.89	585.05	257.39	255.36	311.88
Prättigau/Davos (Bezirk 1830)	691.06	179.38	137.46	230.29	704.92	181.03	142.42	238.61	718.57	183.22	175.87	294.64	727.26	183.93	179.06	300.00	744.45	190.40	186.97	300.77
Surseva (Bezirk 1831)	1411.77	487.30	290.40	538.48	1486.44	502.02	455.95	845.46	1527.13	506.59	484.50	897.36	1560.31	639.16	501.82	925.91	1856.04	804.57	639.14	945.70
Aarau (Bezirk 1901)	4.66	13.99	4.58	4.62	5.10	14.53	4.99	5.04	10.91	24.09	10.68	10.79	12.76	25.50	12.24	12.36	37.27	46.01	36.43	18.23
Baden (Bezirk 1902)	4.66	10.54	4.51	4.60	4.21	11.50	4.00	4.09	6.37	15.17	6.01	6.13	11.43	16.36	10.86	11.09	19.38	18.93	17.98	14.44
Bremgarten (Bezirk 1903)	2.88	5.88	2.61	2.65	3.37	7.01	2.98	3.03	4.60	12.06	3.96	4.03	5.75	12.66	5.06	5.14	13.33	21.40	12.27	5.72
Brugg (Bezirk 1904)	4.65	10.65	4.56	4.64	4.72	11.44	4.61	4.69	7.55	16.41	7.36	7.49	11.03	17.77	10.69	10.88	15.15	20.07	14.70	11.79
Kulm (Bezirk 1905)	2.82	7.96	2.65	2.66	4.31	11.51	4.12	4.12	5.74	22.85	5.54	5.55	6.33	24.39	6.10	6.11	15.64	28.45	15.40	7.26
Laufenburg (Bezirk 1906)	5.33	17.75	5.27	5.33	6.18	18.71	6.12	6.18	11.75	27.44	11.56	11.69	17.66	30.91	17.25	17.44	40.53	51.43	39.91	21.09
Lenzburg (Bezirk 1907)	4.08	5.03	3.61	3.63	4.39	5.86	3.89	3.91	5.24	11.99	4.64	4.67	6.33	13.83	5.59	5.63	9.49	16.52	8.62	5.95
Muri (Bezirk 1908)	3.56	9.58	3.28	3.31	3.74	9.74	3.42	3.45	4.36	18.22	3.88	3.92	6.53	22.38	5.90	5.94	13.72	22.83	12.92	7.14
Rheinfelden (Bezirk 1909)	4.55	10.99	4.26	4.37	5.54	12.87	5.24	6.38	10.20	22.40	9.76	10.02	11.54	22.52	11.05	11.34	20.50	28.81	19.63	16.39
Zofingen (Bezirk 1910)	2.33	6.79	2.30	2.31	3.37	8.12	3.34	3.36	4.21	14.49	4.13	4.15	4.68	15.12	4.59	4.61	12.40	22.43	12.29	5.30
Zurzach (Bezirk 1911)	3.35	11.02	3.17	3.28	2.85	15.31	2.65	2.75	8.24	18.85	7.95	8.24	14.93	19.21	14.42	14.95	19.28	20.37	17.93	16.21
Arbon (Bezirk 2001)	4.69	2.54	1.23	1.21	4.88	2.83	1.28	1.26	5.14	3.09	1.03	1.02	6.92	3.17	2.02	1.98	11.29	6.87	5.31	2.01
Bischoffzell (Bezirk 2002)	1.69	2.39	1.26	1.28	1.81	2.51	1.41	1.43	1.78	3.47	1.41	1.43	1.86	3.54	1.48	1.50	6.86	7.96	5.40	1.59
Diessenhofen (Bezirk 2003)	5.27	7.83	3.68	3.76	5.65	8.56	3.99	4.07	5.78	10.72	4.19	4.28	5.99	10.89	4.33	4.42	13.81	13.81	11.48	7.84
Frauenfeld (Bezirk 2004)	2.33	5.74	2.05	2.07	3.35	6.69	2.41	2.43	4.11	10.59	2.89	2.91	4.87	11.05	3.33	3.36	11.83	15.32	9.96	3.57
Kreuzlingen (Bezirk 2005)	4.53	3.78	1.40	1.41	4.88	4.78	1.54	1.55	5.72	6.01	1.70	1.71	7.29	6.16	2.51	2.52	13.40	11.90	8.12	2.62
Münchenwilen (Bezirk 2006)	3.17	8.57	3.15	3.16	3.39	9.06	3.37	3.38	5.33	19.46	5.30	5.32	5.90	19.97	5.86	5.88	21.70	22.46	21.52	6.69
Steckborn (Bezirk 2007)	3.34	9.92	3.00	3.04	3.57	10.14	3.09	3.13	4.10	12.13	3.58	3.62	4.67	12.24	4.13	4.17	12.35	17.61	11.46	4.77
Weinfelden (Bezirk 2008)	1.43	3.04	1.16	1.17	1.63	3.87	1.29	1.30	1.86	4.60	1.49	1.50	2.16	4.77	1.77	1.78	6.09	7.23	5.40	1.87
Bellinzona (Bezirk 2101)	760.19	507.41	384.25	391.41	767.97	512.99	389.06	396.31	1570.29	544.85	521.90	531.63	1697.48	558.10	534.08	543.98	1733.93	591.59	567.69	545.08
Blenio (Bezirk 2102)	1236.31	437.94	398.03	625.92	1270.21	444.23	416.19	654.48	1299.35	445.70	436.34	685.41	1311.76	775.84	451.12	702.74	1328.27	801.32	459.07	703.62
Leventina (Bezirk 2103)	922.74	381.84	233.85	375.85	935.46	388.33	237.55	381.79	2780.42	446.16	439.56	706.45	2980.19	684.20	447.24	718.72	3068.04	716.72	474.95	719.23
Locarno (Bezirk 2104)	1207.12	670.03	353.90	387.24	1212.85	676.29	355.08	388.53	3145.72	702.17	691.33	752.90	3376.82	708.37	696.18	758.16	4032.13	875.44	872.16	758.36

Zerschneidungsgeometrie	2002				1980				1960				1935				1885			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Lugano (Bezirk 2105)	149.08	124.94	122.81	123.22	150.82	130.92	124.30	124.71	158.94	161.91	130.88	131.32	186.80	168.68	154.13	154.65	254.47	215.21	215.00	154.98
Mendrisio (Bezirk 2106)	24.40	26.74	24.34	24.37	24.55	26.90	24.52	24.55	26.79	29.31	26.75	26.78	29.58	29.64	29.53	29.56	32.78	32.16	32.12	29.72
Riviera (Bezirk 2107)	1441.40	746.14	608.22	715.68	1481.26	755.27	633.60	745.55	2222.22	767.08	756.49	890.15	2319.97	921.60	769.41	905.35	2364.90	944.74	789.43	906.10
Valle Maggia (Bezirk 2108)	1627.87	734.66	339.59	463.83	1640.54	737.78	342.20	467.39	4253.96	758.33	755.38	1030.74	4557.96	764.00	760.65	1035.07	4700.91	813.52	811.16	1035.46
Aigle (Bezirk 2201)	907.09	444.08	283.61	311.42	980.15	452.15	317.19	348.30	1564.57	740.40	691.90	758.76	1596.80	760.24	715.84	785.04	2573.60	1382.08	1329.67	787.42
Aubonne (Bezirk 2202)	20.94	47.72	20.70	20.73	19.60	61.16	19.30	19.33	19.76	48.86	19.40	19.43	26.93	154.60	26.90	26.94	122.07	273.20	121.80	27.56
Avenches (Bezirk 2203)	27.49	7.18	1.86	1.86	28.43	9.21	2.67	2.68	34.24	13.49	4.86	4.88	35.00	14.88	4.99	5.00	39.64	16.46	7.55	6.48
Cossonay (Bezirk 2204)	12.68	23.43	12.58	12.62	13.23	23.70	13.12	13.15	10.77	24.31	10.66	10.68	20.13	51.17	20.01	20.06	31.89	75.22	31.62	20.69
Echallens (Bezirk 2205)	2.62	3.88	2.32	2.32	2.83	3.93	2.51	2.52	4.04	4.22	3.55	3.56	4.17	4.27	3.67	3.68	6.30	6.65	5.48	3.69
Grandson (Bezirk 2206)	20.90	39.75	17.54	17.55	27.01	39.98	24.41	24.43	49.20	110.10	45.82	45.86	49.65	110.82	46.17	46.21	148.21	141.56	140.13	51.27
Lausanne (Bezirk 2207)	0.71	1.85	0.59	0.59	3.06	2.20	0.73	0.73	5.98	4.26	2.01	2.01	8.26	4.78	2.43	2.43	24.01	12.97	7.02	2.59
Lavaux (Bezirk 2208)	2.11	5.99	1.68	1.69	2.36	6.67	1.90	1.91	6.50	11.13	5.41	5.44	7.14	11.39	5.71	5.74	11.69	14.49	9.96	6.26
Morges (Bezirk 2209)	9.33	3.13	1.25	1.25	10.40	3.39	1.41	1.41	13.73	4.22	1.87	1.88	17.02	4.80	2.15	2.15	30.76	7.47	6.77	2.73
Moudon (Bezirk 2210)	3.32	5.70	3.29	3.30	3.76	5.75	3.71	3.73	4.28	6.61	4.17	4.19	4.79	6.67	4.68	4.69	10.02	13.03	9.89	5.19
Nyon (Bezirk 2211)	35.01	50.12	29.57	29.50	43.08	76.29	37.48	37.40	29.78	53.11	23.53	23.48	39.48	99.20	33.11	33.04	143.71	236.47	135.52	33.15
Orbe (Bezirk 2212)	7.20	19.17	7.06	7.08	8.74	27.17	8.60	8.62	8.15	19.84	7.93	7.96	10.77	20.61	10.02	10.05	30.56	32.48	29.48	13.93
Oron (Bezirk 2213)	1.84	5.68	1.81	1.82	1.98	6.87	1.96	1.96	2.64	8.28	2.59	2.60	2.81	8.32	2.77	2.77	8.35	22.98	8.31	2.78
Payenne (Bezirk 2214)	11.94	5.50	3.03	3.04	13.48	7.68	4.09	4.10	15.17	12.56	5.68	5.70	15.72	12.79	6.08	6.10	17.63	14.34	7.49	6.40
Pays-d'Enhaut (Bezirk 2215)	133.23	215.86	123.07	127.05	169.32	216.71	156.61	161.68	241.98	236.35	228.14	234.67	250.15	238.57	234.59	241.23	281.46	247.35	245.95	241.29
Rolle (Bezirk 2216)	14.58	10.05	1.54	1.55	16.76	10.09	1.65	1.65	19.96	10.75	2.18	2.18	22.81	10.84	3.93	3.93	113.73	160.97	93.73	3.95
La Vallée (Bezirk 2217)	43.08	75.57	42.79	43.00	69.87	155.15	69.62	69.96	43.35	76.71	43.10	43.31	54.41	144.72	54.15	54.41	118.27	210.78	117.01	54.58
Vevey (Bezirk 2218)	49.34	145.16	48.47	48.55	62.71	146.44	61.80	61.91	158.68	186.96	156.93	157.20	166.98	193.02	164.39	164.68	236.86	233.03	231.28	164.89
Yverdon (Bezirk 2219)	7.59	4.66	2.27	2.28	8.77	4.93	2.81	2.82	10.76	6.16	4.01	4.03	12.26	6.25	4.53	4.55	20.80	11.80	10.31	4.65
Brig (Bezirk 2301)	2271.72	216.38	58.44	132.57	2314.70	221.08	78.05	177.06	3891.85	255.41	251.15	568.97	4108.53	276.17	272.79	618.03	4730.08	664.93	606.25	620.01
Conthey (Bezirk 2302)	2183.35	582.40	388.74	599.63	2358.87	633.68	413.86	638.38	3439.98	755.58	617.08	951.25	3672.69	805.90	771.34	1189.18	4585.52	1338.83	1284.74	1213.91
Entremont (Bezirk 2303)	1456.05	57.65	28.86	79.70	1504.52	66.54	30.83	85.14	2794.51	145.57	53.10	146.64	4380.76	289.11	236.58	644.22	4706.23	449.71	364.09	645.81
Goms (Bezirk 2304)	2007.53	175.61	37.88	131.47	2036.24	179.44	54.52	189.23	3558.03	198.52	194.82	676.15	3773.00	203.40	200.75	696.73	4792.64	338.44	337.39	698.73
Hérens (Bezirk 2305)	2103.31	92.68	17.49	50.69	2142.27	102.45	25.49	73.88	3899.68	256.07	95.02	275.42	4384.96	328.74	299.20	861.94	4721.34	522.68	455.37	864.20
Leuk (Bezirk 2306)	2316.65	381.96	54.16	117.46	2372.48	390.54	97.81	212.13	3676.01	502.64	413.74	897.32	3747.25	544.31	517.67	1122.74	4582.28	914.97	867.37	1126.17
Montigny (Bezirk 2307)	1096.64	303.17	192.65	249.55	1197.70	331.96	212.29	274.99	1935.63	455.89	305.32	395.50	3082.55	675.65	528.18	684.18	4037.80	1130.22	938.68	694.64
Monthey (Bezirk 2308)	118.41	106.18	79.25	83.53	136.54	109.51	96.66	101.87	164.52	122.88	118.48	124.87	171.60	125.20	123.46	130.12	190.21	570.52	140.37	130.18
Raron (Bezirk 2309)	2414.48	442.96	67.56	145.84	2473.27	450.51	112.97	243.86	3571.25	537.93	488.83	1054.19	3715.39	565.86	552.56	1190.77	4772.10	927.62	904.93	1194.13
Saint-Maurice (Bezirk 2310)	532.84	225.81	172.38	275.45	547.79	229.47	180.05	287.70	634.06	263.00	247.54	392.68	649.74	297.38	257.86	406.26	957.09	934.82	417.29	407.73

