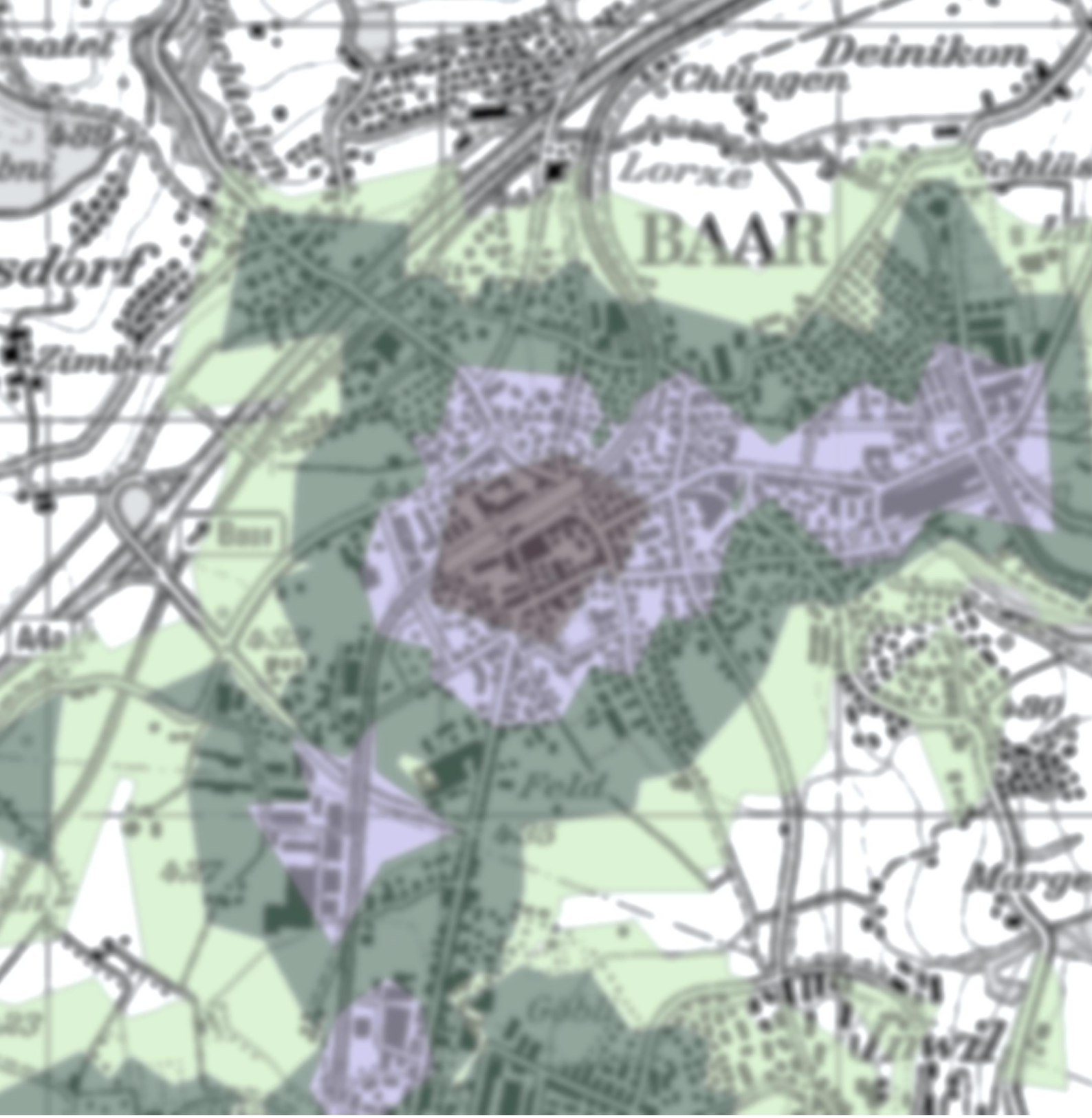


Zur Haltestelle – dem Weg und nicht der Nase nach

CAS GIS in der Planung - Herbst 2014

Projektarbeit von Miro Meyer
miro.meyer@gmx.ch

HSR
HOCHSCHULE FÜR TECHNIK
RAPPERSWIL
FHO Fachhochschule Ostschweiz

Inhalt

Ausgangslage und Ziel ... 3
Vorgehen und Modellannahmen ... 5
Verwendete Geodaten und Organisation ... 7
Umsetzung ... 7
Eingrenzung der Daten ... 7
Verknüpfung von Höhenmodell und TLM Strasse ... 8
Berechnung der Wegzeiten ... 9
Erstellung des Netzwerk-Datensatzes ... 10
Berechnung der Einzugsgebiete ... 12
Berechnung der ÖV-Güteklassen ... 14
Bereinigung der ÖV-Güteklassen ... 15
Kartenerstellung über Data Driven Pages ... 17
Diskussion der Ergebnisse ... 18
Persönliches Erkenntnisse ... 20
Literatur ... 20
Anhang ... 21

Abbildungen

Abbildung 1: Faktoren zur Berechnung der ÖV-Güteklassen (ARE 2011) ... 3
Abbildung 2: Beispiel von ÖV-Güteklassen (map.geo.admin.ch) ... 3
Abbildung 3: Bushaltestelle nahe der Autobahn (aus Google Street View) ... 4
Abbildung 4: Grobvorgehen für die Berechnung der ÖV-Güteklassen ... 6
Abbildung 5: Eingrenzung der Daten mit 'select' ... 8
Abbildung 6: Übergabe der Höheninformationen an die Strassen- und Wegsegmente ... 9
Abbildung 7: Längen und Höhendifferenzen ... 9
Abbildung 8: Berechnung der Wegzeiten ... 10
Abbildung 9: Parameter des Netzwerk-Datensatzes ... 11
Abbildung 10: Berechnung der Einzugsgebiete ... 12
Abbildung 11: Ausschnitt aus dem Ergebnis der Service Area-Berechnung ... 13
Abbildung 12: Vorbereitung für die Berechnung der ÖV-Güteklassen ... 13
Abbildung 13: Berechnung der ÖV-Güteklassen ... 15
Abbildung 14: Entflechten und wieder zusammenführen der ÖV-Güteklassen ... 15
Abbildung 15: Bestimmen der jeweils höchsten Güteklasse ... 16
Abbildung 16: Ausschnitt aus dem definitiven Ergebnis ... 16
Abbildung 17: Kartendarstellung der Ergebnisse für die Gemeinden Baar ... 17
Abbildung 18: Vergleich der ÖV-Güteklassen am Beispiel Rotkreuz ... 18
Abbildung 19: Relevante Haltestelle für die Güteklasse A ... 19
Abbildung 20: Lücke und fehlende Strasse im TLM Strasse ... 19

Ausgangslage und Ziel

Die ÖV-Erschliessungsgüte ist eine wichtige Einflussgrösse für die Raumentwicklung. Die Antwort auf die Frage, wie gut eine bestimmte Lage mit dem öffentlichen Verkehr erschlossen ist, hat weitreichende Folgen für die Beurteilung von Bauzonen und für die Planung neuer Siedlungs- und Arbeitsplatzgebiete. Die Berechnungsmethode der ÖV-Erschliessungsgüte war ursprünglich in der Schweizer Norm SN 640 290 definiert und basiert auf der Kategorie und der Erreichbarkeit einer Haltestelle. Die Kategorie ergibt sich aus der Art der Verkehrsmittel und der zeitlichen Intervalle, mit welchen diese die Haltestelle bedienen. Die Erreichbarkeit wird über die Luftliniendistanz abgebildet. Die Norm SN 640 290 wurde 2006 durch eine neue Norm abgelöst, welche die ÖV-Güteklassen nicht mehr beinhaltet. Das Bundesamt für Raumentwicklung ARE orientiert sich deshalb methodisch mit wenigen Abweichungen weiterhin an der alten Norm (ARE 2011).

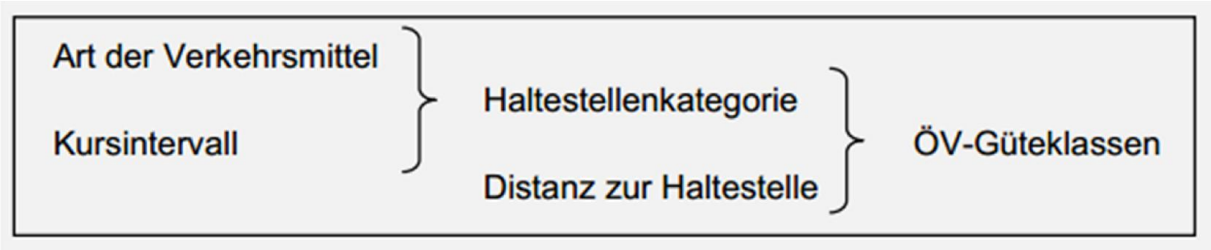


Abbildung 1: Faktoren zur Berechnung der ÖV-Güteklassen (ARE 2011)

Bei der effektiven Berechnung der zurzeit gültigen ÖV-Güteklassen verzichtete das ARE zugunsten der landesweiten Vergleichbarkeit auf die Berücksichtigung besonderer Umstände wie etwa schwierige topographische Verhältnisse. Gemäss Norm müsste die resultierende Güteklasse bei "schwieriger Topographie oder grossen Höhendifferenzen" um eine Klasse nach unten korrigiert werden (ARE 2011).

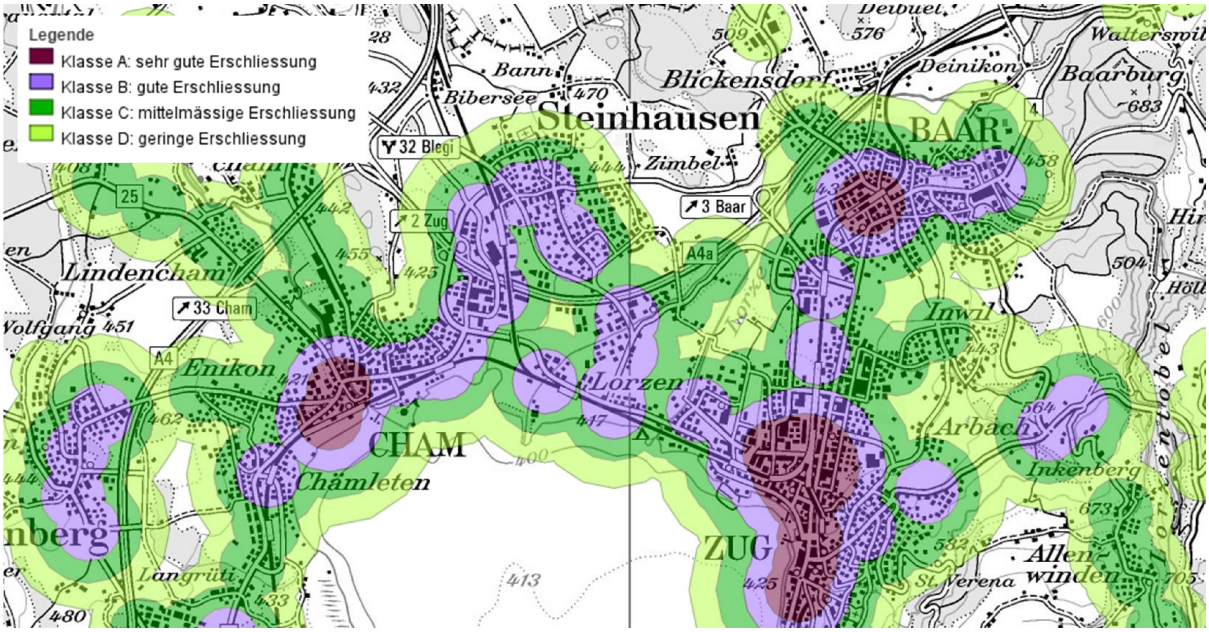


Abbildung 2: Beispiel von ÖV-Güteklassen (map.geo.admin.ch)

Die Operationalisierung der Erreichbarkeit einer Haltestelle über die Luftliniendistanz stellt eine starke Vereinfachung der Realität dar. Ein bestimmter Punkt mag zwar innerhalb eines berechneten konzentrischen Kreises liegen, die Erreichbarkeit der entsprechenden Haltestelle von diesem Punkt aus aber durch fehlende Infrastruktur oder trennende Elemente wie Autobahnen, Flüsse oder topographische Hindernisse beeinträchtigt sein. Es stellt sich die Frage, wie präzise die Erreichbarkeit durch die Luftliniendistanz abbildet wird bzw. wie die ÖV-Güteklassen aussehen würden, wenn die oben genannten Faktoren berücksichtigt würden. Es ist deshalb Ziel dieser Arbeit, die Erreichbarkeit der Haltestellen basierend auf dem tatsächlich vorhandenen Wegnetz und unter Berücksichtigung topographischer Verhältnisse neu zu berechnen und die Ergebnisse für den Vergleich mit den bereits vorliegenden ÖV-Güteklassen kartographisch aufzubereiten. Die Erreichbarkeit soll dabei über die Zeit operationalisiert werden, die man von einem bestimmten Punkt aus braucht, um eine Haltstelle zu Fuss dem Wegnetz folgend zu erreichen.

Abbildung 3: Bushaltestelle nahe der Autobahn (aus Google Street View)

Die Analyse wird in ArcGIS 10.2 durchgeführt. Methodisch kommen dafür sowohl eine Vektor- als auch eine Rasteranalyse in Frage. Da eine ähnliche Fragestellung im Kurs bereits mit einer Rasteranalyse bearbeitet wurde, kommt hier eine Vektoranalyse zum Einsatz. Konkret liegt der methodische Fokus auf der Anwendung des *Network Analyst*, der Toolbox für Netzwerkanalysen in ArcGIS. Die Kartendarstellungen der Ergebnisse werden für die einzelnen Gemeinden des Untersuchungsgebietes über *Data Driven Pages* - ebenfalls eine Funktion in ArcGIS - generiert. Der Vergleich der ÖV-Güteklassen wird beispielhaft auf dem Gebiet des Kantons Zug angestellt.

Zeitlich stehen für diese Arbeit und die Präsentation der Ergebnisse die dafür vorgesehenen Tage im Kursprogramm sowie ca. 5 Tage nach Abschluss des CAS zur Verfügung. Abgabe ist am 9. März 2015. Um den zeitlichen Rahmen einzuhalten, sollen folgende Meilensteine zu den entsprechenden Terminen erreicht werden:

Meilensteine

- Berechnung der ÖV-Güteklassen bis zu den Weihnachtsferien 2014
- Abschluss der GIS-Analyse bis am 17. Januar 2015
- Generieren der Karten und Erstellen der Präsentation bis am 30. Januar 2015
- Abschluss der Dokumentation bis am 9. März 2015

Die vorliegende Arbeit ist als technischer Bericht verfasst und beschreibt die einzelnen Arbeitsschritte sowie die aufgetretenen Schwierigkeiten in chronologischer Reihenfolge. Die Interpretation der Ergebnisse und die kritische Beurteilung der angewendeten Methode werden zum Schluss diskutiert.

Vorgehen und Modellannahmen

Der grobe Ablauf für die Berechnung der ÖV-Güteklassen, so wie ich mir das Vorgehen zu Beginn überlegt habe, zeigt untenstehende Abbildung 4. Im Grunde geht es darum, die für Zufussgehende begehbaren Strasssen und Wege zu ermitteln, diesen aufgrund der Topographie Steigungen zuzuordnen und dann ausgehend von den Haltestellen Einzugsgebiete mit bestimmten Wegzeiten zu berechnen. Genau dies bietet der *Network Analyst* mit der Funktion *Service Areas* (Einzugsgebiete).

Um dieses Vorgehen umzusezten, müssen zuerst zwei Annahmen getroffen werden. Die erste Annahme betrifft die für Zufussgehnde nutzbaren Strassen und Wege. Der zur Verfügung stehende Strassen-Datensatz enthält keine Angaben über vorhandene Trottoirs oder Querungen. Es muss deshalb davon ausgegangen werden, dass vorhandene Strassen und Wege mit Ausnahme von Nationalstrassen und Autostrassen sowie zugegehörige Rampen und Verbindungsstrassen für Zufussgehnende nutzbar sind und keine Einschränkungen für das Abbiegen bestehen . Strassenquerungen bzw. die Trennwirkung der Strassen werden nicht berücksichtigt.

Die zweite Annahme betrifft die Geschwindigkeit, mit der sich Zufussgehende durchschnittlich fortbewegen. Für die Berechnung der Wegzeiten auf Wanderwegen in der Schweiz werden folgende Geschwindigkeiten angenommen:

- In der Ebene 4.2 km/h (70 m/min)
- Zusätzliche Höhenmeter bergauf oder bergab 300 m/h (5m/min)

Für eine Strecke von 4.2 km und 300 Meter Höhendifferenz werden also 2 Stunden benötigt (Alternatives-Wandern.ch).

