

Morphologische Analyse der Täler zwischen Raab und Mur

Von C. ROFFEIS¹, K. STÜWE¹, S. HERGARTEN¹
Mit 5 Abbildungen

Angenommen am 14. Dezember 2006

Summary: Morphological analyses of valleys between Raab and Mur. – This work explores potential causes for the parallel orientation and valley asymmetry of seven rivers between Raab and Mur in a part of the east-Styrian basin. In particular we aim to discern between (i) asymmetric erosion of gently dipping strata and (ii) tectonic tilting as a cause. For this, channel profiles of the seven streams were investigated. Measured channel profiles were compared with model profiles which were numerically modelled assuming an ideally equilibrated river. Deviations between measured and modelled channel profiles were looked up in the field. Some of these deviations could be explained by lithological changes or anthropogenic alterations, for others no obvious cause could be seen in the field. For those we suggest a tectonic input.

Zusammenfassung: Es wird versucht, die Ursache für die straffe Orientierung und Asymmetrie der Täler von sieben Flüssen zwischen Raab und Mur in einem Teilgebiet des oststeirischen Beckens herauszufinden. Es bestand die Überlegung, ob diese auffallende Topographie durch Erosion auf schräg einfallenden Schichten, oder durch Tektonik verursacht wurde. Dazu wurden topographische Längsprofile der Flüsse untersucht. Gemessene Profile wurden dazu mit Modellkurven idealer, sich mit der Umgebung im Gleichgewicht befindlicher Flüsse verglichen. Abweichungen, zwischen gemessenen und modellierten Flussprofilen wurden anschließend unter die Lupe genommen. Einige konnten lithologischen Übergängen oder baulichen Veränderungen zugewiesen werden, für andere gab es keine bessere Erklärung als die Aktivität von Tektonik.

1. Einleitung

Das Steirische Becken bildete sich im Zusammenhang mit der Krustendehnung im Pannonischen Raum im Miozän als marines Becken. Nach dem Ende der Subduktion im Karpatenbogen vor etwa 13 Millionen Jahren hörte die Sedimentation jedoch auf und das Becken wurde invertiert (SACHSENHOFER & al. 1997). Diese Beckeninversion und die damit zusammenhängenden tektonischen und erosiven Prozesse führten zum heutigen Erscheinungsbild des Steirischen Beckens. Durch das Zusammenspiel von Erosion und Tektonik sind eine Reihe morphologischer Auffälligkeiten entstanden. So zeigt zum Beispiel das Gebiet zwischen Raab und Mur im oststeirischen Becken eine systematische Ausbildung des Gewässernetzes (Abb. 1): Die straffe Nord-Süd-Ausrichtung der Täler, sowie die starke Asymmetrie der topographischen Rücken stechen sofort ins Auge (STÜWE & HERGARTEN 2005). Es stellt sich die Frage nach der Entstehung dieser Erscheinungen. Zwei Möglichkeiten bestehen: Sie können einerseits Erosionserscheinungen oder andererseits tektonische Kippungen der obersten Krustenblöcke sein (Abb. 2). Die beiden Prozesse sind Endglieder eines komplizierten landschaftsformenden Prozesses (KIRBY & WHIPPLE 2001). Ein Verständnis der relativen Beiträge dieser zwei Prozesse in der Oststeiermark hilft, die morphologische Entwicklung dieses Bereiches zu erklären. Diese Arbeit ist ein Beitrag, diese relativen Beiträge aufzulösen. Dafür werden die Flussprofile von sieben nahezu parallel fließenden Flüssen mit Mündung in die Mur untersucht.

¹ Institut für Erdwissenschaften, Karl-Franzens-Universität Graz, Heinrichstraße 26, A-8010 Graz

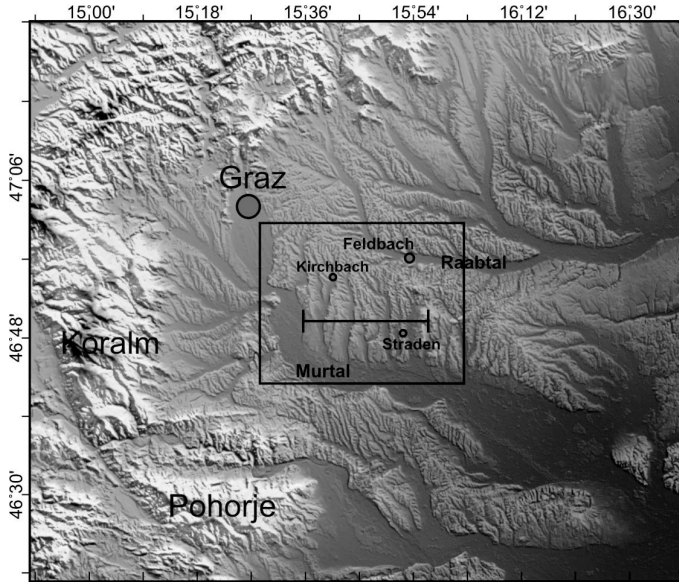


Abb. 1: Topographische Karte des Ostrandes der Alpen mit dem angrenzenden Steirischen Becken. Die Grauschattierung geht von dunkel (270 m Seehöhe in der SE-Ecke der Karte) bis hell bei 2140 m Seehöhe am Großen Speikkogel. Der umrandete Bereich zeigt das Gebiet von Abb. 3 und die Linie darin das Profil von Abb. 2c. Die Karte wurde aus dem digitalen Höhenmodell SRTM3 mittels der Software GMT erstellt.

