

Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen University
Fakultät für Georessourcen und Materialtechnik
Geographisches Institut
Lehrstuhl für Physische Geographie und Geoökologie

Lössverbreitung im Pannonischen Becken
Problematik grenzüberschreitender Geodaten und
Lösungsansatz mit GIS für eine Beispielregion
(Grenzregion Ungarn - Rumänien)

vorgelegt als
Masterarbeit
von

Heiko Lindner

Matrikelnummer 293197

zur Erlangung des akademischen Grades Master of Science
im Studienfach Angewandte Geographie.

Gutachter

Herr Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Frank Lehmkuhl

Herr Dr. rer. nat. Georg Stauch

Aachen, im Mai 2016

Lössverbreitung im Pannonischen Becken

Problematik grenzüberschreitender Geodaten und Lösungsansatz mit GIS für eine Beispielregion (Grenzregion Ungarn - Rumänien)

Zusammenfassung

Um eine Karte der Verbreitung von Lösssedimenten im Pannonischen Becken im Bereich der ungarisch-rumänischen Grenze zu erstellen, mussten verschiedene grenzüberschreitende Geodaten verwendet werden. Problematisch waren dabei insbesondere die thematisch-inhaltlichen Unterschiede der zugrunde liegenden internationalen Geodaten; aber auch geodätische Grundlagen wie Projektionen und die Sprachbarriere. Für die ermittelten Probleme wurden Lösungen erarbeitet, wobei für die geodätischen Grundlagen auf die EG-INSPIRE-Richtlinie zurückgegriffen wurde. Der wichtigste Ansatz ist jedoch die inhaltliche Vereinigung beider Räume durch Verschnitt von Geodaten, die aus gescannten, alten Karten gewonnen wurden, mit den topographischen Geländeeigenschaften. Dazu wurden die aus geo- und pedologischen Karten digitalisierten Geodaten über ein digitales Höhenmodell (SRTM-DEM) statistisch ausgewertet und verrechnet. Das Ergebnis ist eine Karte der Lösssedimentverbreitung im Pannonischen Becken im Maßstab von etwa 1:500.000.

Loess distribution in the Pannonian Basin

Problems of cross-border spatial data and solution approach using GIS for a case study region (border region of Hungary - Romania)

Abstract

To create a map showing the distribution of loess sediments in the Pannonian Basin in the border region of Hungary and Romania several different cross-border spatial data had to be used. Particularly there were problems because of the thematically content of the underlying international geodata, but also because of geodetical basics like projections and lingual barriers, respectively. To solve these identified problems some solutions were made e.g. by using the EU-INSPIRE-directive. However, the most important approach is the unification of both areas by blending spatial data generated from scanned old maps with topographical surface properties. Therefore geological and pedological maps were digitized and statistically analyzed and computed via a digital elevation modell (SRTM-DEM). The result is a map of the distribution of loess sediments in the Pannonian Basin in the scale of about 1:500,000.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	IV
1 Einleitung.....	1
2 Abgrenzung des Untersuchungsgebietes und naturräumlicher Überblick	2
2.1 Geologische Entwicklung.....	4
2.2 Klima.....	8
2.3 Landnutzung	9
3 Sedimentologische und pedogene Grundlagen zur Herleitung des Lösungsansatzes	13
3.1 Eigenschaften von Löss und ähnlichen Sedimenten	13
3.2 Herkunft, Transport und Ablagerungsbedingung im Karpatenbecken	14
3.3 Gemeinsame Lössklassifikation.....	19
4 Vorstellung verfügbarer Geodaten	21
4.1 Status quo: „Map of loess distribution in Europe“ von Haase et al. (2007)	21
4.2 Ungarische geologische Karte 1:300.000	24
4.3 Rumänische geomorphologische Karte 1:1.000.000	25
4.4 Rumänische geologische Karte 1:200.000	26
4.5 Rumänische Bodenkarte 1:500.000.....	27
5 Problematik grenzüberschreitender Geodaten im lokalen Kontext.....	28
5.1 Geodätische Grundlagen, Probleme und Lösung	29
5.2 Sprachliche Schwierigkeiten	34
5.3 Thematisch-inhaltliche Klassifikationen	34
6 Lösungsansatz durch Verschnitt von Geodaten in GIS	37
6.1 Methoden und Software.....	38
6.2 Aufbereitung der Karten am Beispiel der rumänischen Bodenkarte	39

6.2.1	Georeferenzierung der Bodenkarte.....	39
6.2.2	Vektorisierung von Bodentyp und -art.....	41
6.3	Transformation von Bodentyp und -art in das potenzielle Ausgangsgestein ...	43
6.3.1	Bodentypen und ihr potentielles Ausgangsgestein.....	44
6.3.2	Identifikation von Lösspotentialflächen anhand von Bodentypen	50
6.3.3	Bodenarten und Rückschlüsse auf das Ausgangsgestein	53
6.4	Auswertung der Landnutzungsklassifikation	56
6.5	Analyse und statistische Auswertung des digitalen Geländemodells.....	59
6.5.1	Hypsometrische Analyse der ungarischen geologischen Karte.....	60
6.5.2	Analyse der Hangneigung.....	64
6.5.3	Topographic Position Index.....	65
7	Modellierung, Klassifikation und Zusammenführung der Daten	68
7.1	Modellierung anhand der pedologischen Daten und der Landnutzung.....	68
7.2	Modellierung anhand der Analyse des DEM.....	70
7.3	Zusammenführung der Daten – Ergebnis.....	71
8	Diskussion	77
9	Fazit und Empfehlung	82
10	Literatur- und Quellenverzeichnis.....	84
A	Anhang.....	92
B	Inhalt der DVD.....	110
	Eidesstattliche Versicherung.....	112

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Abgrenzung des Untersuchungsgebiet und tektonisch-geographische Gliederung des Pannonischen Beckens (verändert nach Dolton 2006:2, eurostat 2015 und Natural Earth 2015).....	3
Abbildung 2-2: Strukturgeologische Gliederung des Pannonischen Beckens (verändert n. Dolton 2006:6).	6
Abbildung 2-3: Verlagerung des Pannonsee-Schelfs und der Paläo-Donau (Magyar et al. 2013:168).....	7
Abbildung 2-4: Landnutzung im Untersuchungsgebiet (Datengrundlage CLC2006).	11
Abbildung 2-5: Prozentualer Anteil der Landnutzungsklassen (CLC-Hauptkategorien) im Untersuchungsgebiet (links) und in der Beispielregion (Datengrundlage CLC2006).	12
Abbildung 3-1: Typische Eventsequenz von Entstehung, Ablagerung und Transport von Löss (nach Pye 1995:657).	15
Abbildung 3-2: Schematische Darstellung von Staubquelle, Transport und Ablagerung von Löss (verändert nach Pye 1995:664).	18
Abbildung 4-1: Lössverbreitung in Europa nach Haase et al. (2007:1310).....	22
Abbildung 4-2: Mutmaßliche Fehler in der Lössverbreitungskarte nach Haase et al. (2007) am Beispiel der Niederlande und Westdeutschlands.	23
Abbildung 4-3: Karte der Lösssedimentverbreitung bzw. quartärgeologische Karte Ungarns.	25
Abbildung 5-1: Problematiken grenzüberschreitender Geodaten (verändert nach Witschas 2007:2 u. 4).28	
Abbildung 5-2: Verzerrung bzw. Drehung des gleichen Kartenausschnitts (Rumänische Bodenkarte 1:500.000) bei unterschiedlicher Projektion: Dealul Piscului 1970 (A) und ETRS1989 LAEA Koordinatenreferenzsystem (B).	31
Abbildung 5-3: Verzerrungseigenschaften der verwendeten Projektionen; Verzerrungsellipsen mit 250 bzw. 500 km Durchmesser, entlang des jeweiligen Mittelmeridians und der Berührbreitenkreise entsprechend Tabelle 5-2 (Quelle Staatsgrenzen: Eurostat 2015).	33
Abbildung 6-1: Schematische, stark vereinfachte Darstellung der grundsätzlichen Arbeitsschritte in GIS	38
Abbildung 6-2: Probleme der Georeferenzierung der Bodenkarte von Rumänien. A: Karte im Originalmaßstab 1:500.000 (bei Papierformat DIN A4). B: Räumliche Auflösung der Karte am Beispiel eines Kreuzungspunkts des Koordinatennetzes. C: Generalisierung der Strukturen der Karte. D: Horizontaler (x) und vertikaler Versatz (y) durch ungünstig zusammengesetzte Blattschnitte der Papierkarte.	40
Abbildung 6-3: Vektorisierung von Bodentyp und -art. Die Bodentypsignaturen ließen sich durch Rahmenlinien, Farben und Buchstabencodes leicht differenzieren (A). Die Signaturen der Bodenarten ändern sich hingegen fließend und sind schwer identifizierbar (B).	42
Abbildung 6-4: Schematische Darstellung der Bodenentwicklung auf Löss (verändert nach Kuntze et al. (1994:236).	45
Abbildung 6-5: Verfahren zur Translation der Bodentypen der rumänischen Bodenkarte 1:500.000 in die deutsche Systematik.	46
Abbildung 6-6: Bodentypen der Beispielregion - deutsche Systematik.	49
Abbildung 6-7: Lösspotentialflächen anhand der Bodentypen.	52

Abbildung 6-8: Verbreitung der Bodenarten in der Beispielregion.	54
Abbildung 6-9: Korngrößendreieck mit verschiedenen Klassifikationen von Lösssedimenten (verändert nach Blott & Pye, ergänzt nach Hartge & Horn 1999 zit.in Blume et al. 2011:177 u. Koch & Neumeister 2005:191).	56
Abbildung 6-10: Digitales Höhenmodell (SRTM).....	59
Abbildung 6-11: Hypsometrische Auswertung der Lösskarte und des DEMs (min = Minimum, max = Maximum, \bar{z} = Mittelwert, σ = Standardabweichung, Md = Median).	61
Abbildung 6-12: Potentielle Verbreitung von Lösssedimenten aufgrund der Höhenlage.....	63
Abbildung 6-13: Hangneigung im Pannonischen Becken.	65
Abbildung 6-14: Entwicklung des TPI bzw. DEV aus dem DEM.	67
Abbildung 7-1: Schematische Darstellung der Modellierung der Lössflächen aus Lösspotentialflächen. .	70
Abbildung 7-2: Verfahrensschema der Zusammenführung der modellierten Lösssedimentflächen und der Bodenart sowie Prinzip der Klassifikation der Lösssedimente.	73
Abbildung 7-3: Überlappung der Datensätze in der Grenzregion (nach Witschas 2004:4).	75
Abbildung 7-4: Karte der Lösssedimentverbreitung im Pannonischen Becken (Ungarn und Rumänien) (Grenzen u. Städte: Eurostat, Flüsse: WISE, Seen: CLC2006).	76
Abbildung A-1: Geologische Karte des Pannonischen Beckens (Auszug aus der IGME5000, verändert nach Asch 2005).	92
Abbildung A-2: Bodentypen in der Beispielregion in der ursprünglichen Kurzbezeichnung.	96
Abbildung A-3: Lösspotentiale aufgrund der Bodenart.....	98
Abbildung A-4: Fließdiagramm der Modellierung.	100
Abbildung A-5: Lösspotential aufgrund der Landnutzung.	101
Abbildung A-6: Klassifizierte Hangneigung in der Beispielregion.	102
Abbildung A-7: Topographic Position Index.	103
Abbildung A-9: TPI Abweichung DEV.	104
Abbildung A-10: Über 9 km ² gemittelte TPI-Abweichung DEV.....	105
Abbildung A-11: Verbreitung von Lösssedimenten im rumänischen Teil des Pannonischen Beckens. ..	106
Abbildung A-12: Zusammenführung der jeweiligen Daten und deren Klassifikation (Legende analog zu den Tabellen Kapitel 7).	107
Abbildung A-13: Vergleich der geologischen Karte Rumäniens mit dem Lössverbreitungsmodell.	108
Abbildung A-14: Vergleich der „Map of loess distribution in Europe“ (Haase et al. 2007) mit den hier gewonnenen Daten.	109

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Flächen und Flächenanteile der Landnutzungsklassen im Gesamtausschnitt und der Beispielregion.....	10
Tabelle 3-1: Vergleich der jeweiligen Klassifikationen.	21

Tabelle 5-1: Häufig verwendete, staatliche geodätische Systeme im Untersuchungsgebiet (mapref.org 2015).	30
Tabelle 5-2: Eigenschaften der verwendeten Projektionen im Vergleich (mapref.org 2015, INSPIRE 2014:10).	34
Tabelle 5-3: Vergleich der geologischen Klassen der ungarischen und der rumänischen geologischen Karte.	35
Tabelle 6-1: Linienbreiten in der Kartendarstellung im Maßstab 1:500.000 und Entsprechung in der Natur.	40
Tabelle 6-2: Zuordnung der Lösspotentiale zu Bodentypen.	51
Tabelle 6-3: Lösspotentiale auf Grund der Landnutzung.	58
Tabelle 6-4: Statistische Auswertung des Höhenmodells (mit z = Höhe, SD = Standardabweichung; Werte in m a.s.l.).	62
Tabelle 6-5: Statistische Auswertung der Hangneigung (α ; Werte in Grad) nach Sedimentklassen.	64
Tabelle 7-1: Reklassifizierung des Ergebnisses.	70
Tabelle 7-2: Klassifikation der Bodenarten.	72
Tabelle 7-3: Gemeinsame Klassifikation der Karte.	74
Tabelle 8-1: Vergleich der flächenhaften Verteilung von Lösssedimenten in der Beispielregion (HU = Ungarn, RO = Rumänien).	80
Tabelle A-1: Landnutzung und Flächeninanspruchnahme im Pannonischen Becken (Gesamtausschnitt) (Datengrundlage CLC 2006).	93
Tabelle A-2: Landnutzung und Flächeninanspruchnahme in der Beispielregion (Datengrundlage CLC 2006).	94
Tabelle A-3: Auszug der Tabelle zur Übersetzung der Bodentypen.	97
Tabelle A-4: Zuordnung der modifizierten Klassifikation zur CLC Klassifikation.	99

1 Einleitung

Karten sind die wichtigsten Informationsträger räumlicher Sachverhalte und Zusammenhänge. Sie waren und sind in der Geographie wohl eines der bedeutendsten Werkzeuge, um räumliche Daten zu verarbeiten, darzustellen und zu interpretieren. Ergänzt wurde dieses Werkzeug in der jüngeren Vergangenheit durch die fortschreitende Entwicklung Geographischer Informationssysteme (GIS). Diese ermöglichen eine schnelle, automatisierte Auswertung von Geodaten und deren bequeme Überlagerung sowie den Verschnitt dieser miteinander.

Probleme können dabei jedoch aufgrund der Tatsache entstehen, dass die Verwaltung von Geodaten in der Regel durch staatliche Institutionen erfolgt. Analoge Karten früher und digitale Geodaten heute, sind daher meist an administrative Grenzen gebunden. Das Ergebnis ist eine Vielzahl unterschiedlichster kartographischer Darstellungen und häufig auch geodätischer Projektionen. Zudem können auch inhaltliche Vorstellungen diesseits und jenseits der Grenze differieren. Hinzu kommen sprachliche Barrieren. Wichtiger als diese Einschränkungen ist jedoch, dass geowissenschaftliche Sachverhalte und Prozesse nicht an Staatsgrenzen aufhören, sondern durch natürliche Grenzen, wie zum Beispiel Wasserscheiden, Gebirge oder Küsten begrenzt sind.

Am Beispiel der Verbreitung quartärer äolischer Sedimente im Pannonischen Becken - oder genauer von Lösssedimenten - soll in dieser Arbeit sowohl die damit einhergehende Problematik grenzüberschreitender Geodaten aufgezeigt, als auch ein Lösungsansatz vorgestellt werden.

Es werden zunächst das Untersuchungsgebiet und dessen Naturraum vorgestellt. Vor dem Hintergrund der eingangs beschriebenen Problematik soll dann eine Datenbestandsaufnahme durchgeführt werden. Die dabei auftretenden Probleme werden auf technischer wie auch auf inhaltlicher Ebene konkretisiert. Anschließend wird für einen Teil des Pannonischen Beckens im Grenzgebiet Ungarn-Rumänien ein Lösungsansatz vorgestellt, mit dessen Hilfe die Lösssedimentverbreitung in einem Teil des Pannonischen Beckens modelliert wird.

Mit Hilfe eines Geoinformationssystems werden die benötigten, grenzüberschreitenden Geodaten erstellt, verarbeitet und präsentiert. Dazu werden alte, gescannte Papierkar-

ten verwendet, die im Internet zugänglich sind. Besonders hervorzuheben sind hier die geologische Karte von Ungarn 1:300.000 und die Bodenkarte von Rumänien 1:500.000, die den Großteil der inhaltlichen Grundlagen für diese Arbeit darstellen. Wegen der großen inhaltlichen Unterschiede der verwendeten Karten, liegt der Schwerpunkt bei der Modellierung der Lösssedimente auf rumänischem Gebiet.

Anhand der Geodaten wird dazu unter anderem mithilfe digitaler Geländeinformationen (SRTM-DEM) die Verbreitung von Lösssedimenten eingeschätzt und daraus Lösspotentialflächen gebildet, die anschließend miteinander kombiniert werden. Dadurch ergibt sich mit jedem Schritt ein genauer werdendes Modell der Lösssedimentverbreitung.

Ein weiterer Fokus wird im Zuge des Modells auf eine grenzüberschreitend-einheitliche Klassifikation und Nomenklatur gelegt. Das Endergebnis soll eine nahtlose Karte der Verbreitung von Lösssedimenten im Pannonischen Becken im ungefähren Maßstab 1:500.000 sein.

2 Abgrenzung des Untersuchungsgebietes und naturräumlicher Überblick

Das Untersuchungsgebiet liegt im südöstlichen Zentraleuropa, im Bereich des Pannonischen Beckens oder Karpatenbeckens. Das Pannonische Becken wird administrativ und flächenmäßig hauptsächlich von Ungarn in Anspruch genommen, gehört aber in weiteren Teilen zur Slowakei, Serbien und Kroatien. Kleinere Bereiche werden von Österreich, Bosnien und Herzegowina, von Slowenien, der Ukraine und Rumänien beansprucht.

Durch seine tektonische Genese wird es naturräumlich durch die Alpen im Westen, den Karpatenbogen im Norden und Osten bis hin zum Südosten und durch die Dinariden im Süden abgegrenzt. Abbildung 2-1 gibt die Lage des Pannonischen Beckens im geographischen wie auch im tektonischen Kontext wieder. Daran wird ferner auch die Strukturierung des Pannonischen Beckens deutlich. Des Weiteren wird die für diese Arbeit maßgebliche Beispielregion - das Grenzgebiet Ungarn-Rumänien - dargestellt.

Um das ungarische Gebiet des Pannonischen Beckens in GIS zu erfassen, wurde in ArcGIS eine rechteckige Bearbeitungsmaske angelegt. Diese Maske für den Gesamtausschnitt reicht von ca. 16,2° E 49,0° N im Nordwesten bis 23,3° E 44,4° N im Südosten. Damit werden relevante Teile des Pannonischen Beckens und die Beispielregion, die topographisch etwas über das Pannonische Becken hinausreicht, gut abgedeckt. Die berechnete Fläche dieses Raumes bzw. des Kartenausschnitts beträgt ca. 269.225 km².

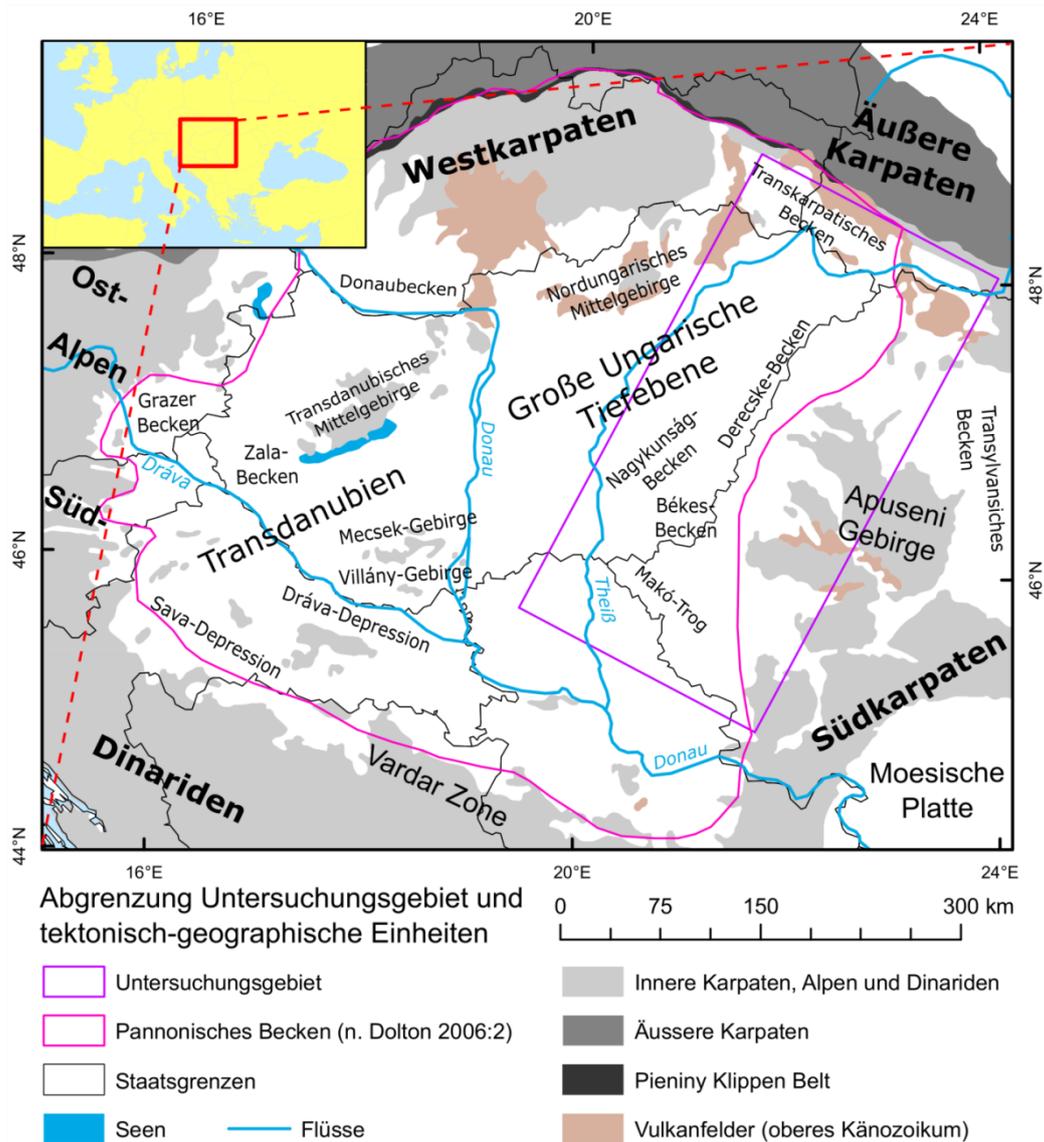


Abbildung 2-1: Abgrenzung des Untersuchungsgebiet und tektonisch-geographische Gliederung des Pannonischen Beckens (verändert nach Dolton 2006:2, eurostat 2015 und Natural Earth 2015).

Das eigentliche Untersuchungsgebiet, die Beispielregion, liegt im Grenzgebiet von Ungarn und Rumänien. Um einen möglichst vielfältigen Bereich abzudecken, reicht es von der Grenze aus jeweils etwa 100 km nach Osten und Westen. Dadurch wird eine Fläche von 77.435,62 km² erfasst. Im Norden bildet die ukrainisch-rumänische Grenze den Abschluss, im Süden die serbisch-rumänische. Durch die weitreichende Abgrenzung nach Ost und West wird gewährleistet, dass das methodische Vorgehen in Rumänien mit der bestehenden ungarischen Lösskarte vergleichbar wird.

In Rumänien selbst wird das Untersuchungsgebiet im weiteren Sinne durch die natürliche Grenze der südlichen Karpaten mit ihrem nördlichen Ausläufer der *Apusenischen Berge* begrenzt; weiter nach Norden, im Bereich der ukrainisch-rumänischen Grenze, durch die *Äußeren Karpaten* und die vorgelagerte vulkanische Zone. Damit ist nicht nur eine willkürliche oder administrative Abgrenzung der Beispielregion erfolgt, sondern auch eine natürliche.

Dadurch, dass die Bearbeitungsmaske für die Beispielregion mithilfe eines rechtwinkligen Buffers von je 100 km um die Grenze gelegt wurde, überragt diese Maske den Gesamtausschnitt des Pannonischen Beckens. Da sich diese überlappende Zone jedoch außerhalb Ungarns und somit außerhalb des Wirkungsbereichs der Lösskarte Ungarns befindet, ist dieser Teil für die Statistik irrelevant und dient lediglich der Optik. Für Berechnungen, die auf dem Gesamtausschnitt basieren, wird daher dieser Bereich bewusst vernachlässigt, sodass es hierdurch nicht zu Fehlern kommen kann.

2.1 Geologische Entwicklung

Das Karpatenbecken, in der Geologie häufiger Pannonisches Becken genannt, ist ein intramontanes Becken mit etwa 500 - 600 km Durchmesser. Es wird morphologisch und geologisch durch den Karpatenbogen im Nordwesten bis hin zum Südosten umschlossen und durch die Dinariden im Süden und die Ostalpen im Westen begrenzt (Schönenberg & Neugebauer 1997:240). Eine geologische Karte (Abb. A-1) findet sich im Anhang dieser Arbeit.

Von frühen erdgeschichtlichen Entwicklungen des Pannonischen Beckens insbesondere aus dem Paläozoikum ist nur wenig bekannt. So wird angenommen, dass lokale

Terrane an der Herzynischen Orogenese beteiligt waren und entlang einer Sutur, unmittelbar westlich des Pannonischen Beckens, sowie in den dortigen Metamorphiten überliefert worden sind. Erst ab dem späten Perm ist bekannt, dass das Herzynische Orogen kollabierte und sich die Tethys öffnete. Dabei sanken randliche Krustenteile ab. Für das Pannonische Becken sind hier insbesondere der *Apulische*, der *Pelso-* und der *Tisza-Block* als Terrane von Bedeutung. Entstandene Riftbecken wurden mit kontinentalen und evaporitischen Sedimenten überlagert (Dolton 2006:6).

Während der Trias öffnete sich die Tethys durch Rifting weiter. Eine so entstandene Becken- und Plattform-Topographie bestand bis in das Jura. Zu dieser Zeit wurden pelagische Sedimente in Trögen und Schelfbereichen mit Kontakt zum offenen Wasser abgelagert. In Flachmeerzonen entstanden Carbonate, die sukzessiv von marinen Sedimenten überlagert wurden (Dolton 2006:6).

Durch die Konvergenz der Europäischen und der Afrikanischen Platten im oberen Jura begann sich die Tethys zu schließen. Das Apulische Terran wurde gegen den Uhrzeigersinn gedreht und eine Subduktionszone entwickelte sich. Das Resultat war die dortige Ablagerung von Flyschsedimenten und ein einsetzender Kalk-Alkali-Vulkanismus (Dolton 2006:6).

Mit der weiteren Schließung der Tethys kollidierten der Afrikanischen Platte vorgelagerte Terrane mit der Europäischen Platte. Dies führte zur Alpidischen Orogenese (Dolton 2006:6). Die damit einhergehende Heraushebung der Alpen, der Dinariden, des Balkengebirges und der Pontiden trennten die Paratethys von der Tethys (Schönenberg & Neugebauer 1997:241). Insgesamt wurden verschiedene Krustenelemente zusammengeschoben, wodurch während der Kreide und im Paläogen der Faltengürtel der Inneren Karpaten entstand (Dolton 2006:6).

In der Folge wurden ab der oberen Kreidezeit die bis dahin getrennten Apulischer Block, Pelso- und Tisza-Block zusammengeschoben, wodurch innere Bereiche des Faltengürtels, durch die Kompression weiter überprägt wurden. Diese Bewegung hielt bis zur vollständigen Vereinigung der Blöcke im mittleren Miozän an und bewirkte eine Faltung des paläogenen Flyschs (Abb. 2-2) (Dolton 2006:6). Die eigentliche Entwicklung des Pannonischen Beckens begann somit bereits in der frühen Kreidezeit und hielt bis in das frühe Miozän an (Huismans et al. 2002:42).

Während sich einige Teile tektonischer Merkmale im Pannonischen Becken durch passives Rifting, als Folge von back-arc Extension im Bereich der Subduktionszone der Apulischen Platte erklären lassen, konnten andere hierdurch nicht erklärt werden (Schönenberg & Neugebauer 1997:242; Huismans et al. 2002: 41). Speziell die Krustenstruktur weist Besonderheiten auf, beispielsweise die sehr niedrige Lage der Mohorovicic-Diskontinuität, die auf Tiefen von 24 km ansteigt. Im Zusammenhang damit steht eine dünne Unterkruste von nur rund 7 km. Zusätzlich ist der geothermale Gradient in Teilen des Pannonischen Beckens, mit ca. 50 - 140 K/km in Teilen stark erhöht. Ferner befindet „sich im Pannonischen Becken die größte Massierung des tertiären Vulkanismus auf europäischem Boden“ (Schönenberg & Neugebauer 1997:242).

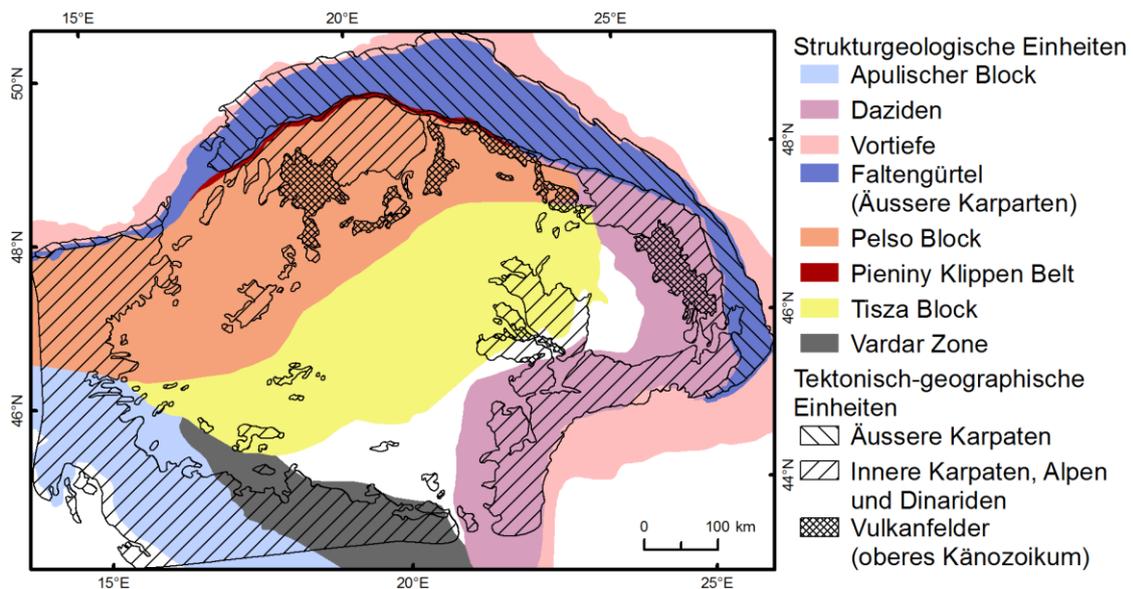


Abbildung 2-2: Strukturgeologische Gliederung des Pannonischen Beckens (verändert n. Dolton 2006:6).