Welche Annahmen den konzentrischen Kreisen von 300 m, 500 m, 750 m und 1'000 m der ÖV-Güteklassen gemäss Norm zugrunde liegen, ist nicht bekannt. Folgende Tabelle zeigt die den Radien der Kreise entsprechenden Wegzeiten für unterschiedliche Geschwindigkeiten:

	4 km/h = 66.666… m/min	**4.2 km/h** = 70 m/min	**5 km/h** = 83.333… m/min
300 m	4.5 min	4.3 min	3.6 min
500 m	7.5 min	7.1 min	6 min
750 m	11.25 min	10.7 min	9 min
1000 m	15 min	14.3 min	12 min

Die Zahlen in der Tabelle lassen keine klare Annahme zu, deshalb wird in dieser Arbeit die Wegzeitberechnung der Schweizer Wanderwege übernommen und mit 4.2 km/h in der Ebene und 300 m/h für zusätzliche Höhenmeter, bergauf und bergab, gerechnet.

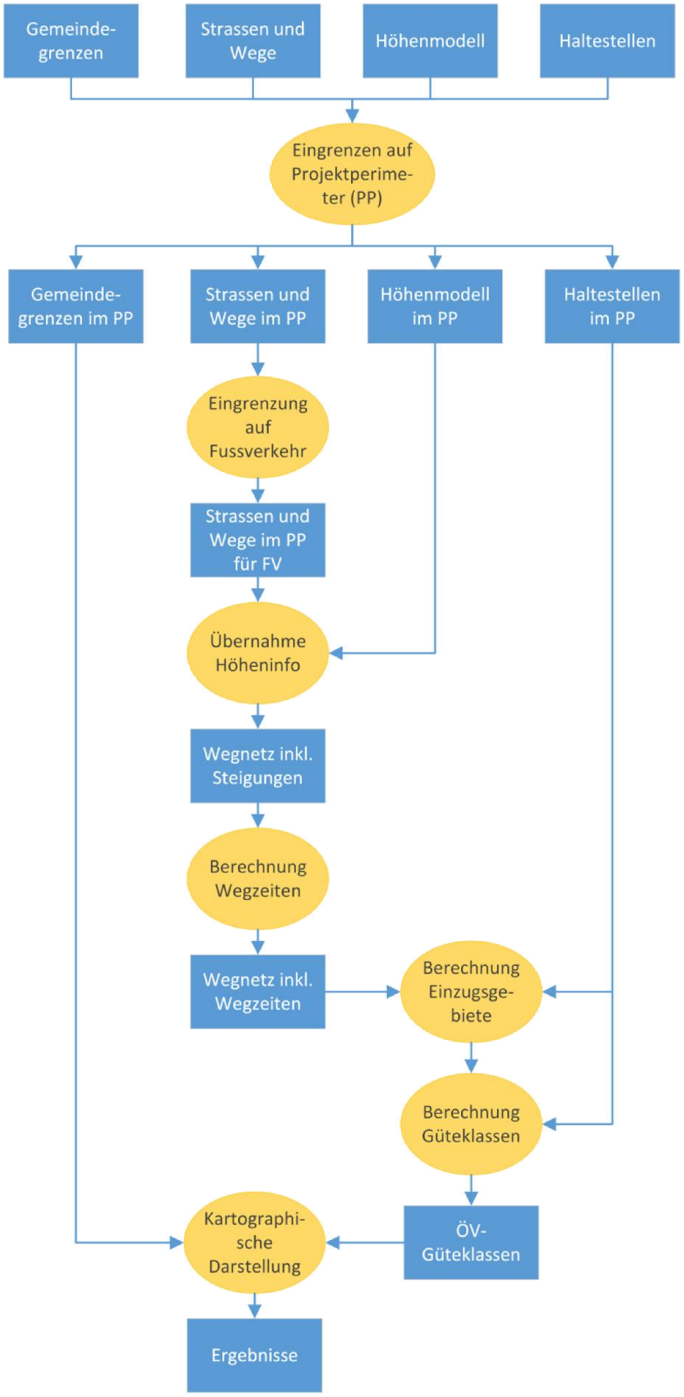


Abbildung 4: Grobvorgehen für die Berechnung der ÖV-Güteklassen

Die konkrete Umsetzung des Vorgehens wird auf den nächsten Seiten beschrieben. Zuerst werden im folgenden Abschnitt noch die verwendeten Geodaten und deren Organisation erläutert.

Verwendete Geodaten und Organisation

Für die Neuberechnung der ÖV-Güteklassen wurden folgende Geodaten von der Geodateninfrastruktur der HSR bezogen und verwendet:

Daten	Datensatz	Herkunft
Strassen- und Wegnetz	TLM-Strasse	swisstopo
Geländehöhen	SwissALTI3D	swisstopo
Haltestellen und Kategorien	Haltestellen	ARE
Gemeindegrenzen und Seen	SwissBoundaries	ARE
Herkömmliche ÖV-Güteklassen	ÖV-Güteklassen	ARE

Das TLM-Strasse beinhaltet sämtliche Strassenkategorien und Fusswegen und stellt somit gegenwärtig den umfangreichsten Strassendatensatz dar, der Schweiz weit verfügbar ist. Zusammen mit dem swissALTI3D-Höhenmodell mit 2m-Auflösung liefert die swisstopo eine gute und genaue Grundlage für die Berechnung von Wegzeiten. Unsicherheiten bezüglich Lagegenauigkeit gibt es beim Datensatz der Haltestellen des ARE, wo in einzelnen Fällen Abweichungen von beinahe 100m festgestellt werden können. Für diese Arbeit spielt dies jedoch keine Rolle, da es in erster Linie darum geht, Methoden zu vergleichen. In Bezug auf die Bewertung von Bauzonen wäre eine Überprüfung der Lagegenauigkeit der Haltestellen angebracht. Die Gemeindegrenzen und Seen wurden für die Eingrenzung des Untersuchungsgebietes und für die kartographische Darstellung verwendet.

Für diese Arbeit habe ich mit zwei unterschiedlichen *.mxd-Projekten gearbeitet. Das eine diente der Sichtung und dem Export von Geodaten auf den GIS-Servern der HSR. Im anderen habe ich nur mit lokalen Dateien gearbeitet und sämtliche Berechnungen vorgenommen. Die Ergebnisse wurden jeweils als *Feature Class* in einer *File Geodatabase* gespeichert. Dieses Vorgehen hat sich bewährt, da stets klar war, welche Daten lokal und welche nur über das HSR-Netzwerk verfügbar sind. Ausserdem habe ich alle Prozessschritte im *Model Builder* abgebildet, sofern dies möglich war.

Umsetzung

Im Folgenden werden die einzelnen Schritte der Umsetzung sowie die damit verbundenen Schwierigkeiten beschrieben. Zu den Arbeitsschritten sind jeweils die entsprechenden Ausschnitte aus dem Prozess im *Model Builder* abgebildet. Der gesamte Prozess findet sich im Anhang auf den Seiten 32 und 33.

Eingrenzung der Daten

Der erste Schritt bestand darin, die für die gesamte Schweiz vorliegenden Geodaten auf einen einzelnen Kanton einzugrenzen, da die Berechnung für die ganze Schweiz zu rechenintensiv gewesen wäre. Ursprünglich habe ich den Kanton Zürich gewählt, doch bereits diese Grösse hat zu Problemen geführt (vgl. Kapitel Verknüpfung von Höhenmodell und TLM Strasse). In der Folge habe ich mich für den etwa zehnmal kleineren Kanton Zug entschieden.

Als Grundlage für die Eingrenzung dienten die Gemeinden, welche über die Kantonsnummer selektiert und als neuen Datensatz gespeichert wurden. Die Strassen und Haltestellen konnten dann über einen räumlichen Verschnitt mit den Gemeinden selektiert und ebenfalls abgespeichert werden. Das Höhenmodell habe ich manuell über den geeigneten Bildschirmausschnitt und nicht im *Model Builder* exportiert.

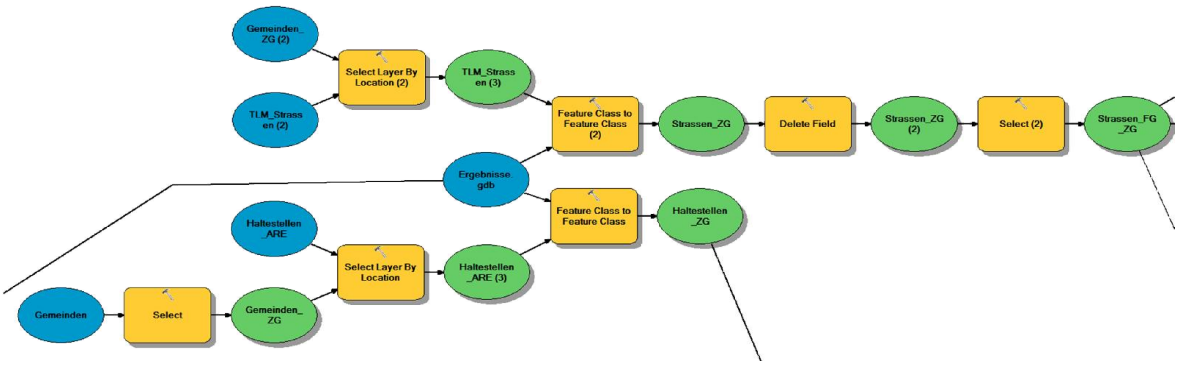


Abbildung 5: Eingrenzung der Daten mit 'select'

Nach dem räumlichen Eingrenzen mussten aus dem Datensatz TLM Strasse noch die für Zufussgehende nutzbaren Strassen und Wege ausgewählt werden. Dies geschah über die Selektion der entsprechenden Codes, welche im Objektkatalog zu TLM Strasse dokumentiert sind. Einen Grossteil der Attribute von TLM Strasse habe ich danach über *Delete Field* gelöscht, da diese nicht benötigt werden und so die Übersicht insbesondere nach Tabellenverknüpfungen erhalten bleibt.

Schwierigkeiten

In einem ersten Versuch habe ich die Strassen und Wege nicht über *Select by Location* sondern über *Clip* mit den Gemeinden verschnitten. Dies hat dazu geführt, dass die Kantonsgrenze mehrfach querende Strassen zu *Multiparts* verschnitten wurden. Später bei der Übergabe der Höheninformationen an die Strassen erhielten diese aufgrund der geringen Segmentlänge und der grossen Höhenunterschiede sehr unrealistische Steigungen. Nur deshalb habe ich den Fehler bemerkt und korrigiert. Die Analyse enthält deshalb nun Strassen, die über die Kantonsgrenze hinauslaufen.

Verknüpfung von Höhenmodell und TLM Strasse

Der nächste Schritt bestand darin, die Höheninformationen des Geländemodells auf die ausgewählten Strassen- und Wegesegmente zu übertragen und die Höhendifferenzen zu berechnen. Dies hätte einfach in einem Schritt über die Funktion *Add Surface Information* erreicht werden können. Zu diesem Zeitpunkt bin ich jedoch noch davon ausgegangen, dass ich bei der Berechnung der Wegzeiten auch die Gehrichtung mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten bergauf und bergab berücksichtigen werde. Aus diesem Grund habe ich zuerst über *Feature Vertices to Points* die Anfangs- und Endpunkt für jedes Segment generiert und diesen Punkten dann die Höheninformationen aus dem Geländemodell übertragen. Aus der Differenz der beiden Werte ergibt sich dann der Höhenunterschied pro Segment und die Richtung der Steigung bzw. des Gefälles.

Abbildung 6: Übergabe der Höheninformationen an die Strassen- und Wegsegmente

Aus dem Geländemodell habe ich nicht nur die Höhen an den Endpunkten sondern auch die Oberflächenlängen für die einzelnen Segmente übernommen. Die Oberflächenlängen werden bei der Berechnung der Einzugsgebiete neben der Wegzeit als Kostenattribut verwendet. Untenstehende Abbildung 7 zeigt die unterschiedlichen Längen und die Höhendifferenz.

Schwierigkeiten

Um die Höhenwerte der Anfangs- und Endpunkten an die Strassen und Wege selbst zu übergeben, mussten die Attribute beider Datensätze über einen *Table Join* verknüpft werden. Dabei handelt es sich um einen sehr rechenintensiven Prozess. Beim ersten Versuch mit dem Kanton Zürich ist mein Rechner an den ca. 150'000 Segmenten gescheitert. Für den Kanton Zug mit ca. 15'000 Segmente dauerte dieser Schritt immer noch über zweimal zwei Stunden. Hier bestünde die Herausforderung, wollte man mit dieser Methode ÖV-Güteklassen für die gesamte Schweiz berechnen.

Berechnung der Wegzeiten

Die horizontale (=Segmentlänge) und die vertikale Distanz (=Höhendifferenz) waren nun für jedes Segment bekannt. Für die Berechnung der Wegzeiten habe ich neue Attributfelder eingefügt, die Distanzen durch die entsprechenden Geschwindigkeiten von 70 m/min und 5 m/min dividiert und beide Werte summiert. Das Ergebnis war der zeitliche Aufwand in Minuten, um diesen Strassen- bzw. Wegabschnitt zu Fuss zurückzulegen.

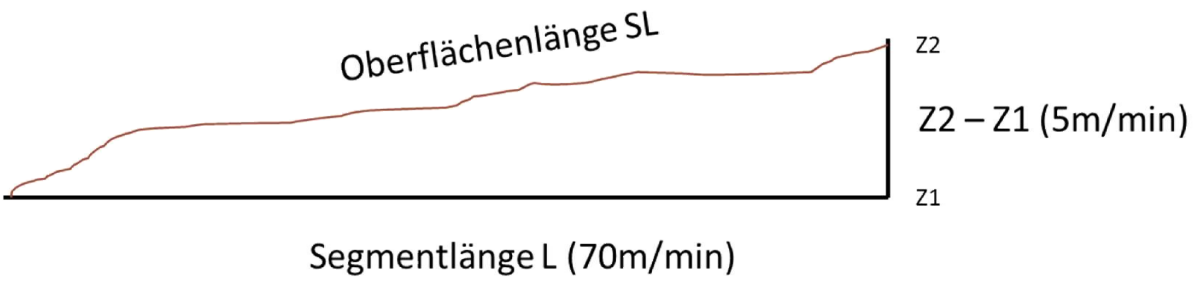


Abbildung 7: Längen und Höhendifferenzen

Auf die Berücksichtigung der Richtung der Steigung habe ich schlussendlich verzichtet. Hauptargument war, dass grundsätzlich beide Wege hin zur Haltestelle und wieder zurück zurückgelegt werden müssen. Zudem spielt die Richtung so oder so keine Rolle mehr, werden für Steigungen und Gefälle die gleichen Gehgeschwindigkeiten angenommen. Die negativen Höhendifferenzen wurden also mit -1 multipliziert. Schwierigkeiten gab es bei diesem Arbeitsschritt keine.

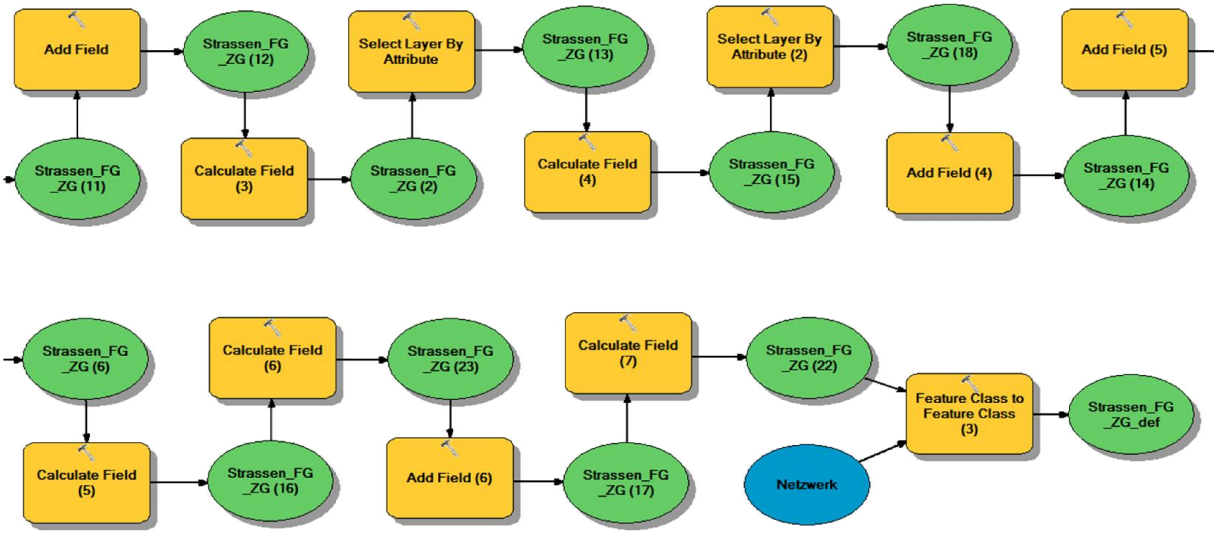


Abbildung 8: Berechnung der Wegzeiten

Erstellung des Netzwerk-Datensatzes

Der nächste Schritt bestand darin, den Netzwerk-Datensatz für die spätere Berechnung der *Service Areas* zu erstellen. Dieser Schritt ist nicht im *Model Builder* abgebildet. Zuerst habe ich in der *Geodata Base* einen neuen leeren Datensatz erstellt und dann die aufbereiteten Strassen- und Wegsegmente importiert. Auf dieser Grundlage konnte ich nun den Netzwerk-Datensatz erstellen.