Topographic map of the eastern end of the Alps and the Styrian Basin. The grey shading goes from dark (270 m altitude seen in the south-east corner of the map) to light at 2140 m altitude at the Great Speikkogel. The box is enlarged on fig. 3 and the black line marks the profile of fig. 2c. The map was created with the SRTM3 digital elevation model using the software GMT.

2. Das Gebiet

Das Arbeitsgebiet liegt zwischen der Raab im Norden und der Mur im Süden im süd-oststeirischen Bereich des Steirischen Beckens im Bereich 15°35' bis 15°53' Ost und 46°40' bis 47°00' Nord (Abb. 1, 3). In diesem Bereich wurden von Ost nach West folgende Flüsse untersucht: Der Schwarzaubach, der Lieber Bach (der als Zufluss in den Schwarzaubach mündet), der Saßbach, der Ottersbach, der Auersbach (als Zufluss in den Ottersbach), der Gnasbach und der Poppendorfer Bach (Abb. 3). Es wird betont, dass die Namen vor allem im Oberlauf zum Teil von den regional gebräuchlichen Namen abweichen.

Das Arbeitsgebiet liegt zwischen ca. 200 und 500 Metern Seehöhe. Die tiefsten Punkte bilden das von West nach Ost verlaufende Murtal im Süden und das ebenfalls von West nach Ost verlaufende Raabtal im Norden. Der Abstand zwischen diesen zwei Haupttälern beträgt auf Höhe des Schwarzaubaches etwa 34 Kilometer und wird nach Westen hin etwas schmaler. Beim Poppendorfer Bach beträgt er etwa 26 Kilometer. Interessanterweise liegt die Wasserscheide zwischen Mur und Raab sehr nahe an der Raab: Schon ca. zwei bis drei Kilometer südlich vom Raabtal fließen die Flüsse nach Süden in die Mur. Diese Nord-Süd Asymmetrie deutet auf eine mögliche Kippung um eine Ost-West gerichtete Achse hin. Es gibt jedoch auch eine deutliche Asymmetrie der Nord-Süd verlaufenden Täler: Die Ostseiten der Täler sind steil, wogegen die Westseiten flacher sind (Abb. 2c, 3). Dies ist vor allem an den landwirtschaftlich genutzten Flächen zu erkennen, die vor allem an den flacheren Osthängen liegen.

Die oben beschriebenen Flüsse sind im Schnitt etwa zwei bis drei Kilometer voneinander entfernt und durch Rücken getrennt, die etwa 100 Meter über der Talsohle liegen.

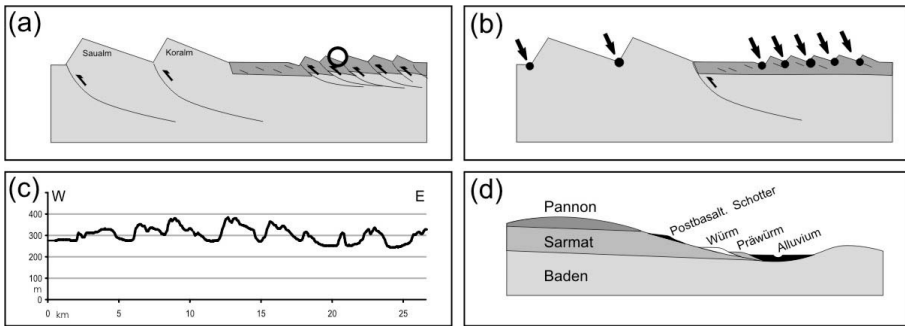


Abb. 2: Schematische und gemessene West-Ost Profile über die Täler zwischen Raab und Mur entlang der Linie von Abb. 1. (a) und (b): Schematische Darstellung verschiedener Endglieder landschaftsbildender Prozesse: (a) Talasymmetrie durch Verkippung bei der Beckeninversion verursacht. (b) Talasymmetrie durch asymmetrische Erosion der Flusstäler verursacht. (c) Aus dem digitalen Höhenmodell gemessenes West-Ost Profil. Auf der vertikalen Achse sind die Seehöhen in Metern aufgetragen, auf der horizontalen die laterale Distanz in Kilometern. Die Flüsse fließen in den asymmetrisch verlaufenden Tälern, die die tiefsten Punkte im Profil darstellen. (d) Schematischer Querschnitt durch einen der flachen Westhänge im Arbeitsgebiet (z.B. im Bereich des Kreises auf (a)). Die Schichten fallen wie im gesamten Steirischen Becken leicht nach Osten ein, wobei ein Unterschied in der Mächtigkeit auffällt. Postbasaltische Ablagerungen sowie zwei Generationen von Terrassen sind am Hang aufgeschlossen.

Schematic and measured west-east profiles across the valleys between Raab and Mur along the line of fig. 1. (a) and (b): Cartoons of two end members of landscape forming processes: (a) Asymmetry of the valleys caused by block tilting during basin inversion. (b) The asymmetry of the valleys is caused by asymmetric erosion. (c) West-east profile as measured from the digital elevation model. The vertical axis shows elevation in meters, the horizontal axis shows distance in kilometres. The rivers flow along the asymmetric valleys, which are the lowest points in the profiles. (d) Schematic profile through one of the west-sides of the valleys in the working area (e.g. the area indicated by a circle in (a)). As in the entire Styrian Basin, the strata gently dip towards the east, but there are differences in elevation. Postbasaltic deposits and two generations of terraces are shown.