Zerschneidungsgeometrie	2002				1980				1960				1935				1885			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Sierre (Bezirk 2311)	1893.18	156.24	26.54	55.39	1961.82	183.82	46.65	97.36	3542.74	332.15	203.06	423.76	3969.57	490.33	437.31	909.96	4598.79	853.41	769.70	917.48
Sion (Bezirk 2312)	1785.37	404.71	75.36	122.48	1876.08	504.77	122.35	198.84	2518.67	681.84	549.53	887.07	3125.88	780.80	740.88	1197.85	4398.75	1307.05	1255.72	1201.85
Visp (Bezirk 2313)	2195.50	34.59	19.80	83.00	2234.64	35.22	22.60	94.75	4188.43	75.81	44.60	187.00	4490.61	105.23	99.20	415.93	4701.55	298.03	245.68	417.84
Boudry (Bezirk 2401)	26.70	31.12	18.83	18.89	29.90	32.96	21.19	21.26	54.05	77.05	43.76	43.91	58.53	77.94	44.85	45.00	113.87	86.15	81.61	45.41
La Chaux-de-Fonds (Bezirk 2402)	11.29	31.26	11.16	11.21	11.19	37.09	11.06	11.12	24.87	38.44	24.69	24.81	26.72	39.18	26.58	26.70	43.31	43.29	42.92	26.79
Le Locle (Bezirk 2403)	16.26	31.00	16.10	16.21	21.42	36.69	21.26	21.40	28.13	31.54	27.95	28.14	28.49	31.77	28.31	28.49	37.97	45.94	37.65	28.62
Neuchâtel (Bezirk 2404)	9.85	25.37	5.97	6.01	8.93	25.59	4.17	4.20	17.81	83.62	11.08	11.15	52.72	84.67	44.93	45.20	131.36	103.79	101.91	55.52
Val-de-Ruz (Bezirk 2405)	14.64	48.87	14.63	14.64	18.19	53.09	18.18	18.19	28.41	67.92	28.40	28.42	41.52	68.23	41.51	41.54	82.79	83.38	82.77	42.06
Val-de-Travers (Bezirk 2406)	20.39	40.66	20.05	20.12	27.84	43.29	27.44	27.52	40.69	64.20	39.87	39.99	41.23	64.52	40.41	40.53	74.44	74.13	70.52	41.69
Genf (Bezirk 2500)	49.71	1.46	0.70	0.82	50.60	1.66	0.82	0.96	53.44	2.76	1.26	1.47	54.68	2.97	1.53	1.79	64.06	6.55	5.16	1.91
Delsberg (Bezirk 2601)	29.84	61.29	29.42	29.48	31.58	67.94	31.01	31.08	36.80	105.06	36.08	36.17	44.82	106.31	44.04	44.14	91.58	140.19	89.38	44.46
Les Franches Montagnes (Bezirk 2602)	17.10	30.04	12.65	12.71	20.92	30.18	14.22	14.28	30.43	30.45	20.66	20.75	32.30	30.56	21.28	21.37	59.68	39.82	35.32	21.47
Porrentruy (Bezirk 2603)	23.11	27.53	18.01	18.08	36.78	41.47	29.02	29.12	25.50	42.04	19.55	19.62	26.43	42.37	19.97	20.04	49.24	48.97	32.62	20.20

9.10 Effektive Maschenweiten der BLN-Gebiete von 1885 bis 2002

Für die BLN-Gebiete ist die Angabe der effektiven Maschenweite nach Zerschneidungsgeometrie 4 nicht sinnvoll, da einige Gebiete vollständig im Gebirge liegen, und der Wert darum sehr klein wäre. Der Einfluss der natürlichen Trennelemente auf die effektive Maschenweite ist in solchen Fällen sehr gross. Dieses Problem besteht bei den Zerschneidungsgeometrien 2 und 3 ebenfalls, allerdings weniger stark. Diese Werte werden zu Vergleichszwecken mit angegeben. Die Angaben sind in km^2 .

Tabelle 21: Effektive Maschenweiten BLN-Gebiete von 1885 bis 2002, in km^2 (ZG 1 = „Zivilisationsdruck“, ZG 2 = „Trennelemente bis 2.-Kl.-Strassen“, ZG 3 = „Trennelemente bis 3.-Kl.-Strassen“, ZG 4 = „Landflächen unterhalb 2100 m“).

Zerschneidungsgeometrie	2002				1980				1960				1935				1885			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Aareknie Wolfwil-Wynau (BLN-Objekt 1319)	3.23	0.64	0.58		3.52	0.68	0.63		3.42	0.70	0.63		3.46	0.71	0.63		6.15	0.76	0.73	
Aarelandschaft Thun-Bern (BLN-Objekt 1314)	4.89	2.33	1.68		5.03	2.76	2.05		7.19	5.10	2.54		7.78	5.24	2.65		11.63	5.64	3.43	
Aarelandschaft bei Klingnau (BLN-Objekt 1109)	2.09	0.50	0.34		2.40	0.55	0.37		2.85	0.87	0.61		2.88	0.88	0.62		16.00	3.09	3.09	
Aareschlucht Brugg (BLN-Objekt 1018)	0.04	0.00	0.00		0.04	0.00	0.00		0.03	0.00	0.00		0.03	0.00	0.00		0.12	0.01	0.01	
Aareschlucht Innerkirchen-Meiringen (BLN-Objekt 1512)	12.62	429.59	7.74		878.82	430.24	393.43		903.89	434.52	409.21		1323.16	521.68	515.33		4871.68	1924.97	1918.46	
Aarewaage Aarburg (BLN-Objekt 1016)	0.17	0.02	0.01		0.28	0.03	0.01		6.63	1.29	1.06		7.53	1.52	1.24		8.32	1.71	1.51	

Zerschneidungsgeometrie	2002				1980				1960				1935				1885			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Aargauer Tafeljura (BLN-Objekt 1108)	6.39	14.06	6.39		7.07	15.20	7.06		13.61	19.39	13.59		16.69	21.08	16.52		21.00	24.12	20.81	
Aargauer und östlicher Sotothurner Fallentura (BLN-Objekt 1017)	15.48	32.26	15.45		15.31	36.24	15.27		25.20	50.87	25.16		28.25	51.64	28.13		71.99	92.10	71.86	
Albiskette-Reppischtal (BLN-Objekt 1306)	6.59	13.23	6.55		6.71	13.47	6.66		7.70	20.29	7.57		8.95	20.71	8.81		20.32	25.67	18.77	
Alte Aare / Alte Zihl (BLN-Objekt 1302)	2.27	2.14	1.31		3.01	2.41	1.71		3.72	4.40	1.81		3.89	4.58	1.89		7.99	4.78	4.59	
Amsoldingen- und Uebeschisee (BLN-Objekt 1315)	2.11	5.45	1.70		3.18	5.47	2.72		4.30	9.48	3.58		4.30	9.52	3.58		8.29	9.59	6.92	
Arbostora-Morcote (BLN-Objekt 1811)	7.49	7.65	7.37		7.04	7.72	6.91		8.99	8.84	8.84		14.01	13.84	13.84		14.34	14.11	14.11	
Auenlandschaft am Unterlauf des Hinterheins (BLN-Objekt 1903)	132.45	47.94	42.46		135.75	48.24	43.15		147.54	50.39	47.23		156.68	50.61	50.53		165.29	52.97	52.95	
Baldeggersee (BLN-Objekt 1304)	6.81	0.66	0.60		6.94	0.79	0.73		7.40	15.34	0.93		7.44	15.67	0.95		7.49	16.30	1.00	
Baselbieter und Fricktaler Tafeljura (BLN-Objekt 1105)	10.89	21.45	10.88		12.15	28.83	12.14		16.15	46.87	16.14		20.91	47.45	20.90		38.04	84.02	38.02	
Belchen-Passwang-Gebiet (BLN-Objekt 1012)	23.32	57.76	23.31		23.66	58.12	23.66		33.37	74.05	33.36		41.15	75.00	41.14		159.91	235.86	158.93	
Bergji-Platten (BLN-Objekt 1714)	2015.85	1553.96	104.63		2045.68	1577.34	250.70		3335.19	1667.04	1633.80		3388.01	1707.99	1683.57		4871.68	2840.95	2831.35	
Bergsturzgebiet von Goldau (BLN-Objekt 1607)	26.33	75.24	26.33		26.43	75.43	26.43		29.94	76.69	29.94		74.81	77.38	67.77		88.45	81.34	81.24	
Berner Hochalpen und Aletsch-Bietschhorn-Gebiet (nördlicher Teil) (BLN-Objekt 1507)	2797.82	198.90	135.08		2839.13	201.63	138.97		3177.53	211.95	208.06		3278.43	224.85	221.92		4871.39	639.65	637.49	
Berner Hochalpen und Aletsch-Bietschhorn-Gebiet (südlicher Teil) (BLN-Objekt 1706)	2934.46	264.07	34.87		2977.78	268.04	61.81		3335.50	284.01	278.35		3388.32	290.99	286.83		4870.75	483.97	482.34	
Binnial (BLN-Objekt 1701)	1645.32	37.42	36.83		1653.04	37.54	37.08		4286.47	44.48	44.38		4589.90	44.85	44.74		4722.14	45.85	45.85	
Blocs erratiques de Monthey (BLN-Objekt 1709)	22.23	99.91	22.22		101.90	100.69	100.57		103.90	102.61	102.57		104.61	103.34	103.27		106.96	105.61	105.61	
Bois de Chênes (BLN-Objekt 1205)	3.01	3.03	3.00		3.09	3.11	3.07		3.21	3.20	3.20		3.21	3.20	3.20		4.19	4.17	4.17	
Breccaschlund (BLN-Objekt 1514)	402.89	425.80	400.08		386.71	426.85	383.91		423.02	429.25	418.31		428.99	429.87	424.19		515.88	521.07	498.32	
Böllenbergobel bei Uznach (BLN-Objekt 1415)	1.96	1.96	1.96		2.06	2.06	2.06		2.16	6.54	2.16		2.21	6.62	2.21		13.20	13.17	13.17	
Campolungo-Campo Tencia-Plumogna (BLN-Objekt 1809)	1386.37	697.14	335.46		1392.63	705.53	336.84		4271.76	727.82	724.89		4577.59	731.51	728.08		4711.78	776.73	774.63	
Chaltenbrunnenmoor - Wandelalp (BLN-Objekt 1506)	220.07	183.29	110.14		222.07	184.35	111.56		3336.27	185.87	184.87		3389.10	186.71	186.16		4871.68	2133.02	2125.81	
Chanivaz - delta de l'Aubonne (BLN-Objekt 1210)	361.57	1.12	1.08		363.62	1.14	1.14		368.77	2.29	1.58		371.79	2.42	1.64		383.56	3.28	3.28	
Chassagne (BLN-Objekt 1014)	27.25	43.67	27.25		43.02	43.73	43.02		6.07	174.97	6.07		6.07	175.58	6.07		200.11	194.84	193.04	
Chilpen bei Diegten (BLN-Objekt 1106)	2.85	11.19	2.85		3.30	11.37	3.30		11.77	12.56	11.77		11.94	12.72	11.94		12.08	12.87	12.08	
Coteaux de Cortailod et de Bevaix (BLN-Objekt 1206)	24.05	2.10	0.50		24.26	2.11	0.50		25.58	3.57	1.23		149.57	3.73	1.87		255.34	4.27	4.27	
Creux du Van et gorges de L'Areuse (BLN-Objekt 1004)	33.12	46.09	32.65		38.36	49.34	37.63		72.03	123.53	70.99		72.15	123.98	71.11		162.50	136.97	129.23	
Delta del Ticino e della Verzasca (BLN-Objekt 1802)	39.63	1.38	1.19		45.82	1.94	1.93		44.30	2.93	1.30		54.07	3.16	3.16		58.47	2.78	2.78	
Dent Blanche-Matterhorn-Monte Rosa (BLN-Objekt 1707)	2278.27	5.32	3.44		2315.79	6.31	4.14		4289.89	27.13	5.40		4593.29	34.65	31.41		4725.66	53.68	43.48	
Denti della Vecchia (BLN-Objekt 1813)	420.38	340.36	337.17		422.66	342.63	339.24		432.22	385.71	346.16		480.10	388.26	387.13		501.65	408.14	408.06	