Damit die auf dem Netzwerk basierenden Berechnungen die erwarteten Ergebnisse liefern, müssen bereits bei der Erstellung gewisse Parameter gesetzt werden. Die Abbildung 9 zeigt die in diesem Fall gesetzten Parameter. Die einzelnen Punkte bedeuten Folgendes:

- **Turns**: Global Turns = an Knoten gibt es keine Einschränkungen was das Abbiegen betrifft. Zufussgehende können in alle Richtungen abbiegen.

- **Connectivity**: Endpoints = die einzelnen Strassen- und Wegsegmente sind nur an ihren Endpunkten miteinander verbunden. Das TLM Strasse bildet beispielsweise Über- und Unterführungen so ab, dass die sich kreuzenden Segmente am Schnittpunkt keinen Knoten enthalten. Beim Erstellen des Netzwerk-Datensatzes werden diese *Vertices* aber nicht übernommen, sondern neu generiert. Würde hier die Option *Any Vertices* gewählt, wären die entsprechenden Segmente auch an ihrem Schnittpunkt miteinander verbunden.

```
Summary:
Name: Netzwerk_ZG
Type: Geodatabase-Based Network Dataset
Version: 10.1

Sources:
  Edge Sources:
    Strassen_FG_ZG_def

Turns:
  <Global Turns>

Connectivity:
  Group 1:
    Edge Connectivity:
      Strassen_FG_ZG_def (End Point)

Elevation Model: None

Attributes:
  Length:
    Usage Type: Cost
    Data Type: Double
    Units Type: Meters
    Use by Default: True
    Source Attribute Evaluators:
      Strassen_FG_ZG_def (From-To): Field
          Language: VBScript
          Expression: [SLength]
      Strassen_FG_ZG_def (To-From): Field
          Language: VBScript
          Expression: [SLength]
    Default Attribute Evaluators:
      Default Edges: Constant = 0
      Default Junctions: Constant = 0
      Default Turns: Constant = 0
  Time:
    Usage Type: Cost
    Data Type: Double
    Units Type: Minutes
    Use by Default: False
    Source Attribute Evaluators:
      Strassen_FG_ZG_def (From-To): Field
          Language: VBScript
          Expression: [t_total]
      Strassen_FG_ZG_def (To-From): Field
          Language: VBScript
          Expression: [t_total]
    Default Attribute Evaluators:
      Default Edges: Constant = 0
      Default Junctions: Constant = 0
      Default Turns: Constant = 0

Directions:
  Directions Ready: No
    -Length Attribute Required
```

Abbildung 9: Parameter des Netzwerk-Datensatzes

- **Elevation**: none = es werden keine Strassenebenen berücksichtigt. Das TLM Strasse bildet unterschiedliche Strassenebenen, z. B. bei Unterführungen, über unterschiedliche Stufen ab. Diese können bzw. müssen aber nicht verwendet werden. Unterschiedliche Strassenebenen sind wie oben beschrieben bereits über die Segmentierung abgebildet. Ausserdem bestehen keine Verbindungen zwischen den Stufen, d. h. die entsprechenden Segmente wären an ihren Endpunkten gar nicht verbunden. Die Stufe dient lediglich der Kennzeichnung von darüber oder darunter laufenden Segmenten.

- **Attbributes**: Length [SLength] m (cost) / Time [t_total] min (cost) = sowohl Länge als auch Zeit werden als Kostenattribute verwendet. Als Länge dient das Attribut *Oberflächenlänge* und für die Zeit wird die zuvor berechnete gesamte Wegzeit verwendet.

- **Directions**: No = wie bereits erwähnt, gibt es keine richtungsabhängige Attribute und es werden deshalb auch keine Richtungen verwendet.

Mit diesen Einstellungen konnte der Netzwerk-Datensatz erstellt und für die weitere Berechnung der Einzugsgebiete verwendet werden. Schwierigkeiten gab es auch hier keine.

Berechnung der Einzugsgebiete

Um die Einzugsgebiete der Haltestellen berechnen zu können, musste ich zuerst einen *Service Area Layer* erstellen und diesem die Haltestellen hinzufügen. Diese Arbeitsschritte sind wieder im *Model Builder* abgebildet. Bereits beim Erstellen des *Service Area Layers* müssen die Einstellungen so vorgenommen werden, dass später das gewünschte Ergebnis resultiert. Mit diesen Einstellungen habe ich einige Male geübt, bis ich die konkreten Auswirkungen verstanden und sinnvolle Einzugsgebiete erhalten habe.

Wie bereits erwähnt, dient die oben berechnete Reisezeit pro Segment als Kostenattribut. Die Schwellenwerte für die Berechnung der Einzugsgebiete müssen deshalb in Minuten angegeben werden. Die Schwellenwerte habe ich aus den Radien der Kreise der herkömmlichen ÖV-Güteklassen und der angenommenen Geschwindigkeit von 4.2 km/h abgeleitet. Die Radien enthalten gemäss der Dokumentation der Berechnungsmethode Umwegfaktoren von 20 - 30 %. Aus diesem Grund habe ich mit um 25 % grösseren Radien gerechnet habe. Die folgende Tabelle zeigt die verwendeten Schwellenwerte:

Distanz	**Zeit**
300 m + 25% = 375 m	5.36 min
500 m + 25% = 625 m	8.93 min
750 m + 25% = 937.5 m	13.39 min
1000 m + 25% = 1250 m	17.86 min

Die zweite wichtige Einstellung beeinflusst die resultierenden Polygone der Einzugsgebiete. Hier kann zwischen simplen oder detaillierten Polygonen ausgewählt werden, wobei der Unterschied im Ergebnis in diesem Fall gering ist. Weiter kann eingestellt werden, dass sich Polygone überlappen sollen, nicht überlappen sollen oder zusammengefügt werden, wenn sie sich berühren und den gleichen Schwellenwert besitzen. Da Polygone mit gleichem Schwellenwert aufgrund unterschiedlicher Haltestellenkategorien unterschiedliche ÖV-Güteklassen ergeben können, werden hier keine Polygone zusammengefügt. Und damit das Ergebnis nicht verfälscht wird, müssen sich die verschiedenen Einzugsgebiete überlappen können. Es wurden also simple Polygone mit Überlappungen generiert.

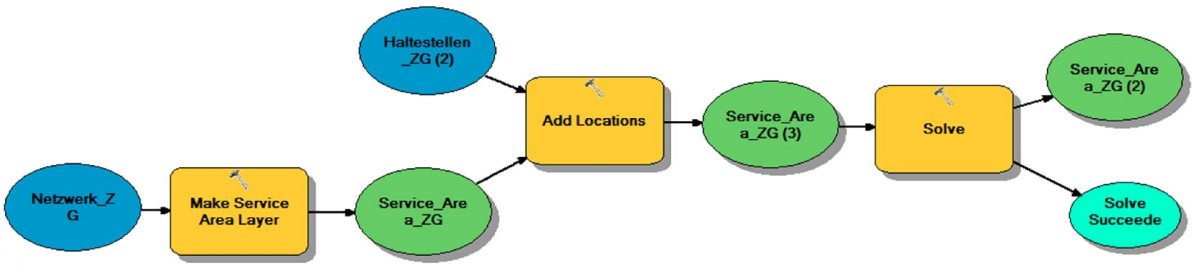


Abbildung 10: Berechnung der Einzugsgebiete

Der nächste Schritt bestand darin, dem *Service Area Layer* die Haltestellen über *Add Locations* hinzuzufügen. Dabei habe ich keine Distanztoleranz gewählt, damit alle Haltestellen unabhängig von ihrer Entfernung zur nächsten Strasse berücksichtigt werden.

Danach konnten über die Funktion *Solve* die Einzugsgebiete der Haltestellen für die unterschiedlichen Schwellenwerte und basierend auf den vorgenommenen Einstellungen berechnet werden. Das Ergebnis beinhaltet vier Polygone pro Haltestelle, d. h. insgesamt 1'252 Polygone für 308 Haltestellen. Aufgrund der mehrfachen Überlappungen ist die Situation noch sehr unübersichtlich und muss nun bereinigt werden.

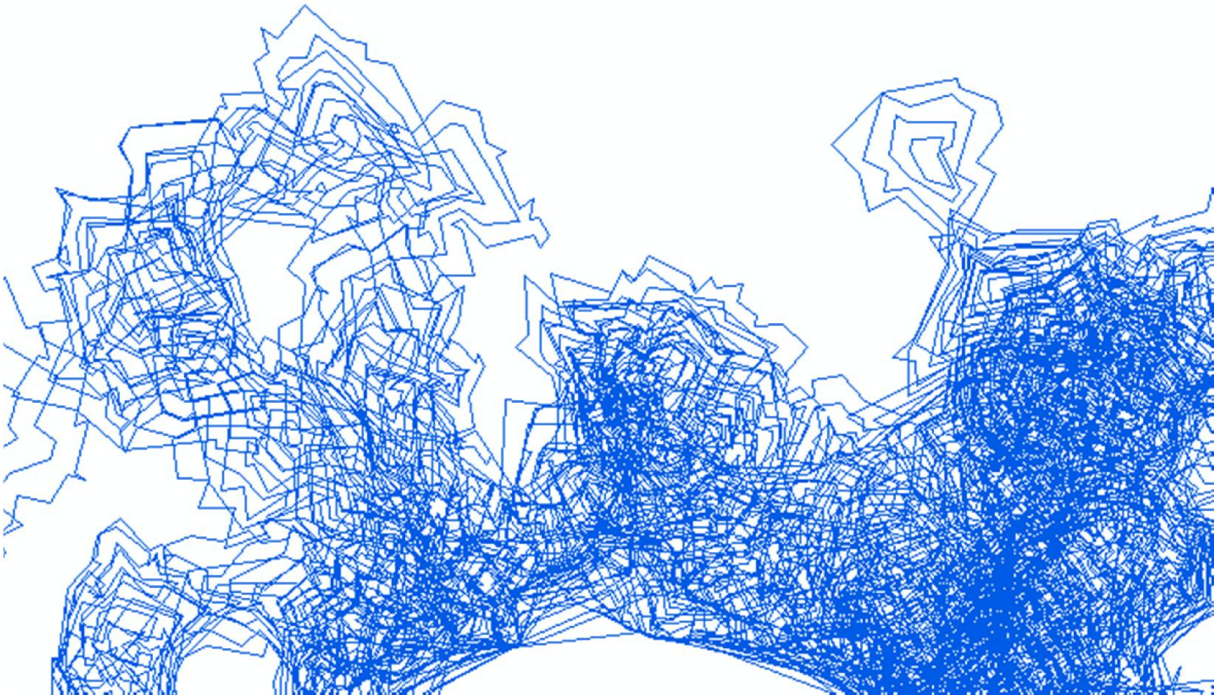


Abbildung 11: Ausschnitt aus dem Ergebnis der Service Area-Berechnung

Um den einzelnen Einzugsgebieten die entsprechenden ÖV-Güteklassen zuweisen zu können, habe ich das Ergebnis als neuen Datensatz gespeichert und die notwendigen Attributfelder hinzugefügt.

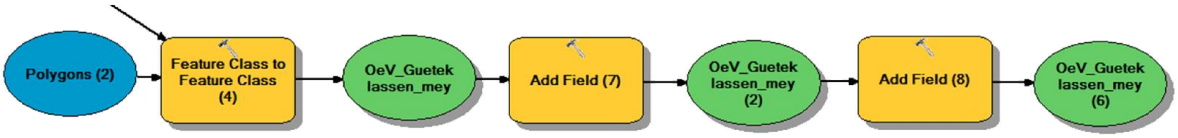


Abbildung 12: Vorbereitung für die Berechnung der ÖV-Güteklassen

Schwierigkeiten

Die grösste Herausforderung bei der Berechnung der Einzugsgebiete war wie oben bereits beschrieben die Wahl der richtigen Parameter. Ist man da etwas routinierter, gestaltet sich die Analyse von Netzwerken mit den entsprechenden Werkzeugen als denkbar einfach.

Berechnung der ÖV-Güteklassen

Die ÖV-Güteklasse ergibt sich aus Kategorie und Erreichbarkeit einer Haltestelle. Das Mass für die Erreichbarkeit ist mit den Schwellenwerten der Wegzeit bereits Teil des Datensatzes. Die Haltestellekategorien konnten über eine Verknüpfung der Tabellen (*Table Join*) aus dem Haltestellendatensatz übernommen werden. Über die folgende Wenn-dann-Funktion in Python habe ich dann den einzelnen Polygonen die entsprechende Güteklasse zugewiesen:

```
def Reclass(Halte_Kat, ToBreak):
  if Halte_Kat == 0:
    return 0
  if Halte_Kat == 1 and ToBreak == 5.36:
    return 4
  if Halte_Kat == 1 and ToBreak == 8.93:
    return 4
  if Halte_Kat == 1 and ToBreak == 13.39:
    return 3
  if Halte_Kat == 1 and ToBreak == 17.86:
    return 2
  if Halte_Kat == 2 and ToBreak == 5.36:
    return 4
  if Halte_Kat == 2 and ToBreak == 8.93:
    return 3
  if Halte_Kat == 2 and ToBreak == 13.39:
    return 2
  if Halte_Kat == 2 and ToBreak == 17.86:
    return 1
  if Halte_Kat == 3 and ToBreak == 5.36:
    return 3
  if Halte_Kat == 3 and ToBreak == 8.93:
    return 2
  if Halte_Kat == 3 and ToBreak == 13.39:
    return 1
  if Halte_Kat == 3 and ToBreak == 17.86:
    return 0
  if Halte_Kat == 4 and ToBreak == 5.36:
    return 2
  if Halte_Kat == 4 and ToBreak == 8.93:
    return 1
  if Halte_Kat == 4 and ToBreak == 13.39:
    return 0
  if Halte_Kat == 4 and ToBreak == 17.86:
    return 0
  if Halte_Kat == 5 and ToBreak == 5.36:
    return 1
  if Halte_Kat == 5 and ToBreak == 8.93:
    return 0
  if Halte_Kat == 5 and ToBreak == 13.39:
    return 0
  if Halte_Kat == 5 and ToBreak == 17.86:
    return 0
  else:
    return 0
```

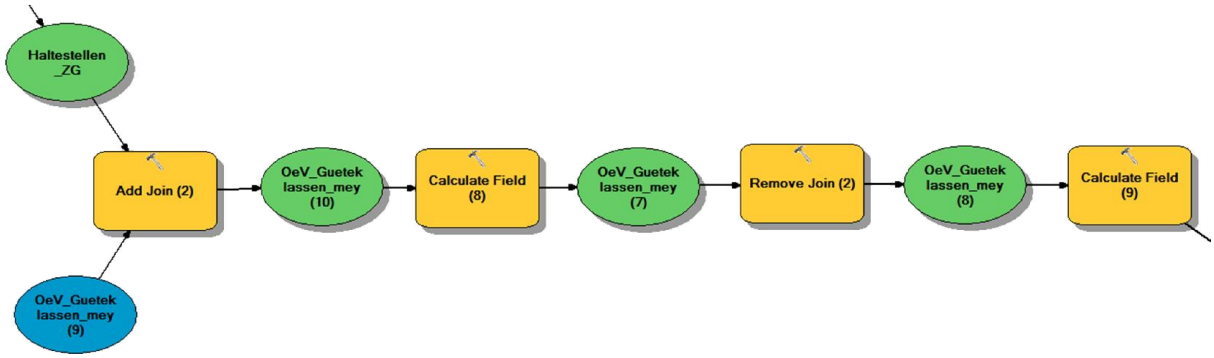


Abbildung 13: Berechnung der ÖV-Güteklassen

Schwierigkeiten

Mit Python kenne ich mich nicht aus. Ich musste aber auch Python ausweichen, da das VB-Script einen unlösbaren Fehler verursachte. Die Python-Funktion habe ich übernommen, es hat trotzdem lange nicht funktioniert, bis ich herausgefunden habe, dass es an der Anzahl Leerschläge am Anfang der Zeilen lag.

Bereinigung der ÖV-Güteklassen

Um aus der unübersichtlichen Situation in Abbildung 11 eindeutige Güteklassen zu erhalten, habe ich aus jeder Güteklasse einen eigenen Datensatz erstellt, die Polygone innerhalb der gleichen Klasse über *Dissolve* zusammengeführt und die Datensätze am Schluss über *Union* wieder vereint. Nun hatte ich keine sich überlagernden Polygone mehr, die einzelnen Polygone gehörten aber oft noch mehreren Güteklassen an. Wo Haltestellen nicht genügend weit voneinander entfernt liegen, können sich verschiedene Güteklassen überlagern. Es galt nun noch die jeweils höchste Klasse zu bestimmen.