Ortschaften wie Straden liegen entlang der Rücken, wogegen Ortschaften wie Kirchbach entlang des Talrandes liegen. Viele dieser morphologischen Erscheinungen wurden bereits von WINKLER VON HERMADEN (1955) beschrieben und zum Teil auch interpretiert. Erstmals wird hier eine systematische Analyse des digitalen Höhenmodells vorgenommen.

2.1 Die geologischen Verhältnisse im Arbeitsgebiet

Das gesamte Gebiet fällt in den Bereich der Jungtertiären Beckenfüllung (FLÜGEL & NEUBAUER 1984). Aufgrund der sanften Nordostkipfung des gesamten Beckens ergibt sich, dass die jüngsten Schichten im Norden und Nordosten des Bearbeitungsgebietes aufgeschlossen sind, wogegen die ältesten Einheiten näher der Mur zu finden sind (Abb. 3b).

Im Detail zeigt sich folgendes Bild: Der Ursprung der Flüsse nahe der Raab befindet sich in Pannonischen Sanden und Lehmen (11,5–7,12 Ma). Diese Schichten sind über etwa vier Kilometer im Oberlauf der Flüsse aufgeschlossen. Südlich der Pannonischen Schichten fließen die Flüsse durch die Ablagerungen aus dem Sarmatium (13–11,5 Ma), und durch stellenweise auftretende postbasaltische Schotter und Lehme aus dem Pliozän und Altquartär (nach FLÜGEL & NEUBAUER 1984). Mit dem flachen Einfallen der Schichten (043/06; 043/05; 044/09; 055/10) kann aus der Nord-Süd Erstreckung der aufgeschlossenen Schichten die Mächtigkeit des Sarmatiums von einigen 100en Metern abgeschätzt werden. Diese Abschätzung stimmt gut mit der von FLÜGEL & NEUBAUER (1984: 18) abgeschätzten Mächtigkeit überein. Im Unterlauf fließen die Flüsse durch das Badenum (16,4–13 Ma), das aber in diesem Bereich aufgrund der jungen Terrassenüberdeckungen nur fleckhaft aufgeschlossen ist.

Das ganze Gebiet ist von Terrassen geprägt, die aufgrund morphologischer Kriterien in zumindest zwei Alter unterteilt werden (WINKLER VON HERMADEN 1955): In eine „Höhere Terrasse“ die dem Präwürm zugeordnet wird und eine Niederterrasse aus dem Würm

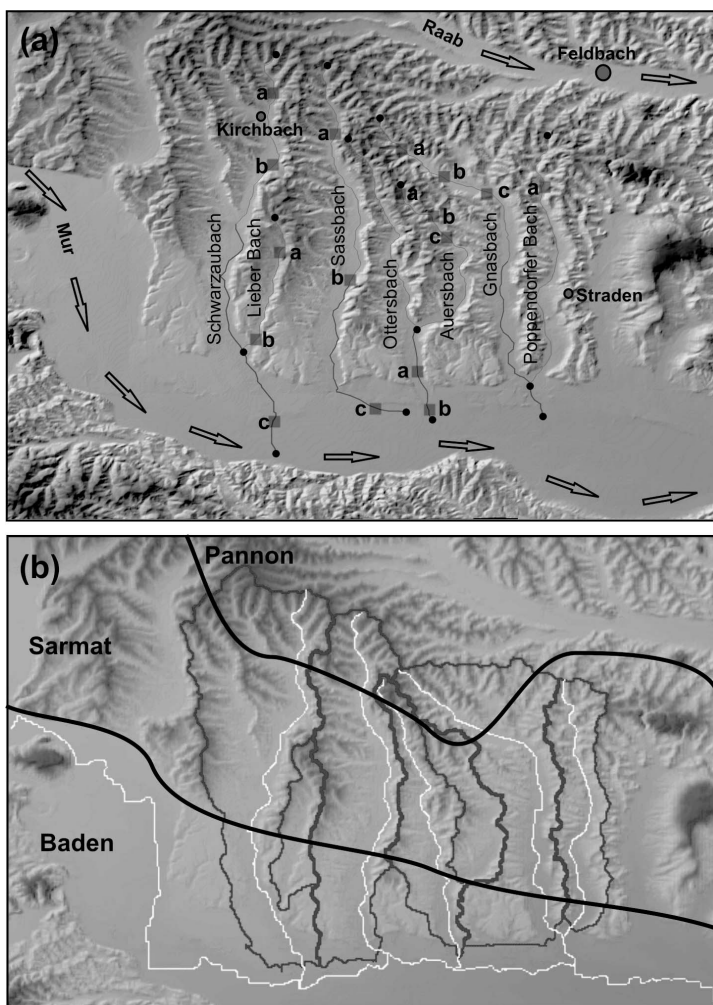


Abb. 3: (a) Topographische Karte des Arbeitsgebietes mit den sieben untersuchten Flüssen. Die Anfangs- und Endpunkte (schwarze Punkte) kennzeichnen den modellierten Bereich. Die mit a;b;c markierten Stellen zeigen die auf Abb. 5 markierten Punkte der Flussprofile. (b) Die Einzugsgebiete der sieben Flüsse. Die Größen dieser Flächen wurden für die Berechnung der Wassermenge im numerischen Modell herangezogen. Die beiden durchgezogenen Linien zeigen schematisch die geologischen Grenzen im Gebiet. Einige der Knicke in den „Channel Profiles“ können diesen Lithologieübergängen zugeordnet werden. Es ist jedoch zu beachten, dass vor allem die Sarmatium – Badenium Grenze großteils von jungen Terrassen überdeckt ist.