Zeitweise wurden diese Zustände durch das Vorhandensein eines Manteldiapirs erklärt, mit dem sich zudem der miozäne Vulkanismus mit großer Förderung rhyolithischer und andesitischer Laven erklären ließ (Schönenberg & Neugebauer 1997:242; Huismans et al. 2002:41). Diese Hypothese wurde später verworfen. Huismans et al. (2002:41) sehen die Aufdomung der Asthenosphäre als Folge der vorherigen Riftentwicklung. Dabei ist die Lithosphären/Asthenosphären-Grenze grundsätzlich durch eine Dichteinversion instabil. Durch Rifting und die damit verbundene Ausdünnung der Lithosphäre

neigt die obere Asthenosphäre zum diapirähnlichen Aufstieg. Somit ließe sich die zuvor genannte spezielle Krustenstruktur erklären.

Nachdem in der weiteren Erdgeschichte zunächst die Paratethys durch die alpidische Orogenese von der Tethys abgeschnitten wurde entstand ein zunehmend brackischer Pannonsee, der das gesamte Pannonische Becken ausfüllte (Magyar et al. 2013:168). Typische Sedimente aus der ersten, durch Tektonik und Eustasie geprägten, synrift-Phase sind marine und Flysch-Fazies. Ihr folgte dementsprechend eine postrift-Phase mit mächtigen lakustrinen Sedimenten (Dolton 2006:13).

In den Pannonsee mündete die ab dem späten Miozän auftretende Paläo-Donau mit einem progradierenden Delta (Abb. 2-3). Sie sorgte, wie auch untergeordnet eine Paleo-Theiss und kleinere Flusssysteme der umliegenden Gebirge, maßgeblich für die Füllung des Pannonischen Beckens bzw. die Verlandung des Pannonsees mit während der Alpidischen Orogenese erodierter Sedimente (Magyar et al. 2013:168).

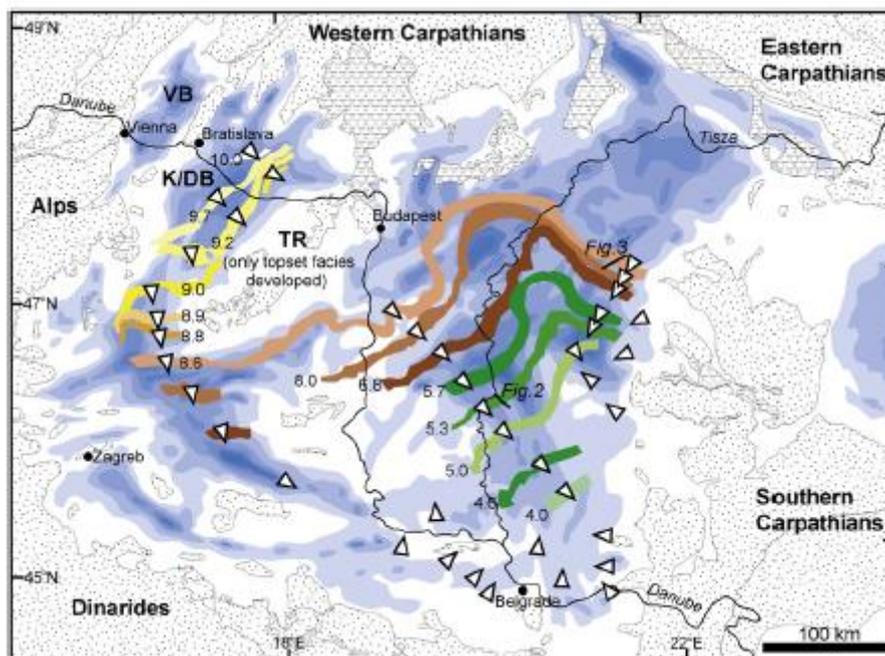


Abbildung 2-3: Verlagerung des Pannonsee-Schelfs und der Paläo-Donau (Magyar et al. 2013:168).

Die Sedimentschüttung der Donau sorgte zunächst für das Verlanden des Wiener Beckens (VB in Abb. 2-3). Bereits um etwa 10 Ma BP erreichte das Delta das

Donaubecken (K/DB in Abb. 2-3). Dieser dort tiefere Bereich bewirkte die Bildung eines ausgeprägten Schelfs (Magyar et al. 2013:168-169). Von dort aus bewegte sich das Delta mit etwa 67 km/Ma Richtung Südosten (Magyar et al. 2013:171). Von Norden und Nordosten sorgte die Paläo-Theiss weiterhin für einen zusätzlichen Sedimenteintrag. Dies trieb die Verlandung des Sees weiter voran. Im Südosten des Pannonischen Beckens ließ sich im mittleren Pliozän (etwa 4 Ma BP) das letzte Tiefwasser-Regime feststellen, ehe die vollständige Verlandung einsetzte (ebd.).

Im unteren Pannonium dominierten anfänglich Sandsteine und Konglomerate, überlagert von brackischen Mergeln und durchmischten klastischen Sedimenten wie Sanden, Tonen, Mergeln und Turbiditen. Ab dem oberen Pannonium handelt es sich dann zunehmend um lakustrine, fluviale, deltaische und marschige Sedimente (Dolton 2006:15).

Bei den quartären Sedimenten handelt es sich ebenfalls um marschige, fluviale und deltaische Ablagerungen (Földvary 1988: 400, Dolton 2006:15). Schotter kommen eher selten vor. Im Wesentlichen konzentrieren sich diese auf die großen Flusstäler der Paläo-Donau, -Szamos und -Maros; ansonsten überwiegen Mittel- und Feinsande. Wichtigere quartäre Sedimente bilden Schluffe, die meist fluvialer, lakustriner oder äolischer Herkunft sind (Földvary 1988: 400). Löss bildet dabei das in dieser Region wichtigste Sediment (Földvary 1988: 401).

2.2 Klima

Das Klima im Pannonischen Becken wird sowohl durch Kontinentalität, als auch durch eine atlantische Fernwirkung bestimmt. Die kesselartige Lage mit der Umrandung durch die Gebirge bestimmt das lokale Klima maßgeblich. Bei Windrichtungen aus Norden und Osten schützt der Karpatenbogen vor extremen Kaltluftlagen. Für kontinentales Klima sorgen andererseits Kaltluftmassen, die über die Donaupforte nach Süden vordringen. Dies kommt vor allem in den Herbst- und Wintermonaten und verstärkt im Januar und Februar vor (Weischet & Endlicher 2000:135). Von Februar bis November gewinnen dann ozeanische Luftmassen an Einfluss – mit größter Bedeutung im Juni und Juli. Weischet & Endlicher (2000:136) bezeichnen diese Lage als „europäischen

Sommermonsun“. Sommer und Winter werden durch diesen ozeanischen Einfluss milder. Während der Sommermonate kann im Süden jedoch auch unter Einfluss subtropischer Luftmassen ein Subtropenhoch auftreten. Zusätzlich zu einem kontinentalen Einfluss im Oktober, der mit Hochdrucklagen für einen „*Altweibersommer*“ (Weischet & Endlicher 2000:136) sorgt, kann ab Oktober bis April durch Adriatiefs ein mediterranes Winterregenklima vorkommen (ebd.).

In Leelagen können im Pannonischen Becken 2.000 bis 2.100 Sonnenstunden gemessen werden. Die Strahlungsbilanz ist über einen Großteil des Jahres ausgeglichen und von März bis Oktober positiv (Weischet & Endlicher 2000:136).

Im Winter können in Uschhorod (Ukraine) im Nordosten des Pannonischen Beckens im Januar mittlere Tiefsttemperaturen von $-8,3\text{ °C}$ erreicht werden. Das absolute Minimum beträgt hier -28 °C (Weischet & Endlicher 2000:136). In Beckenlagen der Karpaten können bei Inversionen unter Hochdruckeinfluss sogar Temperaturen von bis zu $-38,5\text{ °C}$ erreicht werden. Im Nord- und Südwesten betragen die mittleren Januar-Minima bedingt durch den atlantischen beziehungsweise mediterranen Einfluss $-4,0\text{ °C}$ (Budapest) und $-2,4\text{ °C}$ (Zagreb) (ebd.). Während die mittleren Höchsttemperaturen im Juli bei Budapest $27,7\text{ °C}$ erreichen betragen diese im kontinentalgeprägten Süden bei Belgrad $28,3\text{ °C}$ (ebd.).

Im Nord- und Südwesten des Pannonischen Beckens erreichen die Jahresniederschlagssummen $800 - 1.000\text{ mm}$. Aus diesen Richtungen kommen auch die niederschlagsreichen Luftmassen (Weischet & Endlicher 2000:136). Während die Niederschlagssummen an den westexponierten Hängen der Karpaten über 1.400 mm erreichen können, fallen im Zentrum nur 600 mm ; lokal noch weniger (Weischet & Endlicher 2000:136-137). Die klimatische Wasserbilanz weist hier ein Defizit von 350 bis 400 mm auf.

2.3 Landnutzung

Allgemein bietet die Analyse der Landnutzung die Möglichkeit Funktionen der Landschaft, beziehungsweise das anthropogene Wirken im Untersuchungsgebiet zu bewerten. Da dieses Wirken auch grundsätzlich von den geogenen bzw. geoökologi-

schen Standortfaktoren abhängt und gleichzeitig in die Prozesse der Landschaftssysteme eingreift, ist es wichtig, diese zu kennen. Hierdurch ist es möglich Rückschlüsse auf eben diese Faktoren und Wechselwirkungen zu schließen (Lang & Blaschke 2007:100 f.).

Die Landnutzung im weiter gefassten Untersuchungsgebiet wurde hierzu mithilfe der Corine Landcover CLC 2006 Daten bestimmt. Hierzu wurden die CLC 2006-Daten als Rasterdatei von der Internetpräsenz der EU EEA heruntergeladen und in ArcGIS ausgewertet.

CORINE steht für „*Coordination of information and the environment*“ und ist ein europaweit standardisiertes Kartiersystem, das bereits 1985 initiiert wurde. Es besteht aus einem hierarchischen Klassifizierungsschema, das zunächst aus 5 Hauptkategorien besteht, die sich dann in insgesamt 16 Subkategorien aufzählen und in der detailliertesten Stufe 44 Klassen umfasst (Lang & Blaschke 2007:137, Büttner et al. 2010: 62). Wegen der grenzüberschreitenden Erfassung sind die CLC2006 Daten insbesondere für großräumige Untersuchungen geeignet und interessant (Hoymann 2013:5 u. 14).

Insgesamt konnten aus den fünf Level-1-Klassen der CLC2006 Daten 32 Landnutzungsklassen im Bereich des Kartenausschnitts, erfasst werden. Diese wiederum wurden zu 17 Klassen zusammengefasst (Abb. 2-4).

Für den Ausschnitt des Pannonischen Beckens gilt, dass die Region mit 61,69 % der insgesamt erfassten Fläche überwiegend ländlich und landwirtschaftlich geprägt ist (Tabelle 2-1). Die landwirtschaftlich genutzten Flächen kommen dabei primär in den Beckenregionen vor.

Tabelle 2-1: Flächen und Flächenanteile der Landnutzungsklassen im Gesamtausschnitt und der Beispielregion

Landnutzung	Gesamtausschnitt		Beispielregion	
	[km ²]	[%]	[km ²]	[%]
Künstliche Oberflächen	15164,23	5,77	4065,02	5,72
Landwirtschaftliche Flächen	162271,36	61,69	50534,22	71,10
Wälder und naturnahe Flächen	80102,98	30,45	15144,85	21,31
Feuchtgebiete	1528,3	0,58	398,07	0,56
Wasserkörper	3961,94	1,51	928,47	1,31
<i>Gesamtfläche</i>	<i>263028,81</i>		<i>71070,63</i>	

Landnutzung im Untersuchungsgebiet (CLC2006)

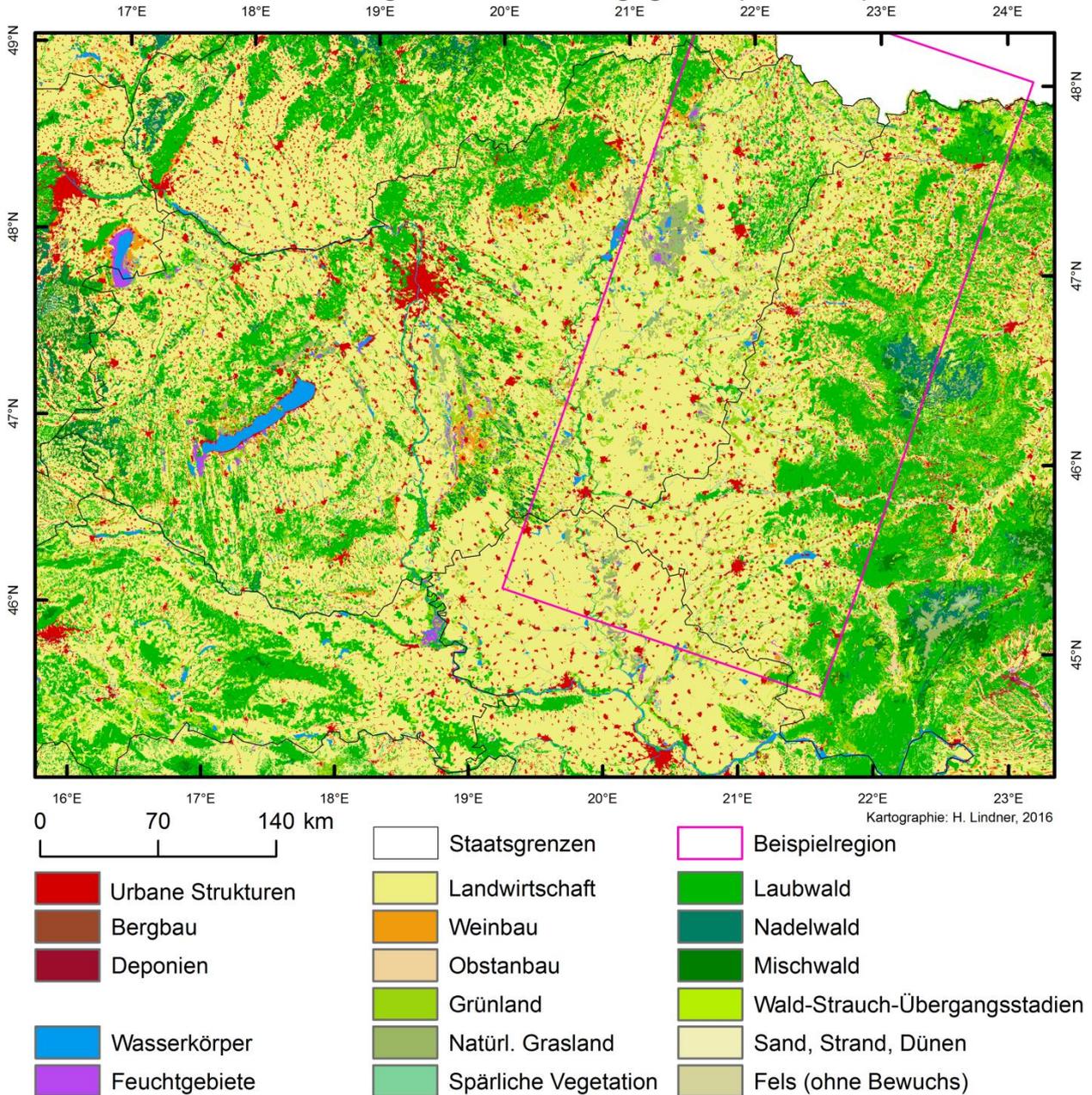


Abbildung 2-4: Landnutzung im Untersuchungsgebiet (Datengrundlage CLC2006).

Einen weiteren Schwerpunkt bilden Wälder und naturnahe Flächen mit 30,45 % Flächenanteilen. Diese nehmen hauptsächlich die Bergregionen und Flanken der Karpaten ein. Künstliche Oberflächen, unter die vor allem Siedlungsstrukturen fallen, machen lediglich 5,77 % aus.

Beim Vergleich des Untersuchungsgebiets mit der Beispielregion fällt auf, dass Wälder und naturnahe Flächen in der Beispielregion weiter hinter die landwirtschaftliche

Nutzung zurücktreten (Abb. 2-5), während urbane Strukturen und Gewässer und damit assoziierte Feuchtgebiete, wie Moore und Sümpfe, konstant bleiben. Bei Betrachtung der Karte (Abb. 2-4) fällt zudem auf, dass im nördlichen Bereich der Beispielregion und im südlichen Bereich an den westexponierten Flanken des Apusenengebirges vermehrt Weinbau vorkommt (516,96 km² entsprechend 17 % der Weinbauflächen des Untersuchungsgebiets). Dies weist auf eine Gunstregion für Weinbau hin.

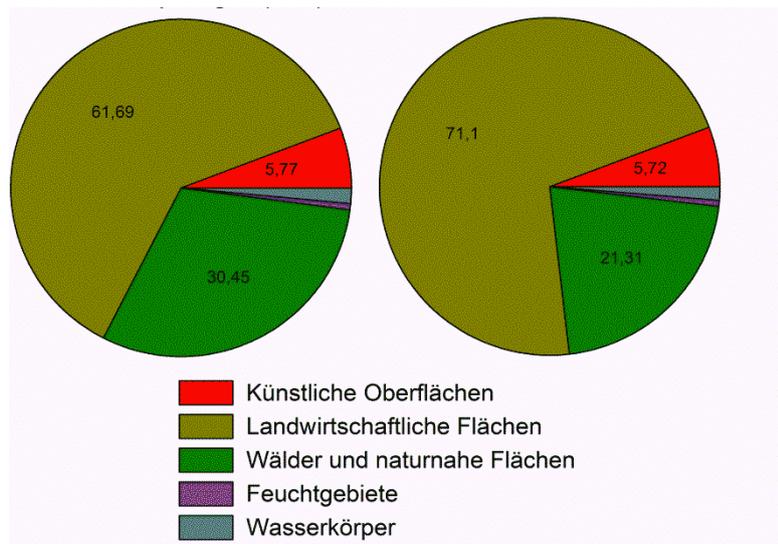


Abbildung 2-5: Prozentualer Anteil der Landnutzungsklassen (CLC-Hauptkategorien) im Untersuchungsgebiet (links) und in der Beispielregion (Datengrundlage CLC2006).

Tabelle A-1 im Anhang gibt die genaue Flächeninanspruchnahme der jeweiligen Landnutzungsklasse für den Gesamtausschnitt wieder; Tabelle A-2 für die Beispielregion. Die Differenz zwischen der Fläche der Masken (vgl. Kapitel 2) und der Gesamtfläche der Landnutzungsklassen von etwa 6.300 km² resultiert aus der Tatsache, dass die Ukraine nicht durch die CLC2006-Aufnahme erfasst wurde und somit diese Überlappungsbereiche lückenhaft sind.

Von der Landnutzung her, kann auch auf die Verbreitung von Lösssedimenten geschlossen werden. Dabei kann vor allem die landwirtschaftliche Nutzung von Lössböden als Indikator dienen. Der zuvor erwähnte Weinbau kann ebenfalls auf Lössböden hinweisen. Dieser Ansatz wird in Kapitel 6.4 genauer behandelt.

3 Sedimentologische und pedogene Grundlagen zur Herleitung des Lösungsansatzes

Um aus den verschiedenen Geodatenätzen die Verbreitung von Lösssedimenten herleiten zu können, sind verschiedene Informationen über potentiell abgelaufene Prozesse nötig, die in diesem Kapitel erläutert werden sollen.

Zunächst ist zu definieren, was Löss ist, beziehungsweise was Lösssedimente sind. Allgemein ist „*Lösssedimente*“ in diesem Zusammenhang der durch Koch & Neumeister (2005:185) gefestigte und derzeit praktikabelste Oberbegriff für die Familie der Löss- und vergleichbarer Sedimente (Sprafke & Obrecht 2015:9).

Weiter sind die Ablagerungsbedingungen zu klären. Dies ist insofern wichtig, da ein späterer Vergleich der jeweiligen Datensätze mit topographischen bzw. Höheninformationen geschehen soll, die ihrerseits auf die Sedimentationsbedingungen Einfluss haben. Abschließend soll aus diesen Informationen eine grenzübergreifende Klassifikation hergeleitet werden.

3.1 Eigenschaften von Löss und ähnlichen Sedimenten

Die Eigenschaften von Löss wurden von Pecsí (1990:1 f.) anhand von zehn charakteristischen Kriterien definiert. Typischer Löss wurde demnach als lockere, wenig zementierte, grobschluffige homogene terrestrische Ablagerungen gelblicher Farbe beschrieben. Lösssedimente sind im Allgemeinen ungeschichtet, enthalten jedoch häufig Paläoböden oder Sandeinlagerungen. Sie sind porös, wasserdurchlässig und im ungesättigten Zustand bodenmechanisch stabil. Gleichzeitig lassen sie sich jedoch leicht durch Wasser erodieren. In der Regel finden sich Spuren von Bioturbation in Form von Krotowinen. Gemeinsam sind den Lösssedimenten der äolische Transport und die wiederholte Umlagerung (ebd.:2). Dabei sind Löss und Lösssedimente aber nicht einfach nur abgelagerter Staub, sondern dieser muss über eine Zeitspanne in einer bestimmten geographischen Zone, bestimmte Prozesse erfahren, die zu den oben genannten Eigenschaften beitragen, welche als *loessification* bzw. Lössifizierung bezeichnet werden (ebd.:1). Dabei handelt es sich um einen quasi-pedogenen oder

quasi-diagenetischen Prozess, in dem ein schluffiges Lockersubstrat in eine lössähnliche Ablagerung umgewandelt wird und der vor allem unter (semi-)ariden Bedingungen abläuft (Pecsi 1990:10, Sprafke & Obreht 2015:1, 5).

Pye (1995:654) vereinfachte diese Definition und beschrieb Löss als terrestrisches, klastisches Sediment überwiegend schluffiger Korngrößen. Essentiell für Löss ist seine Akkumulation als äolisches Sediment, sowie die Ablagerung unter subaerischen Bedingungen.

Trotz dieser bereits umfangreichen aber genauso kontroversen Definitionen wird in der aktuellen Fachdiskussion hinterfragt, ob Löss ein Gestein, Sediment oder Boden ist (Sprafke & Obreht 2015:1). Sprafke & Obreht (2015:9) kommen zu dem Ergebnis, Löss sei etwas Komplexes irgendwo zwischen Sediment, Gestein und Boden. Für eine endgültige Definition fehle jedoch derzeit das genaue Verständnis der Lössifizierung.

3.2 Herkunft, Transport und Ablagerungsbedingung im Karpatenbecken

Soll die Verbreitung von äolischen Sedimenten untersucht werden, so muss die Funktion der Herkunft, des Transports sowie der Ablagerung und Fixierung von Staub und Sand bekannt sein. Hierdurch können die Ergebnisse anschließend auf Plausibilität geprüft werden, außerdem erleichtert dies die spätere Klassifikation von Sedimenten, wenn Unklarheiten bestehen.

Bereits Vendl (1935 zit. in Horvath & Bradak 2014:3) entwickelte eine Transporthypothese für Lösssedimente in Ungarn:

- zunächst wurde das Ausgangsmaterial erodiert, transportiert und durch fluviatile Prozesse als Alluvium akkumuliert,
- anschließend wurde die feinkörnige Fraktion als Staub durch Wind erneut erodiert und andernorts akkumuliert.

Pecsi (1967 zit. in Horvath & Bradak 2014:3) griff diese Hypothese als polygenetische Theorie der Lössformierung auf. Diese gliedert sich danach in die drei folgenden Schritte:

1. periglaziale Frostverwitterung und glaziale Erosion in den Gebirgen des Karpatenbeckens und der weiteren Umgebung führte zur Akkumulation von Schutt in Tälern,
2. während wärmeren, feuchteren Phasen wird dieser Schutt durch fluviatile Erosion weiter zerkleinert, transportiert und das entstandene Material in Schwemmfächern und Überflutungsebene als Alluvium abgelagert,
3. in darauf folgenden kälteren, trockeneren Phasen wird dieses zerkleinerte Material als Staub durch Wind abgetragen und in der Umgebung abgelagert. Prädestiniert hierfür sind Hügel, Hänge und Flussterrassen.

Diese Mechanismen übernahm Pye (1995:656 f.) und ergänzte diese um glaziale Erosion und fluvioglazialen Transport und Ablagerung als Quelle für das ursprüngliche Sediment, (Schutt, Schotter, Sand usw.) wie auch als Staubquelle (Abb. 3-1).

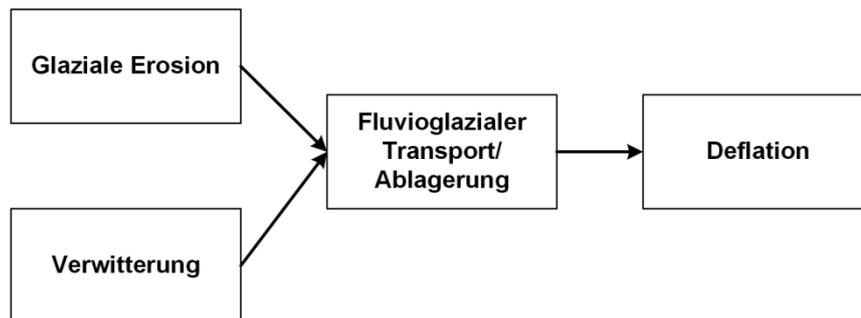


Abbildung 3-1: Typische Eventsequenz von Entstehung, Ablagerung und Transport von Löss (nach Pye 1995:657).

Somit wird deutlich, dass insbesondere periodisch reaktivierte Flussbetten verwilderter Flüsse (*braided rivers*) und Schwemmfächer aber auch ausgetrocknete Seen ideale Staubquellen sind. Vor allem erstere weisen durch wiederkehrende Überschwemmungen nur wenig Vegetation auf und erhalten einen stetigen Sedimentnachschub. Außerdem kann durch den Transport in Wasser das Sediment aufbereitet werden, in dem aggregierte Tonminerale zerstört werden. Sedimente mit einem Tongehalt unter 10 % sind grundsätzlich anfälliger für Deflation als solche mit einem höheren Tonanteil (Pye 1995:659).

Novothy et al. (2011:85) haben diese Mechanismen für ein ungarisches Lössprofil untersucht und haben die Überflutungsebenen des Donausystems als Staubquelle identifizieren können. Als übergeordnete Sedimentquelle wurden dort zunächst

1. die Alpenvergletscherung und den durch glaziale Erosion bedingten Sedimentanfall, welches durch die Paläodonau transportiert und aufbereitet wurde,
2. verwittertes Material insbesondere der Flysche des nördlichen Karpatenbogens, ebenfalls fluvial transportiert durch Tributäre des Paläodonausystems,
3. oder lokale Staubquellen

vermutet (Novothy et al. 2011:75), womit sowohl auf die potentiellen Quellen als auch den Transport eingegangen wurde. Solche Transportprozesse können mithin auch für das Untersuchungsgebiet angenommen werden und lassen insgesamt darauf schließen, dass insbesondere die großen Flusssysteme von Donau und Theiss für die Verbreitung der Lösssedimente verantwortlich sind. Hinzu kommen untergeordnet kleinere Flusssysteme und lokale Quellen. Analog zu Pye (1995:664) ergeben sich von der Korngröße abhängige Transportreichweiten.

Sandtransport geschieht in der Regel als Bodentransport in den drei Transportarten Rollen, Saltation und Reptation. Nach Tsoar & Pye (1987:142) bestimmen Windgeschwindigkeit und Korngröße die jeweilige Transportart. Saltation erfordert eine Funktion aus Luftströmung, die Schergeschwindigkeit und Auftrieb bestimmt, somit für eine vertikale Windgeschwindigkeit sorgt, und der Sinkgeschwindigkeit des Partikels, welche durch die vertikale Windkomponente überschritten werden muss. Bei Unterschreitung dieser vertikalen Komponente, wie es in Bodennähe häufig geschieht, kommt es zu einer ballistischen Flugbahn der Partikel. Die Körner erhalten eine kinetische Energie, die beim Impakt der Körner auf weitere Körner übertragen wird und diese ebenfalls in Bewegung setzt (Hassenpflug 1991:71). Diese Transportarten erstrecken sich in der Vertikalen lediglich über einige Zentimeter, bis wenige Meter (Pye & Tsoar 2009:121). Deshalb finden sie nur im Nahtransport über mehrere Kilometer statt und sorgen für Sandablagerungen im Nahbereich der Quelle (vgl. Abb. 3-2B u. C).

Im Gegensatz zu Sand kann Staub in der Korngrößenordnung von Schluff und Ton länger in Suspension gehalten werden. Dazu müssen die Partikel durch Schubspan-

nung, Auftrieb und Turbulenz über einen größeren Zeitraum in einen Schwebestand versetzt werden (Washington & Wiggs 2011:518). Überschreitet die Fallgeschwindigkeit die resultierende Schergeschwindigkeit, werden gröbere Partikel im Bereich von Grobschluff und Sand gravitativ ausgefällt, während feinere Partikel durchaus länger in der Suspension verbleiben können (Pye & Tsoar 2009:114).

Die Ablagerung von Staub ist an bestimmte Bedingungen geknüpft. Hier sind vor allem das Klima und die Beschaffenheit der Erdoberfläche von Bedeutung. Während trockenes Klima die Deflation begünstigt, wird Staub bei feuchtem Klima durch Nassdeposition abgelagert. Kondensation und Koagulation von Wassertropfen und der anschließende Niederschlag fördern die Auswaschung von Staub aus der Atmosphäre (Mahowald et al. 2013:8). Durch erhöhte Luftfeuchtigkeit über Wasser können sich Staubpartikel unabhängig davon ebenfalls aggregieren und gravitativ ausfallen. Daher findet über Wasserflächen und feuchten Böden ebenfalls Staubablagerung statt (Pye 1995:662). Solches unter limnischen Bedingungen abgelagertes, äolisches und gegebenenfalls lössähnliches Sediment wird je nach Genese als Infusions-, Stausee- oder Sumpflöss bezeichnet (Koch & Neumeister 2005:200). Dieses in Ungarn überwiegend als Infusionslöss bezeichnete Sediment ist strenggenommen jedoch kein Löss im eigentlichen Sinn, sondern eher als ein Seesediment zu betrachten, da Löss nach der definitorischen Voraussetzung ein unter äolischen und nicht subaquatischen Bedingungen abgelagertes Sediment ist (Pye 1995:654, Sümegei et al. 2014:10).

Generell ist auch die Trockendeposition möglich. Werden die nötigen Transportbedingungen unterschritten, sodass die Staubpartikel nicht mehr in Suspension gehalten werden können, fallen diese aus. Hier entscheidet unter anderem die Oberflächenrauigkeit in Verbindung mit der Partikelgröße, ob Staubpartikel die aerodynamische Rauigkeitslänge unterschreiten und sedimentieren (Mahowald et al. 2013:8). Daher verstärkt sich die Trockendeposition bei zunehmender Oberflächenrauigkeit zum Beispiel im Vorfeld topographischer Barrieren, und bei Zunahme der Vegetation. Vegetation gilt daher regelmäßig als Staubfalle (Abb. 3-2A); Staub bleibt zudem an Blättern hängen, fällt zu Boden oder wird durch die Interzeption der Niederschläge von diesen abgewaschen und anschließend abgelagert (Pye 1995:662 f.).

Unter ariden Klimabedingungen, wie sie auch während der Glaziale herrschten, konnte eine weitere Staubfalle auftreten. Cyanobakterien können, als biologische Krusten zum

Schutz vor Austrocknung, einen klebrigen Biofilm bilden, der in der Lage ist, Staubpartikel zu fixieren, weshalb auch diese für den Prozess der Staubablagerung entscheidend beigetragen haben können (Smalley et al. 2011:6).