Zerschneidungsgeometrie	2002				1980				1960				1935				1885			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Diablerets-Vallon de Nant-Derborance (Partie est) (BLN-Objekt 1713)	2930.85	893.72	640.24		2974.47	907.29	659.43		3332.21	960.69	941.54		3385.39	984.50	970.42		4868.12	1638.05	1632.51	
Diablerets-Vallon de Nant-Derborance (Partie ouest) (BLN-Objekt 1503)	2859.78	1127.52	790.73		2947.74	1144.49	831.87		3335.37	1226.15	1201.70		3388.18	1256.28	1238.31		4870.36	2088.92	2081.86	
Drumlinlandschaft Zürcher Oberland (BLN-Objekt 1401)	1.02	2.09	1.02		1.08	2.14	1.08		1.58	3.69	1.58		1.63	3.82	1.62		3.93	3.97	3.93	
Ermmentalandschaft mit Rübloch, Schopfgaben und Ramisgummen (BLN-Objekt 1321)	33.59	97.95	32.46		34.11	98.09	32.89		121.62	127.05	106.61		140.25	127.34	123.03		1105.77	365.03	364.88	
Endmoränenzone Stafelbach (BLN-Objekt 1317)	2.80	7.58	2.80		3.16	7.99	3.16		6.02	13.44	6.01		6.25	13.97	6.23		8.28	20.75	8.26	
Engstligentälle mit Engstigenalp (BLN-Objekt 1513)	2931.38	731.95	523.53		2974.77	742.97	539.14		3334.28	785.22	769.56		3387.07	804.51	793.00		4871.68	1339.42	1334.90	
Esp-Hölzli (BLN-Objekt 1418)	12.75	14.18	12.75		13.55	14.38	13.55		13.76	14.64	13.76		14.35	15.24	14.35		18.86	21.37	18.86	
Etangs de Bontol et de Vendincourt (BLN-Objekt 1101)	4.88	8.55	4.41		4.89	14.96	4.42		4.89	8.65	4.42		4.90	8.66	4.43		9.96	9.18	9.18	
Flyschlandschaft Hagleren-Glaubenberg-Schlieren (BLN-Objekt 1608)	170.89	183.58	165.57		169.34	365.30	163.97		487.68	883.42	456.30		870.33	887.51	835.99		1105.77	936.13	935.67	
Franches-Montagnes (BLN-Objekt 1008)	9.72	31.28	9.68		12.26	31.39	12.22		12.53	31.50	12.49		12.54	31.51	12.50		50.67	56.20	49.79	
Frauenwinkel-Ufenau-Lützelau (BLN-Objekt 1405)	69.30	0.06	0.06		69.63	0.06	0.06		69.94	0.07	0.07		70.58	0.07	0.07		72.40	0.07	0.07	
Gandria e ditorni (BLN-Objekt 1812)	394.38	316.76	314.03		396.01	318.47	315.55		405.68	334.51	322.55		418.73	336.34	335.36		436.88	352.75	352.68	
Gelten-Ifigen (BLN-Objekt 1501)	2935.33	568.41	407.20		2978.77	576.97	419.35		3336.27	609.78	597.62		3389.10	624.76	615.82		4871.68	1038.84	1035.33	
Gempenplateau (BLN-Objekt 1107)	5.89	22.05	5.89		7.44	22.59	7.44		20.91	23.77	20.89		23.79	24.71	23.77		26.16	26.26	26.14	
Giessbach (BLN-Objekt 1511)	219.96	157.01	94.34		221.96	157.92	95.57		3334.51	159.22	158.37		3387.32	159.94	159.47		4869.12	1827.20	1821.02	
Glaziallandschaft Neerach-Stadel (BLN-Objekt 1404)	1.73	4.97	1.71		1.82	5.03	1.80		4.95	9.35	4.87		5.78	9.36	5.69		8.77	10.15	7.49	
Glaziallandschaft zwischen Lorzentobel und Sihl Höhrenkette (BLN-Objekt 1307)	6.22	19.46	4.85		7.63	20.06	4.45		8.50	20.54	6.44		13.18	28.61	10.65		27.05	42.79	22.17	
Glaziallandschaft zwischen Thur und Rhein mit Nussbaumer Seen und Andellinger Seenplatte (BLN-Objekt 1403)	2.68	9.48	2.41		3.06	10.50	2.53		3.41	13.85	2.83		3.88	13.89	3.21		14.11	23.64	12.57	
Gletschergarten Luzern (BLN-Objekt 1310)	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	
Gorges de Moutier (BLN-Objekt 1021)	43.65	112.99	43.57		45.01	113.40	44.94		44.22	167.43	44.14		50.53	168.68	50.44		55.62	233.55	55.36	
Gorges du Pichoux (BLN-Objekt 1009)	43.14	50.07	43.08		42.09	50.25	42.03		41.79	53.76	41.73		48.56	54.11	48.48		54.78	54.51	54.51	
Gorges du Trient (BLN-Objekt 1715)	29.17	26.97	26.65		29.23	27.19	26.68		30.37	28.02	27.70		32.16	679.13	29.41		302.13	1228.14	225.22	
Grema-Piz Medel (BLN-Objekt 1913)	1612.20	257.53	239.14		1657.15	260.93	250.39		1676.19	261.87	256.93		1686.23	333.20	262.27		1696.73	336.23	263.68	
Grèves vaudoises de la rive gauche du lac de Neuchâtel (BLN-Objekt 1203)	234.54	0.81	0.77		133.21	0.63	0.59		139.92	0.83	0.78		141.84	0.84	0.79		148.75	0.84	0.84	
Hallwilsee (BLN-Objekt 1303)	12.92	0.55	0.37		13.73	0.97	0.74		14.12	1.74	0.47		14.96	2.67	1.12		15.69	3.02	1.55	
Hohgant (BLN-Objekt 1505)	389.97	490.39	382.13		404.41	491.71	395.11		621.01	873.01	609.18		870.33	876.91	826.00		1105.77	924.95	924.49	
Hörnli-Bergland (Quellgebiete der Töss und der Murg) (BLN-Objekt 1420)	47.93	57.41	47.88		48.76	58.75	48.71		51.02	80.26	50.97		53.09	80.76	53.02		94.47	94.44	94.03	
Imenberg (BLN-Objekt 1402)	7.14	11.65	7.13		8.54	11.81	8.52		9.83	13.41	9.81		9.83	13.44	9.81		18.73	19.20	18.71	
Irchel (BLN-Objekt 1410)	10.35	13.53	10.15		9.98	18.30	9.76		11.18	18.61	10.85		11.18	18.62	10.85		22.22	18.78	18.71	

Zerschneidungsgeometrie	2002				1980				1960				1935				1885			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Kalbrunner Riet (BLN-Objekt 1416)	2.34	4.84	1.92		2.38	4.92	1.96		3.56	4.94	2.20		20.47	5.03	5.03		22.80	5.37	5.37	
Katzenseen (BLN-Objekt 1407)	2.65	3.31	2.45		3.02	3.30	2.76		3.24	6.09	2.96		3.38	6.42	3.09		7.68	6.93	6.88	
Kesch-Ducan-Gebiet (BLN-Objekt 1905)	467.63	6.71	6.62		467.98	6.79	6.63		469.59	6.82	6.71		469.84	6.83	6.72		482.22	7.52	7.50	
Koblener Laufen (BLN-Objekt 1103)	1.27	7.00	0.81		1.29	7.17	0.82		8.72	7.92	7.90		9.01	8.20	8.18		9.22	8.49	8.38	
La Côte (BLN-Objekt 1201)	1.79	11.60	1.79		2.04	11.75	2.04		3.09	12.97	3.09		4.79	13.01	4.79		94.83	162.91	94.82	
La Dôle (BLN-Objekt 1007)	35.59	44.32	35.59		31.55	44.42	31.55		28.26	46.14	28.26		37.35	46.20	37.35		219.53	379.11	219.50	
La Pierreuse-Gummluh-Vallée de l'Elivaz (BLN-Objekt 1510)	161.75	145.68	138.50		167.51	146.12	142.51		170.53	146.90	144.41		174.42	147.81	147.77		175.71	151.53	151.53	
Lac de Tanay (BLN-Objekt 1702)	76.64	92.65	69.08		103.01	93.38	93.27		105.14	95.27	95.23		105.59	95.70	95.64		106.72	96.69	96.69	
Lag da Toma (BLN-Objekt 1901)	445.23	62.24	56.69		448.30	62.62	57.38		468.73	64.40	62.43		475.36	311.22	64.41		482.10	314.06	66.01	
Laggital-Zwischbergtal (BLN-Objekt 1717)	2277.87	55.81	54.98		2315.37	56.26	55.65		4290.39	64.63	64.63		4593.82	89.05	88.75		4726.18	488.45	395.62	
Lauerzersee (BLN-Objekt 1604)	5.46	2.95	2.31		5.49	2.95	2.33		6.89	4.99	3.55		6.94	5.04	3.59		7.15	5.17	3.67	
Lavaux (BLN-Objekt 1202)	6.44	1.06	0.29		7.09	1.09	0.40		7.87	2.21	0.81		7.96	2.27	0.84		11.10	4.54	3.71	
Le Chasseral (BLN-Objekt 1002)	56.63	140.65	56.63		37.21	141.47	37.21		45.91	175.79	45.91		145.61	176.20	145.61		187.61	189.77	187.60	
Le Mormont (BLN-Objekt 1023)	3.47	3.47	3.47		3.51	3.51	3.51		3.94	3.94	3.94		4.07	4.07	4.07		4.09	4.09	4.09	
Le Rhône genevois - Vallons de l'Allondon et de La Laire (BLN-Objekt 1204)	9.07	1.76	1.33		10.61	2.44	1.81		11.51	3.10	2.04		12.64	3.32	2.40		19.67	6.00	5.20	
Les Follatères - Mont du Rosel (BLN-Objekt 1712)	2871.20	1536.39	1089.31		2913.71	1559.51	1121.81		3336.27	1648.20	1615.34		3389.10	1688.69	1664.54		4871.68	2807.93	2798.44	
Les Grangettes (BLN-Objekt 1502)	292.27	2.93	1.51		300.48	2.95	1.58		371.22	2.99	2.97		374.27	3.00	2.98		383.56	5.56	5.55	
Les Roches de Châtillon (BLN-Objekt 1013)	2.96	8.45	2.96		2.96	8.61	2.96		3.07	8.93	3.07		3.07	9.08	3.07		4.37	9.12	4.37	
Linkes Bielerseeufer (BLN-Objekt 1001)	4.35	10.43	2.82		4.32	10.51	2.76		5.72	10.72	4.11		11.48	10.98	9.71		13.18	11.08	10.75	
Lochseite bei Schwanden (BLN-Objekt 1611)	1727.12	1135.00	909.42		1739.90	1142.19	1112.93		1766.06	1149.67	1135.16		1771.62	1153.22	1139.67		2645.55	2076.46	1912.14	
Luegibodenblock (BLN-Objekt 1509)	389.97	496.78	387.10		404.41	498.11	400.25		621.01	884.38	617.11		870.33	888.33	836.76		1105.77	937.00	936.53	
Lägerengebiet (BLN-Objekt 1011)	22.56	25.60	22.41		23.06	25.72	22.92		25.37	27.02	25.22		26.18	27.67	26.03		30.77	31.28	30.60	
Lützelsee-Seeweidsee-Uetziker Riet (BLN-Objekt 1417)	1.24	2.59	1.13		1.01	5.61	0.97		1.05	6.29	1.01		1.32	6.35	1.20		7.42	7.34	6.90	
Maderanertal-Fellital (BLN-Objekt 1603)	1723.97	452.60	361.77		1737.98	455.50	443.50		1764.55	458.76	452.63		1770.40	460.86	455.45		2644.14	830.13	764.45	
Marais de la haute Versoix (BLN-Objekt 1207)	1.76	1.93	1.76		3.18	3.68	3.18		2.01	2.02	2.01		2.02	2.02	2.02		10.15	161.49	10.14	
Meliser Hinterberg - Flumser Kleinberg (BLN-Objekt 1615)	842.15	1117.66	438.47		849.23	1126.05	536.78		1763.34	1133.44	1118.90		1768.88	1136.94	1123.35		2645.43	2049.82	1887.62	
Mont Vuilly (BLN-Objekt 1209)	2.13	5.87	2.11		2.19	5.92	2.17		15.48	16.61	7.80		17.81	16.76	7.87		24.50	16.95	7.94	
Mont d'Orge près de Sion (BLN-Objekt 1704)	2.41	8.27	2.35		2.52	1557.54	2.47		5.94	1646.60	5.85		3388.21	1687.06	1682.93		4870.39	2805.22	2795.73	
Monte Caslano (BLN-Objekt 1805)	18.09	1.10	1.10		18.67	1.10	1.10		19.80	1.36	1.36		20.99	1.78	1.76		30.05	2.48	2.48	
Monte Generoso (BLN-Objekt 1803)	43.17	46.89	42.47		43.30	46.97	42.59		46.18	50.42	45.42		50.78	50.73	50.02		54.07	52.58	52.52	
Monte San Giorgio (BLN-Objekt 1804)	16.80	16.77	16.73		17.02	16.98	16.96		17.79	17.74	17.72		18.11	18.00	17.97		19.10	18.92	18.89	
Moorlandschaft Rothenthurm-Almatt-Biberbrugg (BLN-Objekt 1308)	4.06	40.89	3.94		5.60	41.22	5.44		5.16	150.37	5.03		5.53	161.56	5.39		21.67	369.04	21.24	