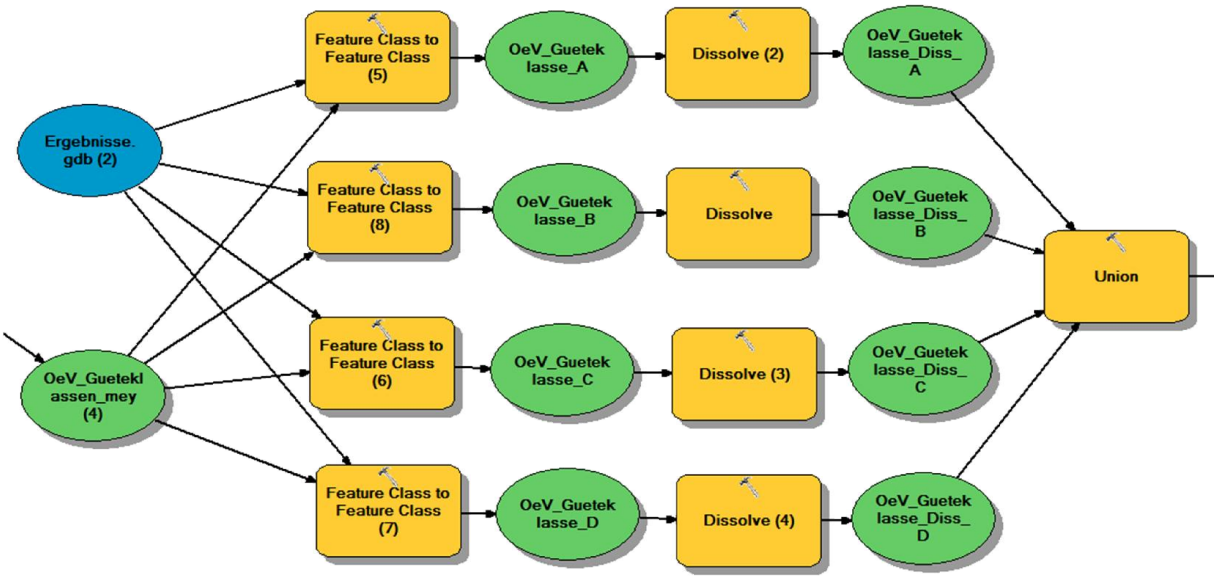


Abbildung 14: Entflechten und wieder zusammenführen der ÖV-Güteklassen

Dazu habe ich zuerst allen Polygonen die Klasse D zugewiesen und dann schrittweise die Klasse erhöht. Wenn ein Polygon auch der Klasse C angehörte, wurde die Klasse C zugewiesen, dann die Klasse B und zuletzt der Klasse A.

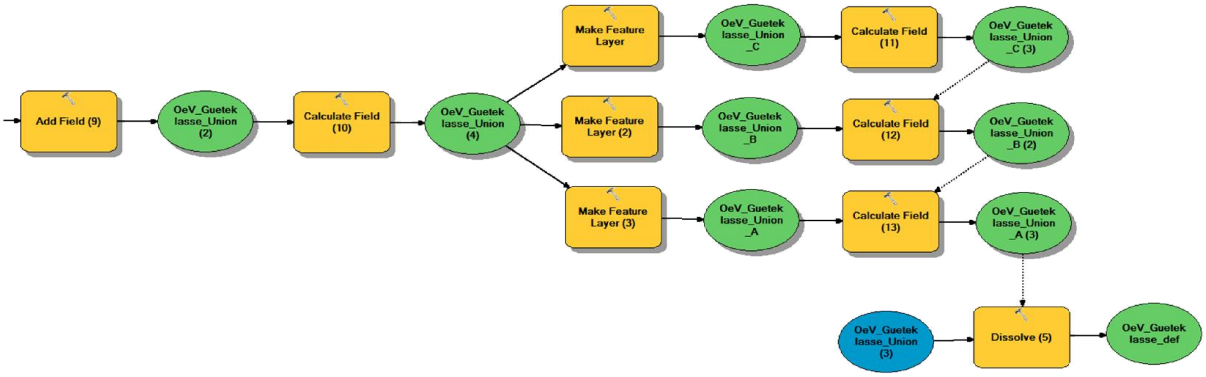


Abbildung 15: Bestimmen der jeweils höchsten Güteklasse

Die Reihenfolge der Arbeitsschritte ist bei diesem Vorgehen entscheidend, da über *Make Feature Layer* keine neuen Datensätze sondern nur neue "Ansichten" aus dem bestehenden Datensatz erstellt werden. Bei jedem Berechnungsschritt werden somit einzelne Attribute wieder überschrieben. Es ist deshalb hilfreich, können im *Model Builder* für einzelne Schritte *Preconditions* festgelegt werden. D. h. hier beispielsweise, dass die Zuweisung der Klasse A erst durchgeführt wird, wenn das Ergebnis der Zuweisung der Klasse B vorliegt. Über ein weiteres *Dissolve* lagen dann die definitiven ÖV-Güteklassen vor.

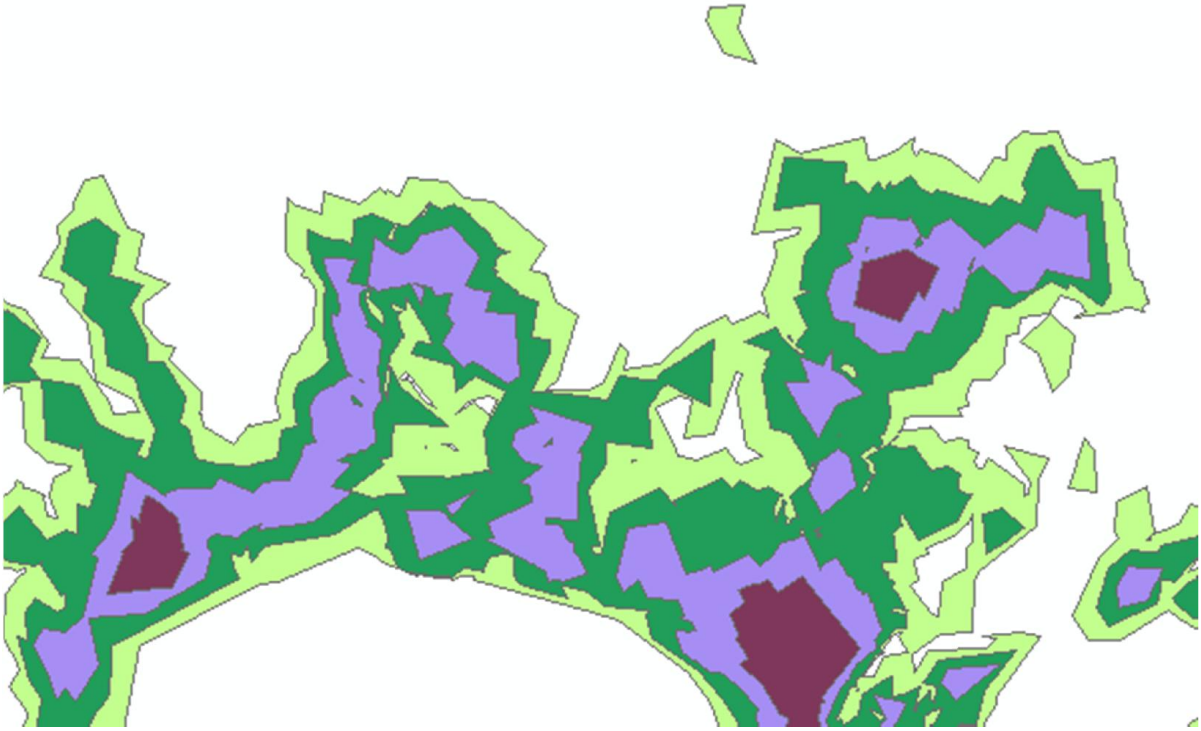


Abbildung 16: Ausschnitt aus dem definitiven Ergebnis

Ich habe noch versucht, das Ergebnis über die Funktionen *Simplify Polygon* und *Smooth Polygon* optisch zu beruhigen. Die Korrektur der Polygonflächen führte jedoch zu starken Einbussen in der Plausibilität, deshalb habe ich darauf verzichtet.

Schwierigkeiten

Schwierigkeiten gab es bei diesen Arbeitsschritten eigentlich keine. Das gedankliche Nachvollziehen war für mich nicht immer einfach. In diesen Momenten half es, Abstand vom Bildschirm zu nehmen, dann löste sich der Knoten meistens schnell.

Kartenerstellung über Data Driven Pages

Das zweite Ziel dieser Arbeit war es, die Ergebnisse der Analyse für die Gemeinden des Untersuchungsgebietes über *Data Driven Pages* darzustellen. Die Funktionen, die ArcGIS hier bietet sind einfach anzuwenden und man kommt schnell ans Ziel.

Im ersten Schritt muss festgelegt werden, welcher Datensatz und welches Attribut dazu dient, um Kartenserien zu erstellen. In diesem Fall waren es die Gemeindenamen der Gemeinden des Kantons Zug. Weiter kann definiert werden, wie der Ausschnitt gewählt und auf welchen Massstab bei der Kartengenerierung gerundet werden soll. Dies bildet bereits die Grundlage, um für jede Gemeinde im Kanton Zug auf Knopfdruck eine eigene Karte zu generieren. Alles Weitere dient der Darstellung.

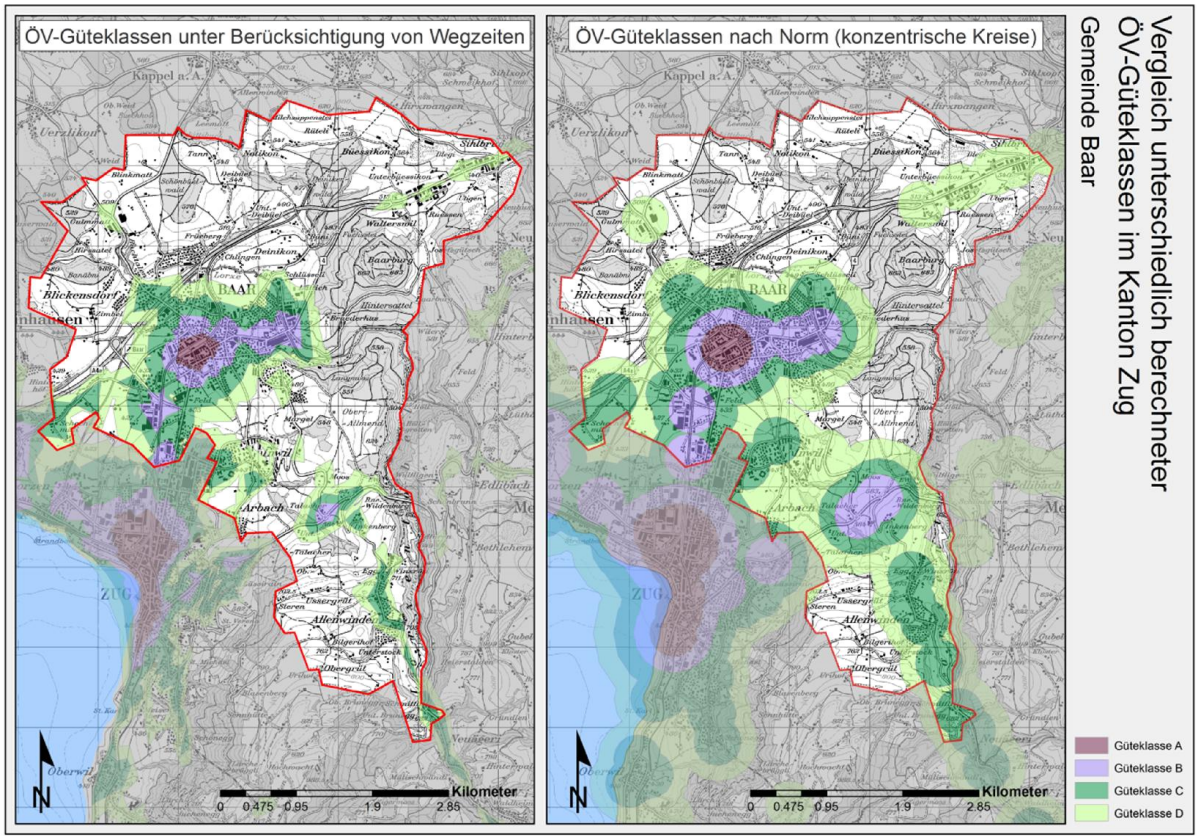


Abbildung 17: Kartendarstellung der Ergebnisse für die Gemeinden Baar

Um beispielsweise die Gemeindegrenze der jeweiligen Gemeinde in der Karte hervorzuheben, kann aus den Gemeinden ein zusätzlicher *Layer* mit entsprechender Darstellung erstellt und unter *Properties > Definition Query > Page Definition* festgelegt werden, dass von diesem Layer nur die Gemeinde dargestellt wird, welche dem in *Data Driven Pages* aktuellen Filter entspricht. Obenstehende Abbildung 17 zeigt die Karte für die Gemeinde Baar. Sämtliche Karten sind im Anhang ersichtlich.

Diskussion der Ergebnisse

Beim Vergleich der neu berechneten ÖV-Güteklassen mit den herkömmlichen fällt sofort auf, dass die Berücksichtigung von Wegzeiten zu viel kleineren Güteklassen führt. Das ist auch plausibel, da die Grenze einer Güteklasse nur dann dem Radius eines konzentrischen Kreises entsprechen kann, wenn der Weg bzw. die Strasse von der Haltestelle aus gerade und ohne Steigung oder Gefälle verläuft, was selten der Fall ist. Das Beispiel von Rotkreuz in Abbildung 18 zeigt zudem sehr schön, wie die Erreichbarkeit entlang der Strassen deutlich besser ist als in den Gebieten dazwischen.

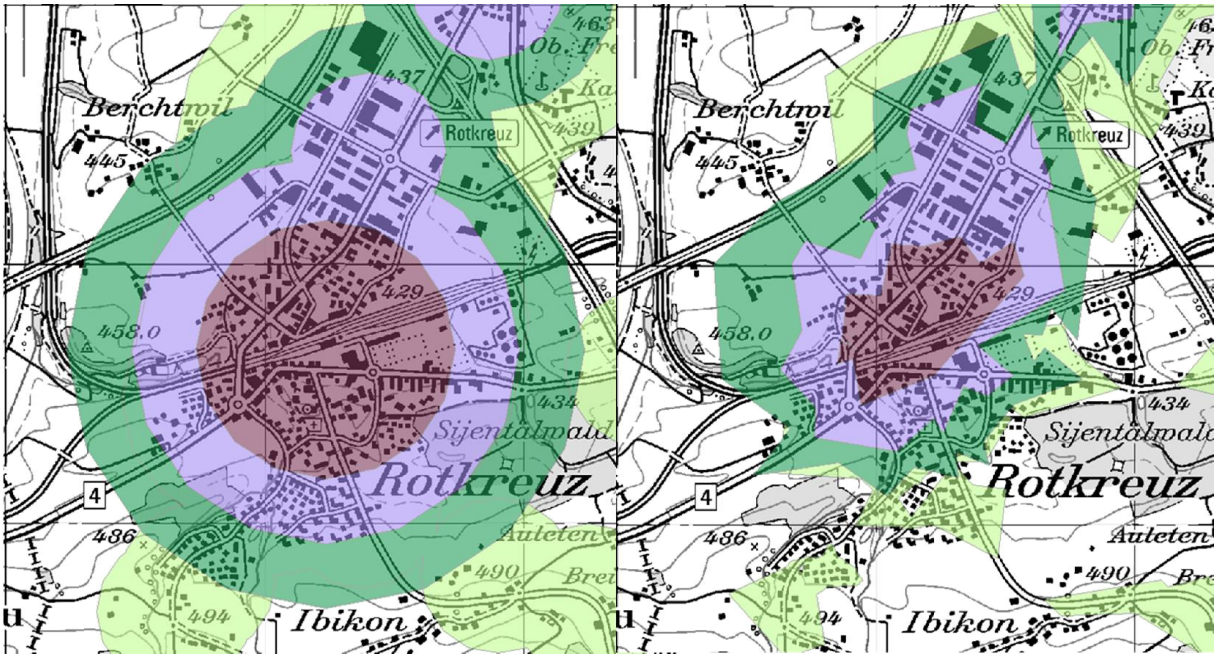


Abbildung 18: Vergleich der ÖV-Güteklassen am Beispiel Rotkreuz

Was auf den ersten Blick erstaunt, ist die viel kleinere Ausdehnung aller Güteklassen in südöstlicher Richtung. Insbesondere da die für die Güteklasse A relevante Haltestelle (die selektierte Haltestelle in Abbildung 19) südlich des Bahnhofs und direkt an einer südlich laufenden Strasse liegt. Betrachtet man die Situation genau, stellt man erstens fest, dass der Strassendatensatz hier eine Lücke aufweist und zweitens, dass von der Haltestelle in östlicher Richtung keine Strasse verläuft, obwohl es gemäss Google Maps eine gibt (Abbildung 20).