Topographische Hindernisse können außerdem durch die Beeinflussung des lokalen Klimas entscheidend auf den Staubtransport wirken. Steigungsniederschläge und die damit verbundene verstärkte Bedeckung mit Vegetation sorgen für die vermehrte Nassdeposition von Staub und dessen Fixierung. Durch die Oberflächenrauigkeit mit Wechseln von Luv- und Lee-Lagen an Senken und Rücken und die damit einhergehende Veränderung der strömungsmechanischen Bedingungen, kommt es zusätzlich zur Ablagerung von feinem Staub aus dem Ferntransport (Abb. 3-2C).

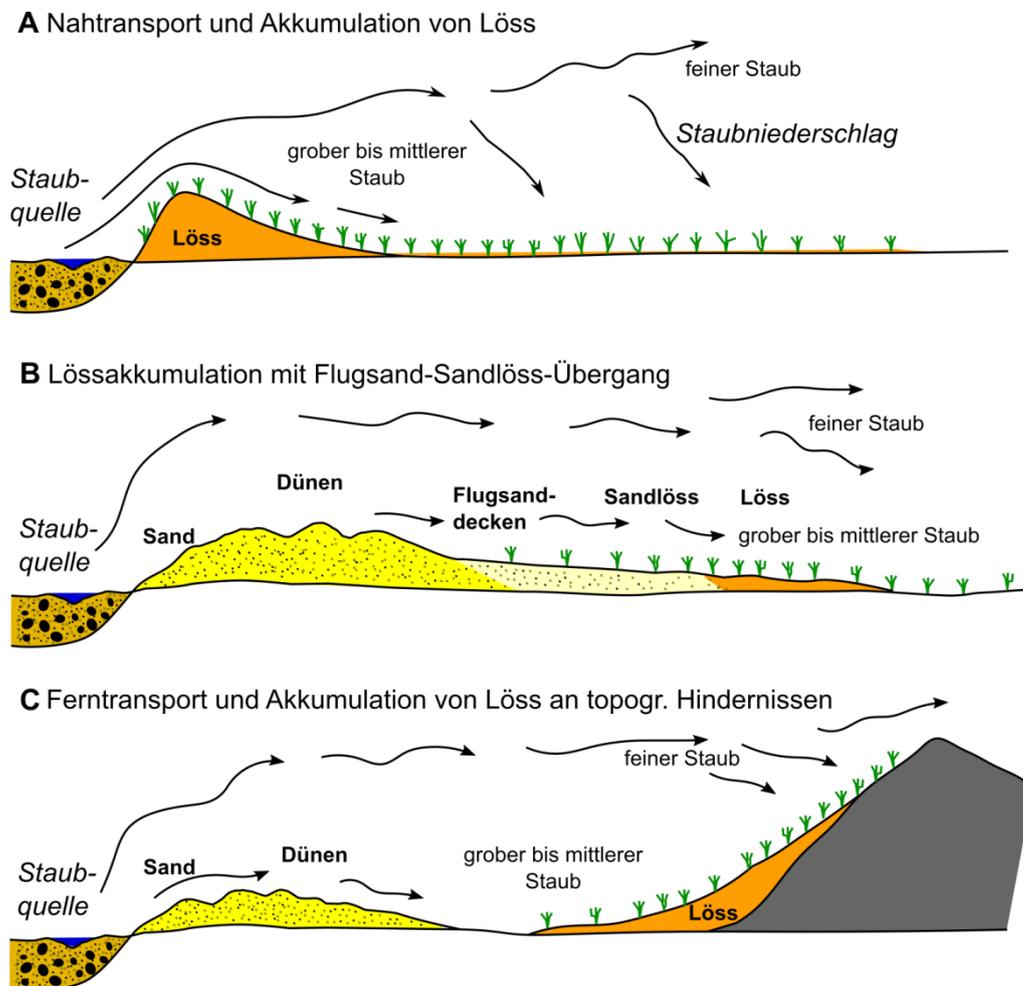


Abbildung 3-2: Schematische Darstellung von Staubquelle, Transport und Ablagerung von Löss (verändert nach Pye 1995:664).

Problematisch sind Gebirge jedoch in Hinsicht auf erosive und denudative Prozesse. So sind Umlagerungen seitens Erosion durch Wasser, jedoch auch durch periglaziale Prozesse wie Solifluktion, als Folgen denkbar. Dies generiert vor allem Lösssedimente wie Solifluktions-, Schwemm- und Fließlöss, die dann den Lössderivaten zuzuordnen sind (Koch & Neumeister 2005:194-195 u. 200).

3.3 Gemeinsame Lössklassifikation

Um den ungarischen und den rumänischen Kartenteil später zusammenführen und die identifizierten Einheiten auf rumänischem Gebiet gezielt klassifizieren zu können, muss zunächst eine gemeinsame Klassifikation erstellt werden.

Ein genetischer Ansatz wie von Koch & Neumeister (2005) ist dazu grundsätzlich gut geeignet, da die topographischen Begebenheiten auch auf syn- und postsedimentäre Prozesse wirken. Zudem verbindet die Klassifikation aus der Empirie gewachsene Klassifikationen mit sedimentologischen Kriterien (Koch & Neumeister 2005:183).

Anhand dieser Klassifikation wird jene der ungarischen geologischen Karte (Balogh et al. 1959), mit der noch zu schaffenden Klassifikation der rumänischen Karte herangeführt. Für den späteren Maßstab der gemeinsamen Karte von etwa 1:500.000 ist die Klassifikation der Ungarischen Karte wenig geeignet, da diese zu detailliert ist. Daher wurde diese nach dem Beispiel von Koch & Neumeister (2005) zusammengefasst. Die Mächtigkeiten der Lösssedimente sind für die Verteilung irrelevant, sodass hier, anders als bei Haase et al. (2007), auf diese keine Rücksicht genommen wird. Zumal lagen für eine solche Aussage keine geeigneten Daten vor. Um eine spätere Weiterverwendung der Daten und Abbildungen zu erleichtern, wird überwiegend die englische Nomenklatur verwendet.

Die *Gemeinsame Klassifikation* erfolgte somit wie in Tabelle 3-1 gegenübergestellt. Dabei wurde zunächst der *Infusion loess* der ungarischen Klassifikation, wie von Sümegi et al. (2014:11) angeregt, zu *Alluvial loess* geändert – auch, wenn es sich dabei auf Grund der Ablagerungsbedingungen streng genommen nicht um Löss handelt und diese eher Seesedimente sind. *Sand* und *Dunes* wurden zu *Sand* zusammengefasst.

Gemäß den unterschiedlichen Definitionen werden die verschiedenen Lössе bzw. verwandte Sedimente wie folgt beschrieben und klassifiziert:

- **Loess:** typischer Löss gemäß der Definition von Pecsі (1990:1 f.) und Pye (1995:654); vergleiche Kapitel 5.1.
- **Clayey loess:** Tonlöss und toniger Löss können in ihrer typischen Korngrößenzusammensetzung in-situ abgelagert worden sein und zählen zu den Haupttypen der Lössе (Koch & Neumeister 2005:191).
- **Alluvial loess:** nach Pye (1995:654) äolisch-lakustrine Sedimente oder äolische Sedimente bzw. Staubablagerungen, die unter aquatischen Bedingungen in einer Umgebung mit flachen Seen oder sumpfigen Gebieten abgelagert worden sind (Sümegi et al. 2014:10). In dieser Arbeit wird diese Klasse weiterhin als Alluvial loess geführt, um die Genese aus dem gleichen Ur-Material wie Löss (also Staub) zu verdeutlichen, auch wenn Sümegi et al. (2014:11) „Hydroaleurit“, „Hydrosilt“, „lakustrines oder alluviales Sediment“ bevorzugen.
- **Loess derivatives:** „schluffige Sedimente, die primär äolisch abgelagert wurden, aber syndimentär, postsedimentär oder postlößgenetisch durch Umlagerung und/oder Überprägung verändert wurden“ (Koch & Neumeister 2005:199).
- **Sandy loess:** polygenetisch entstandenes Sediment. Fasst hier Sandlöss mit zwei Korngrößenmaxima bei Mittel- bzw. Feinsand und Grobschluff sowie sandigen Löss zusammen (Koch & Neumeister 2005:191 u. 200).
- **Sand:** hier wurden sowohl fluvialer Sand als auch äolischer Sand bzw. Flugsand und Sanddünen zusammengefasst, da diese im Kartenmaterial nur schwer zu unterscheiden sind.

Tabelle 3-1: Vergleich der jeweiligen Klassifikationen.

Geologische Karte von Ungarn 1:300 000	Map of loess distribution in Europe 1:2 500 000	Gemeinsame Klassifikation ca. 1:500 000
Balogh et al. 1959	Haase et al. 2007	verändert nach Koch & Neumeister 2005
Loess	Loess, > 5 m	Loess
Infusion Loess	Loess, < 5 m	Alluvial loess
Reworked Loess	Alluvial Loess	Loess derivates
Clayey Loess	Loess derivates	Sandy loess
Sandy loess	Sandy loess	Sand
Dunes	Aeolian sands	
Sand	Loess tickness not differentiated Loess and loess derivates in fragmentary distribution	

4 Vorstellung verfügbarer Geodaten

Für die Erstellung einer Lösskarte in dieser Arbeit wurden verschiedene Geodaten verwendet. Bevor jedoch auf die konkrete Umsetzung der Evaluierung der Lössverbreitung, die dazu verwendeten Geodaten und die damit verbundenen Probleme eingegangen wird, werden hier die allgemein zu diesem Thema verfügbaren Geodaten sowie die aktuellen Entwicklungen vorgestellt.

4.1 Status quo: „Map of loess distribution in Europe“ von Haase et al. (2007)

Die derzeit verfügbare und am weitesten verbreitete und genutzte Lösskarte ist die „Map of loess distribution in Europe“ von Haase et al. (2007) (Abb. 4-1). Sie wird im Folgenden vereinfacht auch „Haase-Karte“ genannt.

Das Projekt, dem diese Karte als Ergebnis entsprungen ist, wurde schon Mitte der 1960er Jahre begonnen, als die *International Union for Quaternary Research* (INQUA) entschied, Lösssequenzen und -profile in Europa einheitlich zu klassifizieren und zu korrelieren (Haase et al. 2007:1301). Dazu wurden Daten zahlreicher Geländekampag-

nen genutzt und zusammengeführt. Bereits 1983 publizierte Haase et al. (1983) das Konzept der Lösskarte bevor sich im Jahr 2003 eine Gruppe am UFZ-Centre for Environmental Research Leipzig-Halle formierte. Diese publizierte dann in 2007 die fertige „Map of loess distribution in Europe“ (Haase et al. 2007:1302 f.).

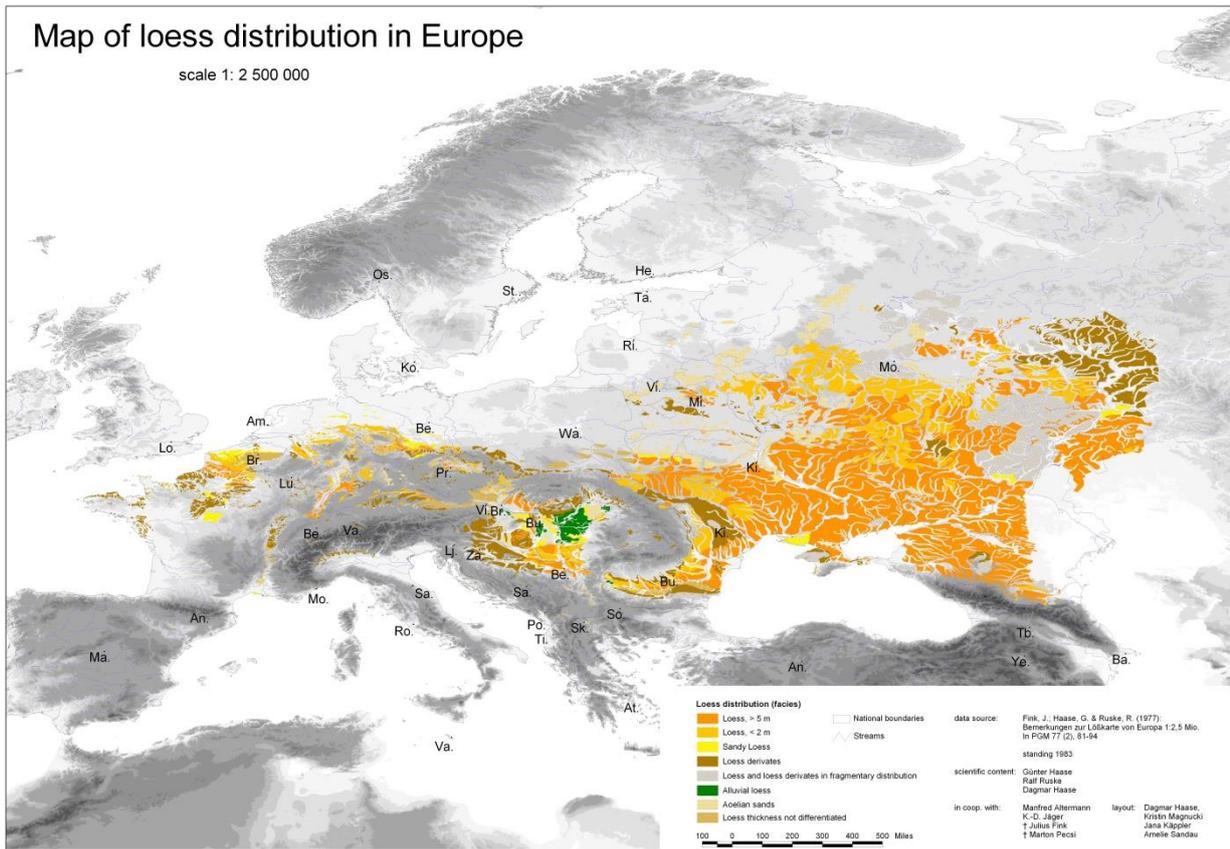


Abbildung 4-1: Lössverbreitung in Europa nach Haase et al. (2007:1310).

Diese Karte bietet grundsätzlich einen guten Überblick über die Lössverbreitung in Europa. Dennoch finden sich bei näherer Betrachtung teils gravierende Fehler in unterschiedlichen Maßstäben. So bestehen beispielsweise der „Haase-Karte“ nach einerseits in den Niederlanden keine Löss- oder andere äolische Sedimente. Diese hören mit der niederländischen Grenze einfach auf (Abb. 4-2). Andererseits finden sich kleinere Fehler bei lokalen Lössvorkommen. So werden zum Beispiel Lösssedimente im nordwestlichen Ausläufer der Jülich-Zülpicher Börde (z.B. im Kreis Heinsberg) nicht beachtet. Im Gegenzug werden jedoch für den Aachener Kessel Lössderivate angegeben, die dort jedoch nicht vorkommen.

Aufgrund solcher Beispiele ist davon auszugehen, dass sich ähnliche kleine aber dennoch bedeutsame Fehler über die gesamte Karte verteilen und somit die Lösssedimentverbreitung, abhängig vom betrachteten Raum, fehleinschätzen. Dies gilt daher vermutlich auch für den hier betrachteten Untersuchungsraum der Grenzregion Ungarn-Rumänien.

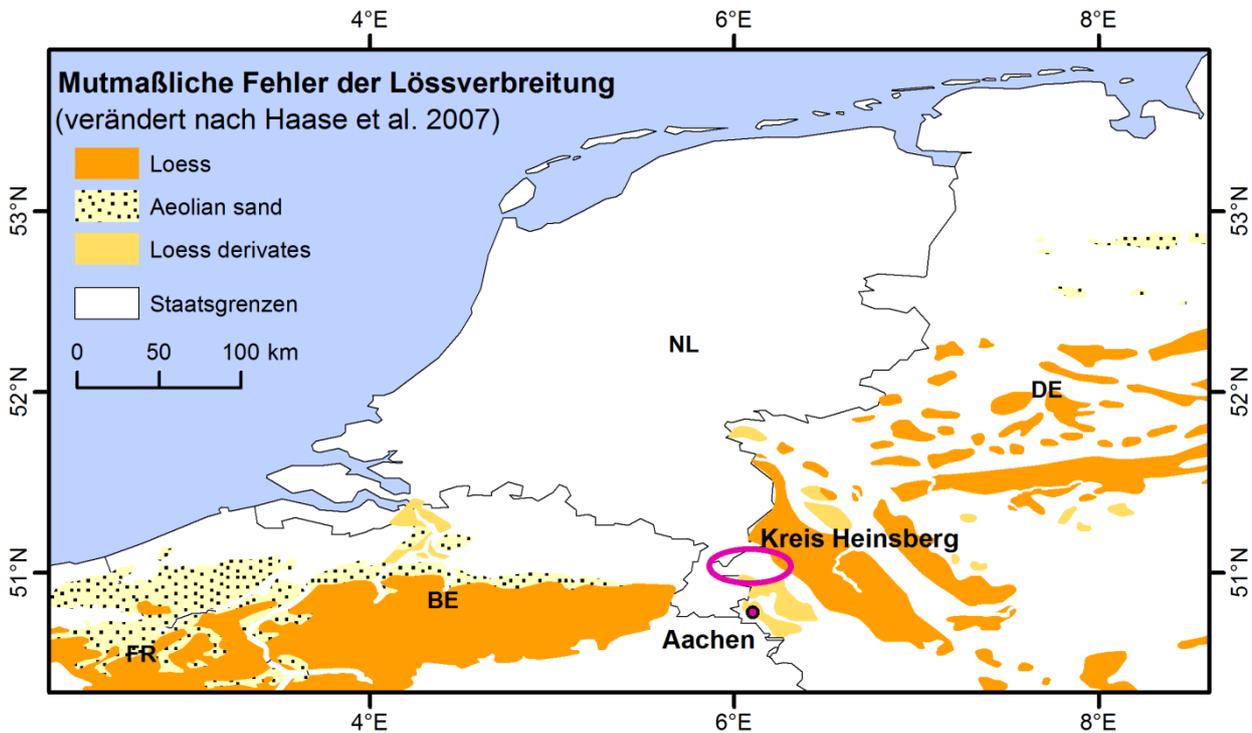


Abbildung 4-2: Mutmaßliche Fehler in der Lössverbreitungskarte nach Haase et al. (2007) am Beispiel der Niederlande und Westdeutschlands.

Die Frage, woher diese Fehler stammen, lässt sich relativ leicht klären. Lang & Blaschke (2007) erklären dies mit dem kurzen aber prägnanten Phänomen „garbage in – garbage out“ (Lang & Blaschke 2007:165). Diese Redensart besagt nichts anderes, als dass das Ergebnis nur so gut sein kann, wie die Grundlage. Gerade, wenn in der digitalen Kartographie mit Vektoren gearbeitet wird, entsteht durch die fraktalen Eigenschaften dieser eine Scheingenaugigkeit (ebd.:148). So kann zum Beispiel auch nur ein maximaler Maßstab in der Ergebniskarte erreicht werden, der dem des größten Maßstabs der verwendeten Grundlage entspricht (ebd.:165).

Wurde für die Erstellung der „Haase-Karte“ nun eine Grundlage verwendet, die – aus welchen Gründe und in welchen Bereichen auch immer – ungenau war, wurde diese Ungenauigkeit weiter in der Ergebniskarte reproduziert. Unter Umständen sind hier

weitere Fehler bei der Georeferenzierung, der Digitalisierung oder Vektorisierung entstanden, die sich ebenfalls in der fertigen Karte widerspiegeln. Auch der Maßstab der Ursprungskarten oder -geodaten kann solche Fehler begünstigen.

Im Fall der fehlenden Lösssedimente auf dem Gebiet der Niederlande ist insbesondere anzunehmen, dass hier nationale Daten als Grundlage verwendet wurden, die Lösssedimente in den Niederlanden nicht thematisierten. Somit flossen diese nach dem oben genannten Prinzip nicht in die Lössverbreitungskarte ein. Die Polygone zeichnen hier die Staatsgrenze exakt nach. Für die ungarisch-rumänische Grenze scheint Ähnliches zu gelten, wenn auch hier Lösssedimente auf rumänischer Seite grundsätzlich dargestellt werden. Trotzdem fällt die relativ scharfe Grenze auf (vgl. Abb. A-14).

4.2 Ungarische geologische Karte 1:300.000

Die MAGYARORSZÁG FÖLDTANI TÉRKÉPE 1: 300.000 (Balogh et al. 1956) oder ungarische geologische Karte wurde im Jahre 1956 durch das Magyar Állami Földtani Intézet, dem staatlichen ungarischen geologischen Institut, herausgegeben. Bei den zur Verfügung gestellten Daten handelte es sich um vier gescannte Teile einer Papierkarte im Maßstab 1:300.000 in ungarischer Sprache. Sie deckt das gesamte Staatsgebiet Ungarns ab.

Die geodätischen Grundlagen waren zunächst unbekannt und mussten vorab ermittelt werden, um die Karte georeferenzieren zu können (Kapitel 5.1).

Die thematisch-inhaltliche Darstellung der geologischen Einheiten und Gesteine geschieht in einer stratigraphisch gegliederten Tabelle mit 96 Klassen, bestehend aus geologischen Einheiten und Gesteinen, davon sind 30 quartäre Einheiten bzw. Sedimente darunter wiederum 11 holozäne Einheiten (Tab. 5-2) (Balogh et al. 1956). Hervorzuheben ist in diesem Zusammenhang die besonders detaillierte Darstellung des Quartärs. Vor allem auf Löss und Lösssedimente im Allgemeinen sowie vergesellschaftete äolische, wie auch fluviatile Sedimente, wurde besonderes Augenmerk gelegt.

Der Inhalt der ungarischen geologischen Karte wurde aufgrund des Detailreichtums bezogen auf Löss übernommen und vektorisiert. Dabei blieben die Klassen quartärer

Sedimente zunächst wie im Original bestehen und wurden lediglich ins Deutsche und Englische übersetzt. So ergab sich eine quartärgeologische Karte Ungarns mit besonderem Bezug zur Lössverbreitung (Abb. 4-3).

Die Klassen wurden weiter zusammengefasst und irrelevante Klassen entfernt, sodass eine Karte der Lösssedimentverbreitung entstand. Auf diese Karte wurde anschließend die Klassifikation von Koch & Neumeister (2005) angewendet.

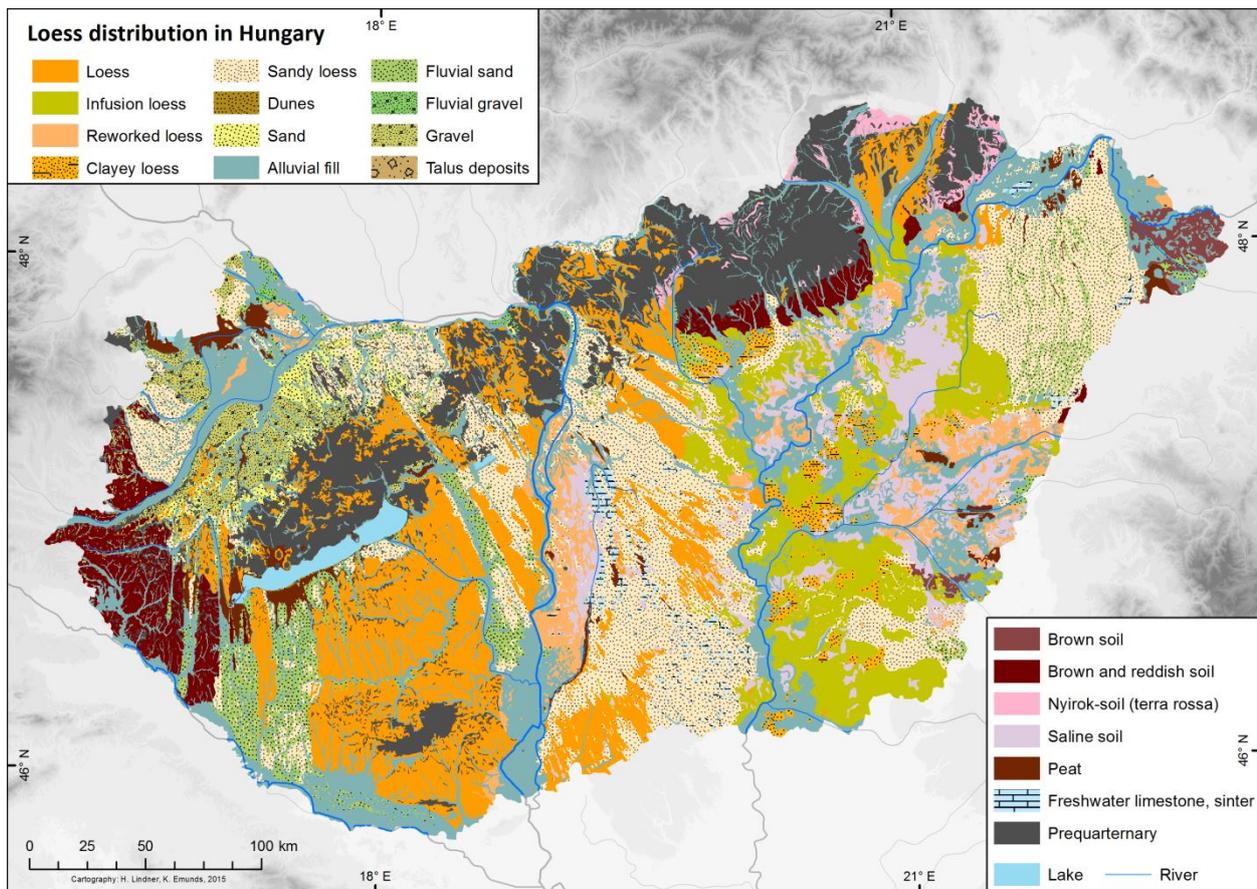


Abbildung 4-3: Karte der Lösssedimentverbreitung bzw. quartärgeologische Karte Ungarns.

4.3 Rumänische geomorphologische Karte 1:1.000.000

Die rumänische geomorphologische Karte HARTA GEOMORFOLOGICĂ wurde im ATLASUL REPUBLICII SOCIALISTE ROMÂNIA (Badea et al. 1976) veröffentlicht und

wird im Internet auf den Seiten der Europäischen Union zugänglich gemacht (EuDASM 2015). Thematisch beinhaltet die Karte die Geomorphologie Rumäniens in einer Dreiteilung: Gebirge (*Relief de muntos*), Hügelland (*Relief deluros*) und Ebenen (*Relief de câmpie*). Diese Klassen werden jeweils in mehrere Subkategorien unterteilt und diese wiederum in insgesamt 46 Legendeneinträge, bzw. Karteninhalte. Unter dem Eintrag mit der laufenden Nummer 40 werden explizit Lösssedimente genannt. Zahlreiche Zusatzsymbole weisen zudem auf geomorphologische Prozesse hin; unter anderem Dünen.

Damit ist sie die einzige der hier betrachteten rumänischen Karten, die explizit Lösssedimente wiedergibt. Im Untersuchungsgebiet werden sie jedoch nur an zwei kleinen Bereichen ausgewiesen, während in der Walachei und an der Schwarzmeerküste - also im Süden bis Südosten des Kartenblattes - großflächige Verbreitungen zu finden sind. Es ist daher davon auszugehen, dass die Lösssedimentverbreitung im Bereich des Pannonischen Beckens unterrepräsentiert ist. Mithin scheidet diese Karte für die weitere Untersuchung aus.

4.4 Rumänische geologische Karte 1:200.000

Es liegt nahe eine rumänische geologische Karte zur Ermittlung der Lösssedimentverbreitung zu nutzen. Die Karte HARTA GEOLOGICĂ A REPUBLICII SOCIALISTE ROMÂNIA (Ovejanu et al. 1968) ist im Internet frei zugänglich und bereits im Stereo 70 System georeferenziert. Die Karte bildet die Geologie des gesamten Staatsgebiets Rumäniens im Maßstab 1:200.000 ab.

Jedoch weist diese, im Gegensatz zu ihrem ungarischen Pendant, gravierende Unterschiede auf. Die Legende ist in 214 Klassen eingeteilt, davon 22 quartäre mit 7 holozänen Klassen (vgl. Tab. 5-2). Es gibt in der Klassifikation nur wenige Hinweise auf die Genese der Gesteine. Daher gibt es auch keine direkten Hinweise auf die Lössverbreitung. In den schriftlichen Erläuterungen zur geologischen Karte werden Lösssedimente erwähnt und haben auch eine eigene Signatur, jedoch findet sich diese nicht in der Karte wieder (Rădulescu & Bleahu 1968:19).

Die geologische Karte Rumäniens bildet in den Niederungen des Pannonischen Beckens Terrassen und Plateaus ab, die tatsächlich auf Löss hinweisen können. Eine Strichsignatur, macht intuitiv auf Löss aufmerksam, findet sich jedoch nicht in der Legende wieder. Sie findet sich nur in den Niederungen und nicht an Hängen der Talflanken oder auf Terrassen und Schwemmfächern. Auch hier werden grundsätzlich quartäre Sedimente wiedergegeben, diese bieten aber keinerlei Informationen zu ihrer Zusammensetzung (Korngröße) oder Genese. Eine direkte Angleichung der Datensätze aus der ungarischen und der rumänischen geologischen Karte aneinander ist hierdurch nicht möglich.

4.5 Rumänische Bodenkarte 1:500.000

Alternativ kann zur Ermittlung der Lösssedimentverbreitung eine Bodenkarte herangezogen werden. Hier bietet sich die HARTA PEDOLOGICĂ A REPUBLICII SOCIALISTE ROMÂNIA (Florea et al. 1971) an. Sie wird ebenfalls auf den Seiten des European Soil Data Centre (EuDASM 2015) zum Download bereitgestellt. Die Karte von 1971 bildet sowohl die Bodentypen, als auch die Bodenarten des Staatsgebiets Rumäniens in insgesamt 84 Klassen im Maßstab 1:500.000 ab. Ein bereits vektorisierter Ausschnitt der Bodenkarte ist in Abbildung A-2 im Anhang dargestellt.

Da auch diese Karte keinerlei Informationen zu Lösssedimenten bietet, musste die Identifizierung der Lösssedimente über Umwege geschehen. Es musste eine Methode gefunden werden, um aus den Informationen der Bodenkarte auf die Lösssedimentverbreitung schließen zu können. Diese Methode wird in Kapitel 6 beschrieben. Hier werden auch die Eigenschaften der Bodenkarte intensiv erläutert, daher wird an dieser Stelle nicht näher auf diese eingegangen.

5 Problematik grenzüberschreitender Geodaten im lokalen Kontext

Geodaten werden in der Regel durch nationale Behörden und Dienststellen hergestellt und verwaltet. Damit werden diese nicht nur durch die administrativen Grenzen der Staaten begrenzt. Auch die Grundlagen, die den dargestellten Themen zugrunde liegen, werden durch die Staatlichkeit massiv beeinflusst (Witschas 2005:2, 2007/2/EG:1, Nilson et al. 2007:1). Dies gilt insbesondere für die geodätischen Grundlagen, darunter die Höhenbezugssysteme, jedoch auch für thematische Klassifikationen. Problematisch sind in diesem Kontext auch sprachlichen Barrieren (Nilson et al. 2007:18).

Witschas (2007) hat verschiedene auftretende Situationen bei der Verarbeitung von grenzüberschreitenden Geodaten untersucht und typisiert. Unter anderem kommt es bei einer Situation bei der das Untersuchungsgebiet durch eine Grenze geteilt wird (Abb. 5-1, rechts) zu dem Problem, dass die Auflösung in thematischer wie auch in geodätischer Sicht zwischen den einzelnen Datensätze variieren kann (Abb. 5-1, links; Witschas 2007:4).