Zerschneidungsgeometrie	2002				1980				1960				1935				1885			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Murgtal-Mürtschental (BLN-Objekt 1602)	1702.08	913.27	719.39		1714.74	919.06	880.41		1741.43	925.08	898.58		1746.90	928.26	902.15		2644.64	1671.40	1539.14	
Nepbergland (BLN-Objekt 1311)	221.85	354.15	220.04		227.43	354.52	225.64		280.99	425.77	278.08		297.22	426.86	293.36		409.23	429.33	400.67	
Oberengadiner Seenlandschaft und Berninagruppe (BLN-Objekt 1908)	449.74	12.79	11.91		452.51	12.85	12.00		473.60	13.02	12.18		479.00	13.05	12.21		507.45	13.82	13.78	
Paesaggio fluviale e antropico della Valle del Soie (Bléno) (BLN-Objekt 1814)	173.37	206.79	84.50		204.96	209.61	103.58		407.10	231.20	222.85		414.61	823.72	230.12		518.19	1089.86	287.98	
Paludi del San Bernardino (BLN-Objekt 1912)	424.46	304.98	283.89		432.18	308.06	291.21		1141.11	729.27	712.69		1153.56	881.90	730.04		1168.32	896.70	741.85	
Pfluegstein ob Erlenbach (BLN-Objekt 1419)	0.44	2.58	0.44		0.45	2.64	0.45		0.54	3.44	0.54		0.64	3.86	0.64		16.75	16.69	16.69	
Pflanzwald-Hilgraben (BLN-Objekt 1716)	1892.86	98.87	79.99		1924.76	103.21	83.60		3752.94	422.18	132.97		4021.92	539.62	489.17		4140.09	836.36	677.40	
Präflikersee (BLN-Objekt 1409)	6.56	1.54	1.46		6.94	1.72	1.65		7.04	1.81	1.67		7.26	1.88	1.78		7.97	2.19	2.10	
Pied sud du Jura proche de La Sarraz (BLN-Objekt 1015)	8.19	9.70	8.19		8.32	9.83	8.32		8.80	9.90	8.80		9.90	9.91	9.90		10.53	10.58	10.53	
Pilatus (BLN-Objekt 1605)	188.37	194.26	175.96		182.33	361.82	169.86		214.05	882.33	191.50		869.01	886.27	834.82		1105.02	934.84	934.38	
Piora-Lucomagno-Dövara (BLN-Objekt 1801)	678.72	243.70	224.00		690.74	246.64	232.52		701.33	242.50	237.02		708.64	586.95	242.84		716.10	595.18	246.27	
Piz Arina (BLN-Objekt 1909)	948.89	73.34	67.86		957.83	73.43	69.69		964.32	74.45	70.22		874.88	74.54	70.31		879.54	74.71	71.76	
Plassuggen-Schjierflue (BLN-Objekt 1914)	895.49	34.68	32.54		904.10	34.75	33.51		908.99	35.23	33.95		915.36	35.29	34.51		920.37	35.46	34.67	
Ponte Broilla-Losone (BLN-Objekt 1806)	571.52	358.59	196.78		570.88	355.37	197.04		1456.47	372.60	350.51		1573.40	374.54	365.86		3588.92	837.04	834.79	
Pyramides d'Euseigne (BLN-Objekt 1708)	11.45	12.75	11.37		11.54	13.08	11.45		136.75	626.58	13.07		4594.00	805.87	730.59		4726.35	1248.48	1011.21	
Quellgebiet des Hinterheins und San Bernardino-Passhöhe (BLN-Objekt 1907)	1237.14	166.93	157.61		1268.13	168.81	163.30		1284.60	171.35	167.39		1296.39	206.22	171.54		1310.01	209.84	174.49	
Randen (BLN-Objekt 1102)	14.56	69.30	14.56		21.27	69.57	21.26		56.41	77.17	56.39		68.32	77.75	68.30		79.32	79.48	79.22	
Raron-Heidischbiel (BLN-Objekt 1711)	23.04	1536.63	4.70		286.80	1559.75	37.80		3303.08	1649.92	1617.02		3355.39	1690.45	1666.28		4825.18	2812.00	2802.50	
Ravellenflue und Chluser Roggen bei Oensingen (BLN-Objekt 1020)	14.71	22.03	14.71		22.20	22.27	22.20		22.60	22.59	22.59		23.48	23.48	23.48		24.52	24.56	24.52	
Reuslandschaft (BLN-Objekt 1305)	3.28	3.13	1.67		3.90	3.20	1.96		5.18	3.98	2.43		6.60	4.08	2.97		9.10	4.67	3.76	
Rheinfall (BLN-Objekt 1412)	1.53	1.31	1.16		1.60	1.32	1.23		1.85	1.54	1.39		1.91	1.59	1.44		8.44	2.25	1.90	
Rhônegletscher mit Vorgelände (BLN-Objekt 1710)	416.26	30.37	4.58		421.06	31.29	7.86		763.53	35.11	34.48		1628.69	35.91	35.44		4858.94	274.54	273.63	
Rive sud du lac de Neuchâtel (BLN-Objekt 1208)	231.11	1.86	1.01		233.83	2.85	1.64		243.82	7.08	5.00		246.36	8.53	5.07		261.15	8.87	6.49	
Ruinaulta (BLN-Objekt 1902)	152.17	106.59	88.38		158.31	108.19	93.48		167.14	108.85	102.24		1088.31	133.99	104.18		2557.69	1170.23	1026.76	
San Salvatore (BLN-Objekt 1810)	4.48	3.77	3.77		4.63	3.92	3.92		5.26	4.53	4.53		14.11	13.37	13.37		14.37	13.55	13.55	
Scheidnössli bei Erstfeld (BLN-Objekt 1610)	1727.12	1135.00	909.42		1739.90	1142.19	1112.93		1766.06	1149.67	1135.16		1771.82	1153.22	1139.67		2645.55	2076.46	1912.14	
Schratzenflue (BLN-Objekt 1609)	389.97	496.64	386.99		404.41	497.97	400.14		621.01	884.13	616.94		870.33	888.08	836.53		1105.77	936.73	936.27	
Schwarzenburgerland mit Sense- und Schwarzwasser-Schluchten (BLN-Objekt 1320)	13.52	26.39	8.67		14.32	26.52	9.31		18.37	27.29	11.18		34.82	27.46	22.00		48.24	32.06	27.02	
Schweizerischer Nationalpark und Randgebiete (BLN-Objekt 1915)	429.43	29.77	29.53		430.41	29.84	29.04		483.72	30.19	30.14		484.13	30.21	30.21		502.50	30.47	30.47	
Silberer (BLN-Objekt 1601)	406.01	522.41	262.94		410.95	525.32	267.17		736.08	633.06	514.78		790.15	686.57	557.08		2645.54	1633.36	1504.11	