(a) Topographic map of the study area with the seven explored rivers. The black dots mark the beginning and end of each modelled river. The letters mark points along the river discussed in fig. 5. (b) The drainage areas of the seven Rivers. The size was used to calculate the amount of water flowing down the rivers, a value required in the model calculations. The black lines mark the geological margins of the area. Some of the knick-points in the channel profiles can be explained by such margins. Note, that especially the Sarmatium – Badenium contact is mostly covered by young terraces.

(Abb. 2d). Das Alluvium beginnt bei allen Flüssen des Gebietes kurz unterhalb ihrer Ursprünge und zieht sich bis in die Mur. Im Murtal selbst ist das Alluvium teils großflächig ausgebildet. Der Aufbau des Alluviums ist einheitlich: An der Basis liegen Schotter- und Kiesbänke, die stellenweise von Grobsanden ersetzt werden. Darüber liegt eine Decke aus Lehm, sandigem Lehm und Feinsand. Die Mächtigkeit der alluvialen Aufschüttungen liegt im Mittel zwischen 5 und 10 Metern (WINKLER VON HERMADEN 1955).

3. Vorgehensweise

Im vorhergehenden Abschnitt wurde gezeigt, dass die Schichten im Arbeitsgebiet mehrere hundert Meter mächtig sind, wogegen tektonischer Vertikalversatz – wenn überhaupt vorhanden – kaum an die hundert Meter reicht. Es ist daher nicht möglich, Beobachtungen der Gegenüberstellung verschiedener Gesteinseinheiten dazu zu verwenden, den tektonischen Versatz zu interpretieren. Daher wurden in dieser Arbeit morphologische Kriterien dazu herangezogen. Insbesondere wurde das Gefälle der Flüsse untersucht. Dazu wurden von den sieben oben angeführten Flüssen so genannte „Channel Profiles“ (BURBANK & ANDERSON 2001: 1) angefertigt.

Es stand uns dazu ein Höhenmodell der Steiermark zur Verfügung, das mit einer Auflösung von 35/50 Meter (West-Ost/Nord-Süd Auflösung) im direkten Vergleich zum frei verfügbaren Modell SRTM3 (mit Auflösung von drei Winkelsekunden oder etwa 60/90 Metern) mehr Detail bietet. Systematische Fehler wurden korrigiert. Die aus dem Höhenmodell gemessenen „Channel Profiles“ wurden mit numerisch modellierten Gleichgewichtsprofilen verglichen. Abweichungen zwischen gemessenen und modellierten Profilen können verschiedene Ursachen haben, wie etwa Änderungen der Lithologie, Zuflüsse, bauliche Veränderungen oder auch Tektonik. Punkte mit Abweichungen wurden dann im Gelände aufgesucht und Ursachen für die Abweichungen interpretiert. Um das Höhenmodell morphologisch zu analysieren, wurden die Computerprogramme „Rivertools 3.0“ (<http://www.rivertools.com/>) und das selbst geschriebene Programm „Riverprofile“ verwendet.

3.1 Das numerische Modell

Zur numerischen Berechnung der Flussläufe wurde die in der Landschaftsmodellierung übliche Annahme getroffen, dass die Erosionsrate E von der Wassermenge q und der Neigung des Flusses dH/dl abhängt:

$$E \approx -q \left(\frac{dH}{dl} \right)^a \approx -A \left(\frac{dH}{dl} \right)^a \quad (1)$$

Darin ist l die Länge des Flusses entlang des Flussbetts und H die Höhe des Flussbetts. Im morphologischen Gleichgewicht eines einschneidenden Flusses ist E konstant. Empirisch ist gezeigt worden, dass die Neigung des Flusses einen größeren Einfluss auf die Erosionsrate hat, als die Wassermenge. Im Modell wird dies durch einen Exponenten a ausgedrückt. Das negative Vorzeichen ergibt sich dabei daraus, dass die Erosion negativ (also nach unten) geht. Für den Wasserfluss q wurde angenommen, dass er proportional zur Fläche des Einzugsgebietes A ist. Das wiederum steht in Beziehung zur Flusslänge (HACK 1957) sodass gilt $q \approx A \approx l^b$ und daher gilt, wenn E konstant ist:

$$\frac{dH}{dl} \approx -l^{-1/(ah)} \quad (2)$$

Für geradlinige Flüsse mit kreisförmigen Einzugsgebiet wäre $b = 0,5$. Der wirkliche Faktor im Untersuchungsgebiet wurde mit einem logarithmischen Plot der Flussprofile gegen ihre Einzugsbeckengröße mit der Software Rivertools bestimmt (Abb. 4). Integrieren von Gleichung (2) ergibt:

$$H \approx \frac{-1}{(1 - 1/ah)} l^{1-1/ah} + D \quad (3)$$

Gleichung (3) beschreibt einen exponentiellen Abfall der Flussbetthöhe H mit der Flusslänge l . Darin ist D eine Integrationskonstante, die die absolute Höhe der Flussprofile angibt. Allerdings gilt Gleichung (3) nur für einen Fluss bei dem das Einzugsgebiet