Dieses Beispiel zeigt, dass die Plausibilität des Ergebnisses sehr stark davon abhängt, wie gut die verwendeten Geodaten die Realität abbilden. Im Falle von Rotkreuz ist das Ergebnis zumindest südlich der Gleise nicht plausibel. Ich konnte aber kein zweites vergleichbares Beispiel finden.

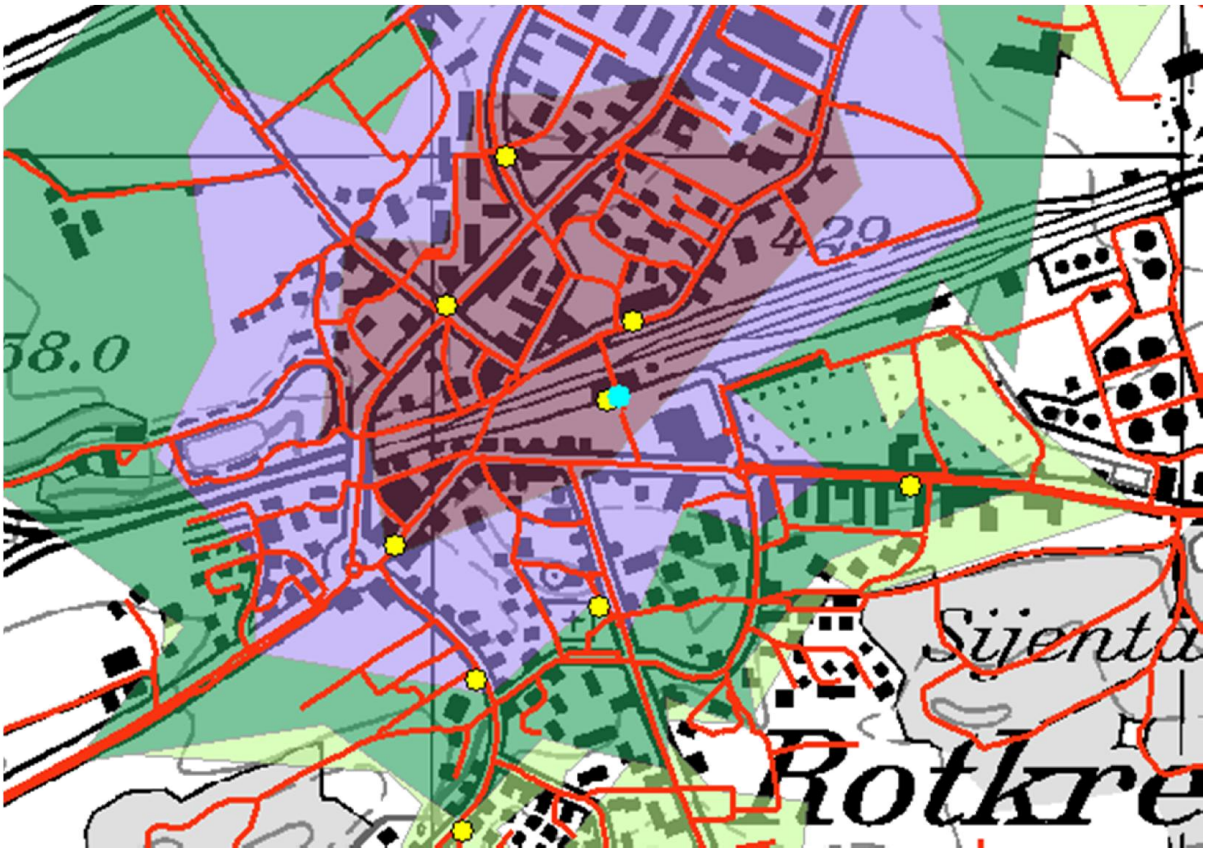


Abbildung 19: Relevante Haltestelle für die Güteklasse A

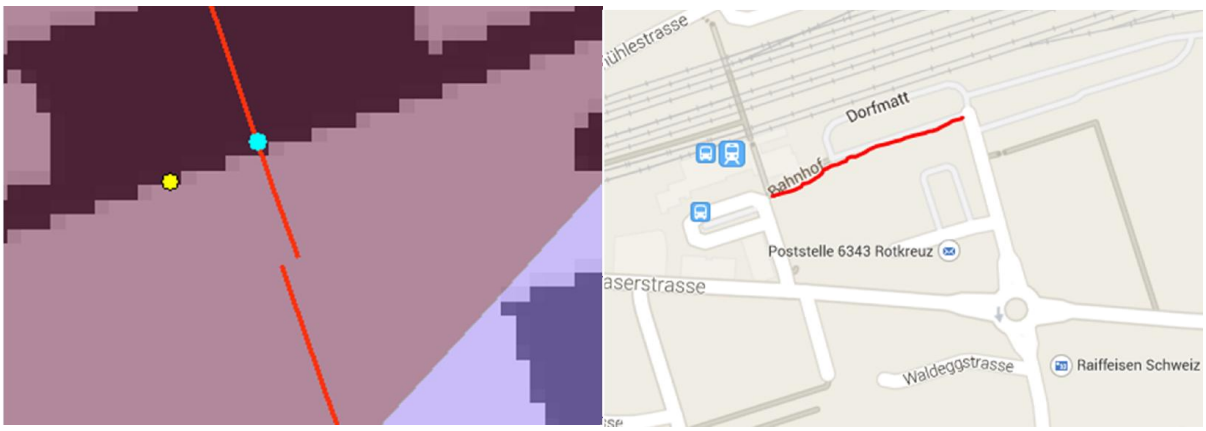


Abbildung 20: Lücke und fehlende Strasse im TLM Strasse

Neben den verwendeten Geodaten gibt es noch weitere Unsicherheitsfaktoren, die es bei der Beurteilung der Ergebnisse zu berücksichtigen gilt. Auch die Berechnung der Wegzeiten beinhaltet Unsicherheiten, zum einen bei den angenommenen Geschwindigkeiten und zum anderen in der Berechnung der Höhendifferenzen, welche lediglich auf den Höhen an den Endpunkten beruht. Bevor nun künftige raumplanerische Entscheide auf den neu berechneten ÖV-Güteklassen abgestützt werden, ist eine Plausibilitätsüberprüfung draussen vor Ort angebracht. Über das Abgehen bestimmter Strecken mit Zeitmessung könnten die Ergebnisse schon ziemlich gut verifiziert werden. Eine weitere Möglichkeit wäre es, dieselbe Berechnung mit den Strassen und Wegen aus Open Street Map durchzuführen und die Ergebnisse zu vergleichen.

Wenn die Plausibilität der Ergebnisse gegeben ist, wäre es sehr interessant, die neuen Güteklassen auf unüberbaute Bauzonen oder Bauzonen mit geplanten Verdichtungen anzuwenden, insbesondere dort, wo eine bestimmte ÖV-Erschliessungsgüte Voraussetzung für ein Bauvorhaben ist, etwa bei Entwicklungsschwerpunkten aus Agglomerationsprogrammen. Mit den immer detaillierteren Geodaten der swisstopo wäre die Voraussetzung gegeben, künftig die ÖV-Güteklassen unter Berücksichtigung von effektiven Wegzeiten zu berechnen und somit eine bessere Grundlage für die Raumplanung und -entwicklung zu schaffen. Denn meiner Ansicht nach sind die herkömmlichen Güteklassen wenig realitätsnah.

Einen Vorteil, der die einfach nachvollziehbare und transparente Berechnungsmethode der herkömmlichen Güteklassen mit sich bringt, sehe ich in der Kommunikation der Ergebnisse. Konzentrische Kreise um eine Haltestelle sind einfach zu begreifen und führen wahrscheinlich weniger zu Streitigkeiten als Polygone, deren Entstehung nur schwer nachvollziehbar ist. Hier stellt sich aber grundsätzlich die Frage, ob harte Klassengrenzen der richtige Ansatz sind. Die ÖV-Erschliessungsgüte sehe ich als kontinuierliches Kriterium, welches auch als solches behandelt werden könnte. Auch dazu würde GIS die notwendigen Instrumente liefern.

Persönliches Erkenntnisse

Die Bearbeitung dieses Themas war interessant und hat mir meistens Spass gemacht. Für die wenigen genervten Momente waren die Marotten von ArcGIS verantwortlich. Die Arbeit mit zwei unterschiedlichen Programmversionen ist mit dem *Model Builder* nicht ohne Probleme möglich. Und Pflichtfelder, die bei einzelnen Funktionen nicht sichtbar sind oder Fehlermeldungen, welche auf fehlende Lizenzen hinweisen, die aber offensichtlich vorhanden sind, dürfte es aus meiner Sicht als Softwaretester nicht geben. Man muss aber zugute halten, dass ArcGIS seit der Version 9.3 einfacher und benutzerfreundlicher geworden ist. Die Möglichkeit, über *Data Driven Pages* Kartenserien zu erstellen, erachte ich als grossen Gewinn.

Die Arbeit mit dem *Model Builder* bringt viele Vorteile. Die Korrektur von Fehlern oder das Anpassen einzelner Arbeitsschritte ist schnell möglich und die Nachvollziehbarkeit ist gegeben. Es lohnt sich aber, die Schritte einzeln auszuführen und die Plausibilität der Ergebnisse zu überprüfen. Selektierte Objekte führen schnell zu Verzerrungen oder zu leeren Datensätzen. Folgende Punkte erachte ich für das effiziente Arbeiten mit GIS als wichtig und werde sie mir deshalb für das nächste Mal merken:

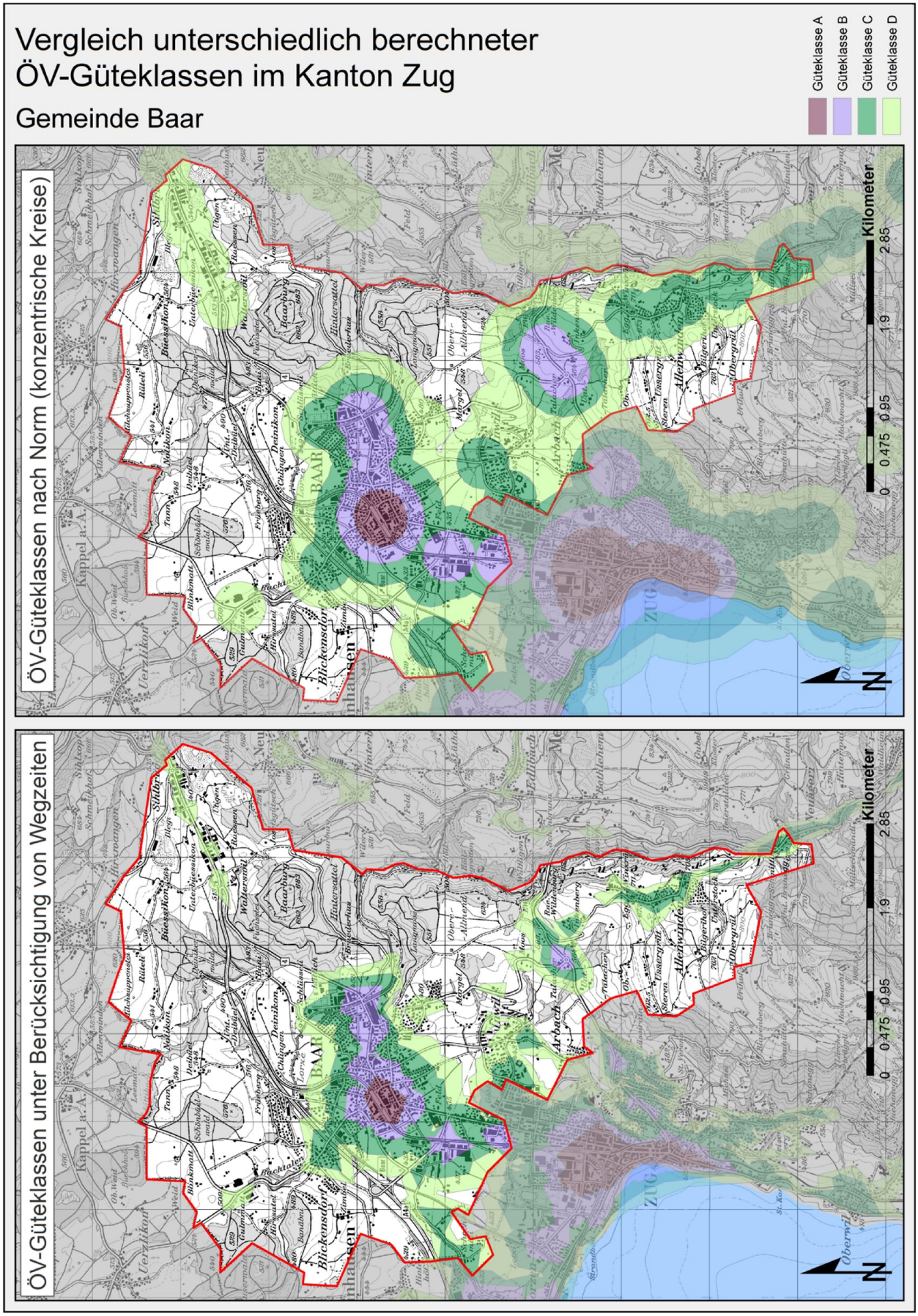
- Vorgängige Klarheit über das Ziel und den Weg dahin
- Was sind die Anforderungen an die Geodaten und welche Daten passen am besten?
- Arbeit mit Model Builder und Geodatenbanken (keine Shapefiles)
- Sinnvolle und sprechende Benennung von Dateien
- Dokumentation trotz Model Builder
- Es geht niemals schnell!