Zerschneidungsgeometrie	2002				1980				1960				1935				1885			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Silvretta-Vereina (BLN-Objekt 1910)	895.49	47.82	44.48		904.10	47.93	45.79		908.99	48.58	46.38		915.36	48.67	47.09		920.37	48.89	47.37	
Speer-Churfirsten-Avier (BLN-Objekt 1613)	199.21	372.64	175.63		204.87	373.66	180.98		390.15	375.51	346.48		392.56	376.57	353.47		418.66	383.65	377.54	
St. Petersinsel - Heidenweg (BLN-Objekt 1301)	47.46	0.65	0.65		48.13	0.65	0.65		49.71	0.65	0.65		50.56	0.65	0.65		52.02	0.65	0.65	
Stausee Niederried (BLN-Objekt 1316)	9.47	6.48	2.49		18.76	8.80	2.97		34.11	15.99	5.41		36.29	16.09	6.33		38.38	28.80	8.19	
Steinhof-Steinberg-Burgäschisee (BLN-Objekt 1313)	2.30	4.16	2.17		2.87	4.22	2.74		6.18	11.07	6.05		7.16	11.19	7.04		7.38	19.23	7.24	
Säntisgebiet (BLN-Objekt 1612)	201.78	243.80	186.37		203.47	243.99	189.97		228.52	251.20	214.25		237.45	251.90	222.82		409.33	402.72	388.76	
Tafeljura nördlich Gelterkinden (BLN-Objekt 1104)	4.66	8.67	4.66		5.43	9.02	5.42		7.98	29.98	7.85		8.37	30.12	8.25		9.88	31.80	9.73	
Taminschlucht (BLN-Objekt 1614)	4.64	4.66	4.59		4.73	1131.32	4.68		4.42	1140.02	4.38		4.46	1144.32	4.41		2645.55	2060.43	1897.39	
Thurgauische-fürstentümliche Kulturlandschaft mit Hudelmoos (BLN-Objekt 1413)	2.26	3.42	2.25		2.74	3.46	2.73		2.40	9.39	2.38		2.40	9.41	2.39		14.56	24.41	14.49	
Thurlandschaft Lichtensteig-Schwarzenbach (BLN-Objekt 1414)	9.68	8.72	7.96		10.78	10.71	8.79		10.91	12.56	8.90		11.14	12.64	9.08		17.27	15.18	14.07	
Tomalandschaft bei DomavEms (BLN-Objekt 1911)	115.41	110.71	97.86		119.36	113.33	101.19		129.26	117.90	110.34		255.19	118.40	118.21		329.15	126.13	126.08	
Tour d'Al-Dent de Corjon (BLN-Objekt 1515)	92.65	195.11	89.20		114.11	195.96	110.02		339.17	345.38	334.89		345.57	347.90	340.68		379.65	375.19	373.52	
Toubrière des Ponts-de-Martel (BLN-Objekt 1003)	9.18	61.37	9.17		9.20	61.45	9.20		61.51	61.50	61.50		61.55	61.54	61.54		61.58	61.58	61.58	
Trockengebiet im unteren Domleschg (BLN-Objekt 1906)	63.98	65.45	55.37		67.17	65.82	58.11		145.82	135.57	126.87		154.86	136.10	135.88		163.20	136.92	136.87	
Unteres Fällender Tobel (Jörentobel) (BLN-Objekt 1408)	0.30	2.62	0.30		0.30	2.67	0.30		3.22	3.79	3.22		3.29	3.86	3.29		4.69	4.69	4.69	
Untersee-Hochrhein (BLN-Objekt 1411)	7.09	5.36	2.78		7.30	5.64	2.89		8.32	6.34	3.41		8.69	6.46	3.69		13.51	7.69	6.18	
Val Bavona (BLN-Objekt 1808)	1644.30	533.73	201.11		1650.64	535.24	202.00		4280.81	553.30	551.35		4583.57	555.34	553.13		4717.20	590.04	588.45	
Val Bondasca-Val da l'Abigna (BLN-Objekt 1916)	453.55	23.85	23.13		456.37	23.89	23.21		457.21	24.09	23.41		457.75	24.11	23.43		486.10	25.10	25.07	
Val Verzasca (BLN-Objekt 1807)	1639.87	839.25	511.80		1647.85	842.70	513.92		4276.42	866.68	863.56		4579.88	870.14	866.58		4712.21	924.04	921.43	
Val de Bagnes (BLN-Objekt 1703)	2278.21	11.93	4.47		2315.72	12.49	4.80		4289.77	32.79	10.40		4593.62	52.85	47.91		4725.97	81.88	66.32	
Val de Réchy-Sasseneire (BLN-Objekt 1718)	2238.53	30.54	21.31		2315.65	40.23	24.44		4289.64	175.17	30.31		4593.14	223.70	202.81		4725.48	346.57	280.70	
Val di Campo (BLN-Objekt 1904)	100.86	8.41	8.19		101.34	8.42	8.28		548.60	8.47	8.36		549.29	8.49	8.38		588.37	8.55	8.55	
Vallée de Joux et Haut-Jura vaudois (BLN-Objekt 1022)	53.98	92.82	53.89		78.16	164.30	78.10		49.53	93.76	49.46		64.45	191.92	64.37		150.10	276.53	149.44	
Vallée de la Brevine (BLN-Objekt 1005)	25.47	38.71	25.08		45.55	50.86	45.16		38.83	38.72	38.39		39.04	38.77	38.59		50.57	61.80	50.12	
Vallée du Doubs (BLN-Objekt 1006)	22.47	35.48	13.72		24.51	36.05	14.29		37.19	36.44	24.74		37.88	37.22	25.24		55.79	38.64	36.69	
Valère et Tourbillon (BLN-Objekt 1705)	0.26	0.26	0.26		0.26	0.63	0.26		0.84	15.30	0.84		4.32	1600.03	2.60		6.19	2735.71	4.14	
Vanil Noir (BLN-Objekt 1504)	196.69	271.72	182.94		271.48	272.17	254.51		279.26	273.22	282.02		285.14	274.01	287.46		291.60	274.43	271.44	
Vienwaldstättersee mit Kernwald, Bürgenstock, Rigi (BLN-Objekt 1606)	546.32	229.04	178.82		557.55	234.78	183.12		607.72	264.40	220.59		919.49	304.18	285.30		3304.84	946.30	924.21	
Wangen- und Osterfingental (BLN-Objekt 1110)	5.51	19.18	5.51		5.52	19.45	5.52		8.35	19.89	8.35		11.20	20.00	11.20		18.65	40.24	18.65	

Zerschneidungsgeometrie	2002				1980				1960				1935				1885			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Wasserschloss (Zusammenfluss Aare/Reuss/Limmat) (BLN-Objekt 1019)	2.00	6.35	1.62		1.99	6.51	1.59		1.84	7.95	1.36		2.30	8.14	1.61		8.89	8.45	8.08	
Wauwilermoos-Hagimoos-Mauensee (BLN-Objekt 1318)	2.15	5.82	2.03		2.03	6.00	1.91		3.55	8.28	3.43		5.00	8.43	4.87		7.52	8.66	7.38	
Weissenau (BLN-Objekt 1508)	51.62	0.52	0.52		52.09	0.52	0.52		53.91	1.08	1.08		54.62	1.42	1.42		1105.77	519.89	519.63	
Weissenstein (BLN-Objekt 1010)	17.91	109.52	17.91		27.27	218.73	27.27		45.36	243.13	45.36		105.49	245.94	105.42		127.37	273.08	127.30	
Wässermatlen in den Tälern der Langete, der Rot und der Önz (BLN-Objekt 1312)	2.61	6.02	2.60		2.91	6.09	2.90		4.81	9.29	4.81		5.11	9.38	5.11		11.92	13.24	11.91	
Zugersee (BLN-Objekt 1309)	24.94	2.25	1.64		26.94	2.27	1.84		30.32	4.81	2.22		31.20	5.06	2.35		34.52	5.17	2.99	
Zürcher Obersee (BLN-Objekt 1406)	25.10	1.64	1.12		25.43	1.68	1.16		29.21	2.14	1.54		30.68	2.17	1.60		34.37	4.00	4.00	
BLN in gesamter Schweiz	952.63	196.42	121.18		969.04	205.87	130.17		1374.61	235.85	201.37		1470.31	255.39	228.07		1942.47	409.50	381.35	
BLN im Jura	27.58	56.67	26.73		36.34	83.23	35.60		35.42	70.70	34.58		47.06	99.85	46.01		94.31	148.33	91.78	
BLN im Mittelland	51.98	63.41	38.71		53.18	63.99	39.67		64.56	78.48	49.76		69.23	78.87	53.65		123.81	92.35	84.87	
BLN in den Voralpen	1102.06	328.70	223.37		1123.46	344.66	240.17		1340.96	415.27	350.57		1458.75	430.94	407.35		2465.22	782.43	759.45	
BLN in den Zentralalpen	1544.30	115.77	55.20		1567.77	118.83	62.40		2161.81	137.33	120.97		2277.56	150.53	141.34		2723.11	238.60	224.54	
BLN in den Südalpen	1206.51	386.11	233.56		1219.43	388.40	236.69		2667.03	402.41	398.36		2845.12	467.93	405.68		2946.07	555.97	475.22	
Schweiz ohne BLN	593.36	217.02	136.13		614.02	223.65	155.83		928.36	263.10	222.84		1044.20	297.83	256.76		1411.33	508.83	453.30	
Jura ohne BLN	17.92	43.12	16.80		20.74	52.10	19.20		28.16	71.38	26.49		39.66	75.22	37.76		78.07	106.15	73.52	
Mittelland ohne BLN	26.57	16.79	6.55		27.63	17.74	7.23		33.60	29.20	12.07		38.39	30.93	14.60		76.95	43.37	32.04	
Alpenordflanke ohne BLN	815.80	460.25	313.68		846.75	470.21	349.04		1118.99	555.20	480.50		1271.84	599.80	545.09		2406.98	1258.88	1154.19	
Zentralalpen ohne BLN	1237.33	240.64	128.32		1282.63	250.99	169.61		1935.68	297.70	251.42		2193.47	359.83	315.34		2493.01	533.01	469.42	
Alpensüdflanke ohne BLN	932.51	415.54	282.43		949.27	420.51	289.70		1868.34	443.39	433.00		1982.15	527.33	442.84		2144.27	583.22	498.35	

9.11 Effektive Maschenweiten der Moorlandschaften von 1885 bis 2002

Für die Moorlandschaften ist die Angabe der effektiven Maschenweite nach Zerschneidungsgeometrie 4 nicht sinnvoll. Der Einfluss der natürlichen Trennelemente auf die effektive Maschenweite ist bei den Moorlandschaften zum Teil sehr gross. Dieses Problem besteht bei den Zerschneidungsgeometrien 2 und 3 ebenfalls, allerdings weniger stark. Diese Werte werden zu Vergleichszwecken mit angegeben.

Tabelle 22: Effektive Maschenweiten der Moorlandschaften von 1885 bis 2002, in km² (ZG 1 = „Zivilisationsdruck“, ZG 2 = „Trennelemente bis 2.-Kl.-Strassen“, ZG 3 = „Trennelemente bis 3.-Kl.-Strassen“, ZG 4 = „Landflächen unterhalb 2100 m“).

Zerschneidungsgeometrie	2002				1980				1960				1935				1885			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Aare/Giessen (Moorlandschaft 280)	8.03	1.78	1.63		8.42	3.02	2.72		10.42	4.23	3.34		11.32	4.44	3.45		20.19	5.05	5.04	
Albnist (Moorlandschaft 339)	2935.33	1349.87	967.02		2978.77	1370.18	995.87		3336.27	1448.10	1419.23		3389.10	1483.68	1462.46		4871.68	2467.04	2458.70	
Albrun (Moorlandschaft 322)	1648.33	22.78	22.49		1654.64	22.85	22.57		4290.55	27.08	27.02		4594.00	27.30	27.23		4726.35	27.90	27.90	
Alp Anarosa (Moorlandschaft 365)	1612.27	0.00	0.00		1657.22	0.00	0.00		1676.26	0.00	0.00		1686.28	0.00	0.00		1696.78	0.00	0.00	
Alp Flix (Moorlandschaft 217)	336.75	45.57	45.06		338.00	45.69	45.64		339.06	45.86	45.86		339.64	45.86	45.86		340.87	46.03	46.03	
Alp Nadéls (Moorlandschaft 56)	1612.27	986.97	916.54		1657.22	1000.01	959.67		1676.26	1003.60	984.75		1686.28	1275.81	1004.21		1696.78	1287.41	1009.60	
Alp da Stierva (Moorlandschaft 364)	547.75	61.94	58.17		553.36	62.01	60.37		628.23	83.59	80.61		629.94	83.74	81.11		636.49	83.85	83.50	
Alpe Zaria (Moorlandschaft 347)	1648.33	833.23	508.26		1654.64	835.59	509.73		4290.55	858.16	855.14		4594.00	861.32	857.90		4726.35	914.57	912.11	
Alpe di Chiéra (Moorlandschaft 325)	445.23	124.97	113.83		448.30	125.73	115.20		468.73	129.31	125.35		475.36	624.88	129.32		482.09	630.56	132.52	
Amsoldingen (Moorlandschaft 336)	2.02	5.40	1.68		2.98	5.42	2.61		3.98	9.91	3.37		3.98	9.94	3.37		8.24	10.02	7.02	
Bachsee (Moorlandschaft 390)	220.07	20.91	12.56		222.07	21.03	12.73		3336.27	21.20	21.09		3389.10	21.30	21.24		4871.68	243.31	242.49	
Bellelay (Moorlandschaft 16)	13.69	29.26	13.63		19.16	29.37	19.09		25.93	29.71	25.85		29.77	30.06	29.68		32.84	33.03	32.74	
Bretried/Unterberg (Moorlandschaft 10)	76.40	418.74	73.88		101.03	420.88	98.17		240.34	555.70	212.76		257.73	604.50	229.98		775.02	1498.73	559.29	
Buffalora (Moorlandschaft 368)	442.51	3.87	3.81		442.13	3.88	3.79		548.60	3.95	3.93		549.29	3.95	3.95		588.37	4.02	4.02	
Chaltenbrunnen (Moorlandschaft 11)	220.07	243.92	146.57		222.07	245.33	148.47		3336.27	247.36	246.03		3389.10	248.48	247.75		4871.68	2838.65	2829.05	
Chellen (Moorlandschaft 66)	34.52	38.83	34.26		32.48	38.86	32.24		35.42	125.75	35.15		38.22	126.67	37.95		420.81	426.09	412.87	
Col des Mosses/La Lécherette (Moorlandschaft 99)	90.23	156.49	85.36		93.37	157.05	87.87		267.78	267.47	261.04		272.74	269.45	265.60		285.44	279.85	279.16	
Creux du Croue (Moorlandschaft 88)	82.69	125.95	82.69		121.80	206.57	121.80		77.60	126.83	77.60		89.23	267.76	89.23		219.53	379.11	219.50	
Durannapass (Moorlandschaft 414)	559.37	129.10	82.92		571.15	130.42	83.08		579.88	129.93	127.32		581.08	130.42	127.70		601.18	135.86	134.72	
Etang de la Gruère (Moorlandschaft 7)	7.80	33.47	7.54		8.59	33.56	8.32		9.45	33.73	9.13		9.45	33.73	9.13		49.48	52.95	46.99	
Färenenspiz (Moorlandschaft 420)	238.24	279.97	230.82		240.17	280.18	232.71		259.56	281.39	252.14		263.97	282.12	256.47		420.81	425.88	412.66	
Faninpass (Moorlandschaft 227)	559.37	141.92	91.16		571.15	143.38	91.33		579.88	142.84	139.97		581.08	143.38	140.38		601.18	149.35	148.10	
Frauenwinkel (Moorlandschaft 351)	69.77	0.08	0.08		69.78	0.08	0.08		69.99	0.08	0.08		70.60	0.08	0.08		72.48	0.09	0.09	
Fulensee (Moorlandschaft 110)	861.78	582.98	520.59		878.50	583.86	533.88		903.53	589.65	555.27		1322.85	708.04	699.41		4871.68	2613.63	2604.80	
Furner Berg (Moorlandschaft 109)	559.37	401.75	258.05		571.15	405.87	258.54		579.88	404.34	396.21		581.08	405.87	397.38		601.18	422.77	419.24	
Göscheneralp (Moorlandschaft 204)	371.31	50.97	40.00		371.69	50.93	50.47		371.96	52.18	52.18		371.96	52.18	52.18		4871.68	2246.04	2238.45	
Gampferin (Moorlandschaft 22)	233.12	382.28	202.82		238.48	383.24	207.84		400.16	385.04	362.49		402.43	385.93	369.61		422.30	391.17	387.91	
Glaubenberg (Moorlandschaft 15)	172.57	184.63	166.52		170.68	364.97	164.58		447.77	882.72	435.05		870.33	886.79	835.31		1105.77	935.38	934.91	
God da Staz/Stazerwald (Moorlandschaft 45)	312.12	83.92	56.24		314.06	84.06	56.42		314.64	84.75	56.91		315.01	84.83	56.97		486.14	88.35	88.22	
Gräppelen (Moorlandschaft 387)	195.82	278.73	188.69		197.39	278.94	190.23		259.56	280.14	251.02		263.97	280.87	255.33		420.81	423.99	410.83	