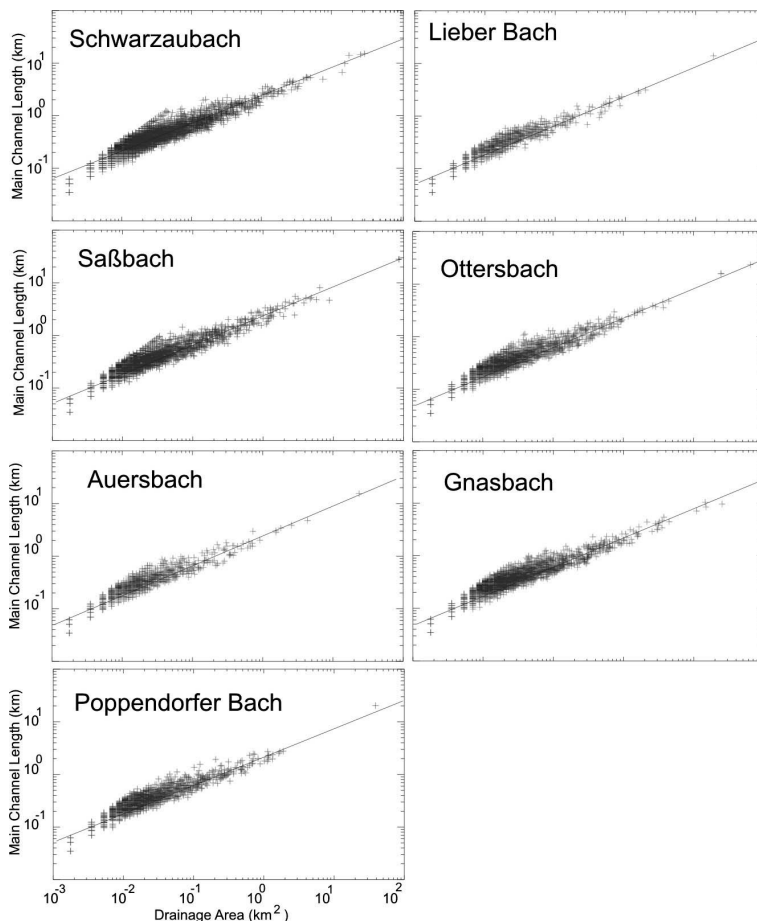


Abb. 4: Diagramme der Einzugsbeckengröße („Drainage Area“) gegen Flusslänge („Main Channel Length“) für die sieben untersuchten Flüsse. Die Punktwolken ergeben sich aus den unterschiedlichen Werten der Flüsse mit geringerer Ordnung, die in den jeweiligen Hauptfluss des Einzugsgebietes fließen. Die gemittelten Geraden sind sehr ähnlich. Sie alle ergeben einen Wert für $b = 0,55$.

Diagram of drainage area against main channel length for the seven studied rivers. The fact that there is a number of data points for each channel length, stems from the fact that rivers of all orders are considered. Note that the best fit for all area-distance plots shown here give an exponent of (in equation 2) of $b = 0.55$.

kontinuierlich mit der Flusslänge wächst. Bei einem unregelmäßigen Zuwachs des Einzugsgebietes mit Flusslänge entstehen in wirklichen Flüssen auch im erosiven Gleichgewicht Knicke im Flussprofil, die aber nicht durch Tektonik interpretiert werden dürfen. Um solche Knicke von Fehlinterpretationen auszuschließen, wurde in dieser Arbeit nicht Gleichung (3) verwendet, sondern Gleichung (1) numerisch integriert. Dadurch werden Knicke im Flussprofil, die durch Zuflüsse entstehen, berücksichtigt. Verbleibende Abweichungen der gemessenen von den modellierten Flussprofilen können tektonisch interpretiert werden. Die modellierten Flussprofile wurden in der Länge so gewählt, dass sie bis mindestens über die letzte ersichtliche Geländekante und in das Murtal hinein reichen (Abb. 3a). Im letzten Teilstück zur Mur gibt es Differenzen zwischen modellierten und realen Flussläufen, die auf Grund der geringen Hangneigung in diesem Bereich auf Ungenauigkeiten des Höhenmodells zurückzuführen sind.

4. Ergebnisse

Um den Exponenten h in Gleichung (2) zu bestimmen, zeigt Abb. 4 Diagramme, in denen die Größe der Einzugsgebiete („Drainage Area“) gegen die Länge der Flüsse („Main Channel Length“) aufgetragen ist. Dabei wurden Flüsse aller Ordnungen für jedes der sieben Einzugsgebiete berücksichtigt. Daher kommen für jede Flusslänge mehrere Einzugsgebietsgrößen vor. Aufgrund der logarithmischen Darstellung, kann der Exponent h als Steigung der Datenwolke abgelesen werden. Dazu wurden gemittelte Geraden über die Punktwolken gelegt. Es ergibt sich bei allen sieben Flüssen: $h = 0,55$. Dieser Wert entspricht einem durchschnittlichen Fluss, wo h zwischen 0,52 und 0,6 liegt (HERGARTEN 2002: 193-195). Nichtsdestotrotz weicht die Punktwolke zu stark von einer kontinuierlichen Beziehung ab, sodass dieser Wert von h nicht verwendet wurde, und die Flussprofile mit einer numerischen Integration von Gleichung (1) modelliert wurden.