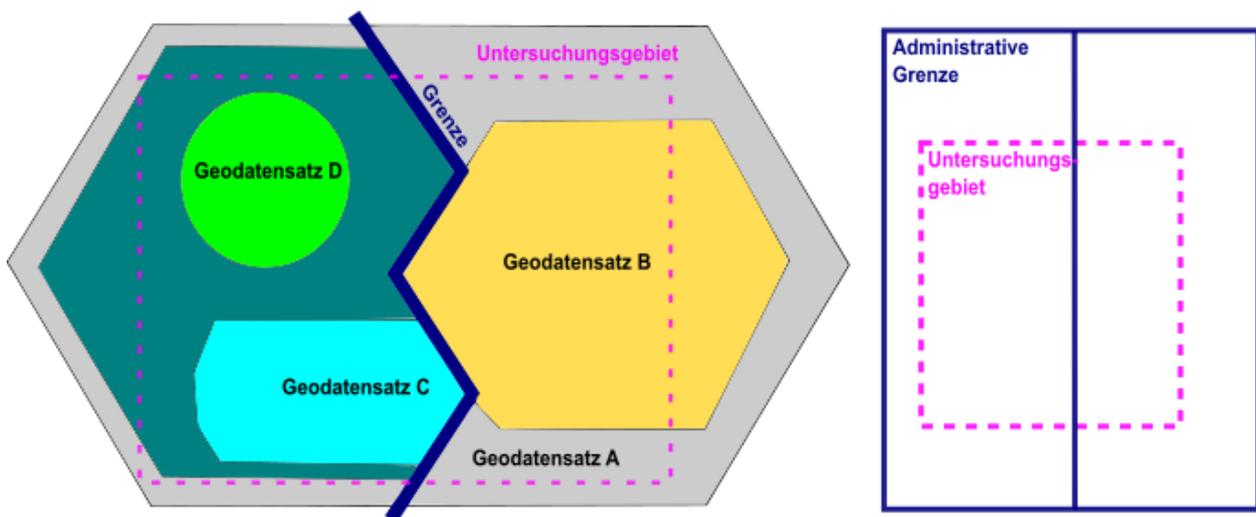


Abbildung 5-1: Problematiken grenzüberschreitender Geodaten (verändert nach Witschas 2007:2 u. 4).

Nilson et al. (2007) untersuchten diese Problematik beispielhaft für das Dreiländereck Deutschland-Belgien-Niederlande. Insbesondere wurden physisch-geographische Aspekte aus geologischen und bodenkundlichen Informationssystemen untersucht

(ebd.:8, 13). Dabei kamen sie zu dem Schluss, dass es durch die Staatlichkeit der Geodaten zu Ungenauigkeiten zwischen den Datensätzen kommt, werden diese Daten miteinander grenzüberschreitend verglichen oder für internationale Projekten verwendet (vgl. de Lange 2013:159). Auch zusätzlicher Zeit- und Rechenaufwand bei der Reprojektion in einheitliche Referenzsysteme oder der Übersetzung in eine andere Sprache oder der Reklassifikation von verschiedenen thematischen Ebenen sind eine Folge davon (2007/2/EG:1 f.).

Die Lösung auf europäischer Ebene war eine Vereinheitlichung und Internationalisierung von Geodaten. Mit der INSPIRE-Richtlinie der Europäischen Kommission wurde dieser Schritt zwischenzeitig eingeleitet und wird nun mit national unterschiedlichem Fortschritt umgesetzt (2007/2/EG).

Die zuvor beschriebenen Probleme lassen sich auch auf das Geodatenmaterial im hier betrachteten Untersuchungsgebiet übertragen. Die Daten und Karten lagen jeweils in der Landessprache, teilweise auch auf Englisch vor. Oft sind sie zu verschiedenen Zeiten aufgenommen worden und sind somit verschiedenen wissenschaftlichen Schulen und historisch-politischen Bedingungen unterlegen. Jede hier betrachtete Nation hat zudem eigene geodätische Grundlagen, die genau auf das jeweilige Land zugeschnitten sind. Zusätzlich sind diese in allen Fällen nicht direkt aus den begleitenden Kartentexten zu entnehmen.

5.1 Geodätische Grundlagen, Probleme und Lösung

Um die Lage von Punkten auf der dreidimensionalen Erdoberfläche zu bestimmen und zweidimensional lagegetreu wiederzugeben, müssen diese Punkte einem Bezugssystem zugeordnet sein. Dies geschieht in der Kartographie über Kartennetzentwürfe beziehungsweise Gradnetzentwürfe (De Lange 2013:153). Diesen Kartennetzentwürfen liegt ein geodätisches Bezugssystem zugrunde. Mithilfe solcher Bezugssysteme wird versucht die Form der Erde einem Ellipsoiden anzunähern (ebd.:159).

In der traditionellen Landesvermessung wurden nationale Vermessungssysteme auf unterschiedlichen Referenzellipsoiden aufgebaut. Insbesondere in den Grenzgebieten kann es dadurch zu Koordinatensprüngen und Konvergenzproblemen kommen.

Werden nun landesübergreifend Daten genutzt und sollen diese gemeinsam verwendet werden, müssen sie in ein gemeinsames Bezugssystem transformiert werden. Sind die Eigenschaften der ursprünglichen Bezugssysteme bekannt, können diese über eine mathematische Transformationsgleichung im GIS reprojiziert werden (De Lange 2013:159).

Für die betrachtete Region, das Grenzgebiet zwischen Ungarn und Rumänien, müssen grundsätzlich verschiedene Referenzsysteme betrachtet und angeglichen werden. In Frage kommen Systeme wie EOV oder HD-72, die nur für Ungarn galten oder aber auch System 42 die zeitweise in beiden Ländern eingesetzt wurden (mapref.org 2015). Dazugehörig sind ebenso viele Geodätische Grundlagen, wie u.a. Ellipsoide und Projektionen. Tabelle 5-1 gibt eine Übersicht über die häufig verwendeten Systeme.

Für beide Karten wurde das jeweilige Referenzsystem jedoch empirisch festgestellt, da anfänglich keinerlei Hinweise auf das Referenzsystem zu finden waren. Dazu wurden zunächst mögliche Koordinatensysteme recherchiert und anschließend die durch Scannen digitalisierten Karten, auf diese potentiellen Referenzsysteme georeferenziert. Das Referenzsystem mit der geringsten Verzerrung wurde anschließend akzeptiert und angewendet. Somit können die Referenzsysteme von den typischerweise lokal verwendeten abweichen. Für die Ungarnkarte war dies MGI 1901 Balkans Zone 7. Für die rumänische Bodenkarte wurde auf diese Weise Stereo 70 identifiziert.

Tabelle 5-1: Häufig verwendete, staatliche geodätische Systeme im Untersuchungsgebiet (mapref.org 2015).

Staat	Ungarn			Rumänien	
Referenzsystem	EOV	HD-72	System 42	Stereo 70	System 42
Ellipsoid	IUGG GRS 1967	IUGG GRS 1967	Krassowskij 1940	Krassowskij 1940	Krassowskij 1940
Projektion	Transversal Mercator		Gauß-Krüger	Gauß-Krüger	Gauß-Krüger
Datum	Gelleéthe gy	Szölöhe gy	Pulkowo	Dealul Piscului	Pulkowo

Es war notwendig die Karten möglichst in ihrem ursprünglichen bzw. empirisch festgestellten Koordinatensystem zu belassen, denn sonst hätte die daraus resultieren-

de optische Verzerrung unter Umständen die Lesbarkeit der Beschriftung sowie der Signaturen, derart herabgesetzt, dass eine manuelle Vektorisierung nicht mehr unbedingt möglich gewesen wäre. Abbildung 5-2 zeigt den Ausschnitt der rumänischen Bodenkarte, die im vermuteten ursprünglichen Referenzsystem (Stereo 70) sowie im INSPIRE-System (ETRS1989 LAEA) projiziert wurde.

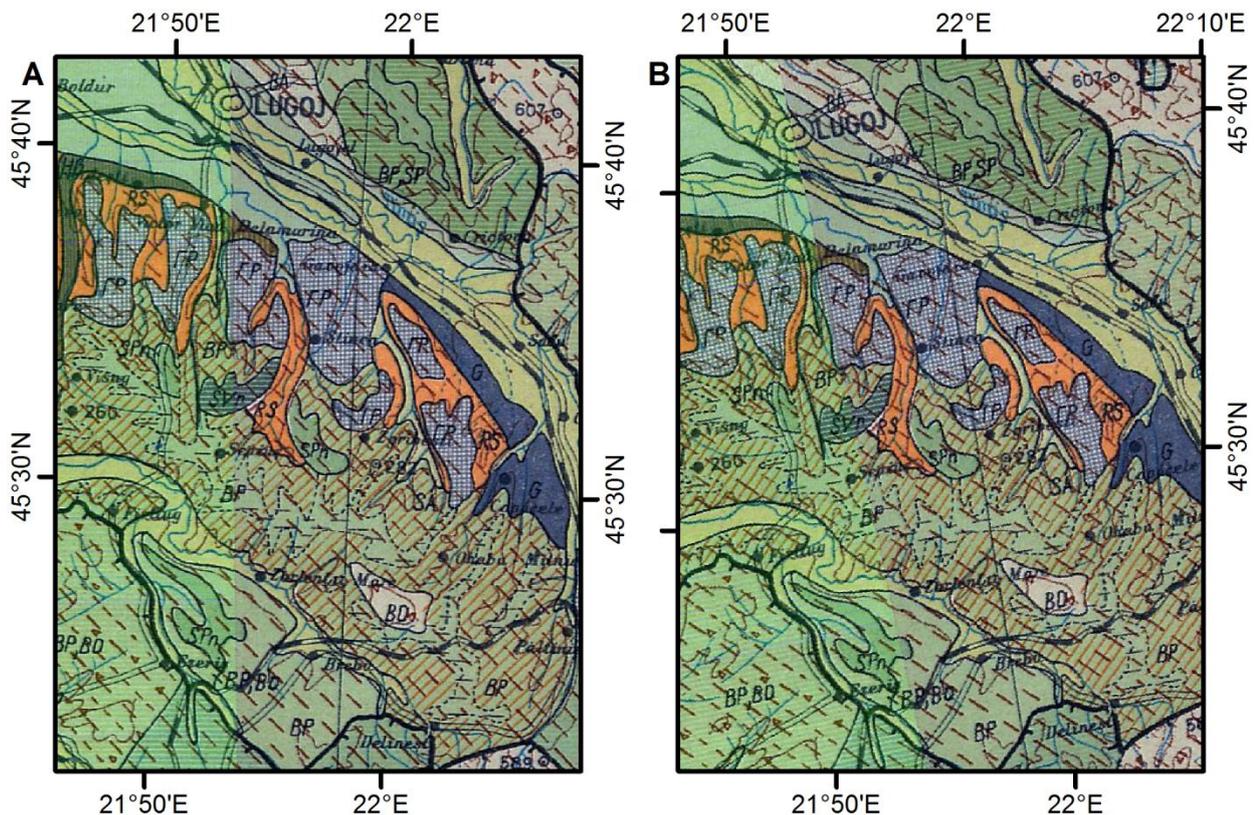


Abbildung 5-2: Verzerrung bzw. Drehung des gleichen Kartenausschnitts (Rumänische Bodenkarte 1:500.000) bei unterschiedlicher Projektion: Dealul Piscului 1970 (A) und ETRS1989 LAEA Koordinatenreferenzsystem (B).

Als Lösung für das Problem der geodätischen Grundlagen und, um eine geeignete gemeinsame Projektion zu finden, wurde auf die EG-INSPIRE-Richtlinie (2007/2/EG) zurückgegriffen. Die Richtlinie *Infrastructure for Spatial Information in Europe* (2007/2/EG) wurde erlassen, um insbesondere bei der Ausübung des grenzübergreifenden Umweltschutzes und der gemeinsame Umweltpolitik der Mitgliedsstaaten der Europäischen Union (EU) auftretende „Probleme der Verfügbarkeit, Qualität, Organisation, Zugänglichkeit und gemeinsamen Nutzung von Geodaten“ (2007/2/EG 2007:1) zu beheben. Als Lösung wurden Maßnahmen wie vereinfachte Zugänglichkeit und (geo-)

informationstechnische Interoperabilität erdacht (2007/2/EG 2007:1-2). Diese wurde in technischen Regelwerken niedergeschrieben.

Als Richtlinie des Europäischen Parlamentes und des Rates ist sie gemäß Artikel 189 der EG-Verträge in nationales Recht umzuwandeln. Da auf Grund des föderalen Systems die Gesetzgebungskompetenz (Art. 70 Abs. 1 Grundgesetz) bei den Ländern liegt, existieren allein in Deutschland 17 Gesetze zur Umsetzung der Richtlinie in formelles und materielles Recht (Geodatenportal 2016), darunter das Bundesgesetz „Gesetz über den Zugang zu digitalen Geodaten“ (GeoZG) und 16 Landesgesetze, wie das GeoZG NRW für Nordrhein-Westfalen. Auch in den EU-Mitgliedsstaaten Ungarn und Rumänien muss diese Richtlinie umgesetzt werden, was bislang durch den rumänischen Regierungsbeschluss Nr. 579 / 2015 und in Ungarn durch eine Vielzahl von Beschlüssen der Umweltgesetzgebung erfolgte. So zum Beispiel durch die „Verordnung über den Aufbau und Betrieb eines nationalen Umweltgeodateninformationssystems“ (A Kormányi 241/2009). Über die Umsetzung in den anderen EU-Mitgliedsstaaten informiert die Europäische Union im Internet (EUR-Lex 2016).

Durch die so gewährleistete Interoperabilität der im Sinne der Richtlinie ausgestalteten Daten, können diese Vorgaben natürlich auch für nicht administrative Zwecke genutzt werden. Die einheitlichen Standards gewährleisten eine zumindest europaweite Nutzbarkeit. Gleichzeitig bietet eine oben genannte Umsetzungspflicht auch den Vorteil, dass Transformationen auch für eher exotische lokale Bezugssysteme in kommerzieller Software wie ArcGIS vorgehalten werden.

Technische Regelwerke schreiben die Geodätischen Grundlagen, sowie die Struktur der Geodaten an sich vor. Für die geodätischen Grundlagen kann der Leitfaden INSPIRE D2.8.1.1 herangezogen werden (INSPIRE 2014). Ferner gibt es spezielle Vorgaben für die Erfassung und Verarbeitung von bodenkundlichen (INSPIRE 2013b) oder geologischen Geodaten (INSPIRE 2013a). Da diese speziellen Vorgaben aber sehr tiefgreifend und umfangreich sind und Bereiche tangieren, die für diese Arbeit irrelevant sind, werden nur die grundlegenden Prinzipien angewendet.

Für pan-europäische flächentreue Darstellungen räumlicher Analysen, wie sie für Bodenkarten empfehlenswert sind, schreibt das Regelwerk das Referenzsystem *Lambert Azimuthal Equal Area (ETRS89-LAEA)* mit dem geodätischen Datum

European Terrestrial Reference System 1989 (ETRS89) auf dem GRS80 Ellipsoid vor (INSPIRE 2014:10). Das ETRS89 System ist an die Eurasische Tektonische Platte gebunden und gilt für die kontinentalen Gebiete Europas, aber auch für die unmittelbare Umgebung (INSPIRE 2014:8).

Dieses Referenzsystem wurde für die Geodaten und Karten in dieser Arbeit verwendet. Hierzu wurden die im Ursprungsbezugssystem vektorisierten Geodaten mit ArcGIS auf dieses System reprojiziert. Für die jeweilige Umrechnung mussten in ArcGIS unterschiedliche Transformationen verwendet werden. Von MGI 1901 musste erst auf WGS 1984 und anschließend auf ETRS 1989 umgerechnet werden, während die Umrechnung von Stereo 70 auf ETRS1989 nur eines Schrittes bedurfte.

Abbildung 5-3 zeigt darüber hinaus die jeweiligen Projektionen im Vergleich und unter Darstellung der Tissot'schen Indikatrizien. Anhand der Verzerrungsellipsen können die Eigenschaften der Projektionen erkannt und verglichen werden.

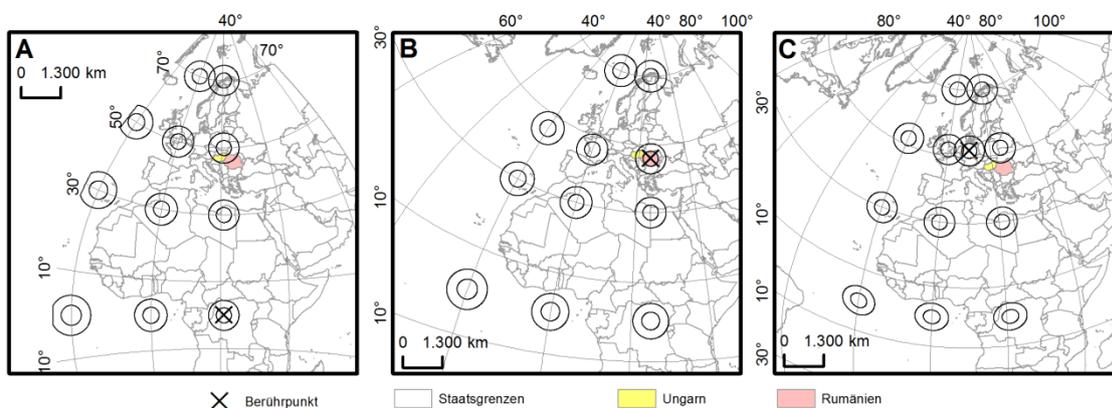


Abbildung 5-3: Verzerrungseigenschaften der verwendeten Projektionen; Verzerrungsellipsen mit 250 bzw. 500 km Durchmesser, entlang des jeweiligen Mittelmeridians und der Berührbreitenkreise entsprechend Tabelle 5-2 (Quelle Staatsgrenzen: Eurostat 2015).

Aus Abbildung 5-3 ist zudem erkennbar, dass die Verzerrung im Untersuchungsgebiet in sämtlichen Projektionen gering ist, die Karten bilden also die räumlichen Sachverhalte relativ naturgetreu ab. Somit konnten diese prinzipiell für die spätere Georeferenzierung und Vektorisierung verwendet werden. Weitere geodätische Eigenschaften, wie zum Beispiel der jeweilige Bezugse ellipsoid oder das geodätische Datum können Tabelle 5-2 entnommen werden.

Tabelle 5-2: Eigenschaften der verwendeten Projektionen im Vergleich (mapref.org 2015, INSPIRE 2014:10).

Bezugssystem	MGI 1901 Balkans Zone 7		Stereo 70		ETRS 1989 LAEA	
Projektion	Transversale Mercatorprojektion		Stereographische, schiefsachsige Azimutalprojektion		Lamberts flächentreue Azimutalprojektion	
Berührungspunkt bei	21° E	0° N	25° E	46° N	10° E	52° N
Datum	MGI 1901		Dealul Piscului 1970		ETRS 1989	
Ellipsoid	Bessel 1841		Krassowskij 1940		GRS 1980	
Eigenschaft	Winkeltreue		Winkeltreue		Flächentreue	

5.2 Sprachliche Schwierigkeiten

Eine zusätzliche aber leicht überwindbare Schwierigkeit stellte die Sprachbarriere dar. Die ungarische geologische Karte wurde in ungarischer Sprache erstellt. Hier mussten die einzelnen Klassen übersetzt werden. Teilweise lagen die Übersetzungen bereits vor. In anderen Fällen musste die Übersetzung noch durchgeführt werden. Hierzu wurden verschiedene Online-Übersetzungsdienste genutzt. Darunter der Google-Übersetzer sowie das speziellere Ungarisch-Deutsch Übersetzungstool Magyar Nemet Online.

Die rumänische Bodenkarte wurde zweisprachig auf Rumänisch und Englisch herausgegeben. Die sprachliche Übersetzung ihrer Legendeneinträge war daher eher unproblematisch. Kritischer war hier die sachlich-inhaltliche Übersetzung. Diese erfolgte wie in Kapitel 6.3 beschrieben.

5.3 Thematisch-inhaltliche Klassifikationen

Die verwendeten geologischen Karten wiesen unterschiedliche inhaltliche Klassifikationen und Darstellungen auf, die zu massiven Problemen in der Vergleichbarkeit der Daten führten. Was beim Vergleich der beiden geologischen Karten schnell auffällt, ist die Vielzahl an geologischen Einheiten und Subklassen. So ergibt sich vor allem bei der

rumänischen Karte eine sehr verwirrende Stratigraphie. Tabelle 5-1 gibt die Klassen beider Karten vergleichend wieder.

Tabelle 5-3: Vergleich der geologischen Klassen der ungarischen und der rumänischen geologischen Karte.

	Ungarische Geologische Karte 1:500000	Rumänische Geologische Karte 1: 200 000
Fläche [km²]	93 030	238 391
Klassen Geologie	96	214
davon Quartär	29	22
davon Holozän	11	7

Häufig sind Feinheiten zu unterscheiden, die den inhaltlichen Umfang der Karten ausmachen. Zuletzt wiesen Sprafke & Obrecht (2015) darauf hin, dass *alluvial loess* oder *infusion loess* isoliert in Ungarn auftritt. Dies ist ein klassisches Beispiel für unterschiedliche Klassifikationen im internationalen Kontext, denn auf dem weiteren eurasischen Kontinent kommt ein vergleichbares Sediment sonst nicht vor (Haase et al. 2007:1310, Abb. 4-1). Zwar hat sich der Begriff des Infusionslöss' in gängige Klassifikationen eingebürgert (vgl. Koch & Neumeister 2005), spätestens seit Sümegi et al. (2014) ist jedoch abzusehen, dass die Klasse des Infusionslöss' künftig nicht mehr den Lösssedimenten zuzuordnen ist, sondern eher den Seesedimenten.

Für die rumänisch-ungarische Grenze wäre wahrscheinlich ein Schnitt genau auf der Grenze zu erwarten – Infusionslöss auf der ungarischen und irgendein Lösssediment auf der rumänischen Seite, wenn sich der Aufbau der geologischen Karten nicht signifikant voneinander unterscheiden würde. Da in der rumänischen Karte Löss jedoch nicht ausgewiesen ist, erübrigt sich der Vergleich und ist somit nur theoretisch zu verstehen.

Im Falle der beiden geologischen Karten werden durch die unterschiedliche thematische Ausgestaltung, die daraus resultierenden Probleme sehr deutlich. Eine besonders detaillierte Klassifikation von Lösssedimenten und petrologischen, wie auch stratigraphischen Informationen, finden sich in der ungarischen geologischen Karte, während die rumänische lediglich stratigraphische Einheiten bietet. Eine Korrelation beider

Karten ist mangels der petrologischen Informationen in der einen Karte nicht möglich. Hier werden Zusatzinformationen benötigt. Ein leichtes Zusammenführen beider Karten zu einer grenzüberschreitenden Karte mit einem gemeinsamen Informationsgehalt, ist ohne weiteres nicht möglich (vgl. Nilson et al. 2007:13ff.).

Was aus dem oben genannten Beispiel ferner deutlich wird, ist der Wandel, den die Forschung im Laufe der Zeit durchmacht. Verschiedene Schulen nehmen unterschiedlichen Einfluss auf die jeweiligen Disziplinen. Diese Schulen sind wiederum häufig durch den Lebens- und Wirkungsbereich der betreffenden Wissenschaftler an administrative Grenzen gebunden und spielen in die aus der Forschung resultierenden Geodaten hinein (vgl. Smalley et al. 2001 u. Marković et al. 2015). Anhand der ungarischen geologischen Karte wird dies, sowie die in Ungarn inzwischen traditionelle und historisch bedingte Wichtigkeit der Lössforschung, präsent.

Ab Mitte des 19. Jahrhunderts wurde Löss bzw. „lös“ in Österreich-Ungarn intensiv untersucht, beschrieben und kartiert (vgl. Pettko 1856, Szabo 1863 u. Koch 1869 zitiert in Horvath & Bradak 2014:1, Marković et al. 2015:6). Bereits zuvor, im 17. Jahrhundert, beschrieb der italienische Gelehrte Luigi Ferdinando Marsigli gelbliche Schichten zwischen zwei Böden in Serbien (Marković et al. 2015:6). Die Lössforschung in Ungarn wurde seitdem immer weiter vorangetrieben und weitete sich auch auf Tschechien bzw. die Tschechoslowakei aus und wurde von dort aus maßgeblich beeinflusst (Smalley et al. 2001:16 f., Markovic et al. 2015:8). Ab den 1960er Jahren und bis in das 21. Jahrhundert wurde und wird die Lössforschung im gesamten Donaueinzugsgebiet betrieben, intensiviert und auch in Zukunft fortgesetzt (Marković et al. 2015:10).

In Rumänien existiert offenbar keine so traditionell verankerte Lössforschung wie in Ungarn. Der Literatur zur Geschichte der Lössforschung (Smalley et al. 2001, Horváth & Bradák 2014, Marković et al. 2015) sind nur wenige Hinweise zur Lössforschung in Rumänien zu entnehmen.

Aus Smalley et al. (2001:13) lässt sich entnehmen, dass bei der Initiative der INQUA Loess Commission 1967 (Smalley et al. 2001:13, Haase et al. 2007:1302) eine detaillierte Lösskarte für Europa zu erstellen, nur ein rumänischer Forscher beteiligt war, während sich für sämtliche weitere Gebiete meist größere Teams fanden (Smalley et al. 2001:13). Erst nach dem Kalten Krieg, insbesondere im 21. Jahrhundert, ist die

Lössforschung auch in Rumänien intensiviert worden, während sie sich zuvor eher auf die Tschechoslowakei, Österreich und Ungarn sowie China konzentriert hatte (Smalley et al. 2001:5, 14 f.; Marković et al. 2015:8-10).

6 Lösungsansatz durch Verschnitt von Geodaten in GIS

Wie zuvor beschrieben, lässt die rumänische geomorphologische Karte 1:1.000.000 nur bedingt auf die Lössverbreitung schließen, was a) an der thematischen Klassifikation liegt und b) an der zu geringen Auflösung bedingt durch den kleinen Maßstab.

Für die rumänische geologische Karte 1:200.000 gilt, dass sich von dieser Löss und dessen Derivate nicht direkt, sondern nur mit intensivem Wissen der rumänischen geologischen Stratigraphie und Klassifikation ableiten lassen.

Als Lösungsansatz für dieses Problem wurde die Erstellung einer Lösskarte von Rumänien auf Basis der Bodenkarte von Rumänien 1:500.000 gefunden. Diese Karte eignet sich, weil sie durch den Maßstab von 1:500.000 noch strukturiert und gleichzeitig relativ hochauflösend ist. Somit können auch vergleichsweise kleinräumige Änderungen von Bodenart und Bodentyp erfasst werden. Außerdem ist der Maßstab mit dem der ungarischen geologischen Karte (1:300.000) einigermaßen vergleichbar.

Als Verfahren zur Erkennung des Ausgangsgesteins wurde ein Rückschluss vom Bodentyp auf das dafür typische Ausgangssubstrat durchgeführt. Ähnliches gilt für die Bodenart. Dazu musste jedoch das Kartenmaterial zunächst für die Verwendung in ArcGIS aufbereitet, das heißt vektorisiert, werden.

Um eine spätere für die gesamte Lössverbreitung im Pannonischen Becken einheitliche Klassifikation zu erhalten, musste diese zunächst definiert werden - bevor die anschließend ermittelten Einheiten der Bodenkarte klassifiziert werden konnten.

6.1 Methoden und Software

Im Verlauf dieser Arbeit konnte eine Methode des Verschneidens und Verrechnens von Geodaten, sowohl Raster- als auch Vektordaten, empirisch entwickelt werden. Das Gesamtverfahren das hierbei angewendet wurde ist im komplexen Fließdiagramm Abb. A-4 im Anhang dargestellt.

Zur Verarbeitung der Geodaten wurde in erster Linie ArcGIS 10.3 mit der *Spatial Analyst Extension* verwendet. Die als gescannte Papierkarten vorliegenden Grundlagen wurden, zum erleichterten Input, zunächst vektorisiert. Die Attributtabelle wurden mit Hilfe von MS Excel 2010 ergänzt und bearbeitet und anschließend über *Join & relate* wieder eingefügt. Zur Verrechnung der jeweiligen Layer miteinander wurden die Vektordaten in Raster umgewandelt und im *Raster calculator* berechnet. Rasterdaten, vor allem das SRTM-DEM, wurden teilweise reklassifiziert und/oder mit den *Surface Tools* der *Spatial Analyst Extension* verarbeitet. Sowohl der thematische, als auch der numerische Datensatz wurde mit dem jeweils anderen im *Raster calculator* verrechnet sodass ein Modell der Lössverbreitung erstellt werden konnte. Abbildung 6-1 stellt die Arbeitsschritte der Geodatenverarbeitung schematisch dar. Sofern die jeweiligen Daten mit ergänzenden oder erweiterten Methoden verarbeitet wurden, finden sich nachfolgend detailliertere Beschreibungen der Datenverarbeitung.

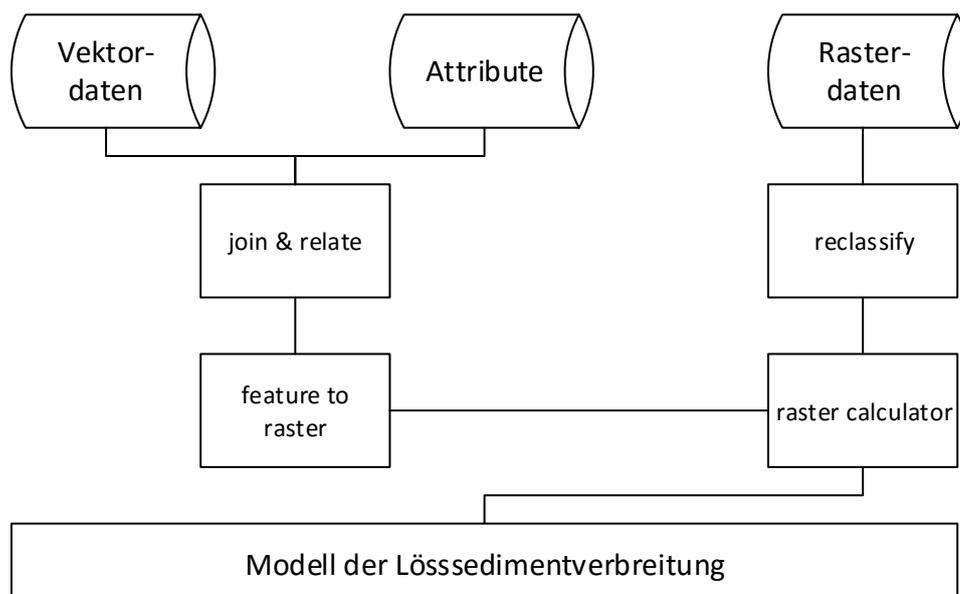


Abbildung 6-1: Schematische, stark vereinfachte Darstellung der grundsätzlichen Arbeitsschritte in GIS .

6.2 Aufbereitung der Karten am Beispiel der rumänischen Bodenkarte

Aufgrund der Struktur der Ausgangskarte und der Variabilität der Farbgebung der Signaturen sowie deren Ausgestaltung mit mehreren überdruckten Ebenen konnte keine automatische Klassifikation durchgeführt werden. Daher mussten die beiden Ebenen – Bodentyp und -art – zunächst vektorisiert werden. Dabei traten wieder unterschiedliche Probleme auf, die sich auf das Endergebnis auswirken. Zunächst musste die Bodenkarte jedoch georeferenziert werden.

6.2.1 Georeferenzierung der Bodenkarte

Die Georeferenzierung der Bodenkarte gestaltete sich zunächst als relativ leicht, da auf der Ausgangskarte ein geographisches Koordinatensystem aufgedruckt war. Die Schnittpunkte der Längen- und Breitenkreise konnten somit als Passpunkte genutzt und in das gewählte geodätische Referenzsystem (Dealul Piscului 1970) transformiert werden.

Problematisch war dabei eher die Genauigkeit der Transformation. Der resultierende Fehler ergab sich dabei vor allem aus dem Maßstab (1:500.000; Abb. 6-2A) und der darin begründeten Breite des durch Linien dargestellten Koordinatennetzes (vgl. Tab. 6-1). Im Allgemeinen ergab sich durch das Digitalisieren der Karte und der Auflösung des Scanners eine räumliche Auflösung der Ausgangskarte von rund 42,275 m x 42,274 m pro Pixel (Abb. 6-2B).