Zerschneidungsgeometrie	2002				1980				1960				1935				1885			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Grande Carigate (Moorlandschaft 416)	233.17	1.77	0.97		235.91	2.78	1.60		244.04	7.13	5.00		246.59	8.58	5.07		260.93	8.87	6.43	
Grimel (Moorlandschaft 268)	2935.33	148.83	57.09		2978.77	149.69	57.88		3336.27	150.93	150.12		3389.10	151.69	151.25		4871.68	1732.97	1727.11	
Grosse Schneidegg (Moorlandschaft 391)	699.40	241.58	135.83		708.71	242.98	137.60		3332.65	244.99	243.68		3395.43	246.10	245.38		4866.40	2811.48	2801.98	
Gurnigel/Gantrisch (Moorlandschaft 163)	139.79	151.11	138.70		119.46	151.52	118.46		156.81	182.49	152.44		158.68	182.72	154.27		515.68	519.89	497.19	
Habkern/Sörenberg (Moorlandschaft 13)	389.00	496.44	386.13		403.42	497.79	399.26		620.72	883.93	616.80		869.92	887.88	836.34		1105.61	936.83	936.36	
Haslerberg/Betelberg (Moorlandschaft 119)	2935.33	1544.91	1106.75		2978.77	1568.16	1139.76		3336.27	1657.34	1624.30		3389.10	1698.05	1673.77		4871.68	2823.50	2813.96	
Hilferenpass (Moorlandschaft 370)	389.91	496.46	386.86		404.37	497.83	400.02		621.01	883.95	616.81		870.33	887.89	836.35		1105.77	936.53	936.07	
Hinter Höhl (Moorlandschaft 8)	150.18	381.53	148.73		156.14	382.50	154.66		400.16	384.29	361.78		402.43	385.18	368.89		422.30	390.41	387.16	
Hizel (Moorlandschaft 37)	2.41	6.52	1.71		2.72	6.56	2.02		3.43	6.67	2.05		3.50	6.69	2.12		11.62	10.59	7.63	
Ibergereg (Moorlandschaft 25)	104.75	143.74	103.51		106.03	144.36	104.62		136.93	803.44	133.89		138.88	871.35	135.78		187.25	2072.96	170.94	
Klein Entlén (Moorlandschaft 98)	153.01	166.81	151.84		153.80	162.57	152.64		621.01	882.73	615.96		870.33	886.67	835.20		1105.77	935.24	934.78	
Lütelsee (Moorlandschaft 385)	1.52	3.78	1.46		1.50	6.85	1.48		1.79	7.71	1.77		1.92	7.79	1.87		8.28	8.54	7.98	
La Brevine (Moorlandschaft 94)	12.10	23.49	12.10		17.26	26.90	17.26		19.47	23.53	19.47		19.49	23.55	19.48		48.51	66.92	48.51	
La Chau d'Abel (Moorlandschaft 35)	13.07	27.42	13.04		13.18	27.45	13.15		14.98	27.50	14.94		14.98	27.51	14.95		16.97	30.56	16.93	
La Chau-des-Breuleux (Moorlandschaft 12)	5.35	14.30	5.34		5.35	14.34	5.34		5.37	14.42	5.36		5.37	14.42	5.36		23.02	23.00	22.99	
La Vraconnaz (Moorlandschaft 9)	31.38	62.18	31.38		32.61	62.24	32.61		32.00	62.37	32.00		34.70	62.70	34.70		69.17	69.40	69.17	
Lac de Lussy (Moorlandschaft 39)	4.41	4.52	4.36		4.44	5.53	4.40		4.65	7.35	4.60		4.66	7.36	4.61		13.75	95.04	13.70	
Launensee (Moorlandschaft 19)	2934.98	1541.64	1104.40		2978.62	1564.95	1137.43		3336.27	1654.03	1621.05		3389.10	1694.66	1670.43		4871.68	2817.86	2808.34	
Le Marais des Monod (Moorlandschaft 296)	5.33	15.71	5.33		5.33	15.73	5.33		5.67	15.74	5.67		5.67	15.74	5.67		16.17	16.16	16.16	
Le Niremont (Moorlandschaft 93)	40.73	288.35	40.73		219.13	289.63	217.24		352.37	360.57	350.93		358.01	363.16	356.00		380.59	379.06	377.77	
Les Grangettes (Moorlandschaft 289)	293.61	2.93	1.52		301.87	2.95	1.58		371.22	2.99	2.97		374.27	3.00	2.98		383.56	5.54	5.53	
Les Gurlés (Moorlandschaft 33)	14.42	38.21	13.88		16.93	38.46	16.63		30.78	92.51	30.23		43.12	93.10	42.35		94.19	100.70	79.48	
Les Pontins (Moorlandschaft 27)	37.61	100.79	37.60		40.32	107.67	40.26		53.92	125.56	53.83		103.07	125.89	102.98		132.62	133.44	132.50	
Les Ponts-de-Martel (Moorlandschaft 2)	9.34	49.13	9.34		9.20	49.33	9.20		48.92	49.41	48.90		49.06	49.46	49.04		49.31	49.54	49.29	
Lucomagno/Dötta (Moorlandschaft 189)	925.23	471.90	435.97		945.52	477.23	452.50		899.22	435.39	425.50		897.05	1071.77	435.58		905.22	1081.96	440.84	
Maighels (Moorlandschaft 315)	445.23	10.64	9.69		448.30	10.70	9.81		468.73	11.01	10.67		475.36	53.19	11.01		482.09	53.67	11.28	
Maschwander Allmend (Moorlandschaft 251)	5.57	2.83	1.99		5.67	2.84	2.01		5.03	5.17	1.88		10.51	5.17	4.62		12.53	5.43	4.79	
Monti di Medeglia (Moorlandschaft 326)	454.74	367.62	364.45		456.62	369.60	366.22		467.70	388.14	374.26		482.81	390.26	389.12		503.32	409.30	409.22	
Neeracher Ried (Moorlandschaft 378)	1.34	2.08	1.32		1.45	2.25	1.43		2.04	4.06	2.02		2.06	4.08	2.03		6.37	7.41	6.31	
Oberbauen/Scheidegg (Moorlandschaft 232)	861.78	633.72	565.90		878.50	634.67	580.35		903.53	640.97	603.59		1322.85	769.67	760.28		4871.68	2841.11	2831.51	
Petersinsel (Moorlandschaft 275)	47.46	0.42	0.42		48.13	0.42	0.42		49.71	0.42	0.42		50.56	0.42	0.42		52.02	0.42	0.42	
Pflätkersee (Moorlandschaft 4)	5.88	1.68	1.56		6.17	1.82	1.74		6.21	1.97	1.73		6.41	2.04	1.87		7.14	2.35	2.27	
Piano di Magadino (Moorlandschaft 260)	21.25	2.06	1.19		22.30	2.37	1.52		24.46	4.44	2.10		26.82	4.53	2.86		39.96	2.39	2.39	

Zerschneidungsgeometrie	2002				1980				1960				1935				1885			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Plan da San Franzesch (Moorlandschaft 369)	100.86	1.13	1.10		101.34	1.13	1.11		548.60	1.14	1.13		549.29	1.14	1.13		588.37	1.15	1.15	
Plauun Segnas Sut (Moorlandschaft 359)	1727.12	247.18	198.05		1739.90	248.74	242.37		1766.06	250.37	247.21		1771.62	251.15	248.19		2645.55	452.21	416.42	
Rief/Tamons (Moorlandschaft 319)	1727.12	1130.57	905.87		1739.90	1137.73	1108.58		1766.06	1145.18	1130.72		1771.62	1148.72	1135.22		2645.55	2068.35	1904.68	
Rothenthurm (Moorlandschaft 1)	11.58	46.76	11.35		14.82	47.09	14.58		17.05	188.68	16.80		18.17	203.15	17.92		34.41	465.70	33.85	
Rormoos/Eriz (Moorlandschaft 38)	353.77	496.56	351.01		379.60	497.90	375.54		621.01	884.02	616.82		870.33	887.96	836.37		1105.77	936.61	936.14	
Sägel/Lauerzesse (Moorlandschaft 235)	3.62	2.27	1.17		3.62	2.27	1.17		4.43	4.16	2.06		4.45	4.20	2.08		4.55	4.36	2.16	
San Bernardino (Moorlandschaft 53)	838.23	471.58	451.04		854.38	476.18	463.52		868.10	487.67	474.77		881.78	561.29	488.39		898.72	575.20	501.26	
Schwägälp (Moorlandschaft 62)	164.54	246.61	159.06		165.95	246.79	160.45		202.52	257.68	196.78		233.40	258.43	226.68		420.70	425.39	412.19	
Schwändital (Moorlandschaft 55)	299.21	664.27	295.15		312.84	667.68	308.61		736.09	804.62	654.82		790.15	872.63	708.64		2645.55	2076.01	1911.73	
Schwantenau (Moorlandschaft 3)	9.02	4.52	4.45		45.23	4.52	4.45		10.95	7.46	4.46		11.02	7.49	4.46		726.23	11.75	5.69	
Sparenmoos/Neuenberg (Moorlandschaft 118)	63.72	283.80	63.66		271.48	284.28	285.83		279.26	285.37	273.68		285.14	286.20	279.36		291.60	286.64	283.52	
Steingletscher (Moorlandschaft 419)	371.31	45.30	44.94		371.69	45.48	45.06		371.96	45.49	45.13		1322.85	570.61	563.66		4871.68	2106.34	2099.22	
Tamangur (Moorlandschaft 265)	418.04	19.78	19.74		422.84	19.80	19.55		426.76	19.81	19.81		426.94	19.81	19.81		426.97	19.81	19.81	
Tratza-Pany (Moorlandschaft 320)	894.70	308.34	289.37		903.30	309.04	297.96		908.99	313.54	302.16		915.36	314.10	307.13		920.37	315.58	308.60	
Unter Hüttenbüel (Moorlandschaft 132)	150.20	382.28	149.04		156.14	383.24	154.96		400.16	385.04	362.49		402.43	385.93	369.61		422.30	391.17	387.91	
Unterägeri (Moorlandschaft 105)	4.61	79.81	4.59		4.61	79.99	4.59		14.34	81.17	14.31		62.08	81.89	56.27		93.57	85.96	85.94	
Urnerboden (Moorlandschaft 357)	726.81	763.94	467.82		733.32	768.19	520.87		976.62	870.74	757.02		1017.75	921.63	797.71		2597.73	2030.81	1870.11	
Val Fenga (Moorlandschaft 226)	996.95	0.00	0.00		1006.17	0.00	0.00		1012.39	0.00	0.00		915.36	0.00	0.00		920.37	0.00	0.00	
Val da Campasc/Passo del Bernina (Moorlandschaft 421)	123.17	14.80	14.23		123.29	14.81	14.35		246.45	15.82	15.61		247.31	15.88	15.73		529.95	30.52	30.52	
Val da Sett (Moorlandschaft 263)	547.75	30.83	28.96		553.36	30.86	30.05		628.23	41.61	40.12		629.94	41.68	40.37		636.49	41.74	41.56	
Val de Réchy (Moorlandschaft 302)	2278.62	0.00	0.00		2316.14	0.00	0.00		4290.55	0.00	0.00		4594.00	0.00	0.00		4726.35	0.00	0.00	
Vallée de Joux (Moorlandschaft 21)	20.53	50.68	18.64		38.75	130.28	36.89		23.77	51.52	21.89		28.44	77.74	26.59		80.42	110.49	77.23	
Vorder Höhi (Moorlandschaft 324)	215.30	382.28	191.62		219.18	383.24	195.44		400.16	385.04	362.49		402.43	385.93	369.61		422.30	391.17	387.91	
Wetzikon/Hirwil (Moorlandschaft 106)	1.03	1.78	1.03		1.07	1.83	1.07		1.56	2.95	1.56		1.61	3.06	1.61		3.29	3.33	3.29	
Wolzenalp (Moorlandschaft 59)	150.20	382.18	149.00		156.14	383.14	154.92		400.16	384.94	362.39		402.43	385.84	369.51		422.30	391.07	387.82	
Zugerberg (Moorlandschaft 6)	9.37	79.45	9.37		11.01	79.62	11.00		10.88	80.81	10.88		78.53	81.79	71.12		93.49	85.86	85.84	
Moorlandschaften in gesamter Schweiz	384.73	250.74	185.28		393.20	284.78	192.66		598.95	466.37	315.75		731.40	497.74	424.45		984.39	682.09	589.09	
Moorlandschaften im Jura	14.72	42.20	14.36		20.11	58.37	19.76		31.33	43.18	30.96		34.10	49.67	33.73		55.91	67.82	55.22	
Moorlandschaften im Mittelland	110.77	8.07	1.91		112.25	8.79	2.42		116.60	12.34	4.51		122.20	13.08	8.38		132.74	15.51	12.29	
Moorlandschaften in der Alpenordflanke	363.08	345.99	251.65		372.27	398.20	261.44		626.63	689.17	453.27		818.95	702.87	624.50		1211.34	992.21	881.94	
Moorlandschaften in den Zentralalpen	893.58	80.48	64.49		905.78	81.11	66.80		1267.41	83.80	80.68		1327.32	90.91	81.36		1375.28	97.25	88.89	
Moorlandschaften in der Alpensüdflanke	680.81	348.74	314.41		693.75	352.26	324.58		789.45	335.12	327.32		808.70	674.86	335.03		840.73	685.14	343.04	
BLN und Moorlandschaften in der gesamten Schweiz	925.19	202.50	126.63		941.27	212.22	135.72		1336.80	250.43	210.52		1432.35	270.50	240.01		1896.42	431.19	396.83	