Die „Channel Profiles“ aller sieben Flüsse wurden dann mit dem Programm „Gnu-plot“ über modellierte Flussprofile gelegt. Auffällige Unstimmigkeiten müssen entweder tektonischer Herkunft, oder durch bauliche Veränderungen verursacht worden sein. Mögliche Ursachen werden im Folgenden für jeden einzelnen Fluss diskutiert. Wenn wir im Folgenden von Knicken, Absenkung, Hebung oder S-Form sprechen, ist immer die vertikale Abweichung relativ zum Gleichgewichtsprofil gemeint, so wie sie aus Abb. 5 interpretierbar ist.

Das Flussprofil des **Schwarzaubaches** wurde bis fast zur Mur modelliert. Die Mur selbst liegt an der unteren Geländekante des Tales. Punkt a) zeigt die erste markante Abweichung, eine plötzliche Höhenänderung im Höhenmodell um ca. zehn Meter. Im Gelände war nichts Auffallendes zu erkennen, der Fluss zeigte nur viele Mäander. Die Ursache ist aller Wahrscheinlichkeit nach die Lithologie: Der Punkt liegt genau an der Schnittstelle zwischen Pannonium und Sarmatium. Punkt b) war sowohl im Gelände als auch auf den Karten unauffällig. Punkt c) zeigt die letzte topographische Front an. Auffallend ist der Abfall des Profils auf den letzten Kilometern. Dies kommt bei fast allen Flüssen vor.

Der **Lieber Bach** ist einer der drei Flüsse, die nicht bis ins Murtal, sondern nur bis zu ihrem Zufluss in den nächst größeren Fluss geplottet wurden. Der Lieber Bach mündet in den Schwarzaubach. Die Mündung selbst ist in der Realität steiler als im Plot, der letzte Kilometer des Flusses geht noch um eine kleine Geländekante herum. Der mit a) gekennzeichnete Bereich von etwa drei Kilometern zeigt nichts Auffallendes. Der Fluss ist klein, naturbelassen und einheitlich im Sarmatium. Ähnliches zeigt sich an b). In der Mitte des Bereiches liegt eine Brücke. Flussaufwärts ist das Gewässer relativ breit, flach, oft beinahe stehend und von Mäandern gekennzeichnet. Flussabwärts zeigt sich ein ähnliches Bild. Markant ist wieder die Absenkung im Profil am Ende des Flusses, obwohl der modellierte Bereich bei diesem Beispiel nicht das Murtal quert.

Auch der **Saßbach** ist nur etwa über die letzte Geländekante ins Murtal hinein geplottet worden, da er nicht direkt in die Mur mündet, sondern nach dem Knick nach Osten mit dem Ottersbach zusammenfließt. Die kleine Absenkung im Profil bei Punkt a) lässt sich wieder sehr gut mit dem Übergang ins Sarmatium korrelieren. Bei Punkt b) fällt zwar in der geologischen Karte auf, dass dort das Alluvium schmaler wird, weiters ist aber nichts zu erkennen. Der Fluss befindet sich im Sarmatium. Sofort ins Auge sticht an diesem Profil Punkt c). Die Ursachen für die ca. zehn Meter Absenkung auf kurzer Distanz lässt sich weder auf den Karten noch im Gelände feststellen. Die Gegend ist dort flach und ohne ersichtliche Hindernisse. Einzig ein Trinkwasserbecken bei der Ortschaft Oberarakitsch ist erwähnenswert. Es ist allerdings zu klein für eine solche Stufe, auch stimmt die Lage nicht genau mit dem Knick überein. Dieser Knick im Profil ist allerdings wichtig, da solche Knicke am Ende des Profils an mehreren anderen Flüssen auch auftreten.