Die Breiten der Linien des Koordinatennetzes entsprechen mit einer Stärke von zwei bis drei Pixeln zwischen rund 85 m und 127 m Naturstrecke. Zum Vergleich stellt Tabelle 6-1 typische Breiten der Linien der Karte und ihre Pendants in der Natur gegenüber. Daraus ergibt sich für die Linienkreuzungen ein Bereich von 1.787 m² in sich dem die eigentliche x,y-Koordinate bewegt und die es mit dem *Georeferenzierung-Tool* zu erfassen galt.

Tabelle 6-1: Linienbreiten in der Kartendarstellung im Maßstab 1:500.000 und Entsprechung in der Natur.

Linienbreite Kartenstrecke k [mm]	Maßstab	Linienbreite Naturstrecke n [m]
1		500
0,5	$2 \cdot 10^{-6}$	250
0,1	bzw.	50
0,05	1 : 500.000	25
0,01		5

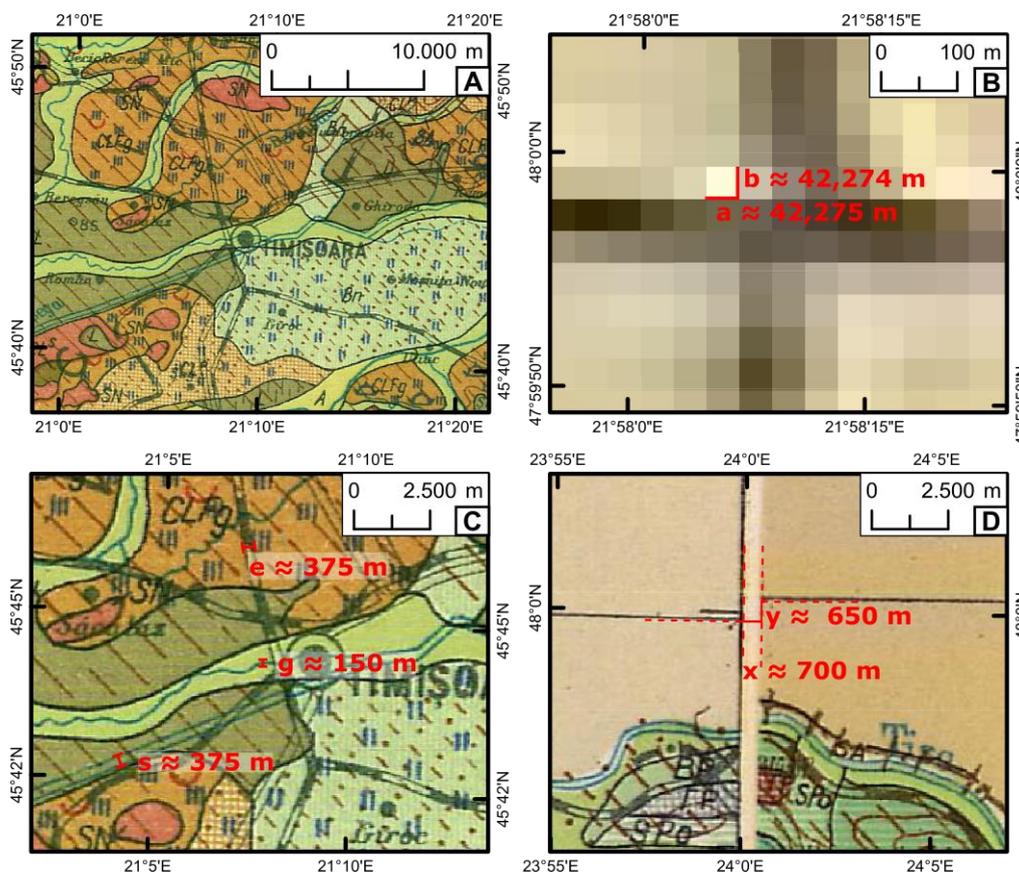


Abbildung 6-2: Probleme der Georeferenzierung der Bodenkarte von Rumänien. A: Karte im Originalmaßstab 1:500.000 (bei Papierformat DIN A4). B: Räumliche Auflösung der Karte am Beispiel eines Kreuzungspunkts des Koordinatennetzes. C: Generalisierung der Strukturen der Karte. D: Horizontaler (x) und vertikaler Versatz (y) durch ungünstig zusammengesetzte Blattsnitte der Papierkarte.

Dennoch konnten prinzipiell nur die Koordinatenkreuzungen genutzt werden. Andere Möglichkeiten oder Strukturen, die sonst häufig als Alternativen für die Georeferenzierung von Rasterdaten genutzt werden, wie Infrastruktureinheiten (Straßen, Eisenbahnlinien) oder auch bedingt Flüsse, hätten bei Heranziehung in diesem

Maßstab zu noch größeren Fehlern geführt. Abbildung 6-2C stellt in diesem Zusammenhang beispielhaft die aus der Generalisierung resultierende Vergrößerung solcher Strukturen dar. Der Fluss wäre in der Natur $g = 150$ m breit, die Breiten der Eisenbahntrasse e und der Straße s betragen jeweils 375 m. Damit würde die Abweichung der Passpunkte von deren reeller Lage im Raum noch größer werden als bei der Nutzung des Koordinatennetzes.

Wichtiger für die Genauigkeit der Georeferenzierung ist die Zusammensetzung der einzelnen Blattschnitte. Die einzelnen Blätter wurden bei der Ausgangskarte vor dem Scannen nicht sehr genau zusammengesetzt. Es kam zu einem Versatz sowohl in der Horizontalen als auch in der Vertikalen. Im Beispiel von Abbildung 6-2D beträgt dieser Versatz etwa $y = 650$ m und $x = 700$ m. An anderer Stelle sind die jeweiligen Blätter im spitzen Winkel gegeneinander tordiert. Dadurch ist hier der Versatz variabel.

Solche Fehler haben direkten Einfluss auf die Lage der Passpunkte. Durch sie befinden sich die Passpunkte nicht mehr in den ursprünglichen Abständen des Koordinatensystems der Ausgangskarte. Die ursprüngliche Projektion wird dadurch bereits verzerrt. Die Karte wird in der Folgeprojektion nach der Georeferenzierung im GIS ebenfalls verzerrt dargestellt.

Dies ist zunächst zu vernachlässigen, da sich die optische Verzerrung zunächst in Grenzen hält und somit visuell eigentlich nicht in Erscheinung tritt. Bei Betrachtung der Genauigkeit der Ergebniskarte, sollte dies trotzdem Beachtung finden. Probleme ergeben sich zudem bei der Vektorisierung der Karte, denn über die Versatzbeträge müssen die Flächen interpoliert werden.

6.2.2 Vektorisierung von Bodentyp und -art

Die Vektorisierung geschah durch händische Digitalisierung der Flächen als Polygon-Shapefiles mit dem ArcGIS *Editing-Tool* bei einem Bildschirmmaßstab von 1:60.000. Bei einem 15,6“-Monitor ließen sich so die Linien bis auf Pixelebene darstellen. Die Bodentypen ließen sich daher relativ leicht visuell erfassen. Die einzelnen Flächen waren durch etwa drei Pixel breite Linien abgegrenzt. Der Cursor des *Editing-Tools* deckte dabei die Linien ungefähr komplett ab, sodass sich die Rahmenlinien gleichmä-

ßig im Bereich ihrer Mitte treffen ließen. Gleichzeitig war stets genügend Überblick über die angrenzenden Flächen und den weiteren Linienverlauf gegeben.

Hinzu kam die relativ eindeutige Farbkodierung der flächenhaften Signaturen. Dort wo es zu Problemen kam, die aus mangelnden Farbunterschieden resultierten, halfen zudem die Kurzbezeichnungen, die sich auch in der Legende wiederfanden. Durch diese ließen sich zudem sehr kleine Flächen vergleichsweise eindeutig identifizieren (Abb. 6-3A). Das Ergebnis, die vektorisierte Bodenkarten der Beispielregion in der ursprünglichen Klassifikation, ist in Abbildung A-2 im Anhang dargestellt.

Im Gegensatz zum Bodentyp waren die Bodenartsignaturen nicht durch Rahmenlinien abgegrenzt. Die punktierten oder linierten Flächensignaturen verliefen eher fließend und mit laufenden Änderungen über die gesamte Karte (Abb. 6-3B). Zusätzlich gestaltete sich die Identifikation durch die unterliegenden Bodentypsignaturen auf Grund der teilweise ähnlichen Farbgebung als schwierig (vergleiche Abb. 6-3A). Auch die Qualität der Karte bzw. des Scans steuerte, besonders bei hohen Zoomstufen, zu dieser Problematik bei. Die Ausgangskarte wurde dadurch unübersichtlich.

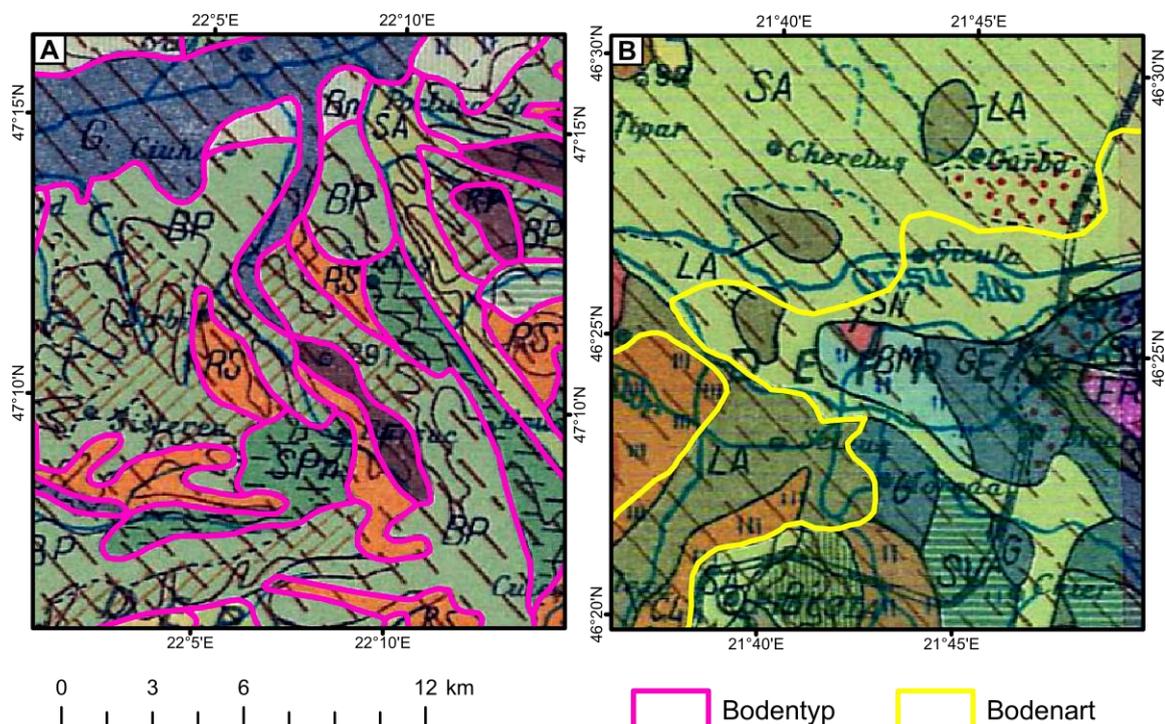


Abbildung 6-3: Vektorisierung von Bodentyp und -art. Die Bodentypsignaturen ließen sich durch Rahmenlinien, Farben und Buchstabencodes leicht differenzieren (A). Die Signaturen der Bodenarten ändern sich hingegen fließend und sind schwer identifizierbar (B).

Hinzu kam, dass die linierten Flächensignaturen der Karte nicht 1:1 mit denen der Legende übereinstimmten. In der Legende zeichneten sich diese durch die unterschiedliche Anordnung verschieden langer Linien aus. Versetzte Linien in der Legende waren jedoch zum Beispiel in der Karte nicht versetzt, wodurch eine zügige, eindeutige Erfassung für das Auge erschwert wurde. Lediglich die Längen der jeweiligen Linien stimmten einigermaßen mit denen der Legende überein. Daher wurden diese jeweils zur Kontrolle der erfassten Signatur hinzugezogen.

Da die Längen der Linien auch in der Legende leicht variierten, wurden diese zunächst statistisch ausgewertet. Dazu wurde ein *Polyline-Shapefile* angelegt, die verschiedenen Linien digitalisiert und anschließend die Längen (Naturstrecke) berechnet. Es ergab sich eine Bandbreite von Streckenlängen, die eine Identifikation der Signaturen mit Hilfe des Messen-Tools ermöglichten.

Die punktierten Flächensignaturen waren ebenfalls durch verschiedene Anordnungen und Durchmesser der Punkte charakterisiert. Jedoch ließen sich diese wesentlich leichter visuell unterscheiden.

6.3 Transformation von Bodentyp und -art in das potenzielle Ausgangsgestein

Um eine Lösskarte aus den nun erhaltenen Bodendaten generieren zu können, müssen daraus Rückschlüsse auf das Ausgangsmaterial geschlossen werden. Hierzu wurden zwei Ansätze gewählt, deren Ergebnisse anschließend miteinander verschnitten wurden, um die Lössverbreitung möglichst genau darstellen zu können. Zum einen wurde ausgenutzt, dass bestimmte Bodentypen unter bestimmten Randbedingungen und auf typischen Ausgangsgesteinen entstehen. Zum anderen besitzt Löss, wie auch Sand, ein relativ charakteristisches Muster in der Korngrößenzusammensetzung, also der Bodenart.

6.3.1 Bodentypen und ihr potentiell Ausgangsgestein

Bestimmte Bodentypen lassen relativ schnell und sicher auf Löss schließen, da diese besonders häufig auf Löss entstehen. Andere Typen können sich auch auf entsprechend verwittertem, anderem Ausgangsgestein entwickeln. Da für die Fragestellung dieser Arbeit nur solche Bodentypen relevant waren, die primär auf Löss entstehen, wurden auch nur diese in die Untersuchung mit einbezogen.

Zunächst wurden anhand der einschlägigen Literatur die relevanten Bodentypen identifiziert. Dazu dienten vor allem Kuntze et al. (1994) und Blume et al. (2010). Nach Kunze et al. (1994:236-238) sind vor allem Tschernoseme und Parabraunerden Böden, die sich durch pedogene Prozesse auf Löss entwickeln. Weiter müssen verschiedene Subtypen betrachtet werden.

Die pedogene Entwicklung soll anhand von Abbildung 6-4 verdeutlicht werden. Sie gibt die Entwicklung von spezifischen Böden auf Löss und die zugrunde liegenden pedogenen Prozesse schematisch wieder. Gleichzeitig werden hier auch die wichtigsten Bodentypen für die weiterführende Analyse genannt:

- Pararendzinen
- Tschernoseme
- Parabraunerden
- (Pseudo-) vergleyte Subtypen dieser Böden

In einem nächsten Schritt mussten diese Bodentypen in den erstellten Geodaten identifiziert werden. Die Bodentypen, wie sie in der Legende der rumänischen Bodenkarte zu finden sind, wurden jedoch ursprünglich in einer relativ komplexen Weise benannt.

Die Nomenklatur der Karte hat einen insgesamt eher beschreibenden Charakter. Es werden oft pedogene Prozesse oder Bodenfarben mit in die Beschreibung eingebracht, um die verschiedenen Bodentypen zu differenzieren. Häufig werden zudem mehrere vergesellschaftete Böden gleichzeitig in einer Signatur zusammengefasst. Selten werden eindeutige Bodentypen genannt.

Um das Ziel, die Identifikation von möglichen Lössflächen, zu erreichen musste jedoch eine Methode erarbeitet werden, um eine einheitliche und geeignete Bodenklassifikation zu erhalten. Als geeignete Klassifikation wurde die deutsche Systematik übernommen, da diese vor allem auf den Kriterien Ausgangssubstrat, Profilaufbau und bodenbildende Prozesse beruht (Kuntze et al. 1994:257). Die WRB-Taxonomie der FAO (2015) schien dafür weniger geeignet, da diese auf der Verwendung diagnostischer Horizonte basiert und sich die Bodentypen bezogen auf das Ausgangssubstrat anhand der Kartenlegende nicht zwingend unterscheiden ließen (Kuntze et al. 1994:300, FAO 2015:4).

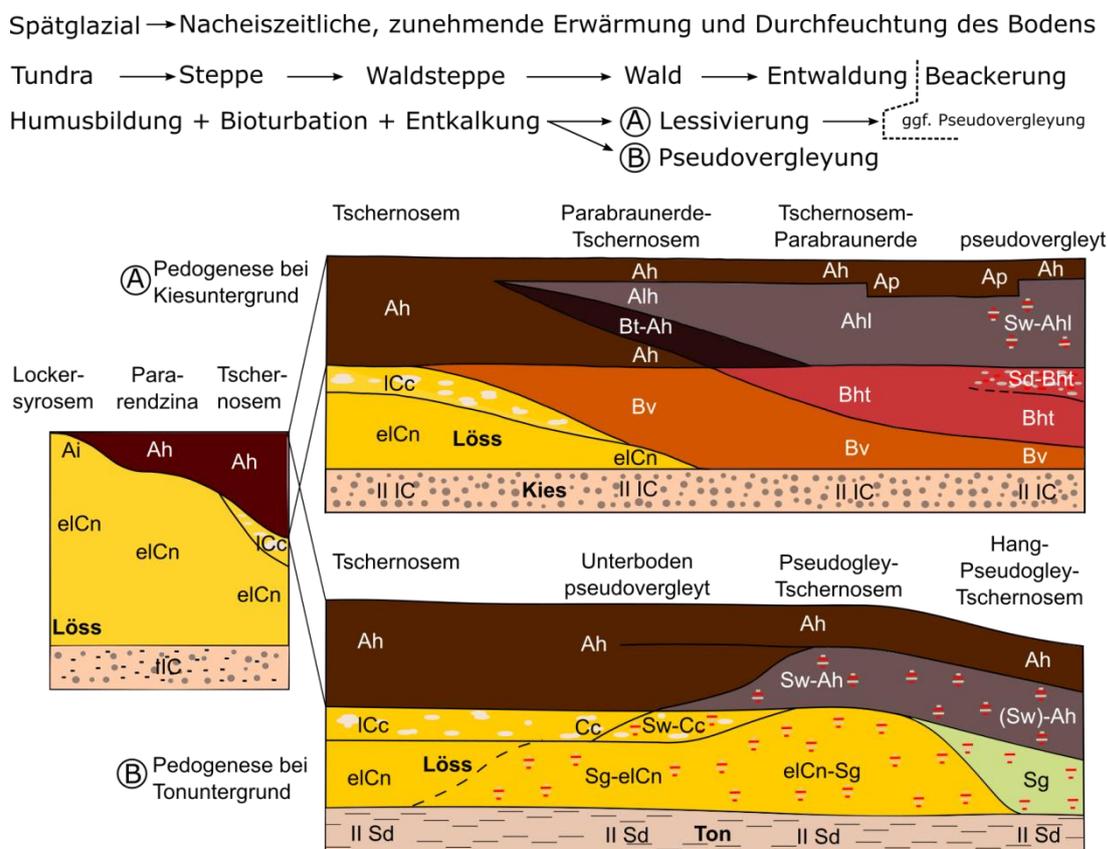
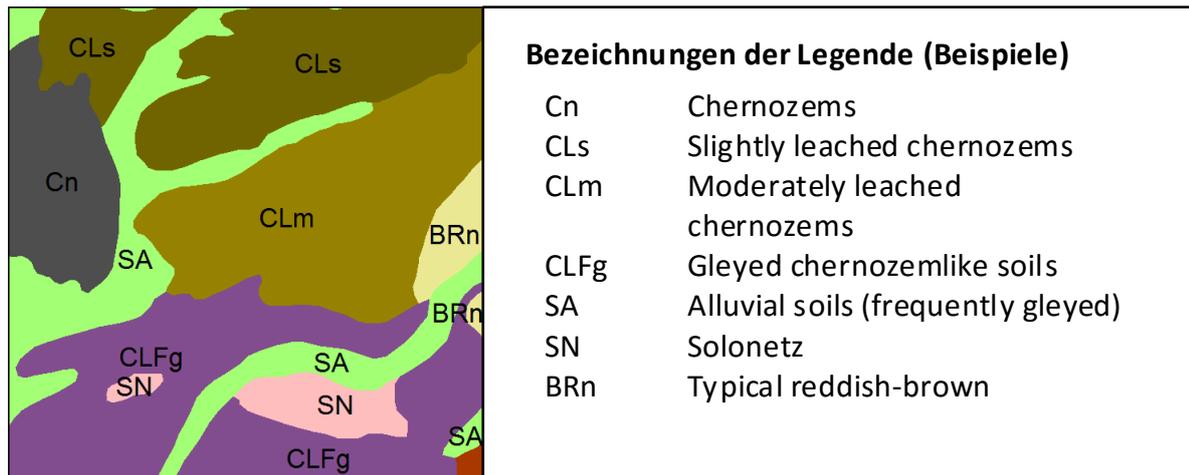


Abbildung 6-4: Schematische Darstellung der Bodenentwicklung auf Löss (verändert nach Kuntze et al. (1994:236).

Um die ursprüngliche Klassifikation der rumänischen Bodenkarte in die deutsche Bodensystematik zu überführen, musste daher ein Verfahren zur Translation erarbeitet werden. Abbildung 6-5 veranschaulicht diese Methodik, bei der zunächst eine prinzipielle Übersetzung in die WRB-Taxonomie anhand von Vlad et al. (2012) durchgeführt werden konnte.

Vlad et al. (2012) überführte die Klassifikation der rumänischen Bodenkarte 1:200.000 in die WRB-Taxonomie. Dabei bediente er sich einer erweiterten WRB-Taxonomie, die allerdings in der WRB-Dokumentation dazu häufig keine Entsprechungen aufweist. Gute Beispiele sind hierfür *hypostagnic* und *paraalbic*, die sich in der WRB-Taxonomy so nicht wiederfinden (Vlad et al. 2012:17; FAO 2015).



Reklassifikation der Bodentypen anhand Literatur

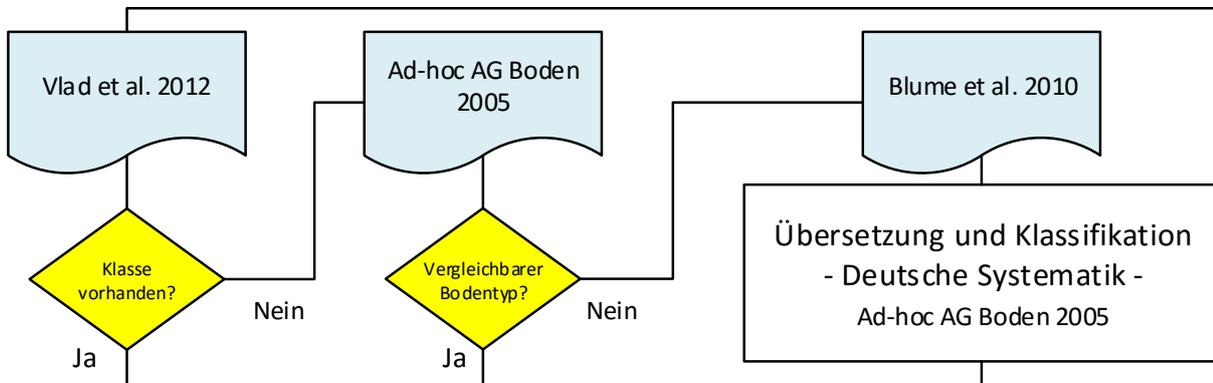


Abbildung 6-5: Verfahren zur Translation der Bodentypen der rumänischen Bodenkarte 1:500.000 in die deutsche Systematik.

Offensichtlich besitzt die Klassifikation der rumänischen Bodenkarte 1:200.000 wesentlich weniger Klassen, als die für diese Arbeit genutzte Bodenkarte 1:500.000, weshalb hierdurch und auf Grund der zuvor genannten komplexen Benennung eine direkte 1:1-Übernahme nicht in allen Fällen möglich war. Ergänzt wurden diese Übersetzungen daher durch Angaben aus der Bodenkundlichen Kartieranleitung KA5 von Ad-hoc AG Boden (2005). Mit dieser konnten dann auch die weiteren Abstufungen,

anhand der in der Legende beschriebenen Prozesse und Subtypen, identifiziert werden. Anschließend wurden die so identifizierten und übertragenen Böden in die deutschen Bodentypen und –subtypen unterteilt (Tab. A-3).

Waren die Bodentypen weiterhin nicht zu identifizieren, wurde versucht anhand von Blume et al. (2010) möglichst über die beschriebenen Prozesse auf einen entsprechenden Bodentyp zu folgern. Die abschließende Klassifikation geschah dann wiederum anhand Ad-hoc AG Boden (2005) (vgl. Abb. 6-5).

Grundlegend ließen sich dabei 13 Bodenhaupttypen identifizieren. Nachfolgend werden für die wichtigsten Böden, deren Eigenschaften und Entwicklung auf typischen Ausgangsgesteinen in Steckbriefen dargestellt:

- **Andosol:** Andosole sind prinzipiell saure Braunerden, die aus magmatischen Gesteinen entstehen, wie z.B. Lockerbraunerden, die ihrerseits aus vulkanischen Tuffen entstanden (Blume et al. 2010: 322).
- **Auenboden:** (WRB-Taxonomie: Fluvisol) Auenböden sind periodisch überflutete Böden der Flusstäler und gehören somit zu den Grundwasserböden, weisen im oberen Profil jedoch seltener redoximorphe Merkmale auf als Gleye (Blume et al. 2010:333). Sie entstehen aus alluvialen Sedimenten, wobei diese stark von der Geologie des Einzugsgebiets des Flusssystem abhängen. Auenlehme können unter Umständen auf Lössderivate hinweisen (ebd. 334).
- **Braunerde:** (WRB: Cambisol) Sie ist gekennzeichnet durch einen Ah-Horizont, der fließend in eine verbrauchten Bv-Horizont übergeht. Im gemäßigt-humiden Klima entwickeln sie sich aus Rankern, regosolen und Pararendzinen, durch Verbraunung und Verlehmung als Folge von Silikatverwitterung. Weit verbreitet entstanden sie aus Schiefen, Grauwacken, tonreichen Sanden und Sandsteinen sowie Granit. Untergeordnet finden sie sich auf quarzreichen Sanden und Sandsteinen, wo diese häufig ein Übergangsstadium zum Podsol darstellen (Blume et al. 2010: 321). Braunerden finden sich daher häufig in Mittelgebirgslagen, wo sie aus Fließerden oder Festgestein entstanden; auch auf quartäre Sande können sie hinweisen (ebd. 322).
- **Gley:** (WRB: Gleysol) Gleye gehören zu den semiterrestrischen Böden und sind durch von redoximorphen Merkmalen geprägten Horizonte gekennzeichnet. Diese entstehen durch das Schwanken des Grundwasserstandes und kapillarem

Aufstieg. Das Ausgangsgestein bzw. Sediment hängt stark vom Einzugsgebiet ab (Blume et al. 332 f.). Eine klare Typisierung ist daher nicht möglich.

- **Parabraunerde:** (WRB: Luvisol, Albeluvisol) Parabraunerden und Fahlerden entstehen typischerweise aus Lockergesteinen mergeliger Zusammensetzung sowie carbonatfreien Lehmen und Sanden. Daher gingen sie unter humiden Bedingungen durch Lessivierung aus Pararendzinen, Schwarz- und Braunerden hervor (Blume et al. 2010:323 f.). Die Entstehung aus Löss ist wahrscheinlich, wobei jedoch grundsätzlich auch andere Ausgangsgesteine möglich sind (ebd. 324 f.).
- **Podsol:** (WRB: Podzol) Podsole sind durch Podsolierung entstanden, besitzen teils mächtige Humusauflagen auf einem Eluvialhorizont über einem Illuvialhorizont. Diese kennzeichnen Verwitterungs- und Verlagerungsprozesse, die häufig aus sandigen Sedimenten oder Sandsteinen entstehen und lassen deshalb relativ gut auf diese schließen (Blume et al. 2010:325).
- **Tschernosem:** (WRB: Chernozem, teilweise auch Phaeozem) Sie „sind Böden aus Lockergestein mergeliger Zusammensetzung“ (Blume et al. 2010: 319) und weisen einen über 40 cm mächtigen Ah-Horizont auf. Bioturbation gilt hier als wichtigster pedogener Prozess, bei dem humusreiches Material des Ah-Horizonts in Krotowinen bis in den C-Horizont verlagert wird und umgekehrt. Ausgangsgestein der Tschernoseme ist hauptsächlich Löss (ebd. 320). Daher lässt sich auf Grund der Verbreitung der Tschernoseme mit relativ hoher Wahrscheinlichkeit auf die Lössverbreitung schließen.

Diese Bodentypen konnten nun in ArcGIS eingepflegt und in einer Karte dargestellt werden. Dazu wurde in MS Excel eine Tabelle (Tab. A-3) unter anderem mit der deutschen Klassifikation erstellt, die anschließend in ArcGIS über die Kurzbezeichnungen der Attributtabelle der vektorisierten Bodenkarte mit dieser verknüpft wurde. Abbildung 6-6 gibt die fertige Bodenkarte in der deutschen Übersetzung wieder, während Abbildung A-3 des Anhangs die ursprüngliche (Kurz-) Klassifikation wiedergibt.

So als Geodaten vorbereitet, konnten die Bodenhaupttypen für die weiteren Schritte der Modellierung der Lösssedimentverbreitung verwendet werden.

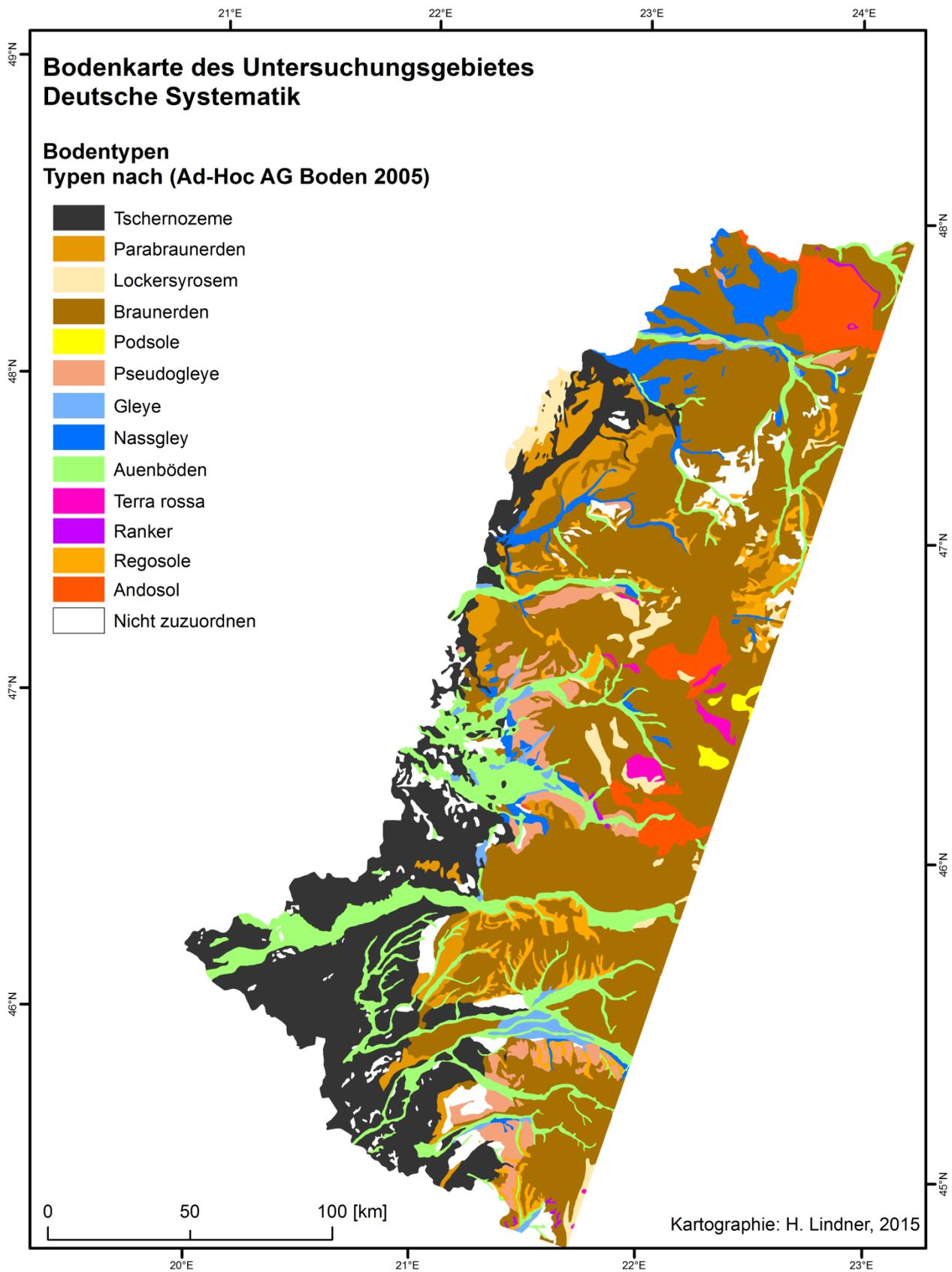


Abbildung 6-6: Bodentypen der Beispielregion - deutsche Systematik.