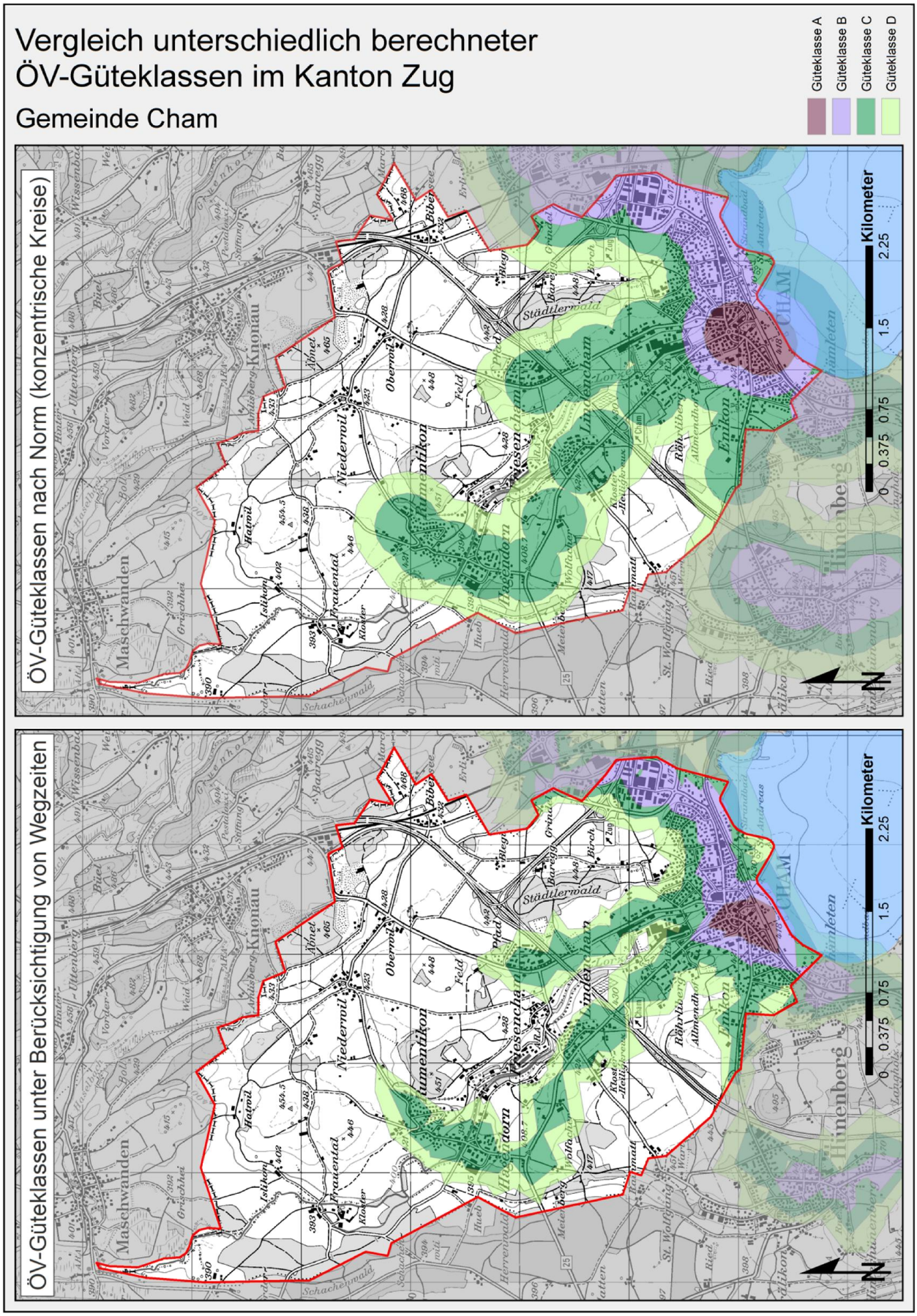
Literatur

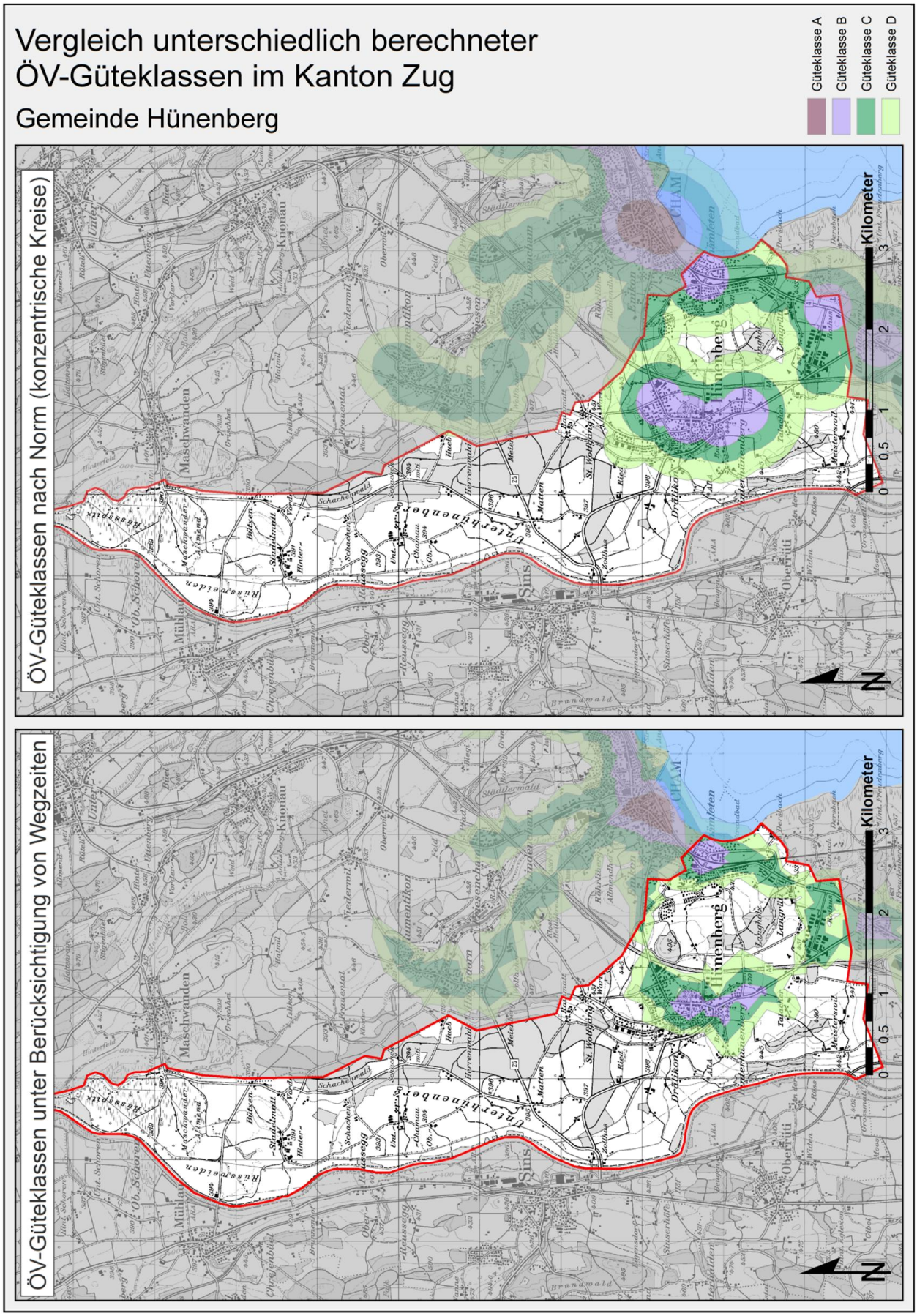
Alternatives-Wandern.ch: Wanderwegzeitberechnung. Online: http://www.alternatives-wandern.ch/reports/wanderzeit.htm [Stand 04.03.15]

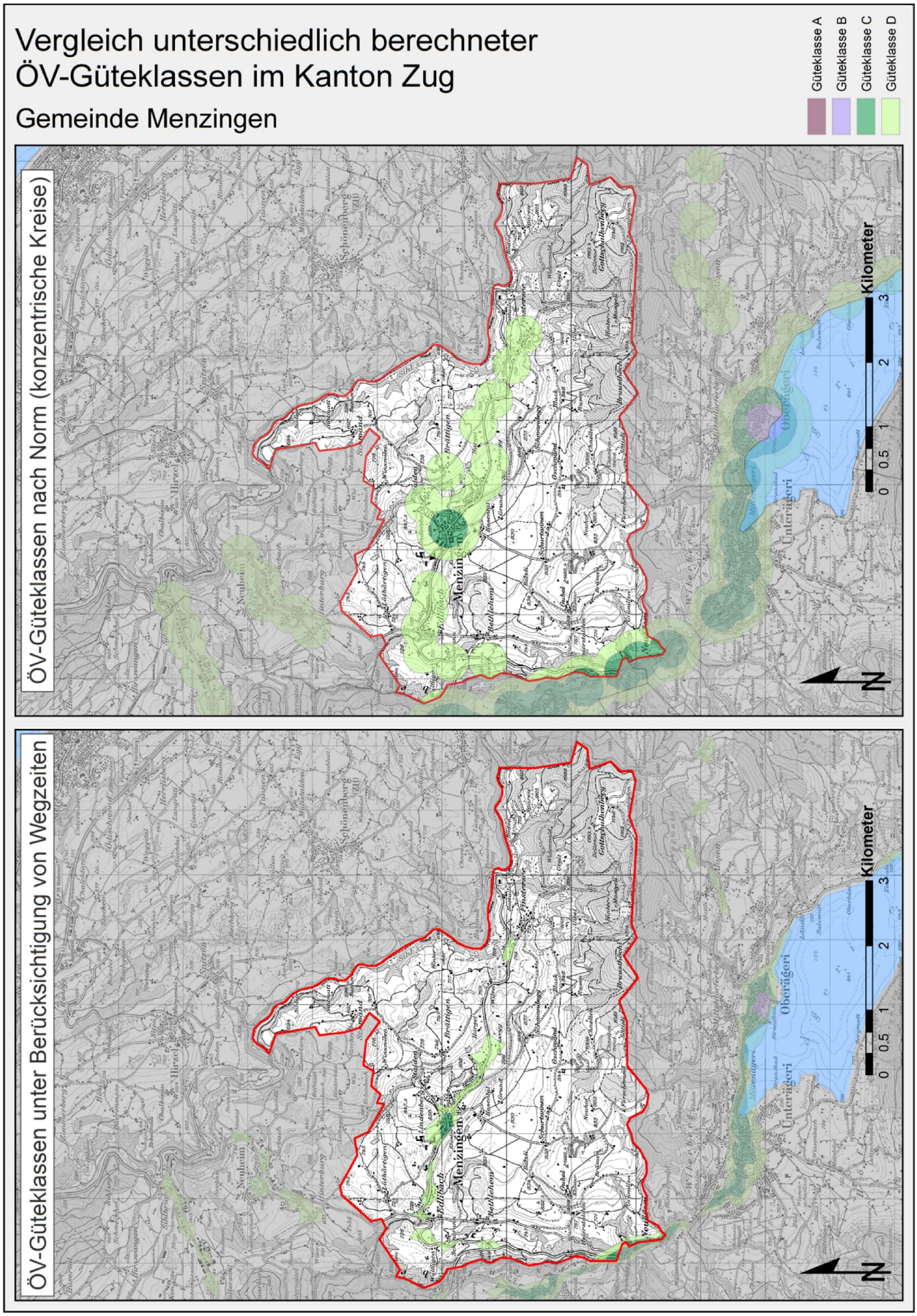
Bundesamt für Raumentwicklung ARE (2011): ÖV-Güteklassen – Berechnungsmethodik ARE

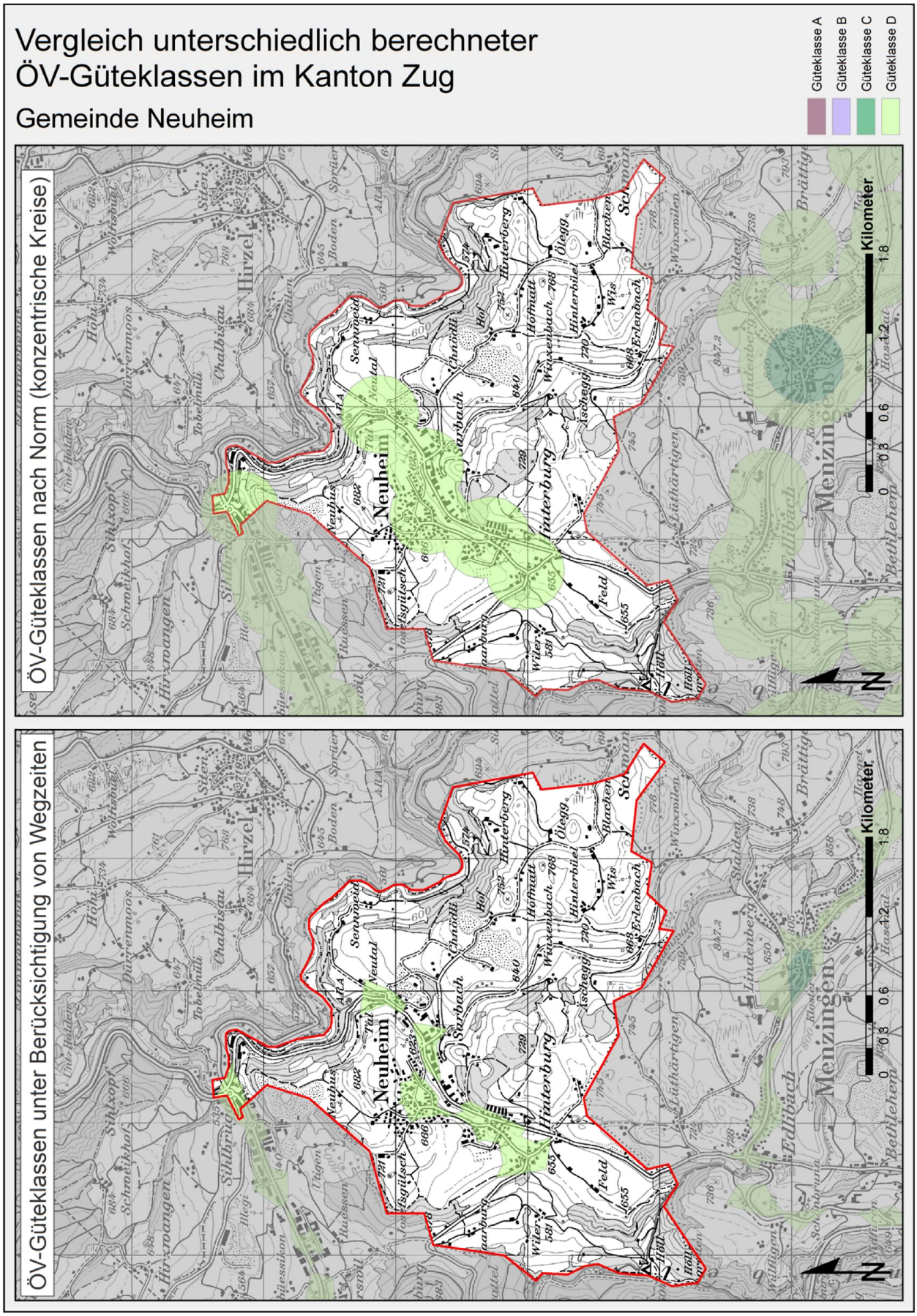
Anhang

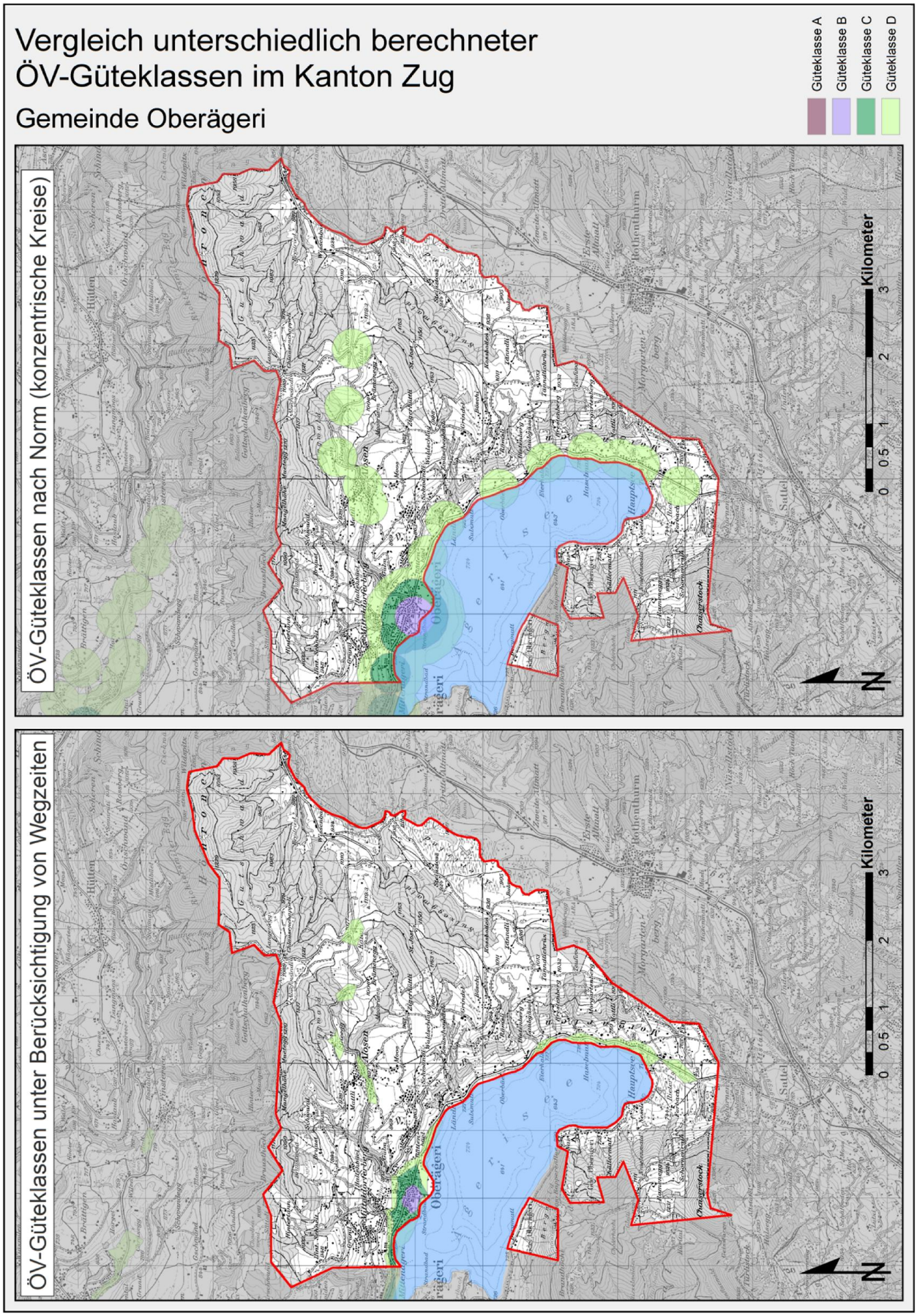

Vergleich unterschiedlich berechneter
ÖV-Güteklassen im Kanton Zug
Gemeinde Baar
Güteklasse A
Güteklasse B
Güteklasse C
Güteklasse D
ÖV-Güteklassen nach Norm (konzentrische Kreise)
ÖV-Güteklassen unter Berücksichtigung von Wegzeiten
0 0.475 0.95 1.9 2.85
Kilometer
N