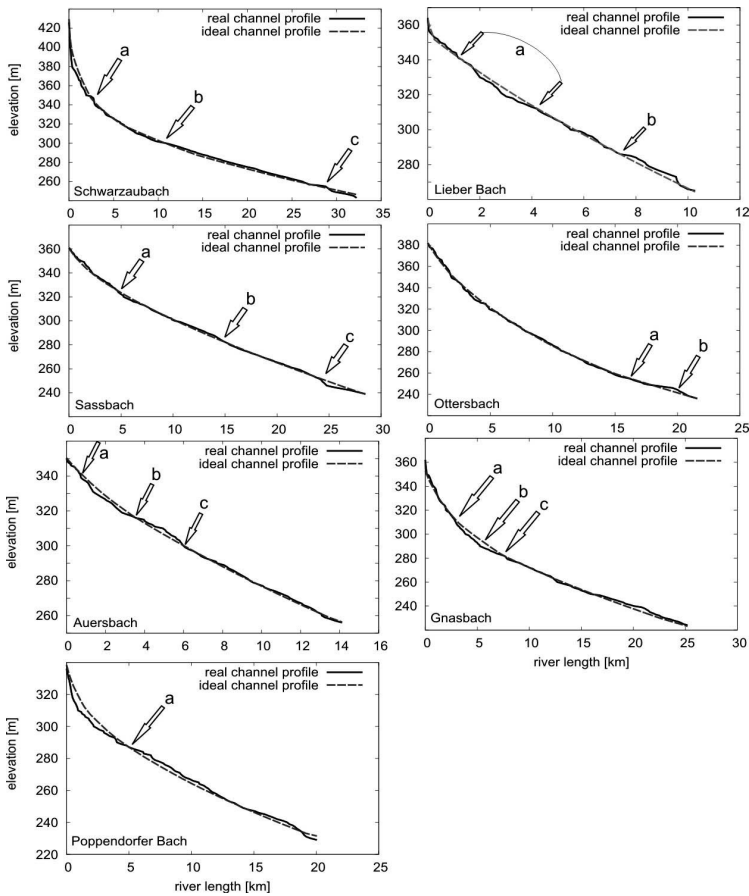


Abb. 5: Vergleich der Flussprofile (auf der Abbildung: durchgezogene Linie: „real channel profile“) mit den Reverenzkurven (auf der Abbildung: gestrichelte Linie: „ideal channel profile“) für jeden der sieben Flüsse. Die Anfangs- und Endpunkte des geplotteten Bereichs der einzelnen Flüsse sind auf Abb. 3a aufgetragen. Bereiche, wo die einzelnen Kurven voneinander abweichen sind mit Buchstaben markiert die mit jenen auf Abb. 3a übereinstimmen.

Comparison of the river profiles (the line “real channel profile”) with modelled curves (the dashed line “ideal channel profiles”) for each of the seven rivers. The beginning and the end of the plotted area is marked in fig. 3a. Deviations of the two curves are labelled with a;b;c and correspond to those shown in fig. 3a.

Auch beim **Ottersbach** stimmt die Realität nicht ganz mit dem aus dem Höhenmodell errechneten Verlauf überein. Beim Zufluss des Auersbaches konstruiert das Modell einen Knick, der auf der topographischen Karte nicht so spitz verzeichnet ist. Der reelle Verlauf des Ottersbaches ist in diesem Bereich gerade nach Süden. Am im Profil als a) benannten Punkt liegt eine kleine Staustufe mit etwa drei Metern Höhe. Es ist zu bemerken, dass diese im Profil nicht auszumachen ist. Punkt b) ist allerdings sehr interessant. Die deutliche Aufwölbung am Ende des Profils steht im Gegensatz zu den anderen Profilen, wo eine Absenkung zu erkennen ist. Die Ursache für diese Aufwölbung konnte weder auf der Karte noch im Gelände ausgemacht werden.

Der **Auersbach** ist neben dem Lieber Bach der zweite, der nicht bis zur Mur, sondern bis in den Zufluss in den nächst größeren Fluss geplottet wurde. Hier ist es der Ottersbach. Wie auch beim Lieber Bach reicht der geplottete Bereich bis knapp über den Zufluss hinaus, um Änderungen im Mündungsbereich ebenfalls zu erkennen. Das Profil ist bis zur Hälfte sehr auffallend, beinahe S-förmig. Dabei sind vor allem der Beginn, das Ende und der Umschlagpunkt in dieser Struktur interessant. Bei a) erfolgt der Übergang ins Sarmatium. Der Fluss ist hier noch sehr klein, vielleicht 30 cm breit, gerade und naturbelassen. Bei b) ist er mit Steinen am Rand leicht reguliert, sonst zeigt sich keine gravierende Änderung. Laut Karte ändert sich hier aber die Richtung des Flusses um fast 90°. Etwas mehr reguliert ist der Fluss bei c). Steinplatten am Bachbettboden und ca. 20 cm hohe Bremsstufen wurden errichtet. Auch hier ist der Fluss schmal, gerade, klein und langsam. Alles in allem zeigt sich weder im Gelände noch auf der Karte eine Besonderheit, die den S-förmigen Verlauf der Kurve verursachen könnte. Das Ende ist aber auch hier wieder leicht abfallend.

Der **Gnasbach** fließt mit dem Poppendorfer Bach zusammen, allerdings erst weiter südlich als im Höhenmodell konstruiert. Markant wirkt die Einsenkung, die bei a) beginnt, bei b) am größten ist und bei c) wieder endet. Im Bereich a) und b) erfolgt der Übergang ins Sarmatium, das Alluvium wird breiter, am Fluss selbst ändert sich sonst aber nichts. Er ist schmal, klein und leicht kurvig. Am Punkt c) ist er leicht mit Steinen am Rand stabilisiert, sonst zeigt sich nichts Auffallendes. Der Zufluss eines Nebenbaches, der im Referenzprofil auch an dieser Stelle als Knick zu erkennen ist, ist auch im Gelände wunderschön zu sehen. Das Ende des Plots ist nicht so stark abfallend wie bei den meisten vorangegangenen Flüssen, die Tendenz dazu ist aber dennoch vorhanden. Man muss aber auch dazu vermerken, dass in diesem Bereich der Verlauf des Flusses im Modell leicht von der Realität abweicht.