6.3.2 Identifikation von Lösspotentialflächen anhand von Bodentypen

Ausgehend von den Bodentypen und den zuvor genannten Verfahren zur Aufbereitung, wurden nun Lösspotentialflächen ermittelt. Lösspotentialflächen sind Flächen auf denen Löss oder Lösssedimente potentiell erwartet werden. Es wurden fünf Lösspotentiale entwickelt, die anhand der Wahrscheinlichkeit des Vorhandenseins von Löss definiert wurden:

- **LP0** – Abwesenheit von Löss und Lössderivaten aufgrund des Bodentyps ist sicher,
- **LP1** – Anwesenheit von Löss und Lössderivaten ist unwahrscheinlich, Bodentyp lässt aber grundsätzlich Löss zu,
- **LP2** – Anwesenheit von Löss und Lössderivaten ist wahrscheinlich, Bodentyp lässt aber grundsätzlich andere Ausgangsgesteine zu,
- **LP3** – Anwesenheit von Löss und Lössderivaten aufgrund des Bodentyps ist sicher,
- **Sand** – Aufgrund der Legendenbeschreibung oder des Bodentyps ist von Sand oder überwiegend sandigen Lösssedimenten auszugehen.

Tabelle 6-2 gibt die Zuordnung der jeweiligen Lösspotentiale zu den entsprechenden Bodentypen wieder. Der Zuordnung dienten die Steckbriefe der Eigenschaften der Bodentypen aus Kapitel 6.3.1. Zur Bewertung der Lösspotentiale wurden der Einfachheit und Übersichtlichkeit halber nur die Haupttypen berücksichtigt. Tabelle 6-2 wurde in MS EXCEL aufbereitet und anschließend in ArcGIS über die Kurzbezeichnungen der ursprünglichen Bodenkarte mit dieser verknüpft. Die räumliche Verteilung der Lösspotentialflächen ist aus Abbildung 6-7 zu entnehmen.

Bei der Zuordnung nach Haupttypen entstand jedoch ein Problem: Kels et al. (2014:213 u. 228) berichteten von Albeluvisols, also Fahlerden im Bereich der Fußflächen des Banats, die aus geringmächtigen Lösssedimenten entstanden. Diese können in Verbindung mit der Geomorphologie prinzipiell auch als Indikatoren für Differenzierung der Klassen der Lössderivate oder Kolluvien dienen (Kels et al. 2014:226). Ausgehend von der rumänischen Bodensystematik werden diese Fahlerden nach der in Kapitel 6.3.1 angeführten Übersetzungssystematik zu Fahlerde-Braunerden. Der Bodentyp wäre somit Braunerde und erhielte das Lösspotential LP1, obwohl dort auch

Lösssedimente in Betracht gezogen werden müssten. Die großflächige Verbreitung dieses Bodentyps lässt jedoch vermuten, dass es sich bei dieser (rumänischen) Klasse um eine Mischklasse aus Fahlerde und Braunerde handelt. Daher kann dieser Bodentyp nicht voll in die Beurteilung mit einbezogen werden. In einem späteren Schritt wurde versucht, diesen Bodentyp dennoch zu berücksichtigen (vgl. Kap. 7.3).

Tabelle 6-2: Zuordnung der Lösspotentiale zu Bodentypen.

Bodentyp	Begründung	Lösspotential
Andosol	Entsteht auf vulkanischem Material	LP0
Auenböden	Häufig nicht näher zu differenzieren; ggf. Schwemmlöss	LP1
Braunerden	Zahlreiche Ausgangsgesteine möglich; häufig Festgestein	LP1
Gleye	Können sich aus diversen Sedimenten entwickeln	LP1
Lockersyrosem	Verschiedene Ausgangssubstrate möglich	LP1
Nassgley	Wie Gley; kann nicht näher differenziert werden	LP1
Parabraunerden	Häufig auf Löss, andere Substrate möglich	LP2
Podsole	Häufig aus sandigem Ausgangssubstrat	Sand
Pseudogleye	Können sich aus diversen Böden entwickeln	LP2
Ranker	Meist auf verwittertem Festgestein	LP0
Regosole	Ggf. Flugsand; Beschreibung in Legende lässt Zuordnung dazu nicht zu	LP0
Terra rossa	Entsteht auf Kalkstein	LP0
Tschernozeme	In der Regel auf Löss entwickelt	LP3

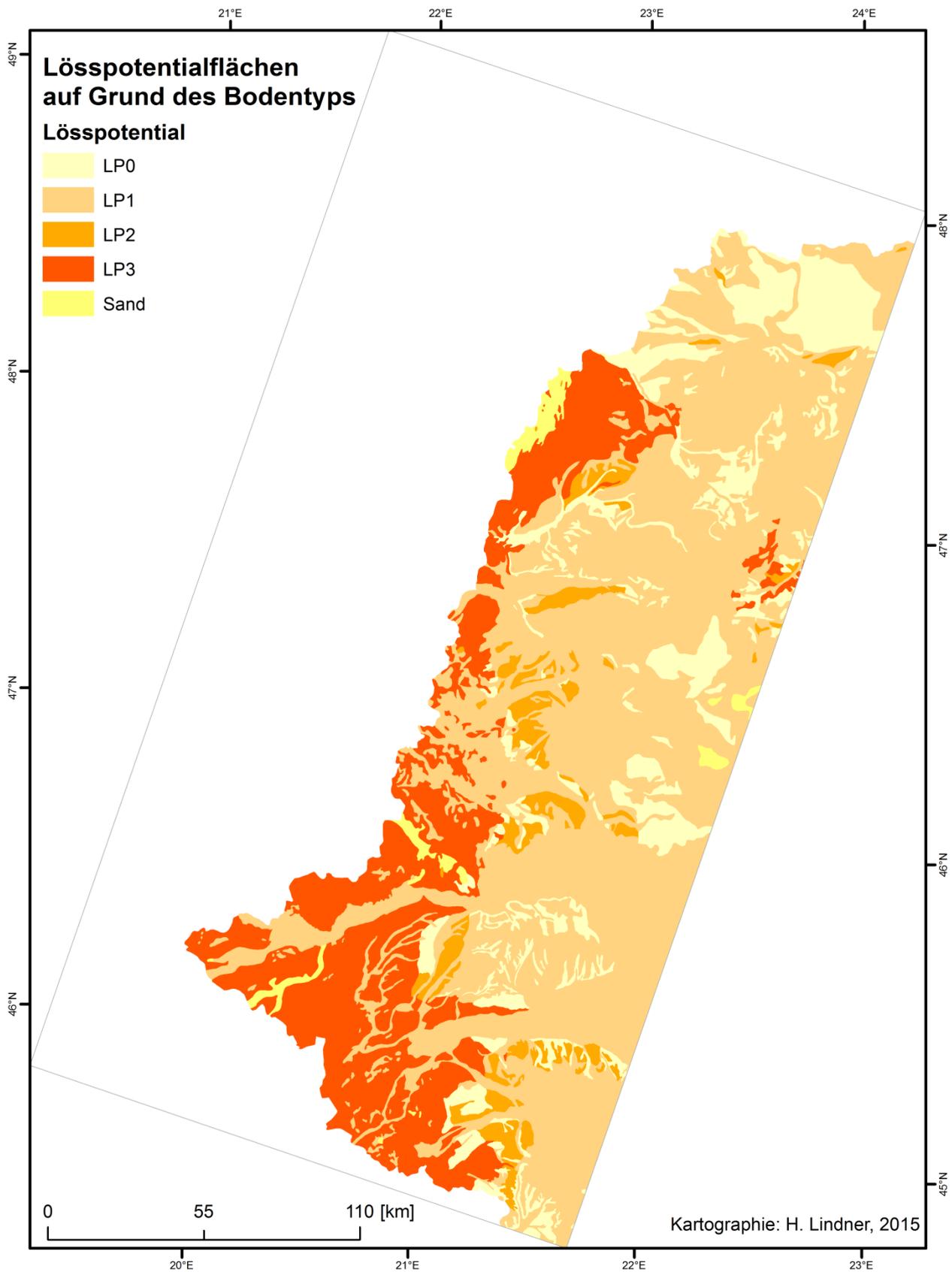


Abbildung 6-7: Lösspotentialflächen anhand der Bodentypen.

6.3.3 Bodenarten und Rückschlüsse auf das Ausgangsgestein

Die Bodenart oder -textur ist die typische Korngrößenverteilung von verwitterten Gesteinen, Mineralen und deren Neubildungen während der Pedogenese. Böden sind in der Regel Korngemenge verschiedener Fraktionen, wobei in Fein- (Korngrößen < 2 mm) und Skelettböden (> 2 mm) zu unterscheiden ist. Zudem werden die drei Korngrößen Sand, Schluff und Ton differenziert. Einkorngemenge weisen auf stringente Ablagerungsbedingungen und damit einhergehende Sortierung der Sedimente hin. Vor allem Flugsand und Löss zeigen daher ein typisches Spektrum im Sand- bzw. Schluffbereich (Kuntze et al. 1994:89). Daher sollte es – theoretisch – möglich sein anhand der Korngröße eines Bodens auf die Korngröße des Ausgangsgesteins zu schließen.

Typischerweise sind Böden jedoch Dreikorngemenge, die alle drei Fraktionen zu ähnlichen Anteilen beinhalten. Damit fallen die meisten Böden in die Kategorie der Lehme und lehmigen Böden und somit in die für Verwitterungsböden charakteristische Körnung (Kuntze et al. 1994:89, Blume et al. 2010: 177).

Durch die Gestaltung der rumänischen Bodenkarte mit verschiedenen Inhaltsebenen wie Bodentypen und -arten ließen sich nicht nur die Verbreitung des Bodentyps sondern auch der Bodenarten für die Beispielregion ableiten und vektorisieren (Abb. 6-8). Insgesamt wurden 13 Bodenartklassen – sechs eindeutige Klassen, sechs Klassenüberschneidungen und eine Mischklasse – dargestellt. Hinzu kam eine übergreifende Klasse für den Skelettanteil.

Durch die oben genannte Dreiteilung der Fraktionen kann die Korngrößenverteilung der Böden beispielsweise in Körnungsdreiecken dargestellt werden (vgl. Abb. 6-9). Es lassen sich anhand der relativen Anteile der drei Hauptfraktionen aber auch Gemenge darstellen und miteinander vergleichen.

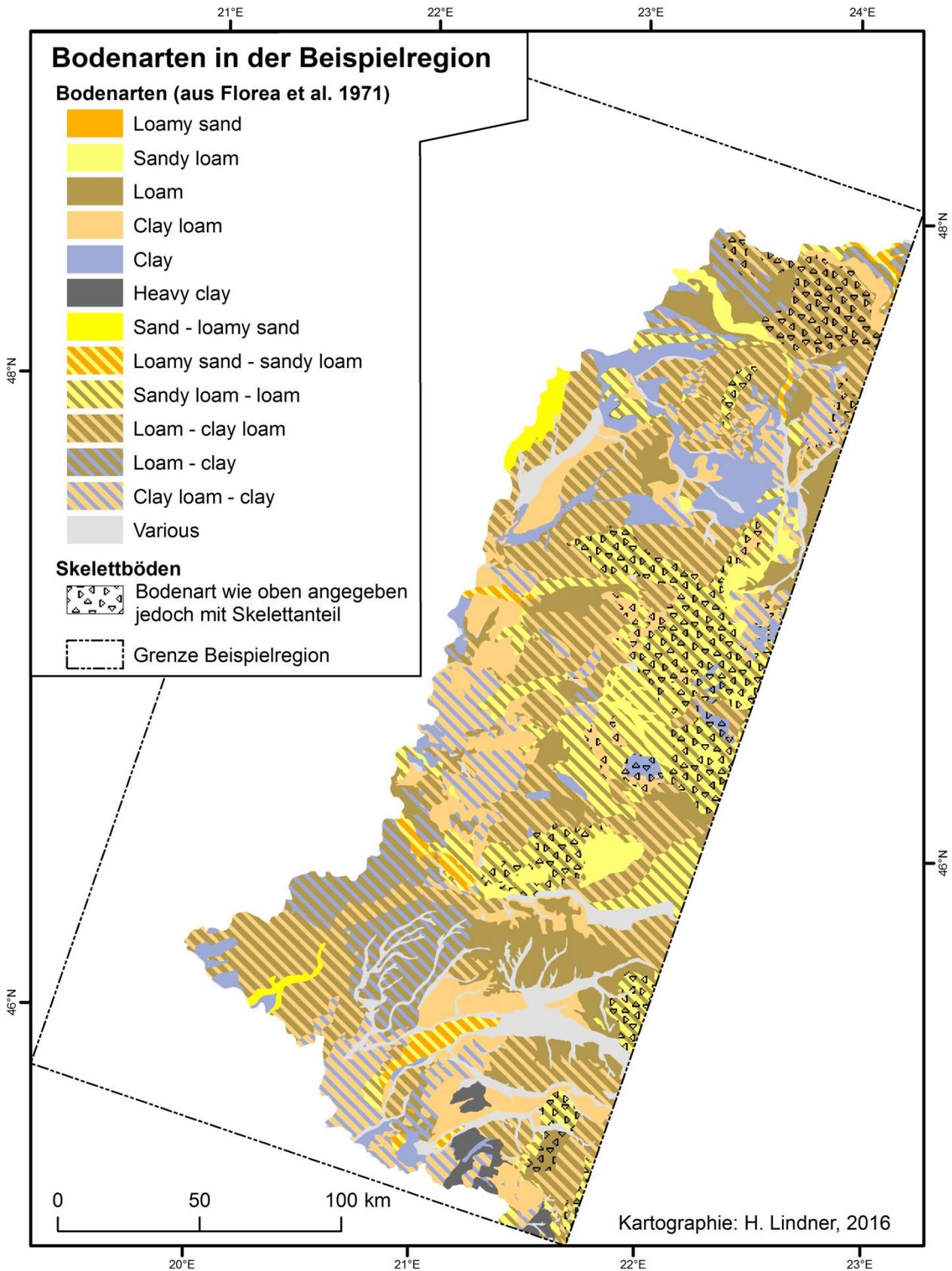


Abbildung 6-8: Verbreitung der Bodenarten in der Beispielregion.

Hartge & Horn (1999; zit. in Blume et al. 2010:177) haben die Körnung verschiedener Böden und unterschiedlicher Ausgangsgesteine verglichen und in Körnungsdreiecken aufgetragen. Abbildung 6-9 zeigt die Korngrößenverteilung von Böden auf Löss und Sand und stellt diese in den Vergleich mit dem Korngrößenspektrum typischen Lösses – hier „Lössdreieck“ genannt (Pecsi 1990:2). Zudem sind die Hauptklassen der in der rumänischen Bodenkarte vorhandenen Bodenarten dargestellt. Bewusst wurde eine alte, eher internationale Korngrößenklassifikation gewählt (USDA 1951 zit. in Blott & Pye 2012:2084), die älter ist als die Bodenkarte, da davon ausgegangen werden konnte, dass diese auf die spätere Klassifikation der Bodenart in der Karte Einfluss genommen hat. Eine weitere Klassifikation bieten Koch & Neumeister (2005:191).

Es zeigt sich, dass sich sowohl die typische Körnung von Löss, als auch jene der von Hartge & Horn (1999, zit. in Blume et al. 2010:177) erfassten Böden auf Löss, von den in der Bodenkarte vorhandenen stark abweicht. Eine leichte Identifikation von Löss aufgrund der Bodenart ist demnach nicht ohne weiteres möglich.

Dieses Problem kann verschiedene Gründe haben:

- durch die Verwitterung und die Mineralum- und -neubildung bei der Pedogenese werden Schluff und Sand verwittert und in Tonminerale umgebildet. Es findet eine Verschiebung zur Korngröße Ton oder zumindest zu Lehm statt,
- durch die Tonmineralverlagerung kann eine Verschiebung zu Sand erfolgen,
- das Ausgangssediment ist heterogener Natur, wie es zum Beispiel bei Sandlöss der Fall ist.

Werden ferner aus den Daten der Bodenkarte unter Bezug auf Abbildung 6-9 Lösspotentiale gebildet (vgl. Tab. 7-2) wird deutlich, dass Lösssedimente hierdurch stark überschätzt werden (Abb. A-3). Unter Beachtung dieser Umstände eignet sich die vorhandene Bodenartklassifikation weniger für die Identifikation von Lössablagerungen. Besser eignet sie sich, um die zuvor anhand des Bodentyps identifizierten Lösspotentialflächen später näher kategorisieren und anhand der Korngrößen klassifizieren zu können. Außerdem werden sie zur Plausibilisierung der Lösspotentiale eingesetzt (Kap. 7.1).

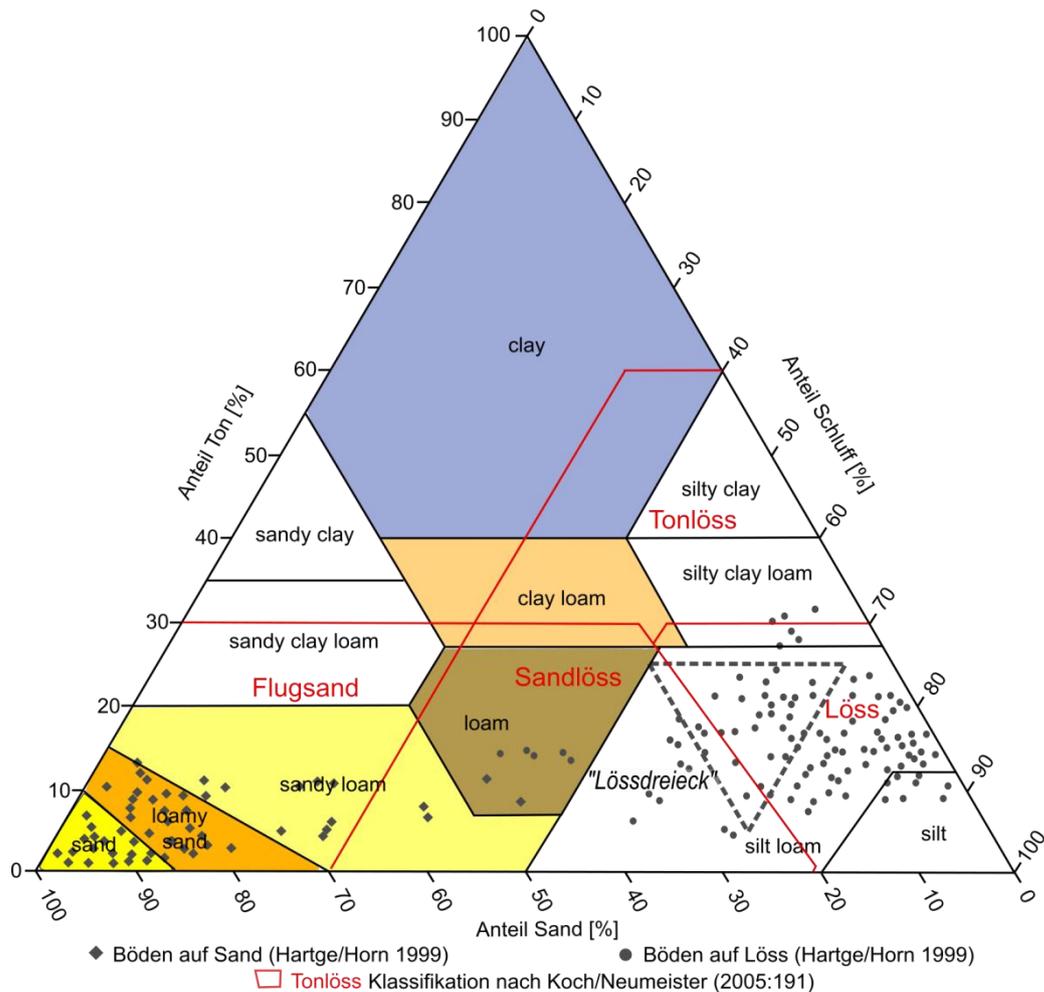


Abbildung 6-9: Korngrößendreieck mit verschiedenen Klassifikationen von Lösssedimenten (verändert nach Blott & Pye, ergänzt nach Hartge & Horn 1999 zit.in Blume et al. 2011:177 u. Koch & Neumeister 2005:191).

6.4 Auswertung der Landnutzungsklassifikation

Zur Identifikation weiterer Lössflächen und zur Klassifikation bereits vorhandener Flächen wurde die Landnutzung herangezogen. Dazu wurden die bereits eingangs verwendeten Corine Landcover CLC 2006 Daten genutzt und statistisch ausgewertet.

Die Landnutzung wiederum kann auf verschiedene Arten untersucht werden. Zunächst ergeben sich Indizien, die von einer Landnutzung direkt auf den Untergrund schließen lassen. So ist zum Beispiel der Bodenwasserhaushalt ein für eine effiziente Landwirtschaft entscheidender Standortfaktor. Lössböden besitzen dabei die besten Eigenschaften der Wasserspeicherkapazität auf Grund der dafür günstigen Korngrö-

ßenverteilung (Arnold 1997:37). Daher sollte die Landnutzungsklasse Landwirtschaft vor allem im Bereich der Lössse und Lössderivate zu finden sein.

Ein weiteres Beispiel ist die Landnutzungsklasse Weinbau. Es existieren nur wenige Publikationen, die den direkten Effekt von Löss auf Weine beschreiben (Li et al. 2005, Xi et al. 2007). Einige Internetquellen verweisen auf die besonderen Eigenschaften von Weinen die auf Löss gewachsen sind (Easton 2011, Belding 2014, winefolly.com 2014), jedoch zeugen diese eher von Halbwissen. Dennoch scheint vor allem der günstige Bodenwasserhaushalt von Lössböden einen wichtigen Standortfaktor für Weinbau zu bieten (Xi et al. 2007, Azevedo-Opazo et al. 2010: 6). Speziell das Umfeld des Tokay ist bereits seit dem 16 Jahrhundert für Weinbau auf Löss bekannt, (Kerényi 2015:219) wenngleich dort vulkanisches Gestein das zweithäufigste Substrat ist (Novak et al. 2014:90). Daher ist Weinbau als Landnutzung zumindest ein guter Hinweis auf Lösssedimente. Zeigt jedoch gleichzeitig die Grenzen dieses Indikators auf.

Zunächst wurden anhand der Landnutzungsklassen analog zu Kapitel 6.3.2 Lösspotentialflächen errechnet. Auch hier lag eine Begründung zu Grunde, die aus Tabelle 6-3 entnommen werden kann. Dabei wurden die Landnutzungsklassen in vier Lösspotentialle eingeteilt:

- **LP-LU0:** Landnutzung lässt Vorhandensein von Löss nicht zu oder macht dieses unwahrscheinlich.
- **LP-LU1:** Landnutzung lässt Löss grundsätzlich unwahrscheinlich werden, Vorhandensein von Löss ist aber dennoch möglich.
- **LP-LU2:** Löss ist wahrscheinlich, die Landnutzung lässt jedoch auch andere Substrate zu.
- **LP-LU3:** Löss ist als Substrat des Untergrundes auf Grund der Landnutzung wahrscheinlich.

Graphisch konnten diese Klassen nun in der Karte in Abbildung A-5 dargestellt werden. Insgesamt ist die Identifikation solcher Lösspotentiale aus der Landnutzung wiederum sehr komplex. Eine Tabelle der Lösspotentiale und der Landnutzung sowie eine Begründung der Einschätzung finden sich in Tabelle 6-3.

Tabelle 6-3: Lösspotentiale auf Grund der Landnutzung.

vereinfachte Klassifikation der Landnutzung	Löss-potential	Begründung
Urbanes Gelände	LP-LU1	Siedlungen bedienen sich zahlreicher Standortfaktoren. Nähe zu gutem Boden ist ggf. ein solcher Standortfaktor
Bergbau	LP-LU1	Je nach Art (z.B. Ton-/Lössgrube) und Standort ist Löss als Substrat vorhanden oder sogar wahrscheinlich
Deponien	LP-LU1	Ehem. Ton-/Lössgruben können als Deponien verfüllt worden sein; Anderes Substrat dennoch möglich
Landwirtschaft	LP-LU3	Im Untersuchungsgebiet überwiegend nicht bewässertes Ackerland daher vermutlich Lössböden
Weinberge	LP-LU3	Wein benötigt spezielle Anforderungen an Bodenstandort
Obstanbau	LP-LU2	Obstanbau ist weniger Anspruchsvoll an den Boden
Grünland	LP-LU1	Grünlandwirtschaft in der Regel auf ärmeren Standorten; Standort ggf. klimabedingt
Laubwald	LP-LU2	Laubwald je nach Klima eher auf reicheren Böden
Nadelwald	LP-LU1	Eher auf ärmeren, tw. sandigen Standorten, tw. reichere Standorte; Standort ggf. klimabedingt
Mischwald	LP-LU1	Eher auf ärmeren, tw. sandigen Standorten; Standort ggf. klimabedingt
Natürliches Grasland	LP-LU1	Falls Steppenvegetation dann spricht dies für Löss, geht jedoch nicht aus Klassifikation hervor
Wald-Strauch-Übergangsstadien	LP-LU1	Potentielle natürlich Vegetation dann spricht dies für Löss, geht jedoch nicht aus Klassifikation hervor; Standort ggf. klimabedingt
Strand, Dünen, Sand	LP-LUS	Sand: Klassifikation spricht für sich
Fels	LP-LU0	Fels: Klassifikation spricht für sich
spärliche Vegetation	LP-LU0	vermutlich kein Lösspotential da Hinweis auf geringe Bodenfruchtbarkeit
Torfmoore	LP-LU0	Kein Lösspotential da Moore
Gewässer	LP-LU0	Gewässer

6.5 Analyse und statistische Auswertung des digitalen Geländemodells

Das digitale Geländemodell (DEM = Digital Elevation Model) gibt die Höhen der Oberfläche des Untersuchungsgebiets wieder. In diesem Falle basiert es auf dem SRTM 1-arc-second DEM der NASA (USGS 2015). Dieses wurde durch SAR-Interferometrie (SAR = Synthetic Aperture Radar) im Anschluss an die Shuttle Radar Topographic Mission erstellt und ist ein gängiges, frei verfügbares DEM in praktikabler Bodenaufösung (Farr et al. 2007:2). Das hier verwendete DEM besitzt eine Auflösung von einer Bogensekunde oder etwa 30 m (Abb.6-10; hier: ca. 26,68 x 26,68 m).

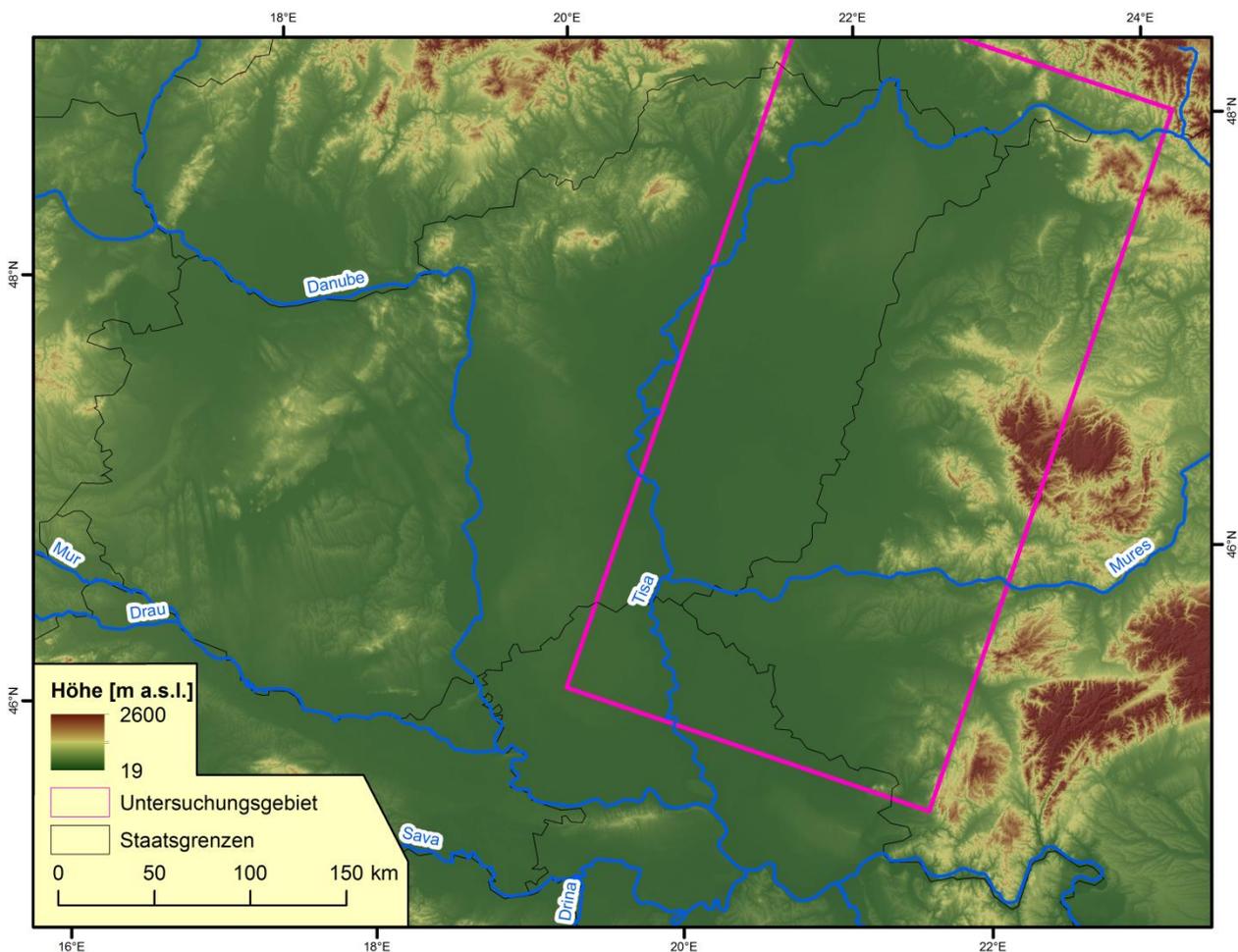


Abbildung 6-10: Digitales Höhenmodell (SRTM).