Zerschneidungsgeometrie	2002				1980				1960				1935				1885			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
BLN und Moorlandschaften im Jura	27.06	56.06	26.24		35.57	81.73	34.86		35.39	69.52	34.57		46.70	97.64	45.69		92.55	144.89	90.12	
BLN und Moorlandschaften im Mittelland	51.11	62.72	38.01		52.30	63.30	38.97		63.50	77.61	48.90		68.48	78.01	53.07		122.22	91.40	83.90	
BLN und Moorlandschaften in der Alpennordflanke	1052.77	331.84	229.63		1072.89	349.21	245.23		1295.27	440.08	364.03		1421.29	453.22	430.36		2389.64	790.91	773.88	
BLN und Moorlandschaften in den Zentralalpen	1520.95	115.40	55.96		1544.05	118.39	63.04		2122.29	136.47	120.50		2234.97	149.50	140.34		2869.11	235.37	221.46	
BLN und Moorlandschaften in der Alpensüdflanke	1183.96	382.97	234.49		1196.71	385.26	237.72		2599.98	398.36	394.20		2772.81	470.39	401.50		2872.00	555.76	468.99	

9.12 UZR in der Schweiz und in den Naturräumen von 1885 bis 2002

Tabelle 23: UZR in der Schweiz von 1995 bis 2002 (ZG 1 = „Zivilisationsdruck“, ZG 2 = „Trennelemente bis 2.-Kl.-Strassen“, ZG 3 = „Trennelemente bis 3.-Kl.-Strassen“, ZG 4 = „Landflächen unterhalb 2100 m“).

Schweiz insgesamt

Anzahl UZR > 100 km ²				
ZG	1	2	3	4
2002	41	40	38	38
1980	44	40	39	39
1960	36	38	35	35
1935	35	35	34	34
1885	39	32	35	35

Anzahl UZR > 50 km ²				
ZG	1	2	3	4
2002	58	71	64	64
1980	59	71	63	63
1960	59	72	61	61
1935	59	66	56	56
1885	64	65	61	61

Fläche UZR > 100 km ² (km ²)				
ZG	1	2	3	4
2002	21'825	13'238	10'864	10'864
1980	22'519	13'640	11'494	11'494
1960	23'301	14'580	12'713	12'713
1935	24'032	14'999	13'678	13'678
1885	26'400	16'180	15'690	15'690

Fläche UZR > 50 km ² (km ²)				
ZG	1	2	3	4
2002	22'978	15'350	12'742	12'742
1980	23'483	15'778	13'208	13'208
1960	24'831	16'999	14'521	14'521
1935	25'676	17'230	15'296	15'296
1885	28'102	18'523	17'576	17'576

Anteil der Fläche UZR > 100 km ² an Landesfläche				
ZG	1	2	3	4*
2002	53%	32%	26%	26(34)%
1980	55%	33%	28%	28(36)%
1960	56%	35%	31%	31(40)%
1935	58%	36%	33%	33(43)%
1885	64%	39%	38%	38(49)%

Anteil der Fläche UZR > 50 km ² an Landesfläche				
ZG	1	2	3	4*
2002	56%	37%	31%	31(40)%
1980	57%	38%	32%	32(42)%
1960	60%	41%	35%	35(46)%
1935	62%	42%	37%	37(48)%
1885	68%	45%	43%	43(55)%

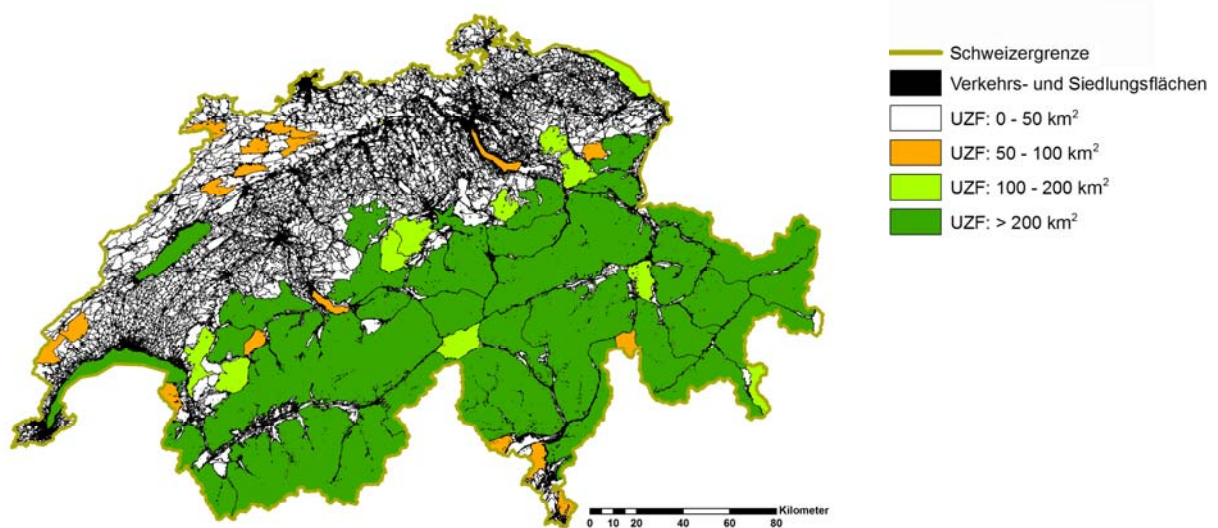


Abbildung 110: UZR nach ZG 1 im Jahr 2002.

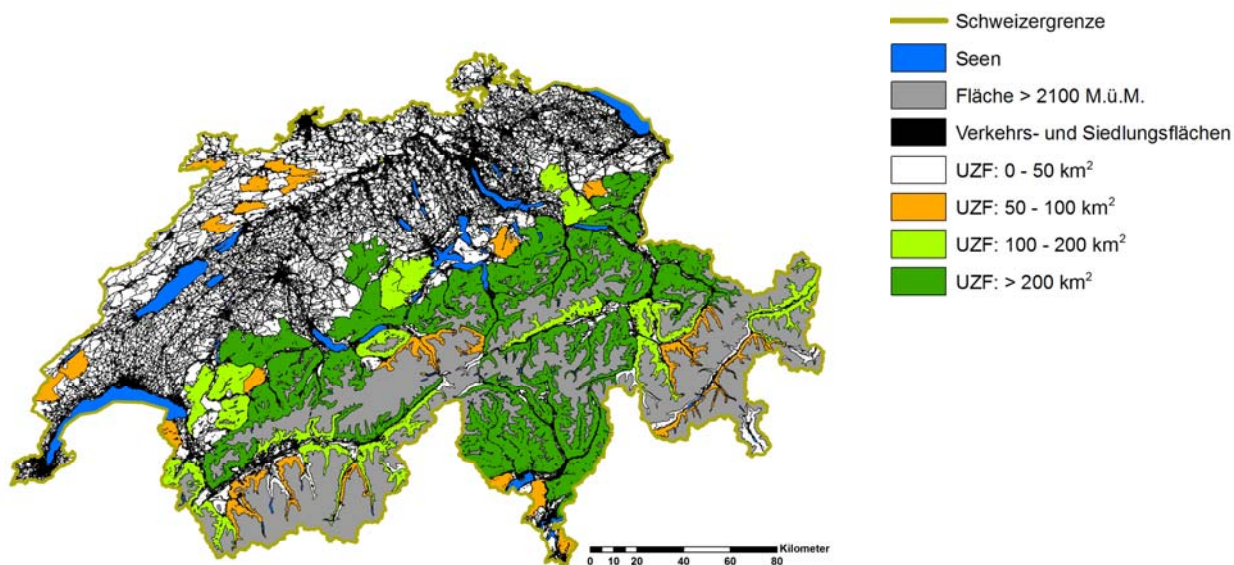


Abbildung 111: UZR nach ZG 4 im Jahr 2002.

Tabelle 24: UZR pro Naturraum von 1995 bis 2002 (ZG 1 = „Zivilisationsdruck“, ZG 2 = „Trennelemente bis 2.-Kl.-Strassen“, ZG 3 = „Trennelemente bis 3.-Kl.-Strassen“, ZG 4 = „Landflächen unterhalb 2100 m“). Die Zuordnung der UZR zu den einzelnen Naturräumen erfolgte anteilmässig, d.h. jedem Naturraum wurde nur der Anteil zugerechnet, der tatsächlich innerhalb des Naturraums liegt. Die Angabe der Zahl der UZR ist für die einzelnen Kantone nicht sinnvoll (siehe Abschnitt 2.2.3 und 3.2.1).