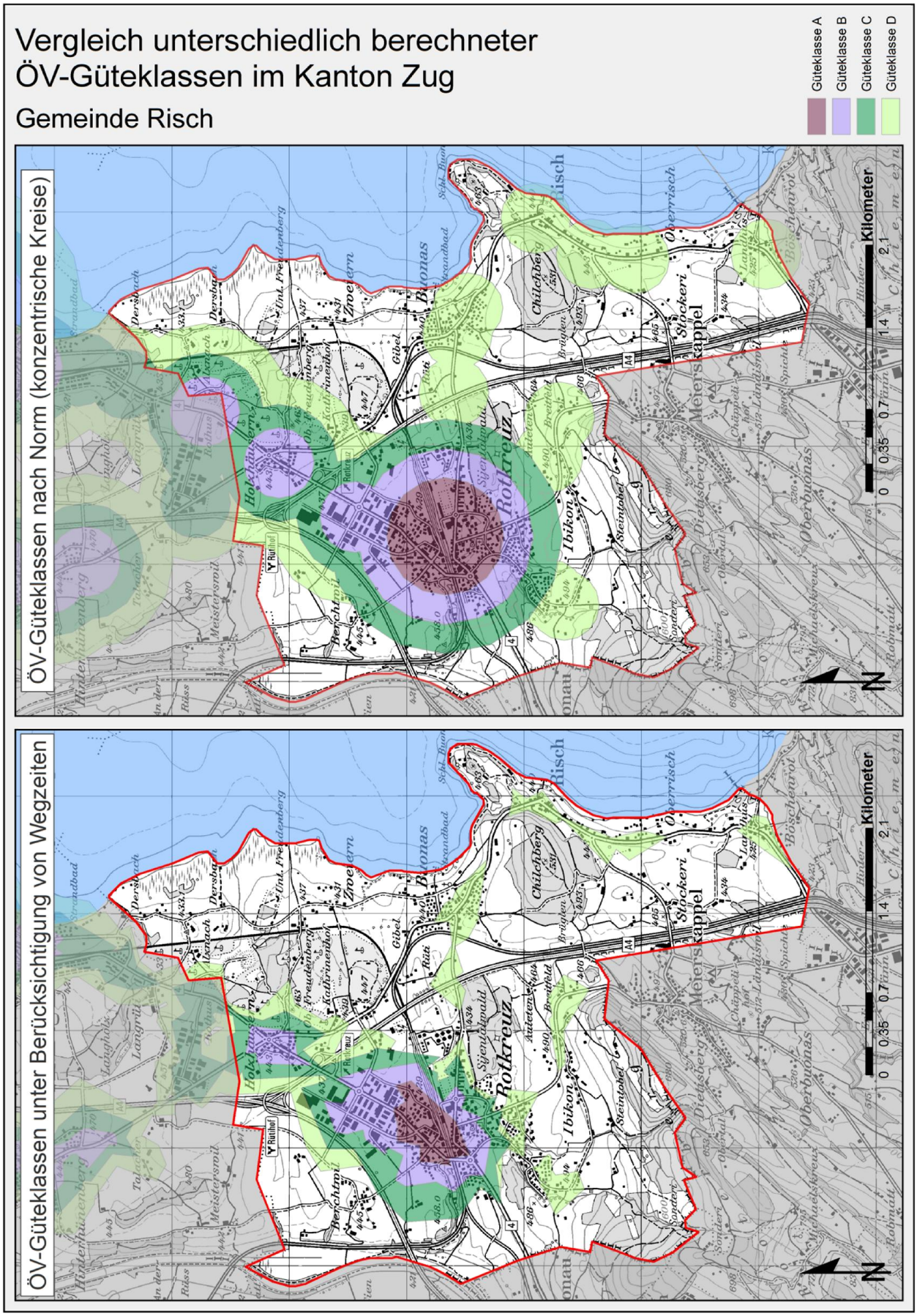

Vergleich unterschiedlich berechneter
ÖV-Güteklassen im Kanton Zug
Gemeinde Cham
Güteklasse A
Güteklasse B
Güteklasse C
Güteklasse D
ÖV-Güteklassen nach Norm (konzentrische Kreise)
ÖV-Güteklassen unter Berücksichtigung von Wegzeiten
Kilometer
0 0.375 0.75 1.5 2.25
N
Maschwanden
Knonau
Niederwil
Oberwil
Frauenthal
Hausen
Lindencham
Enikon
Hünenberg
Städtlerwald
CHAM

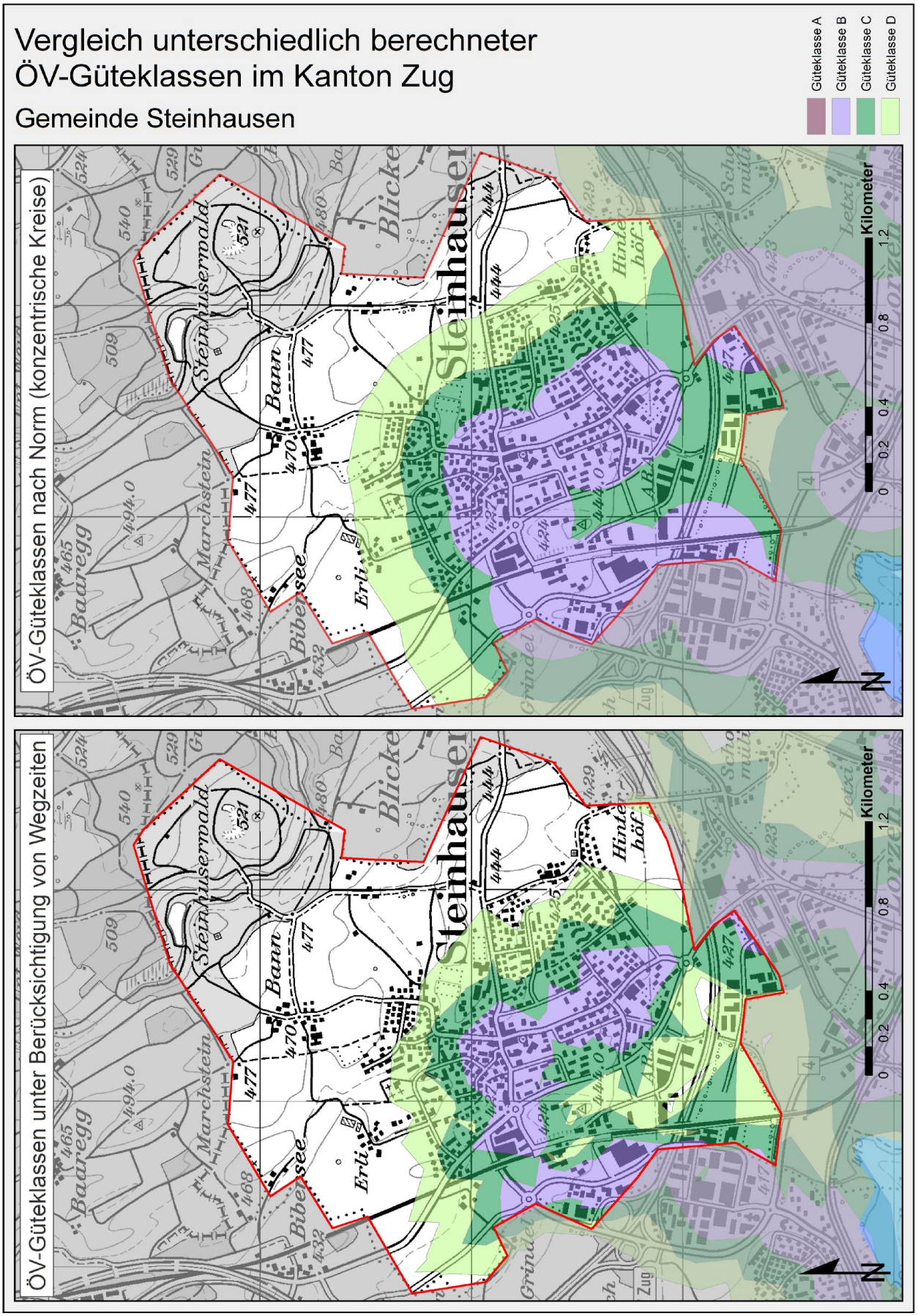

Vergleich unterschiedlich berechneter
ÖV-Güteklassen im Kanton Zug
Gemeinde Hünenberg
Güteklasse A
Güteklasse B
Güteklasse C
Güteklasse D
ÖV-Güteklassen nach Norm (konzentrische Kreise)
ÖV-Güteklassen unter Berücksichtigung von Wegzeiten
Kilometer
0 0,5 1 2 3
N

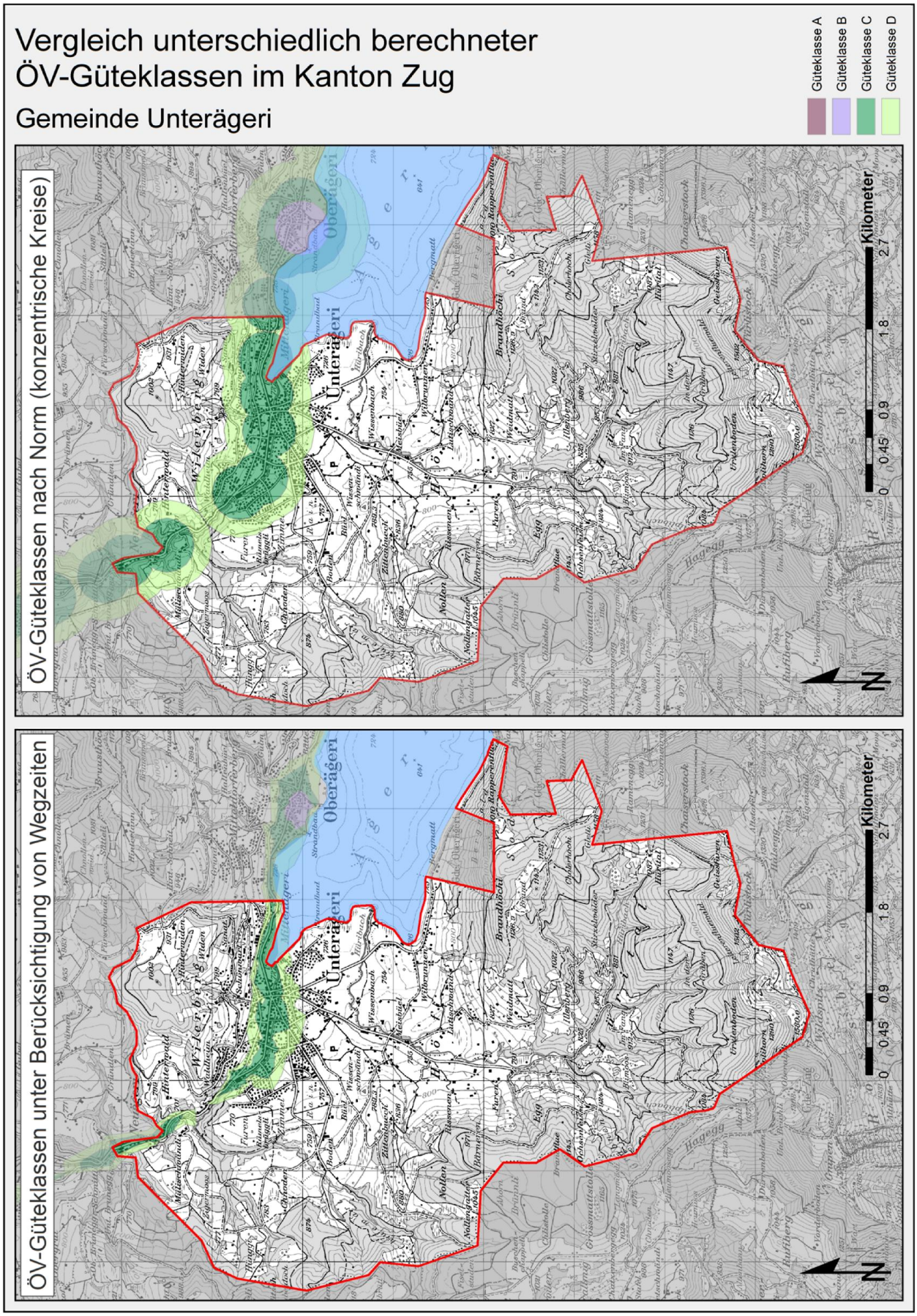

Vergleich unterschiedlich berechneter
ÖV-Güteklassen im Kanton Zug
Gemeinde Menzingen
Güteklasse A
Güteklasse B
Güteklasse C
Güteklasse D
ÖV-Güteklassen nach Norm (konzentrische Kreise)
ÖV-Güteklassen unter Berücksichtigung von Wegzeiten
Menzingen
Oberägeri
Unterägeri
Kilometer
0 0,5 1 2 3
N

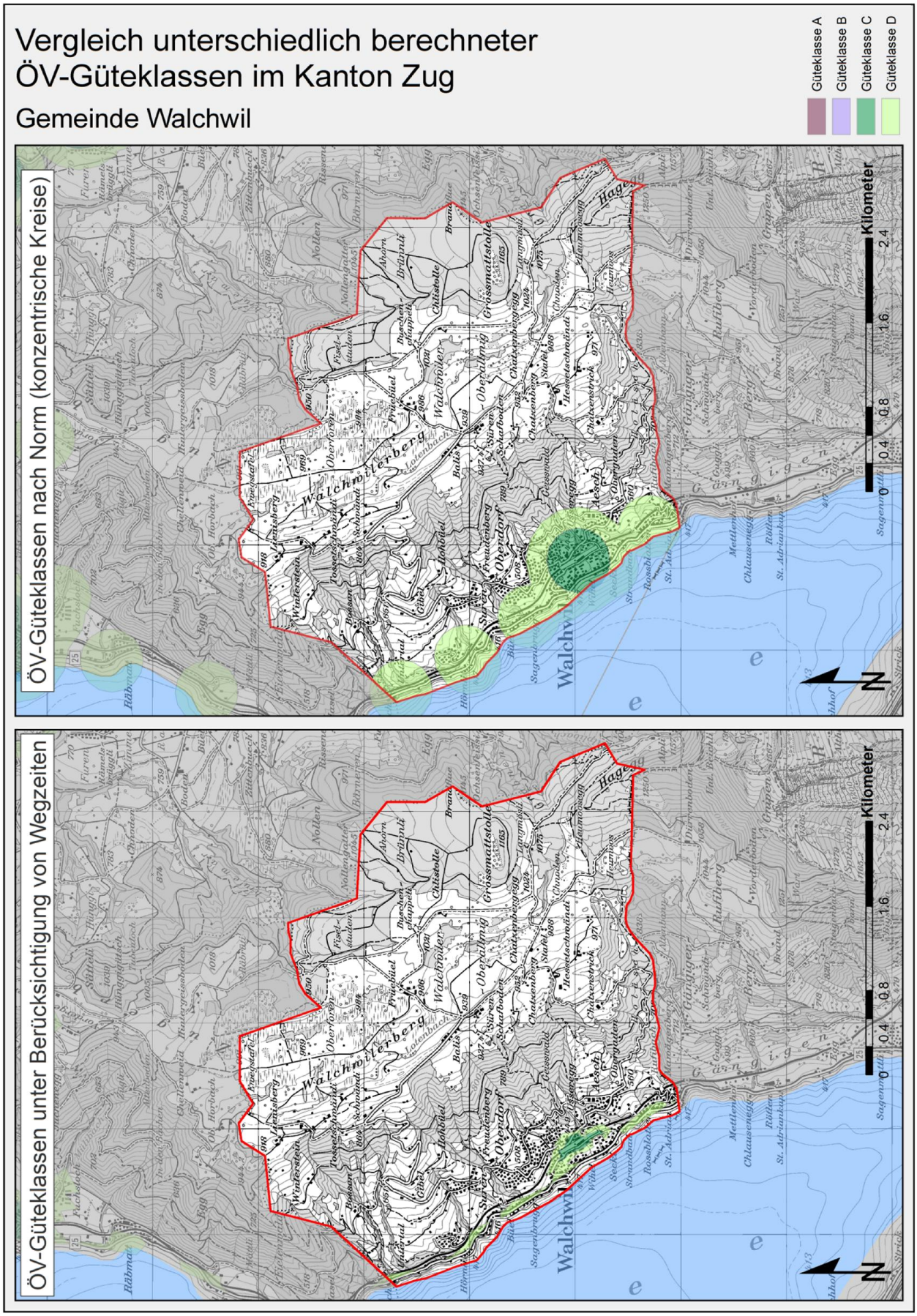

Vergleich unterschiedlich berechneter
ÖV-Güteklassen im Kanton Zug
Gemeinde Neuheim
Güteklasse A
Güteklasse B
Güteklasse C
Güteklasse D
ÖV-Güteklassen nach Norm (konzentrische Kreise)
ÖV-Güteklassen unter Berücksichtigung von Wegzeiten
Neuheim
Hinterburg
Menzingen
Edlibach
Hirzel
Kilometer
0 0.3 0.6 1.2 1.8