An dieser Stelle wird postuliert, dass die verschiedenen Lösssedimente, Sande und so weiter auf Grund ihrer Transport-, Sedimentation- und Erosionseigenschaften

unterschiedliche geomorphologische Muster bilden und fernerkundlich erkennbar sind (Hugenholz et al. 2012:320, 328). In wie fern sich diese Oberflächeneigenschaften im DEM widerspiegeln, wird hier nun mit verschiedenen Methoden evaluiert. Dazu werden die Höhendaten selbst, aber auch daraus abgeleitete Werte und Oberflächeneigenschaften, wie die Hangneigung und der Topographic Position Index evaluiert.

6.5.1 Hypsometrische Analyse der ungarischen geologischen Karte

Die Lössflächen, die anhand der ungarischen geologischen Karte erstellt wurden, konnten mit Hilfe des DEM hypsometrisch analysiert werden. Hierzu wurden die verschiedenen Lösssediment-Klassen als Polygone in ArcGIS isoliert. Über diese Shapefiles wurde mit dem Tool *Zonal Statistics as Table* die Höhenwerte statistisch ausgewertet. Dazu wurde eine hypsometrische Summenkurve für alle quartären Sedimente insgesamt, sowie für die einzelnen Lösssedimente erstellt. Zudem wurden statistische Lagemaße ermittelt (Tab. 6-4 und Abb. 6-11).

Quartäre Sedimente finden sich demnach in Höhenlagen von bis zu rund 750 m a.s.l. Typischer Löss erstreckt sich vereinzelt bis in ca. 650 m Höhe, wobei sich der Kernbereich um den Mittelwert von 166,8 m \pm 54,4 m (einfache Standardabweichung *SD* bzw. σ), also zwischen 110 und 220 m Höhe wiederfindet. *Clayey loess*, *Infusion loess* und *Reworked loess* befinden sich durchschnittlich in einem engen Spektrum, relativ nah beieinander, zwischen rund 80 und 100 m a.s.l. *Reworked loess* erstreckt sich jedoch bis in Höhen von 280 m während *Clayey loess* nur bis ca. 130 m Höhe vorkommt. Abweichend davon befindet sich *Infusion loess* in einem Bereich von ca. 20 bis 164 m. *Sandy loess* findet sich wiederum in mittleren bis großen Höhen.

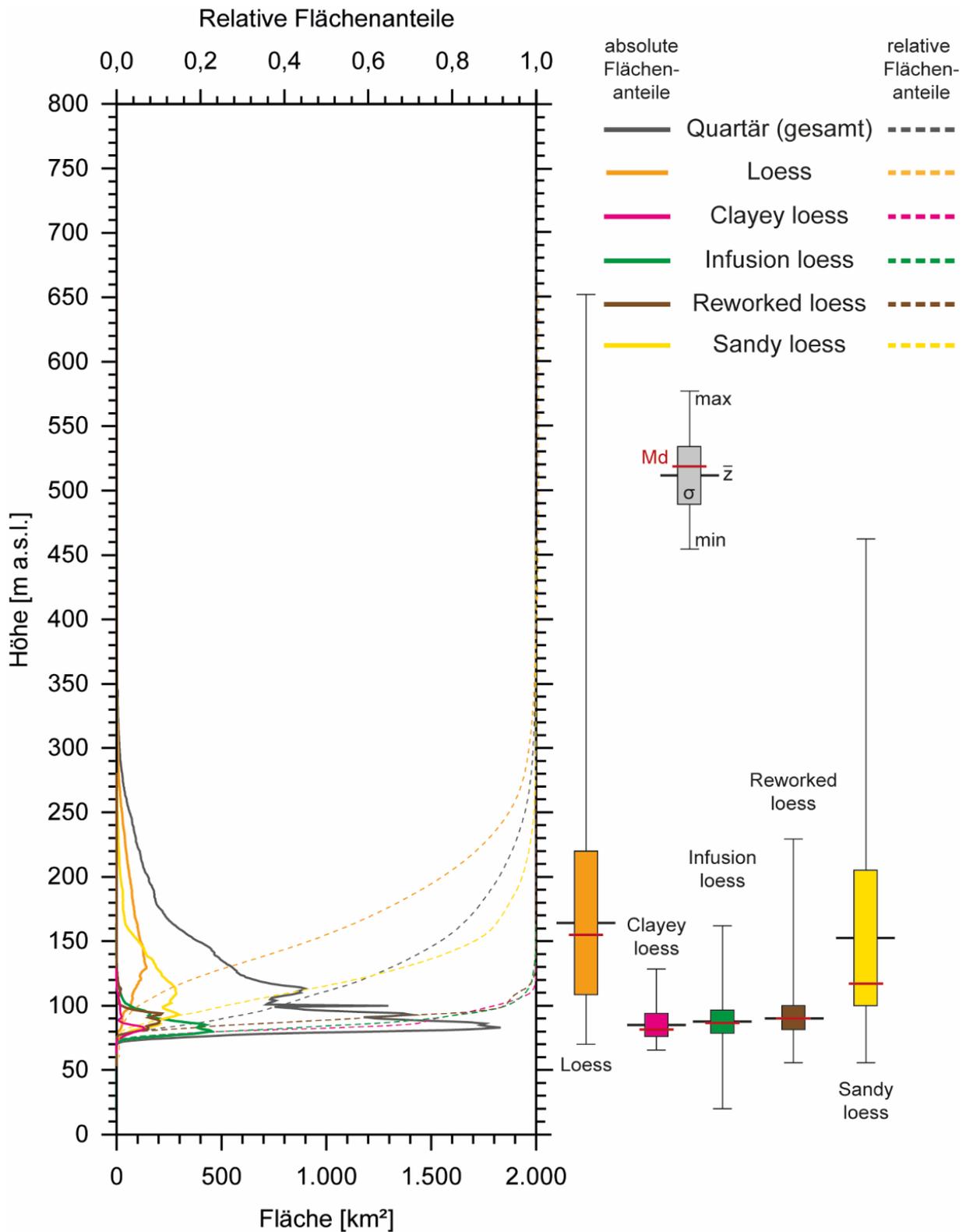


Abbildung 6-11: Hypsometrische Auswertung der Lösskarte und des DEMs (min = Minimum, max = Maximum, \bar{z} = Mittelwert, σ = Standardabweichung, Md = Median).

Tabelle 6-4: Statistische Auswertung des Höhenmodells (mit z = Höhe, SD = Standardabweichung; Werte in m a.s.l.).

		Sediment	z _{min}	z _{max}	\bar{z}	SD _z	z _{Median}
Ungarn	gesamt	Quartär (ges.)	19	744	126,4	± 48,7	112
		Loess	59	653	166,8	± 54,4	155
		Clayey Loess	63	128	85,6	± 8,7	83
		Infusion Loess	19	164	87,6	± 9,2	86
		Reworked Loess	54	280	90,5	± 8,4	89
		Sandy Loess	53	464	123,6	± 32,4	117
	nur Beispielregion	Loess	71	376	100,2	± 16,8	99
		Clayey Loess	63	103	81,7	± 3,9	82
		Infusion Loess	19	153	86,0	± 8,3	84
		Reworked Loess	54	219	87,9	± 7,3	87
Sandy Loess		54	180	112,0	± 22,5	107	

Wird angenommen, der Lössverbreitung lägen im gesamten Pannonischen Becken ähnliche Bedingungen zu Grunde, dann entsprächen die sich herauskristallisierten Spektren Bereichen, in denen sich die verschiedenen Sedimentklassen ab- bzw. umgelagert haben. Das hieße, dass sich anhand der Topographie auf eine höhenzonale Verbreitung der Lösssedimente und somit auf deren mögliche Lage schließen ließe. Beziehungsweise, dass sich bereits ermittelte, potentielle Lösssedimentflächen, anhand der Höhenlage verifizieren und klassifizieren ließen. Da es sich bei den Minimum- und Maximum-Werten um Ausreißer handeln kann, sollten, um mögliche Lösssedimentflächen zu identifizieren, nur die relativ sicheren Bereiche um den Mittelwert und der Standardabweichung für eine Klassifikation genutzt werden.

Anhand der in Tabelle 6-4 und Abbildung 6-11 identifizierten Spektren wurde der DEM-Ausschnitt der Beispielregion mit dem Tool *Reclassify* neu klassifiziert. Dabei wurde für jede einzelne Sedimentklasse zunächst ein spezifisches Raster erstellt, das anschließend in ein Shapefile konvertiert wurde. Bei der Reklassifizierung wurde das relevante Höhenspektrum gleich Eins gesetzt und die übrigen Werte gleich Null. Die höchsten Werte erreichen im Falle von Löss 220 m (Mittelwert + Standardabweichung). Bei der anschließenden Konvertierung wurden die Polygone mit dem Wert 0 gelöscht. Das Ergebnis ist eine Karte, die potentielle Lösssedimentvorkommen aufgrund der Höhe darstellt (Abb. 6-12).

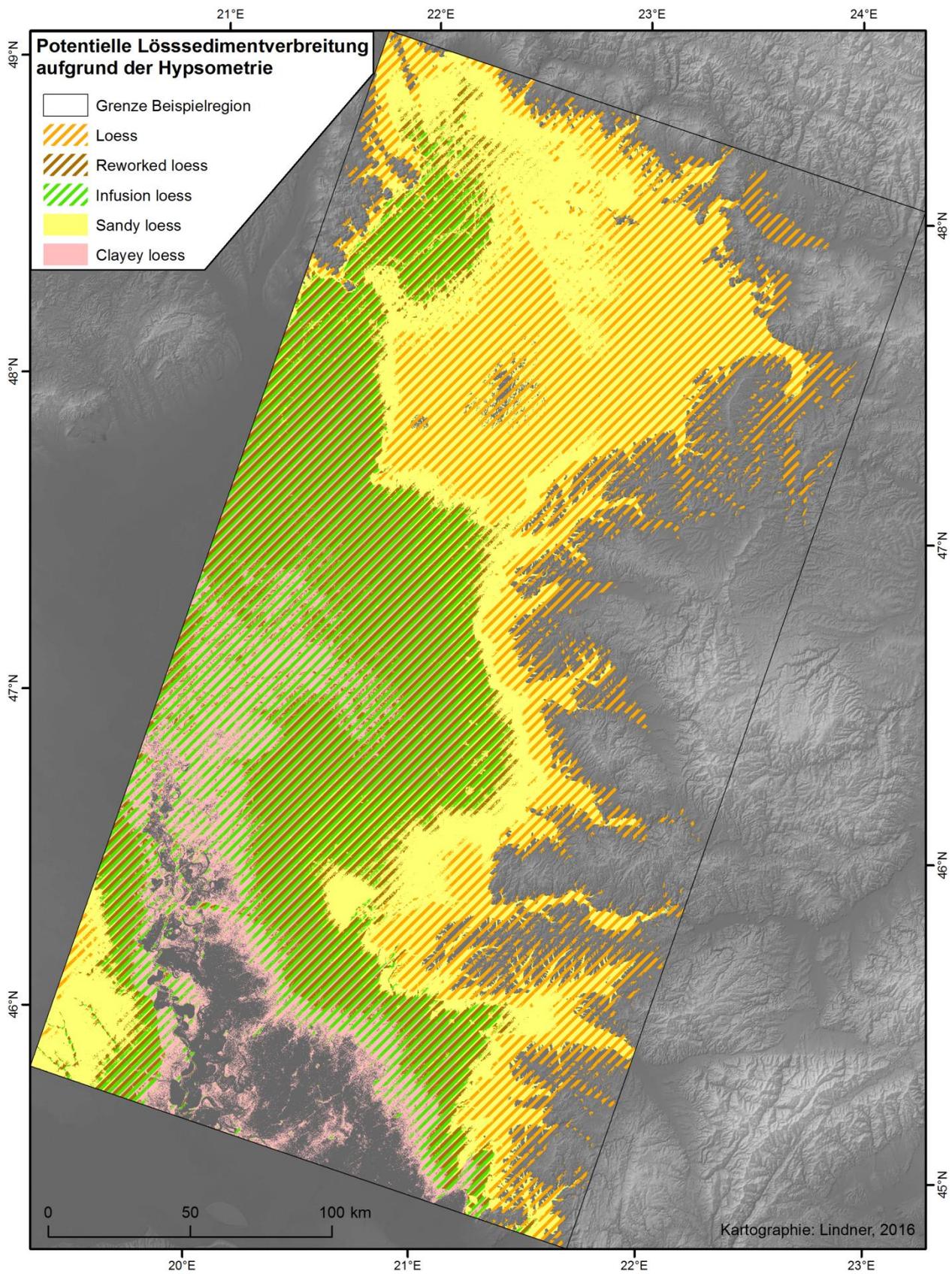


Abbildung 6-12: Potentielle Verbreitung von Lösssedimenten aufgrund der Höhenlage

6.5.2 Analyse der Hangneigung

An steilen Hängen finden verstärkt denudative Prozesse statt. Im Hochgebirge finden sich durch erosive Prozesse stärker geneigte Hänge. Löss lagert sich primär im Flachland oder an weniger geneigten Hängen ab. Wie groß die mögliche Hangneigung im Bereich von Lösssedimenten im Pannonischen Becken sein kann, wurde mithilfe der Klassifikation der ungarischen geologischen Karte analysiert. Hierzu wurde aus dem DEM zunächst die Hangneigung berechnet und mit dem *Raster calculator* in einen Integer-Datensatz umgewandelt (Abb. 6-13). Anschließend wurden mit dem Tool *Zonal statistics as table* die Hangneigungen der jeweiligen ungarischen Sedimentklassen erfasst (Tab. 6-5).

Tabelle 6-5: Statistische Auswertung der Hangneigung (α ; Werte in Grad) nach Sedimentklassen.

Sediment	Minimum	Maximum	Mittelwert	SD	Modus	Median
Loess	0	49	3,3	3,7	1	2
Alluvial loess	0	44	0,9	0,9	1	1
Sandy loess	0	43	1,5	1,6	1	1
Loess derivatives	0	41	0,9	1,0	1	1
Sand and dunes	0	40	1,8	2,2	1	1
<i>Spektrum</i>	0	49	3,3	3,7	1	1

Es ist erkennbar, dass sich das Maximum der Hangneigung für alle Sedimentklassen mit maximal 49° etwa im Bereich des natürlichen Böschungswinkels von 35° bis zu 45° (Grotzinger et al. 2007:411; DIN 4124 2012:11) befindet. Es wird hier davon ausgegangen, dass sich zum Beispiel bei einer durch fluviale Prozesse geschaffenen und gegebenenfalls durch gravitative Prozesse überprägten Terrasse, zunächst der natürliche Böschungswinkel einstellt. Anschließend wurde diese Terrasse von einer geringmächtigen Lösssedimentschicht überlagert (vgl. Kels et al. 2014:214,216), damit sollte der ursprüngliche Böschungswinkel ungefähr erhalten bleiben.

Auf wesentlich steileren Flächen sollten sich keine weiteren Sedimente im großen Maßstab ablagern können, da sonst der natürliche Böschungswinkel überschritten würde und gravitative Massenbewegung ausgelöst würden. Damit ist die Bandbreite der Hangneigung, in der sich alle Sedimente bewegen, prinzipiell plausibel.

Anhand des so identifizierten Spektrums der möglichen Hangneigungen wurde der Hangneigungsdatensatz reklassifiziert. Das Raster wurde in verschiedene Bereiche gegliedert, die zum einen das Gesamtspektrum (0 - 49°) abdecken, und somit gleichzeitig auch den Mittleren Bereich (1 - 7°) wiedergeben (Abb. A-6).

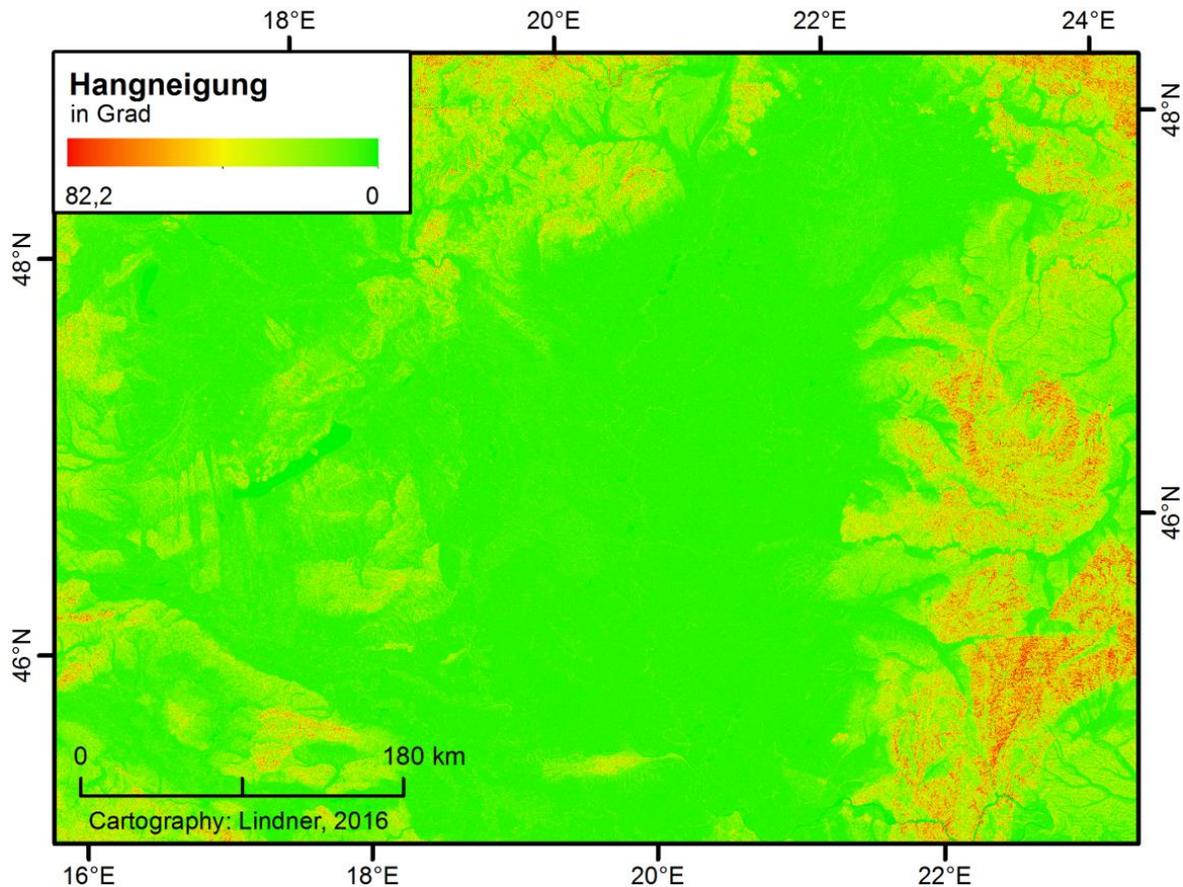


Abbildung 6-13: Hangneigung im Pannonischen Becken.

6.5.3 Topographic Position Index

Der Topographic Position Index (TPI) gibt die relativen Höhenunterschiede eines Pixels zu denen in seiner Umgebung wieder. Damit können Hangpositionen erkannt und Landschaftsformen klassifiziert werden (De Reu et al. 2013:39). Grundlage hierfür ist das DEM. Dazu wird zunächst die Differenz zwischen einem Pixel und dem Mittelwert der Höhenwerte (\bar{z}) in dessen Umgebung berechnet. Dabei wird ein Gleitfenster mit

einer definierten Fläche (Radius R) gebildet, anhand dessen das arithmetische Mittel als Gleitmittel bestimmt wird. Dadurch wird für jeden Pixel anhand der Formel

$$TPI = z_i - \bar{z}$$

(De Reu et al. 2013:42)

der TPI berechnet. Dieser gibt zunächst die relative topographische Position des Pixels zu seinen Nachbarn wieder. Positive Werte sagen aus, dass der Pixel einen höheren Wert als seine mittlere Umgebung aufweist. Bei negative Werten ist der Wert des Pixels niedriger als der mittlere Wert seiner Umgebung (Gallant & Wilson 2000:74, Weiss 2001, De Reu et al. 2013:42).

In einem nächsten Schritt wird aus der Division des TPI durch die Standardabweichung SD der näheren topographischen Umgebung, mit Hilfe der Formel

$$DEV = \frac{z_i - \bar{z}}{SD}$$

(Gallant & Wilson 2000:75, De Reu et al. 2013:42)

über die Abweichung DEV des TPI, der TPI relativiert und somit vergleichbar. Die Standardabweichung SD berechnet sich dabei nach der Formel

$$SD = \sqrt{\frac{1}{n_R - 1} \sum_{i=1} (z_i - \bar{z})^2}$$

(Gallant & Wilson 2000:74, De Reu et al. 2013:42).

DEV gibt die topographische Position und das lokale Relief normiert als Oberflächenrauigkeit mit Werten zwischen - 1 und + 1 an. Auch hier gilt, dass der Bezugspunkt bei Werten < 0 niedriger bzw. bei Werten > 0 höher als seine Umgebung liegt (De Reu et al. 2013:42 f.). De Reu et al. (2013:42) weisen darauf hin, dass die Genauigkeit des TPI oder der DEV mit dem steigenden Radius R beziehungsweise der Zellenanzahl stärker gemittelt wird und somit abnimmt.

Zur Berechnung der statistischen Werte \bar{z} und SD wurde das Tool *Focal statistics* in ArcGIS verwendet. Um einer realistischen Größenordnung gerecht zu werden, wurde

ein rechteckiges Abtastfenster von 300 x 300 m gewählt. Hierdurch können Landschaftsformen wie Dünenfelder, Schluchten und Täler gut abgebildet werden (vgl. Abb. 6-14A u. B). Weiter wurde der DEV-Wert berechnet (Abb. 6-14C).

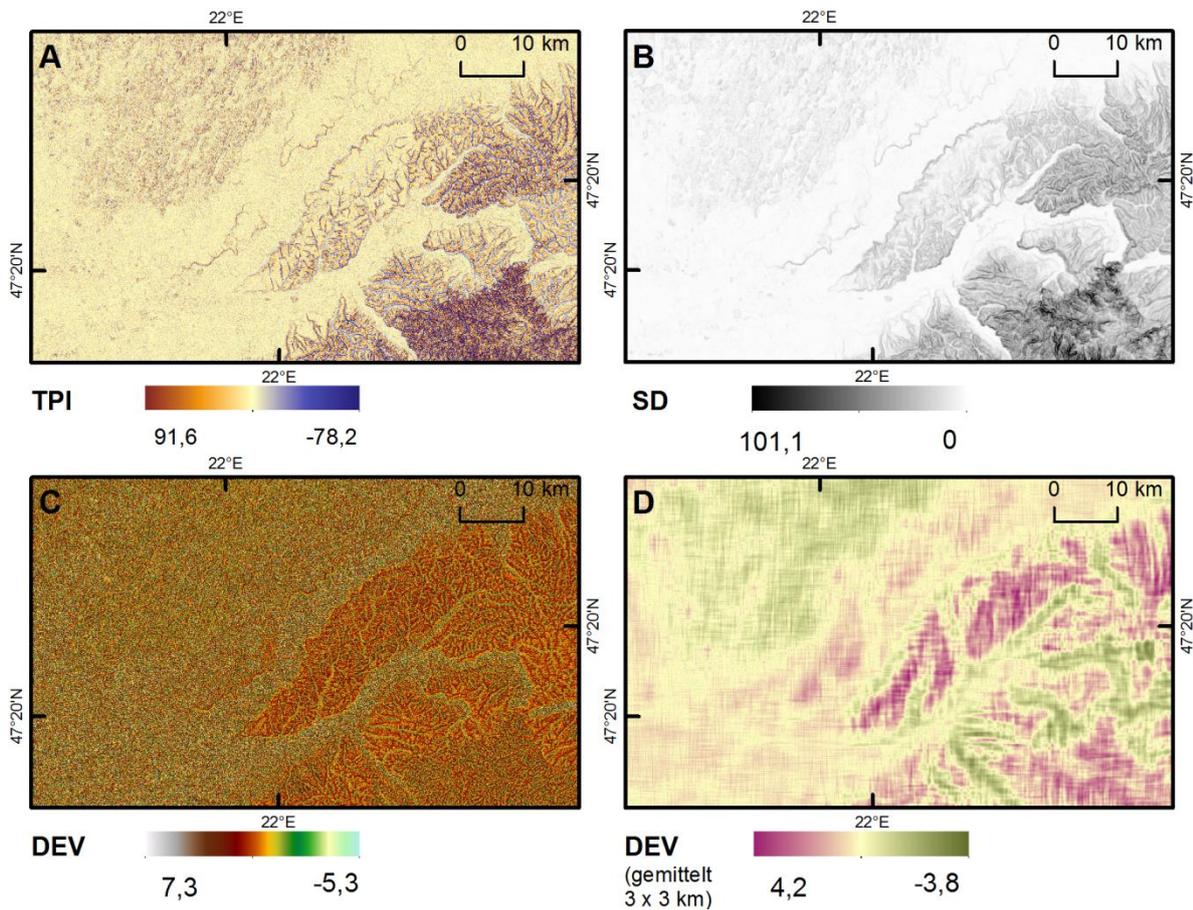


Abbildung 6-14: Entwicklung des TPI bzw. DEV aus dem DEM.

Anschließend wurden daraus wiederum mit dem Tool *Focal statistics* Mittelwerte für einen noch größeren Bereich (ca. 3000 x 3000 m) gebildet (Abb. 6-14D). So kristallisieren sich Gebiete heraus, die eher flach sind und relativ tiefer liegen (Werte < 0) und jene eher steilen, relativ höher liegenden Gebiete (Werte > 0). Diese Einteilung wird in der weiteren Folge zur Bewertung eingesetzt, ob es sich um in-situ abgelagerten oder kolluvial umgelagerten Löss, also Lössderivate, handelt.

7 Modellierung, Klassifikation und Zusammenführung der Daten

Für die Fertigung einer nahtlosen Lösssedimentverbreitungskarte bedurfte es der Erstellung eines Verbreitungsmodells für Rumänien. Dieses wurde, wie im Folgenden beschrieben, durch die Zusammenführung der Datensätze für den rumänischen Teil generiert. Anschließend musste sowohl der rumänische als auch der ungarische Datensatz an die gemeinsame Lössklassifikation angepasst und in einem weiteren Schritt mit dem ungarischen Teil verbunden werden.

7.1 Modellierung anhand der pedologischen Daten und der Landnutzung

Um die möglichen Lössflächen zu modellieren, mussten die zuvor bewerteten Lösspotentialflächen des Bodentyps und der Landnutzung zusammengeführt werden. Mithilfe der Bodenart wurden sie plausibilisiert. Jeder dieser Datensätze hat hinsichtlich seiner Aussagekraft Stärken oder Schwächen, die beachtet werden müssen, was zunächst durch Normierung und anschließende Berechnung geschah. Abbildung 7-1 zeigt das Verfahren der Modellierung schematisch.

Die Attributtabelle der als Shapefile vorliegenden Datensätze (Bodentyp und -art) wurden durch die Funktion *Join & relate* in ArcGIS um zuvor in MS Excel vorbereitete Spalten erweitert. Damit wurden die Lösspotentialflächen normiert und numerische Werte erzeugt. Sand (S) wurde ebenso zu 0 wie das Lösspotential LP0. Die anderen Werte wurden analog zu den Lösspotentialen benannt.

Sand wurde deswegen zunächst ausgenommen, da hier nur die potentiellen Lössflächen modelliert werden sollten. Sand, sowie die genaue Klassifikation der Lösses bzw. der lössähnlichen Sedimente, kann später aus anderen Datensätzen ergänzt werden.

Anschließend wurden die als Shapefiles vorliegenden Daten mit Hilfe des Tools *Feature to Raster* in Rasterdateien mit einer Auflösung von 50 x 50 m umgewandelt. Der Landnutzungs-Datensatz blieb in seiner 100 x 100 m Auflösung und wurde entsprechend mit dem *Reclassify*-Tool des *Spatial Analyst Tools* reklassifiziert und analog zu den Shapefiles wie oben angeführt normiert.

Die so in vier Klassen aufgeteilten Datensätze konnten nun miteinander im *Raster calculator* über die Formel

$$\frac{(Bodenart + Landnutzung) * Bodentyp}{3}$$

verrechnet werden. Diese Formel ermöglicht durch die Addition von Bodenart und Landnutzung einen gleichwertigen Einfluss beider auf das Ergebnis. Landnutzung und Bodenart sind in ihrer Aussagekraft beschränkt, da diese von ihrer Klassifikation her sehr breit aufgestellt sind. Durch die Addition und somit Bündelung in einem Faktor verstärken sich jedoch beide gegenseitig. Der Bodentyp hingegen ist in seiner Aussagekraft wesentlich stärker. So bieten beispielsweise Tschernozeme oder Parabraunerden die Möglichkeit mit hoher Wahrscheinlichkeit direkt auf Löss schließen zu können. Daher geht dieser als eigenständiger Faktor verstärkend in die Formel ein.

Die anschließende Division beschränkt den Output auf Werte von 0 – 6 (vgl. Abb. 7-1). Wobei Werte von 0 bis 2 das Vorhandensein von Löss unwahrscheinlich machen, da hier entweder auf Grund des Bodentyps (wenn LP0) das Vorhandensein von Löss unwahrscheinlich wird oder alle drei Datensätze so kleine Werte aufweisen, dass diese das Gesamtbild Löss unwahrscheinlich werden lassen.

Bei einem Wert von 3, macht der Bodentyp aufgrund seines hohen Lösspotentials Löss möglich, dabei ist die Wahrscheinlichkeit basierend auf den anderen Datensätzen gering. Dies wäre beispielsweise bei einer Siedlung (LP1 = 1), auf einem Boden der Bodenart „*Clay loam – clay*“ (LP1 = 1), während der Bodentyp eine Parabraunerde (LP3 = 3) ist, der Fall. Angenommen, wenige Meter von der Siedlung entfernt wäre die Landnutzung „Landwirtschaft“ (LP3 = 3) und somit der Ergebniswert bei den gleichen weiteren Bedingungen gleich Vier.

Werte größer/gleich 4 sind Indikatoren für eine hohe Auftretswahrscheinlichkeit von Löss, da hier mindestens zwei Datensätze mit einem Lösspotential von LP2 oder höher einwirken. Entsprechend Tabelle 7-1 wurde das Ergebnisraster reklassifiziert und anschließend in ein Shapefile umgewandelt.

Tabelle 7-1: Reklassifizierung des Ergebnisses.