Auch der letzte der sieben Flüsse, der **Poppendorfer Bach** zeigt ein S-förmiges Profil im Vergleich zur Modellkurve. Der Umschlagpunkt a) zeigt allerdings keinerlei Auffälligkeiten, nicht einmal die in der Karte verzeichnete kleine Mühle ist zu finden. Der Fluss ist unauffällig, nicht bebaut, nur eine Bahnstrecke liegt in unmittelbarer Nähe. Gut zu sehen ist wieder der markante Abfall am Ende des Profils, wobei hier aber auch wieder nur bis zum Zufluss in den Gnasbach geplottet wurde, der auch weiter südlich liegt wie im Modell eingezeichnet.

5. Diskussion

Die eingangs aufgeworfene Frage, ob die straffe Orientierung der Flussläufe Tektonik oder Erosion zur Ursache hat, lässt sich anhand der Ergebnisse nicht schlüssig beantworten. Für eine erosive Herkunft sprechen die geologischen Verhältnisse. Die eingemessenen Schichten fallen sanft nach Nord-Osten ein. Wasser, das auf schräg liegenden Schichten einschneidet, könnte solch eine Geländetopographie hinterlassen, wo eine Seite steil, die andere flacher ist (Abb. 2b). Für aktive Tektonik in diesem Gebiet gibt es in der Tat noch mehr Hinweise. Die Versätze in den Aufschlüssen zeigen einen Nord-Süd-Verlauf. Außerdem sieht man auf der Seismik Nord-Süd verlaufende Bruchsysteme (Sölvä pers. comm. 2005). Diese könnten eine Ursache für die straffe Orientierung der Flüsse in

diese Richtung sein. Es wird daher interpretiert, dass die straffe Orientierung der Flüsse zwar störungsgebunden ist, aber die Tal-Asymmetrie eher etwas mit der Erosion als mit Vertikalversatz entlang dieser Störungen zu tun hat.

Die Flussprofile gaben dazu einige weitere Anhaltspunkte: Manche der Abweichungen zwischen gemessenen und modellierten Profilen lassen sich lithologisch begründen, bei anderen gibt es aber keinerlei Erklärung, warum die Einschneideraten plötzlich höher oder geringer waren. So zeigen zum Beispiel alle Flüsse eine Abweichung vom numerisch berechneten Modellprofil in den oberen 1–4 Kilometern des Oberlaufes, die andeuten, dass zumindest dieser Teil der Flüsse nicht im Gleichgewicht ist. Interessanterweise sind die Gradienten, ab denen Gleichgewicht eintritt, überall etwa einen cm pro Meter, obwohl dieser Punkt zwischen 1 und 5 km vom Ursprung des Flusses liegt.

Besonders auffallend sind die systematisch auftretenden „Dellen“ der Profile an deren Ende. Bis auf den Ottersbach, der dort eine „Beule“ aufweist, tritt diese Delle bei allen Flüssen mehr oder weniger stark ausgeprägt auf, auch bei jenen dreien, die nicht bis ins Murtal geplottet wurden. Dies schließt einen Fehler im Modell durch das flache und dadurch schwer zu plottende Murtal aus. Es ist möglich dass diese Abweichung tektonisch interpretierbar ist, aber unsere Daten reichen nicht aus, dies zu beweisen. Andererseits treten diese Dellen an Stellen der Flüsse auf, die möglicherweise durch eiszeitliche Terrassenbildungen morphologisch verändert wurden.

6. Schlussfolgerungen

Zusammenfassend lassen sich folgende Schlüsse ziehen: Lithologische Übergänge lassen sich mit den „Channel Profiles“ gut nachweisen. Die straffe Orientierung der Flusstäler ist höchstwahrscheinlich durch Seitenverschiebungen im Beckenuntergrund geprägt. In wieweit die Tektonik bei der Talasymmetrie eine Rolle spielt, lässt sich aus den Daten nicht gesichert ableiten.

Dank

Diese Arbeit entstand aus einer Bakkalaureatsarbeit an der Uni Graz. Wir danken Helmuth Sölva für seine Hilfe und Unterstützung bei allen fachlichen und im Besonderen bei allen computerbezogenen Fragen.

Literatur

- BURBANK D. W. & ANDERSON R. S. 2001: Tectonic Geomorphology. – Blackwell Science Ltd.
- KIRBY E. & WHIPPLE K. 2001: Quantifying differential rock-uplift rates via stream profile analysis. – *Geology* 29: 415–418.
- FLÜGEL H. & NEUBAUER F. 1984: Geologische Karte der Steiermark 1 : 200.000. – Geologische Bundesanstalt.
- FLÜGEL H. W. & NEUBAUER F. 1984: Erläuterung zur Geologischen Karte der Steiermark 1 : 200.000. – Geologische Bundesanstalt, Wien.
- HERGARTEN S. 2002: Self-Organized Criticality in Earth Systems. – Springer, Berlin–Heidelberg–New York.
- SACHSENHOFER R., LANKREIJER A., CLOETINGH S. & EBNER F. 1997: Subsidence analysis and quantitative basin modelling in the Styrian Basin (Pannonian Basin System, Austria). – *Tectonophysics*, 272: 175–196.
- STÜWE K. & HERGARTEN S. 2005: Geomorphology of the Styrian Basin. Tectonic vs. Erosion Length Scaling. – Project Application to the „FWF“.
- WINKLER VON HERMADEN A. 1955: Ergebnisse und Probleme der Quartären Entwicklungsgeschichte im östlichen Alpenraum außerhalb der Vereisungsgebiete. – Springer, Wien.