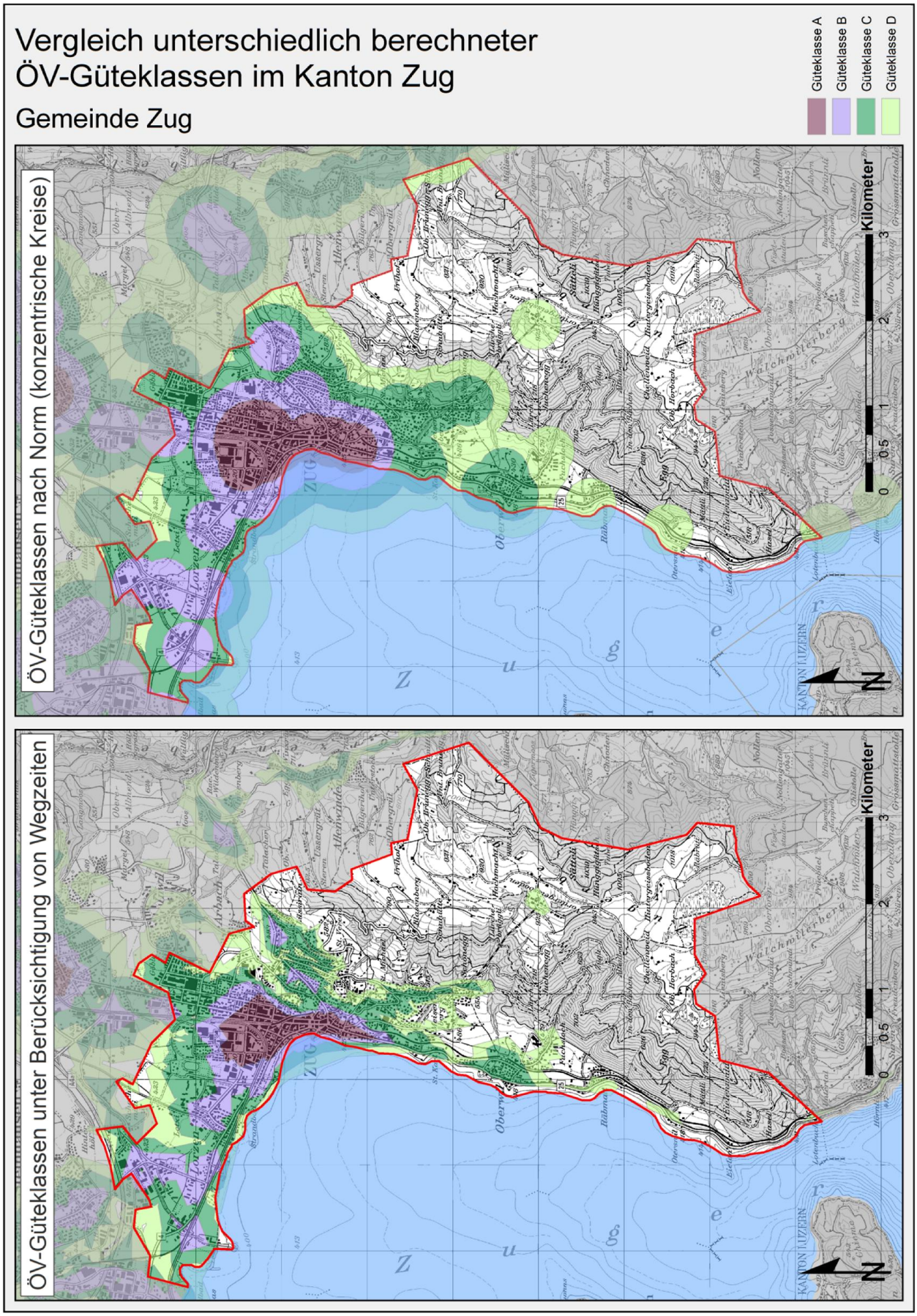

Vergleich unterschiedlich berechneter
ÖV-Güteklassen im Kanton Zug
Gemeinde Oberägeri
Güteklasse A
Güteklasse B
Güteklasse C
Güteklasse D
ÖV-Güteklassen nach Norm (konzentrische Kreise)
ÖV-Güteklassen unter Berücksichtigung von Wegzeiten
Kilometer
0 0.5 1 2 3
N

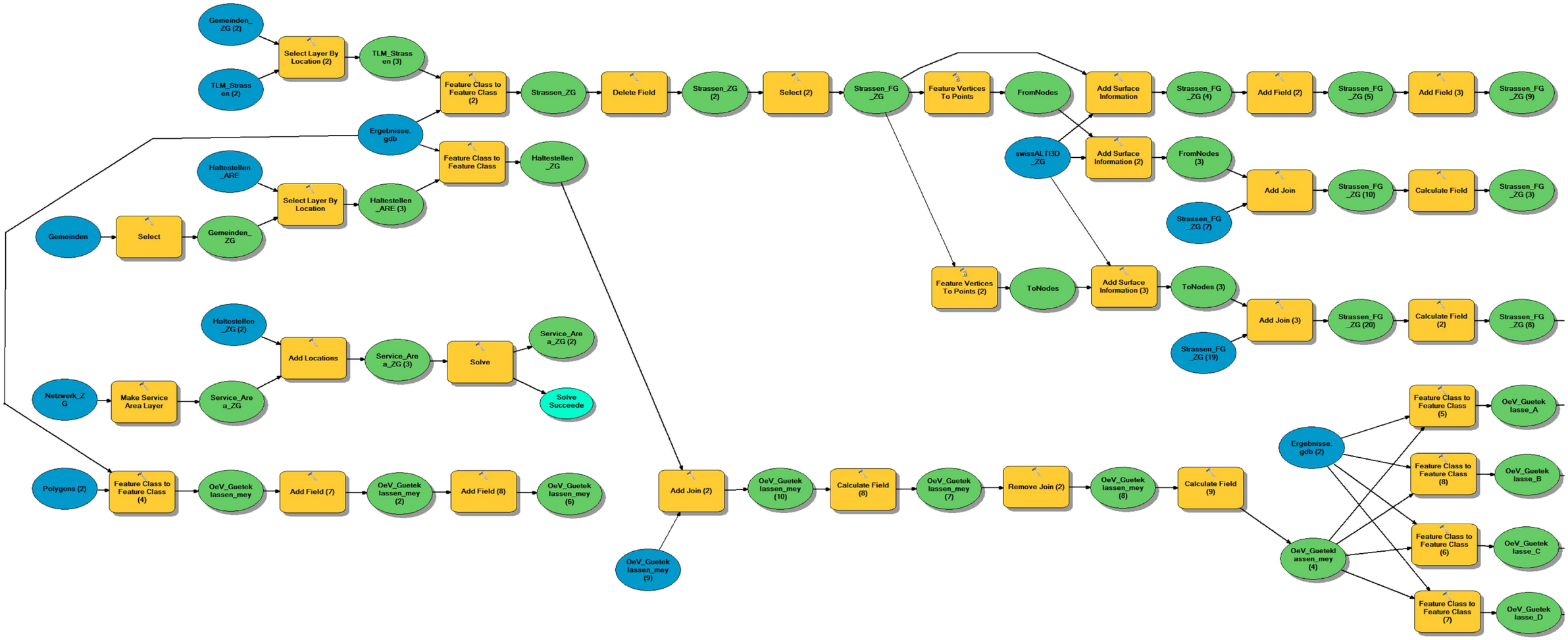

Vergleich unterschiedlich berechneter
ÖV-Güteklassen im Kanton Zug
Gemeinde Risch
Güteklasse A
Güteklasse B
Güteklasse C
Güteklasse D
ÖV-Güteklassen nach Norm (konzentrische Kreise)
ÖV-Güteklassen unter Berücksichtigung von Wegzeiten
Rotkreuz
Buonas
Holzhäusern
Zoegern
Chilchberg
Steinhof
Ibikon
Stockeri
Meierskappel
Oberrisch
Kilometer
0 0.35 0.7 1.4 2.1
N

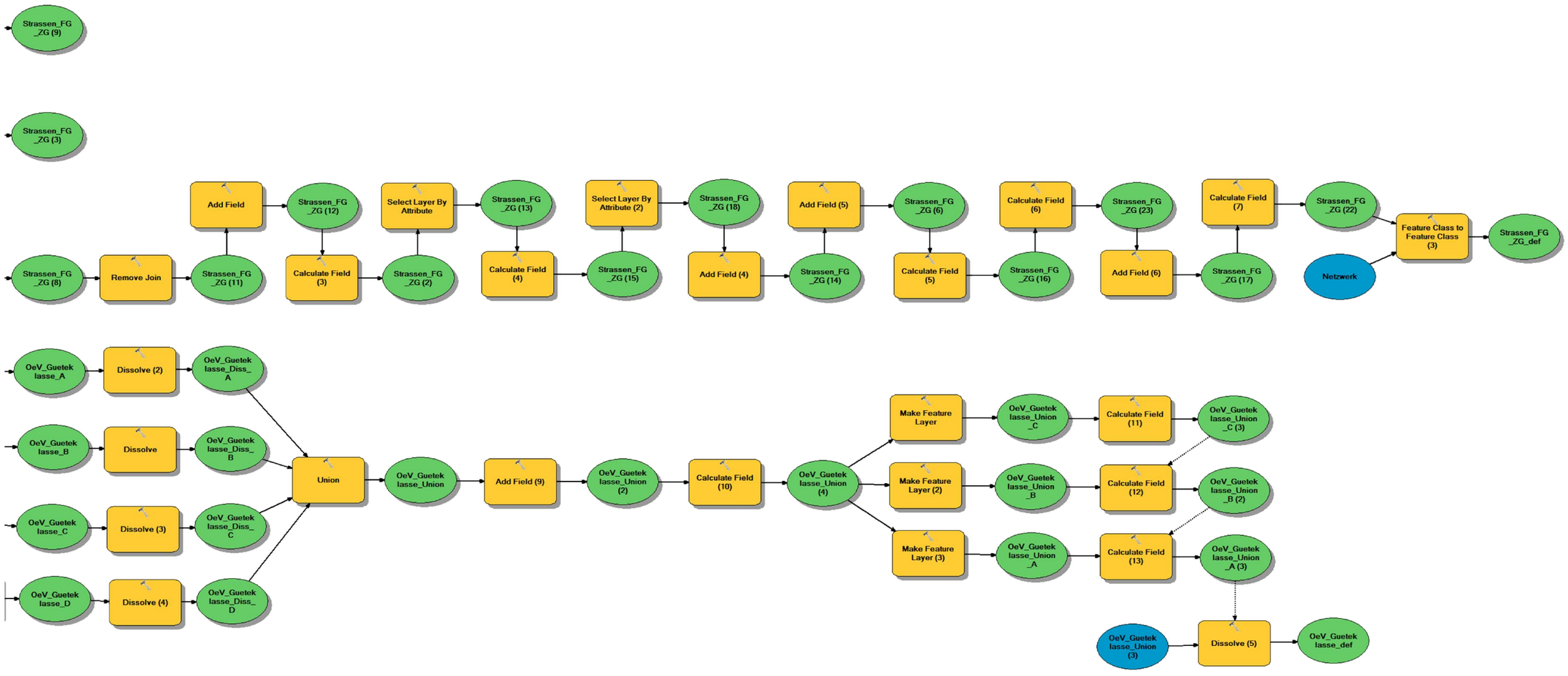

Vergleich unterschiedlich berechneter
ÖV-Güteklassen im Kanton Zug
Gemeinde Steinhausen
Güteklasse A
Güteklasse B
Güteklasse C
Güteklasse D
ÖV-Güteklassen nach Norm (konzentrische Kreise)
ÖV-Güteklassen unter Berücksichtigung von Wegzeiten
Steinhausen
Steinhusenwald
Baarregg
Marchstein
Bibersee
Bann
Blicke
Grindel
Hinterhöf
Letzi
Zug
N
0 0.2 0.4 0.8 1.2
Kilometer


Vergleich unterschiedlich berechneter
ÖV-Güteklassen im Kanton Zug
Gemeinde Unterägeri
Güteklasse A
Güteklasse B
Güteklasse C
Güteklasse D
ÖV-Güteklassen nach Norm (konzentrische Kreise)
ÖV-Güteklassen unter Berücksichtigung von Wegzeiten
Unterägeri
Oberägeri
Kilometer
0 0.45 0.9 1.8 2.7
N


Vergleich unterschiedlich berechneter
ÖV-Güteklassen im Kanton Zug
Gemeinde Walchwil
Güteklasse A
Güteklasse B
Güteklasse C
Güteklasse D
ÖV-Güteklassen nach Norm (konzentrische Kreise)
ÖV-Güteklassen unter Berücksichtigung von Wegzeiten
Kilometer
0 0.4 0.8 1.6 2.4
N


Vergleich unterschiedlich berechneter
ÖV-Güteklassen im Kanton Zug
Gemeinde Zug
Güteklasse A
Güteklasse B
Güteklasse C
Güteklasse D
ÖV-Güteklassen nach Norm (konzentrische Kreise)
ÖV-Güteklassen unter Berücksichtigung von Wegzeiten
Kilometer
0 0.5 1 2 3
N
KANTON LUZERN
ZUG


Gemeinden_ZG (2)
TLM_Strassen (2)
Select Layer By Location (2)
TLM_Strassen (3)
Feature Class to Feature Class (2)
Strassen_ZG
Delete Field
Strassen_ZG (2)
Select (2)
Strassen_FG_ZG
Feature Vertices To Points
FromNodes
Add Surface Information
Strassen_FG_ZG (4)
Add Field (2)
Strassen_FG_ZG (5)
Add Field (3)
Strassen_FG_ZG (9)
Ergebnisse.gdb
Feature Class to Feature Class
Haltestellen_ZG
Haltestellen_ARE
Select Layer By Location
Haltestellen_ARE (3)
swissALTI3D_ZG
Add Surface Information (2)
FromNodes (3)
Add Join
Strassen_FG_ZG (10)
Calculate Field
Strassen_FG_ZG (3)
Strassen_FG_ZG (7)
Gemeinden
Select
Gemeinden_ZG
Feature Vertices To Points (2)
ToNodes
Add Surface Information (3)
ToNodes (3)
Add Join (3)
Strassen_FG_ZG (20)
Calculate Field (2)
Strassen_FG_ZG (8)
Strassen_FG_ZG (19)
Haltestellen_ZG (2)
Add Locations
Service_Area_ZG (3)
Solve
Service_Area_ZG (2)
Solve Succeede
Netzwerk_ZG
Make Service Area Layer
Service_Area_ZG
Feature Class to Feature Class (5)
OeV_Guetekklasse_A
Ergebnisse.gdb (2)
Feature Class to Feature Class (8)
OeV_Guetekklasse_B
Feature Class to Feature Class (6)
OeV_Guetekklasse_C
Feature Class to Feature Class (7)
OeV_Guetekklasse_D
OeV_Guetekklassen_mey (4)
Polygons (2)
Feature Class to Feature Class (4)
OeV_Guetekklassen_mey
Add Field (7)
OeV_Guetekklassen_mey (2)
Add Field (8)
OeV_Guetekklassen_mey (6)
Add Join (2)
OeV_Guetekklassen_mey (10)
Calculate Field (8)
OeV_Guetekklassen_mey (7)
Remove Join (2)
OeV_Guetekklassen_mey (8)
Calculate Field (9)
OeV_Guetekklassen_mey (9)


Strassen_FG _ZG (9)
Strassen_FG _ZG (3)
Strassen_FG _ZG (8)
Remove Join
Add Field
Strassen_FG _ZG (11)
Strassen_FG _ZG (12)
Calculate Field (3)
Select Layer By Attribute
Strassen_FG _ZG (2)
Strassen_FG _ZG (13)
Calculate Field (4)
Select Layer By Attribute (2)
Strassen_FG _ZG (15)
Strassen_FG _ZG (18)
Add Field (4)
Add Field (5)
Strassen_FG _ZG (14)
Strassen_FG _ZG (6)
Calculate Field (5)
Calculate Field (6)
Strassen_FG _ZG (16)
Strassen_FG _ZG (23)
Add Field (6)
Calculate Field (7)
Strassen_FG _ZG (17)
Strassen_FG _ZG (22)
Netzwerk
Feature Class to Feature Class (3)
Strassen_FG _ZG_def
OeV_Guetek lasse_A
Dissolve (2)
OeV_Guetek lasse_Diss_ A
OeV_Guetek lasse_B
Dissolve
OeV_Guetek lasse_Diss_ B
OeV_Guetek lasse_C
Dissolve (3)
OeV_Guetek lasse_Diss_ C
OeV_Guetek lasse_D
Dissolve (4)
OeV_Guetek lasse_Diss_ D
Union
OeV_Guetek lasse_Union
Add Field (9)
OeV_Guetek lasse_Union (2)
Calculate Field (10)
OeV_Guetek lasse_Union (4)
Make Feature Layer
OeV_Guetek lasse_Union _C
Calculate Field (11)
OeV_Guetek lasse_Union _C (3)
Make Feature Layer (2)
OeV_Guetek lasse_Union _B
Calculate Field (12)
OeV_Guetek lasse_Union _B (2)
Make Feature Layer (3)
OeV_Guetek lasse_Union _A
Calculate Field (13)
OeV_Guetek lasse_Union _A (3)
OeV_Guetek lasse_Union (3)
Dissolve (5)
OeV_Guetek lasse_def