Jura

Fläche UZR > 100 km² (km²)

ZG	1	2	3	4
2002	6.1	657.3	0.0	0.0
1980	228.7	809.2	121.8	121.8
1960	112.1	1'040.6	104.7	104.7
1935	501.9	1'053.5	492.6	492.6
1885	1'346.9	1'409.4	1'194.8	1'194.8

Fläche UZR > 50 km² (km²)

ZG	1	2	3	4
2002	569.0	1'637.1	545.7	545.7
1980	679.1	1'890.1	650.9	650.9
1960	1'008.9	1'973.8	926.5	926.5
1935	1'318.3	1'992.4	1'228.5	1'228.5
1885	2'181.8	2'409.8	2'102.8	2'102.8

Anteil der Fläche UZR > 100 km² an Naturraumfläche

ZG	1	2	3	4*
2002	0%	15%	0%	0(0)%
1980	5%	18%	3%	3(3)%
1960	3%	23%	2%	2(2)%
1935	11%	23%	11%	11(11)%
1885	30%	31%	27%	27(27)%

Anteil der Fläche UZR > 50 km² an Naturraumfläche

ZG	1	2	3	4*
2002	13%	37%	12%	12(12)%
1980	15%	42%	15%	15(15)%
1960	22%	44%	21%	21(21)%
1935	29%	44%	27%	27(27)%
1885	49%	54%	47%	47(47)%

Mittelland

Fläche UZR > 100 km² (km²)

ZG	1	2	3	4
2002	1'118.12	553.07	384.81	384.81
1980	1'133.16	559.04	394.84	394.84
1960	1'215.09	680.97	461.59	461.59
1935	1'247.49	714.39	485.28	485.28
1885	1'695.91	983.38	799.29	799.29

Fläche UZR > 50 km² (km²)

ZG	1	2	3	4
2002	1'194.59	683.97	387.62	387.62
1980	1'212.02	690.77	399.78	399.78
1960	1'489.40	1'349.77	655.44	655.44
1935	1'661.46	1'434.84	714.06	714.06
1885	2'344.52	1'895.22	1'346.64	1'346.64

**Anteil der Fläche UZR > 100 km² an
Naturraumfläche**

ZG	1	2	3	4*
2002	9%	5%	3%	3(4)%
1980	9%	5%	3%	3(4)%
1960	10%	6%	4%	4(4)%
1935	10%	6%	4%	4(4)%
1885	14%	8%	7%	7(7)%

**Anteil der Fläche UZR > 50 km² an
Naturraumfläche**

ZG	1	2	3	4*
2002	10%	6%	3%	3(4)%
1980	10%	6%	3%	3(4)%
1960	12%	11%	5%	5(6)%
1935	14%	12%	6%	6(6)%
1885	20%	16%	11%	11(12)%

Alpen Nordflanke

Fläche UZR > 100 km² (km²)

ZG	1	2	3	4
2002	7'879.17	6'467.78	5'525.63	5'525.63
1980	8'185.55	6'491.03	5'920.99	5'920.99
1960	8'642.25	6'779.58	6'444.26	6'444.26
1935	8'808.78	7'006.96	6'720.19	6'720.19
1885	9'347.35	7'250.78	7'199.78	7'199.78

Fläche UZR > 50 km² (km²)

ZG	1	2	3	4
2002	8'125.66	6'864.83	6'026.99	6'026.99
1980	8'351.72	6'894.72	6'251.28	6'251.28
1960	8'752.85	7'066.27	6'630.53	6'630.53
1935	8'963.47	7'107.73	6'819.23	6'819.23
1885	9'446.87	7'294.63	7'243.60	7'243.60

**Anteil der Fläche UZR > 100 km² an
Naturraumfläche**

ZG	1	2	3	4*
2002	76%	63%	53%	53(65)%
1980	79%	63%	57%	57(70)%
1960	84%	66%	62%	62(76)%
1935	85%	68%	65%	65(79)%
1885	90%	70%	70%	70(85)%

**Anteil der Fläche UZR > 50 km² an
Naturraumfläche**

ZG	1	2	3	4*
2002	79%	66%	58%	58(71)%
1980	81%	67%	60%	60(74)%
1960	85%	68%	64%	64(78)%
1935	87%	69%	66%	66(80)%
1885	91%	71%	70%	70(85)%

Zentralalpen

Fläche UZR > 100 km² (km²)

ZG	1	2	3	4
2002	9'580.93	3'565.03	3'000.70	3'000.70
1980	9'708.98	3'671.62	3'093.40	3'093.40
1960	10'015.38	3'884.68	3'652.26	3'652.26
1935	10'131.97	4'014.47	3'902.54	3'902.54
1885	10'366.86	4'210.99	4'175.98	4'175.98

Fläche UZR > 50 km² (km²)

ZG	1	2	3	4
2002	9'658.24	3'930.04	3'595.68	3'595.68
1980	9'786.29	4'039.70	3'709.62	3'709.62
1960	10'015.38	4'256.38	4'017.32	4'017.32
1935	10'131.97	4'324.87	4'208.91	4'208.91
1885	10'366.86	4'431.33	4'396.18	4'396.18

**Anteil der Fläche UZR > 100 km² an
Naturraumfläche**

ZG	1	2	3	4*
2002	91%	34%	29%	29(61)%
1980	92%	35%	29%	29(62)%
1960	95%	37%	35%	35(74)%
1935	96%	38%	37%	37(79)%
1885	98%	40%	40%	40(84)%

**Anteil der Fläche UZR > 50 km² an
Naturraumfläche**

ZG	1	2	3	4*
2002	92%	37%	34%	34(73)%
1980	93%	38%	35%	35(75)%
1960	95%	40%	38%	38(81)%
1935	96%	41%	40%	40(85)%
1885	98%	42%	42%	42(89)%

Alpensüdflanke

Fläche UZR > 100 km² (km²)

ZG	1	2	3	4
2002	3'237.31	1'994.75	1'953.05	1'953.05
1980	3'259.56	2'108.44	1'963.13	1'963.13
1960	3'312.61	2'194.01	2'050.17	2'050.17
1935	3'338.52	2'209.47	2'077.63	2'077.63
1885	3'639.75	2'325.24	2'320.22	2'320.22

Fläche UZR > 50 km² (km²)

ZG	1	2	3	4
2002	3'427.66	2'233.09	2'185.14	2'185.14
1980	3'450.69	2'262.12	2'196.02	2'196.02
1960	3'561.04	2'352.46	2'290.75	2'290.75
1935	3'597.13	2'369.44	2'324.53	2'324.53
1885	3'757.86	2'491.45	2'486.40	2'486.40

Anteil der Fläche UZR > 100 km² an Naturraumfläche

ZG	1	2	3	4*
2002	81%	50%	49%	49(67)%
1980	82%	53%	49%	49(67)%
1960	83%	55%	51%	51(70)%
1935	84%	55%	52%	52(71)%
1885	91%	58%	58%	58(80)%

Anteil der Fläche UZR > 50 km² an Naturraumfläche

ZG	1	2	3	4*
2002	86%	56%	55%	55(75)%
1980	86%	57%	55%	55(75)%
1960	89%	59%	57%	57(79)%
1935	90%	59%	58%	58(80)%
1885	94%	62%	62%	62(85)%

* Der erste Wert gilt für Bezug auf die Gesamtfläche der Schweiz (daher gleicher Wert wie bei ZG 3), der zweite Wert (in Klammern) gilt für Bezug auf die Landfläche < 2100 m.

9.13 Siedlungsflächen und Verkehrsweglängen von 1885 bis 2002

Tabelle 25: Siedlungsflächen und Verkehrsweglängen von 1885 bis 2002.

	2002	1980	1960	1935	1885
Siedlungsflächen in km ² *	2'279.9	1'984.1	1'457.3	1'058.5	632.9
Autobahnen in km **	3'659.5	2'939.2	117.6	-	-
1. Kl.-Strassen in km	8'426.0	8'339.3	8'001.4	7'901.2	7'508.2
2. Kl.-Strassen in km	16'400.6	15'549.1	12'064.7	11'804.2	9'504.7
3. Kl.-Strassen in km	26'345.5	19'806.5	11'149.1	9'270.0	4'264.2
Quartierstrassen in km ***	14'208.7	13'085.3	9'305.3	7'858.8	4'692.4
Eisenbahnen in km ****	5'890.4	5'715.0	5'541.3	5'486.8	3'394.5

* Siedlungen, Anlagen, Staumauern und Dämme (zum Vorgehen bei der Digitalisierung siehe Abschnitt 2.1.3)

** richtungstrennte Autobahnen zählen doppelt

*** Quartierstrassen liegen praktisch ausschliesslich innerhalb der Siedlungsflächen

**** inklusive Rangiergeleise, Industriegeleise etc.

Die Längen der Stichstrassen für alle Zeitschnitte für die Schweiz und die Kantone wurden nach ZG 1 („Zivilisationsdruck“) bestimmt (Tabelle 26). Die Stichstrassen umfassen alle Strassenkategorien.

Zum Vergleich der Rolle der Stichstrassen wurden alle Stichstrassen erfasst, d.h. auch diejenigen, die innerhalb der Siedlungsgrenzen liegen (z.B. Einbahnstrassen). Die Stichstrassen innerhalb der Siedlungsflächen sind jedoch nicht zerschneidungsrelevant, weil die ganze Siedlungsfläche als Trennelement gerechnet wird. Dies betrifft insbesondere kleinere Kantone mit grossen Siedlungsflächenanteilen. So hat zum Beispiel Baselstadt eine Stichstrassenlänge von 41 km im Jahr 2002, von denen nur 3 km ausserhalb der Siedlungsflächen liegen.

Die Tabelle zeigt, dass in Zürich und Basel-Stadt die Länge der Stichstrassen ausserhalb der Ortschaften gegenüber 1885 abgenommen hat, während die Länge der Stichstrassen innerhalb der Ortschaften gestiegen ist. Die Abnahme der Länge der Stichstrassen ausserhalb der Ortschaften ist unter anderem eine Folge der zunehmenden Siedlungsfläche, die immer mehr Stichstrassen umfasst, und deutet daher nicht notwendigerweise auf eine Verringerung der Zerschneidung.

Bei der Interpretation der Daten zu den Stichstrassen ist ausserdem zu berücksichtigen, dass „Schlaufen“ nicht als Stichstrassen zählen. Derartige „Schlaufen“ bestehen z.B. in vielen Bergkantonen, in denen sie an den Hängen oder am Ende von Tälern als Erschliessungsstrassen gebaut werden. Eine schmale „Schlaufe“ ist allerdings sehr ähnlich wie eine Stichstrasse. Der Unterschied zwischen Stichstrassen und schmalen „Schlaufen“ ist daher graduell.

Bei der Berechnung der Längen dieser Stichstrassen tritt der Fehler auf, dass die Stichstrassen an den Kantons Grenzen im ArcGIS nicht ganz korrekt abgeschnitten werden. Deshalb ist die Summe der Stichstrassenlängen der Kantone etwas höher als die Summe der Stichstrassenlängen der ganzen Schweiz. Dieser Fehler bewegt sich je nach Zeitschnitt zwischen 0.1% und 1.2%.

Tabelle 26: Länge der Stichstrassen in ZG 1 für die Jahre 1885 bis 2002, in km.

Teilraum	Alle Stichstrassen (inkl. innerhalb von Siedlungen)					Stichstrassen (ausserhalb der Siedlungen)				
	2002	1980	1960	1935	1885	2002	1980	1960	1935	1885
Schweiz	14'988	11'795	8'422	8'257	5'887	11'481	9'080	6'608	7'136	5'491
Aargau	756	650	519	540	498	413	369	328	423	435
Appenzell A	109	76	51	52	30	82	56	34	40	27
Appenzell I	95	79	32	21	8	87	75	31	20	8
Basel Land	333	279	232	211	123	199	169	162	167	106
Basel Stadt	41	43	41	41	33	3	3	4	16	29
Bern	2'581	1'940	1'267	1'295	969	2'145	1'567	994	1'113	894
Freiburg	731	543	360	340	334	583	454	291	284	295
Genf	154	137	101	100	101	46	41	54	77	98
Glarus	192	142	81	66	45	174	126	66	57	40
Graubünden	1'368	1'011	556	501	257	1'270	932	495	451	244
Jura	376	291	179	175	189	317	243	149	153	149
Luzern	978	751	511	501	260	721	559	407	438	231
Neuenburg	301	249	237	234	175	226	187	194	207	161
Nidwalden	176	115	50	62	33	147	98	42	57	30
Obwalden	225	151	100	91	37	206	140	91	86	36
Schaffhausen	137	128	122	136	112	104	101	101	121	104
Schwyz	480	327	194	170	87	397	270	158	151	81
Solothurn	447	368	285	292	233	278	243	199	243	211
St.Gallen	994	729	512	551	271	749	566	398	483	245
Tessin	750	626	426	435	314	613	518	345	387	294
Thurgau	243	202	212	228	250	130	124	137	175	214
Uri	178	115	81	68	48	158	101	68	60	45
Waadt	1'071	906	794	771	642	802	707	670	686	604
Wallis	1'168	1'002	691	553	296	1'061	918	630	515	287
Zug	96	88	69	85	47	46	47	51	74	44
Zürich	1'041	861	742	759	559	458	414	456	591	509