Ergebniswert	Reklassifizierung	Bedeutung
0 ... 2	0	Löss unwahrscheinlich
3	1	Löss möglich
4 ... 6	2	Löss wahrscheinlich

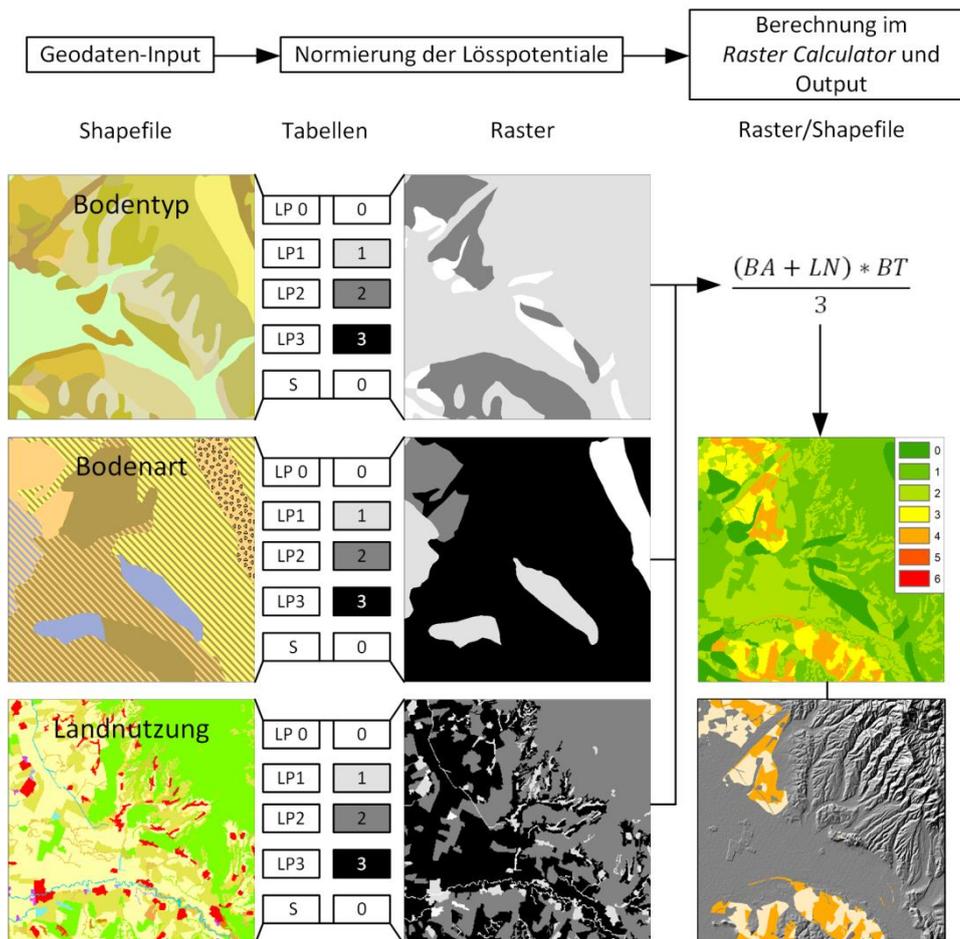


Abbildung 7-1: Schematische Darstellung der Modellierung der Lössflächen aus Lösspotentialflächen.

7.2 Modellierung anhand der Analyse des DEM

Sollen aus den topographischen bzw. geomorphologischen Daten wie Hangneigung und Höhe Flächen berechnet werden auf denen potentiell Lösssedimente abgelagert wurden, so kann dies vereinfacht nur über die Tatsache geschehen, dass eine entsprechende Ablagerung nur in Gebieten geschah, in denen beide Parameter

übereinstimmten. Diese Gebiete wurden bereits in den Kapiteln 6.5.1 und 6.5.2 herausgearbeitet.

Um die „Lösseignung“ dieser Gebiete zu identifizieren, wurden sie daher reklassifiziert. Die möglichen Ablagerungsbereiche der Lösssedimente wurden nach der Hypsometrie sowie nach der Hangneigung gleich Eins gesetzt; alle übrigen Werte gleich Null. Diese beiden Raster-Datensätze wurden dann miteinander multipliziert. Das Ergebnis sind die Flächen bei denen beide Parameter für Lösssedimente günstig sind (= 1; ungünstige Flächen = 0).

7.3 Zusammenführung der Daten – Ergebnis

Die beiden nun als Raster vorliegenden Datensätze der möglichen Lösssedimentverbreitung (Kap. 7.1; Werte 0 - 3) wurden mit dem Raster der DEM-Analyse (Kap. 7.2; Werte 0 - 1) multipliziert. So konnten wiederum die Pixel mit Werten gleich Null als Flächen erkannt werden, auf denen sich aller Wahrscheinlichkeit nach kein Löss befindet.

In einem weiteren Schritt mussten die bis hierhin generierten Flächen der Lössverbreitung den verschiedenen Lösssedimentklassen zugeteilt werden. Dies geschah über die Bodenart. Analog zur im Korngrößendiagramm vorgenommenen Einteilung nach Koch & Neumeister (2005) (Abb. 6-9, rot) wurden die relevanten Bodenartdaten der rumänischen Bodenkarte zu vier Korngrößenklassen zusammengefasst und Klassen gebildet (Tab. 7-2).

Dies geschah zunächst indem die Attributtabelle des Bodenart-Shapefiles über die Bodenartklassen mit einer Excel-Tabelle verknüpft wurde, um der Attributtabelle die numerischen Klassenwerte (Tab. 7-2) zuzuweisen. Anschließend wurden die Polygone in ein Raster umgewandelt, wobei die numerischen Klassen die Pixel-Werte bildeten.

In einem nächsten Schritt wurden die beiden Raster – Lössverbreitung und Bodenartklassen – im *Raster calculator* addiert (Abb. 7-2). Es entstanden zweistellige Werte, die die einzelnen Lösssedimentklassen widerspiegeln. Dabei lässt die erste Stelle auf die Korngröße schließen, während die zweite das Lösssediment bestätigt oder negiert.

Tabelle 7-2: Klassifikation der Bodenarten.

Bodenart (Florea et al.)	Hinweis auf		Löss- potential	Klasse
Clay loam	Tonlöss, toniger Löss	clayey loess	LP2	20
Clay loam - clay	Tonlöss, toniger Löss	clayey loess	LP2	20
Loam	Sandlöss, sandiger Löss	sandy loess	LP2	30
Loam - clay	Löss	loess	LP3	10
Loam - clay loam	Sandlöss, sandiger Löss	sandy loess	LP2	30
Loamy sand	Sand	sand	S	40
Loamy sand - sandy loam	Sand	sand	S	40
Sand - loamy sand	Sand	sand	S	40
Sandy loam	Sand	sand	S	40
Sandy loam - loam	Sandlöss, sandiger Löss	sandy loess	LP2	30

Wie bereits in Kapitel 6.2.2 erwähnt, wurden durch die relativ grobe Einteilung der Bodenhaupttyp-Klassifikation nur jene Flächen beachtet, die besonders typische „Lössböden“ beherbergen. Der Bodentyp Fahlerde-Braunerde wurde als Subtyp der Braunerde dieser zugeordnet und erhielt daher das Lösspotential LP1. Damit fielen so klassifizierte Flächen schon früh heraus. Da es sich bei den Fahlerden jedoch um die Albeluvisols aus Kels et al. 2014 handeln kann, mussten diese dennoch zwingend in die Klassifikation mit einfließen. Dieser Bodentyp (Fahlerde-Braunerde) findet sich großflächig in den höheren Lagen der Beispielregion und würde alleinig betrachtet die Lössverbreitung überschätzen. So klassifizierte Polygone wurden daher in einem separaten Schritt mit dem Raster der DEM-Analyse verrechnet, sodass nur Bereiche mit Fahlerde-Braunerden berücksichtigt wurden, die auch im topographischen Bereich (Höhe, Hangneigung) von Löss liegen. Diese Flächen wurden anschließend in das Lössverbreiteraster integriert.

Das Raster wurde anschließend reklassifiziert, dadurch auf 5 Klassen begrenzt und in ein Polygon-Shapefile umgewandelt. Es ist in Abbildung A-10 als Karte dargestellt. Später wurden die in Abbildung A-10 erkennbaren, zahlreichen Polygone kleiner 2 km² gelöscht, um die Speicherkapazität zu schonen.

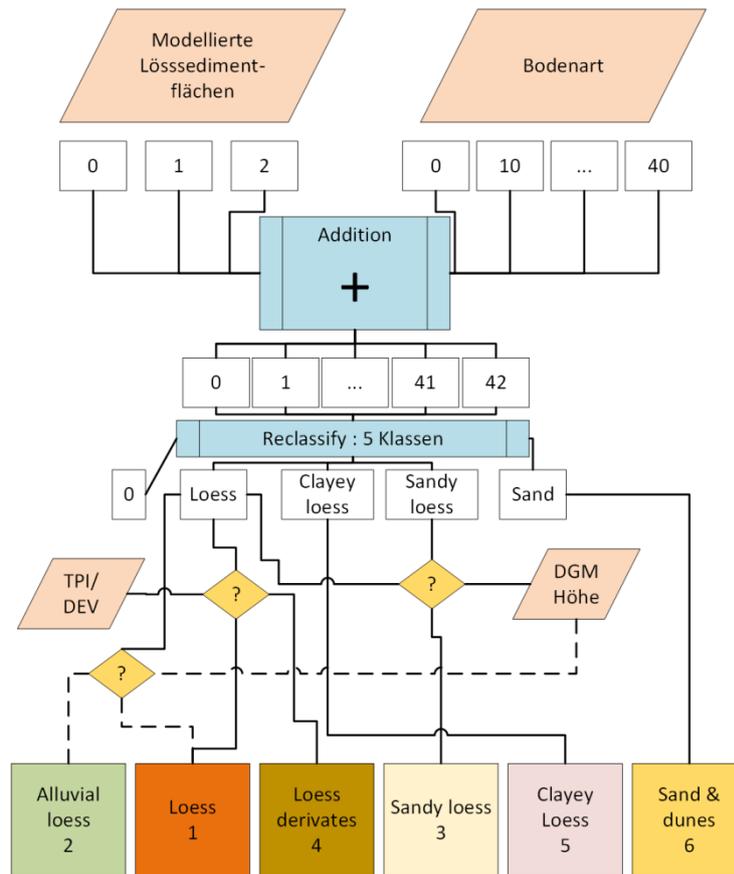


Abbildung 7-2: Verfahrensschema der Zusammenführung der modellierten Lösssedimentflächen und der Bodenart sowie Prinzip der Klassifikation der Lösssedimente.

Um *alluvial* bzw. *infusion loess* auf rumänischer Seite zu identifizieren, wurde das an den ungarischen *infusion loess* angrenzende, als Löss identifizierte Stück extrahiert. Anschließend wurden die Höheninformationen aus dem DEM ermittelt. Über die mittleren Höhen plus/minus der Standardabweichung des Infusionslöss' (Ungarn) wie in Tabelle 6-4 dargestellt, wurden die Flächen ermittelt, die mit den ungarischen Flächen vergleichbar waren. Anhand dieser Information wurde das betreffende Polygon mit dem Tool *cut polygon* zerschnitten.

Bei Betrachtung der Karte A-10 fällt auf, dass *Sandy loess* durch die Verrechnung der modellierten Lösssedimentflächen mit der Bodenart flächenmäßig sehr weit verbreitet ist. Dadurch wird *Sandy loess* vermutlich überschätzt. Um dem entgegen zu wirken, wurde zunächst versucht, über die Auswertung der hypsometrischen Daten die mögliche Verbreitung von *Loess* und *Sandy loess* zu trennen. Dabei wird angenommen, dass feinkörniger, typischer Löss über den Ferntransport weiter und höher transportiert werden kann als grobkörnige Sedimente.

Dazu wurde das DEM reklassifiziert. Den hypsometrischen Daten wurden die Klassengrenzen entnommen, indem wiederum die Mittelwerte der Höheninformationen von Loess und Sandy loess der ungarischen Daten mit ihrer Standardabweichung addiert wurden. Hierdurch konnte die Obergrenze für Sandy loess mit 150 m und die für Loess mit 220 m festgelegt werden.

Um die rumänische Lösssedimentkarte mit der ungarischen zu verbinden wurden beide einheitlich klassifiziert (Tab. 7-3). Bei der Zusammenführung beider Datensätze fiel dann jedoch eine - wenn auch geringe - Überlappung der beiden Datensätze in der unmittelbaren Grenzregion auf (Abb. 7-3).

Tabelle 7-3: Gemeinsame Klassifikation der Karte.

Klasse Ungarn	Klasse Rumänien	gem. ID	gem. Klasse
Loess	Loess	1	Loess
Infusion loess	Alluvial loess	2	Alluvial loess
Sandy loess	Sandy loess	3	Sandy loess
Reworked loess	Loess derivatives	4	Loess derivatives
Clayey loess	Clayey loess	5	Clayey loess
Sand and dunes	Sand	6	Sand and dunes

Um eine exakte Verbindung zwischen den beiden Datensätzen überhaupt erst zu ermöglichen, mussten die Bereiche der Grenze aneinander angeglichen werden. Eine Extraktion über die administrativen Grenzen (Eurostat 2015) hätte wieder eine Nahtstelle bedeutet, die im späteren Kartenbild auffällig würde und somit nicht gewünscht war. Über das *Erase-Tool* konnte in ArcGIS jedoch die Überlappung entfernt werden. Durch die anschließende Anwendung des *Union-Tools* konnten dann beide Shapefiles zu einem verbunden werden. So wird eine Verzahnung beider Datensätze generiert.

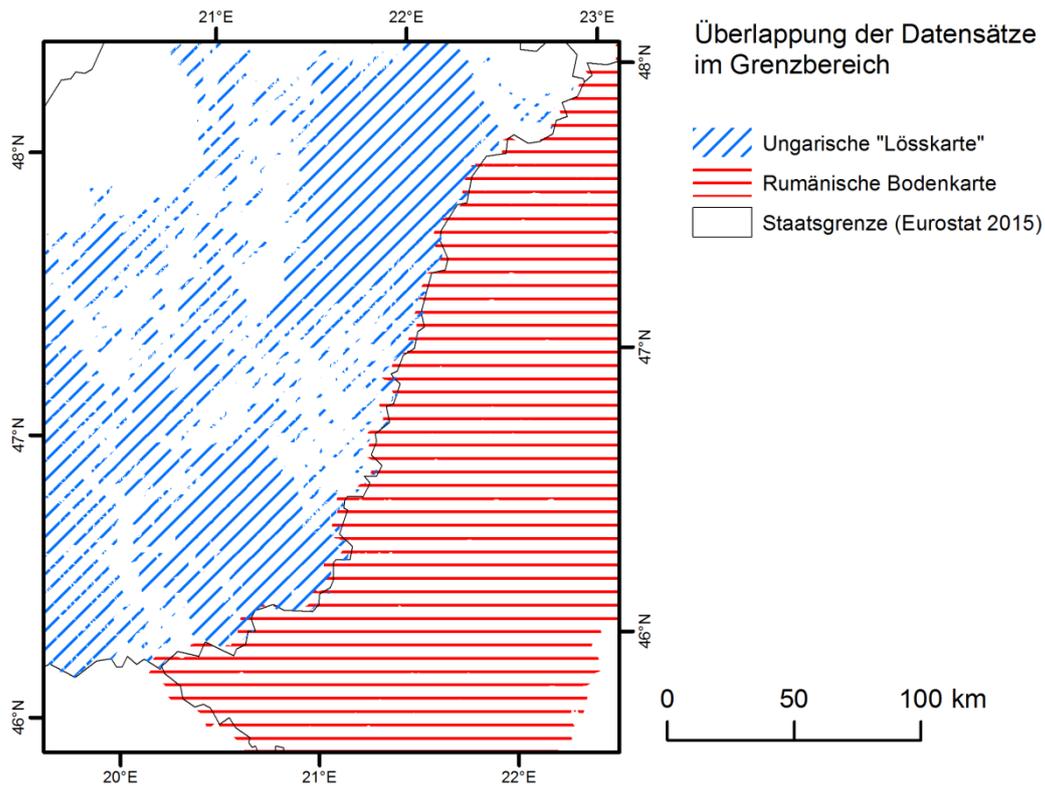


Abbildung 7-3: Überlappung der Datensätze in der Grenzregion (nach Witschas 2004:4).

Durch die gemeinsame Klassifikation und das Ausschneiden beider Datensätze unter Berücksichtigung der Überlappung konnte die Karte nahtlos erstellt werden, wobei der Inhalt beiderseits der Grenze einheitlich ist.

Das Ergebnis dieser Prozedur ist ein Modell der Lösssedimentverbreitung im Pannonischen Becken für die Länder Ungarn und Rumänien. Es ist in der finalen Karte (Abb.) 7-4 dargestellt.

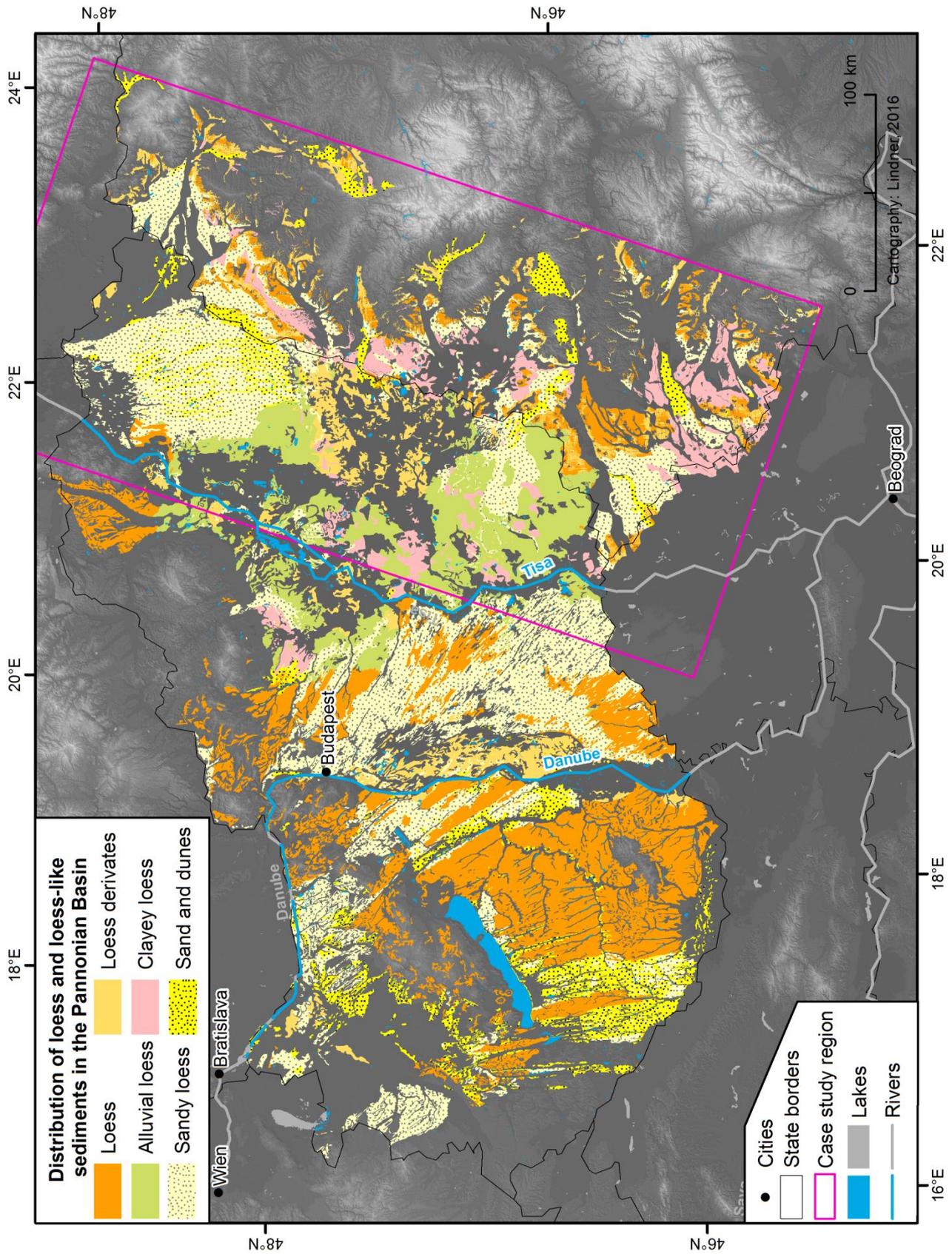


Abbildung 7-4: Karte der Lösssedimentverbreitung im Pannonischen Becken (Ungarn und Rumänien) (Grenzen u. Städte: Eurostat, Flüsse: WISE, Seen: CLC2006).

8 Diskussion

Die Nutzung der rumänischen Bodenkarte stellt grundsätzlich ein geeignetes Mittel dar, um Flächen mit Lösssedimenten identifizieren zu können. Einzelne Bodentypen lassen schnell auf Lösssedimente schließen, so zum Beispiel Tschernoseme und Parabraunerden. Andere, wie zum Beispiel Braunerden, können auf verschiedenen Ausgangsgesteinen entstehen. Wieder andere, so zum Beispiel Podsole, bilden hingegen eher Indizien für höhere Sandgehalte.

Weitere Bodentypen zeigen deutlich die Grenzen der Methode auf, so die Fahlerde-Braunerde beziehungsweise Albeluvisols, wie von Kels et al. (2014) beschrieben. Um dieses Problem zu umgehen, hätten anstatt der KA5-Hauptbodentypen die Subtypen für die Ermittlung der Lösspotentialflächen gewählt werden müssen. Wären diese Flächen dann jedoch im vollen Umfang in die Beurteilung einbezogen worden, würde die flächige Verbreitung der Lösssedimente wesentlich überschätzt. Werden Sie nicht einbezogen, würden sie weit unterschätzt. Bei Nutzung der Subtypen wäre das Verfahren zudem noch komplexer geworden, als es ohnehin schon ist. Es wurde zur Lösung dieses Problems versucht, durch Normierung auf Lösspotentiale, ein einheitliches Bewertungsschema und somit Vergleichbarkeit mit anderen Datensätzen zu erzeugen und so auf eine Lössverbreitung zu schließen.

Ergänzt wurden die so gewonnenen Daten zunächst durch Einbezug der Bodenart. Dies stellte sich als schwierig heraus, da die Klassifikation der Bodenart der rumänischen Bodenkarte viel Interpretationsspielraum ließ, vor allem da Schluffanteile gar nicht beachtet wurden. Dennoch lässt die Bodenart auf die Granulometrie des Sediments schließen. Damit konnte die Bodenart im Wesentlichen zur weiteren Klassifikation der identifizierten Lösssedimente dienen.

Als eine weitere Möglichkeit wurde mit den Landnutzungsdaten der CORINE-Datensätzen versucht – gewissermaßen fernerkundlich – auf Löss zu schließen. Auch dies ist eine eher interpretatorische Aufgabe, die wiederum zu Fehleinschätzungen führen kann. Hinzu kommt, dass die CLC2006-Daten eher ungenau sind, was auf die Generierung der Daten zurückzuführen ist und sich nicht nur im Maßstab bzw. der geringen Auflösung widerspiegelt (Hoymann 2013:12 ff.)

Die Modellierung von Lösssedimenten anhand von Lösspotentialflächen kann daher insgesamt nur ein Anhalt sein. Probleme bei der Übersetzung, nicht zwingend sprachlicher, sondern thematisch-inhaltlicher Natur, können zu Fehlinterpretationen führen und somit zur Fehleinschätzung der Lössverbreitung. Um eher eine gesicherte, jedoch unterschätzte Lösssedimentverbreitung, als eine überschätzte aber ungesicherte zu generieren, wurde diese anhand einer Formel aus den Lösspotentialen der drei Datensätze berechnet. Aber auch hier zeigten sich deutliche Schwächen, die durch die Berechnung zuvor erstellter Lösspotentiale entstanden und, die sich aus den Schwächen der vorherigen Schritte insgesamt potenzierten, sodass eine weitere Lösungsmöglichkeit in der Topographie beziehungsweise Geomorphologie gesucht wurde.

Zunächst wurde die Hypsometrie der verschiedenen Lösssedimente in Ungarn analysiert, um damit auf die Lösssedimentverbreitung auf rumänischer Seite schließen zu können. Wird die entsprechende Lösspotentialkarte (Abb. A-10) mit der hypsometrischen Analyse (Abb. 6-11) verglichen, zeigt sich, dass durch die rein höhenzonale Betrachtungsweise ebenfalls eine deutliche Überinterpretation der Lösssedimentverbreitung entsteht. Dennoch kann die hypsometrische Betrachtung zur näheren Differenzierung von Lösssedimentflächen dienen, wenn diese zusammen mit den Albeluvisols betrachtet wird oder der Klassifikation anderer Lösssedimente dient.

Um die in dieser Arbeit modellierte Verbreitung von Lösssedimenten anhand der Korngrößenverteilung zu klassifizieren, wurde wieder auf die Bodenart zurückgegriffen. Es stellte sich heraus, dass sich nur auf tonigen Löss oder Tonlöss, sandigen Löss beziehungsweise Sandlöss und Sand mehr oder weniger eindeutig schließen ließ. Durch die breitgefächerten Korngrößenklassifikationen der Bodenkarte wie auch der Lösssedimente, können eigentlich nur Vermutungen mit einer ungewissen Sicherheit, über das Vorhandensein eines bestimmten Sediments aufgestellt werden. Bestimmte Klassen wie Lössderivate, waren so zunächst nicht festzustellen, da diese in den topographischen Parametern Hangneigung und Höhe zu stark tonigem und alluvialem Löss (Infusionslöss) ähneln. Alluvialer Löss wurde daher anhand seiner Höhenfunktion lediglich im unmittelbaren Grenzgebiet ermittelt, da die Vergleichbarkeit hier am besten war.

Auch der zunächst zu stark repräsentierte sandige Löss, wurde über die Höhenfunktion in typischen Löss und sandigen Löss gegliedert. Die Berechnung des Topographic Position Index (TPI) respektive dessen Normierung DEV konnte genutzt werden, um anschließend Lössderivate von Löss zu unterscheiden.

Im Vergleich des Ergebnisses mit der geologischen Karte Rumäniens fällt zudem Eines auf (vgl. Abb. A-12): durch die, während der Georeferenzierung aufgetretenen Probleme (Kap. 6.2.1) kam es zu deutlichen räumlichen Verzerrungen. Dies liegt am Maßstab der Ausgangskarte, der damit verbundenen Darstellung der Linienbreite und der somit sehr vagen Lage der möglichen Passpunkte. Außerdem war die Zusammenstellung der einzelnen Blattsnitte in der Ausgangskarte fehlerhaft. Folglich waren räumliche Fehler vorprogrammiert. Gleiches gilt im Übrigen für die ungarische geologische Karte.

Daraus ergibt sich ein weiteres Problem. Durch die fehlerhafte Verortung der Polygone liegen diese nicht an ihren korrekten Höhenwerten des DEM. Diese räumlichen Ungenauigkeiten finden sich damit sicherlich auch in den Statistiken wieder und werden durch zu hohe oder zu niedrige Werte wiedergespiegelt. Diese Problematik spielt damit in die spätere Modellierung ein. Um diese Fehlerquelle zu minimieren, wurden überwiegend die Mittelwerte in die Auswertung übernommen.

Witschas (2004:4) beschreibt ein Problem der ungenauen Grenzlage und Überlappung von Datensätzen im Bereich der Grenze und daraus resultierende Fehler. Auch diese Fehler pflanzen sich bei der Geodatenproduktion fort. Hier wurde jedoch versucht, die resultierenden Fehler durch die einheitliche Klassifikation zu reduzieren. Weiter wurde der Überlappungsbereich miteinander Verschnitten. Durch die so generierte Verzahnung beider Datensätze vermischen sich diese an der Nahtstelle. Optisch ist eine administrative Grenze so nicht unbedingt an den Datensätzen zu erkennen und ist auch fachlich grundsätzlich plausibel. Um dies zu validieren sollte dieser Bereich jedoch in der Geländearbeit untersucht werden.

Das von Witschas (2007:2 u. 5) beschriebene Problem der grenzüberschreitenden Geodatenverarbeitung vor allem vor dem Hintergrund der nicht harmonisierten Geodaten konnte ebenfalls durch die gemeinsame Klassifikation behoben werden. Dennoch treten deutliche Unterschiede zwischen typischem Löss und Lössderivaten

auf. Dies resultiert aus der Berechnung über das Geländemodell beziehungsweise die Geomorphologie und ist einerseits ein Problem der Auflösung der Datensätze. Andererseits lässt es sich auch durch die Nutzung der bereits vorhandenen Polygone aus der ungarischen geologischen Karte erklären.

Darüber hinaus kann durch die ständigen Berechnungsschritte und die daraus resultierende Unwägbarkeiten und die Unübersichtlichkeit die Sicherheit des Modells nicht genau quantifiziert werden. Insgesamt sind also Fehler anzunehmen. Trotzdem macht das Modell der Lössverbreitung im Überblick einen insgesamt plausiblen Eindruck.

Wird das Ergebnis mit der in Kapitel 4.1 als „status quo“ bezeichneten „Haase-Karte“ verglichen, zeigen sich deutliche Ähnlichkeiten aber auch wichtige Unterschiede (Abb. A-14). Diese können zur Qualitätsprüfung des Ergebnisses herangezogen werden. So können die Flächen ausgewertet und miteinander verglichen werden. Dazu wurden über das Landesgrenzen-Shapefile (Eurostat 2015) die Lösssediment-Shapefiles ausgeschnitten und anschließend die Flächen der Polygone berechnet. Tabelle 8-1 vergleicht die jeweiligen Flächenanteile auf ungarischer und rumänischer Seite.

Tabelle 8-1: Vergleich der flächenhaften Verteilung von Lösssedimenten in der Beispielregion (HU = Ungarn, RO = Rumänien).

Klasse (diese Arbeit)	Fläche				Klasse (Haase et al. 2007 verändert)	Fläche			
	HU		RO			HU		RO	
	[km ²]	[%]	[km ²]	[%]		[km ²]	[%]	[km ²]	[%]
Loess	178,8	0,2	2288,0	3,0	Loess	186,713	0,2	2689,8	3,5
Alluvial loess	5595,8	7,2	191,8	0,2	Alluvial loess	13432,6	17,3	10,4	0,0
Sandy loess	6422,6	8,3	4215,9	5,4	Sandy loess	5745,1	7,4	2049,4	2,6
Loess derivates	1622,8	2,1	2150,4	2,8	Loess derivates	68,6	0,1	543,3	0,7
Clayey loess	1050,4	1,4	2444,3	3,2					
Sand	1022,1	1,3	1522,5	2,0					
Gesamt	15892,5		12812,9			19433,1		5292,9	
Beispielregion	77435,6	20,5		16,5			25,1		6,8

Hierbei wird zunächst ersichtlich, dass die „Haase-Karte“ insgesamt kleinere Flächenanteile für Lösssedimente annimmt, als die hier vorgestellte Lösung. Der Unterschied betrifft vor allem den rumänischen Teil. So machen bei Haase et al. (2007) relevante

Flächen 25,1 % der Beispielregion auf ungarischer und nur 6,8 % auf rumänischer Seite aus. Dem steht das Ergebnis dieser Arbeit mit 20,5 % beziehungsweise 16,5 % gegenüber. Wird die Klasse *Sand* aus dieser Arbeit hier ebenfalls nicht berücksichtigt, verändert dies die Anteile um etwa 3,3 % und gleicht beide Karten anteilmäßig an. Dennoch bleibt der große Unterschied in der räumlichen Verteilung bestehen.

Werden die relevanten Flächen nach den jeweiligen Klassen verglichen, scheinen die Unterschiede zunächst marginal. Typischer Löss (*Loess*) macht im ungarischen Teil mit 0,2 % bei Haase et al. (2007) genauso viel aus wie die hier ermittelten Anteile. Auf rumänischer Seite ist der Unterschied größer. Die „Haase-Karte“ schätzt *Loess* zwar mit 0,5 % mehr Flächenanteilen höher ein als diese Arbeit (3,5 zu 3,0 %), jedoch ist die Klassifikation eine andere. Würde *Clayey Loess* zu *Loess* hinzugezählt, wie es bei Haase et al. (2007) vermutlich der Fall ist, dann erhöhen sich dessen Anteile in dieser Arbeit auf 1,6 und 6,2 % auf ungarischer beziehungsweise rumänischer Seite.

Solche Unterschiede zeigen sich also vor allem im rumänischen Teil der Beispielregion. Neben Löss sei hier zum Beispiel noch *Sandy loess* und *Loess derivatives* genannt. Der größte Unterschied in Ungarn ist für *Alluvial loess* auszumachen, der in der Haase-Karte rund 10 % mehr ausmacht, als in dieser Arbeit festgestellt (Tab. 8-1). Beim Blick auf die Karte (Abb. A-14) wird in diesem Zusammenhang die im Vergleich starke Generalisierung der „Haase-Karte“ deutlich. Dies führt zu einer flächenmäßigen Überschätzung der Lösssedimente bei Haase et al. (2007) und ist vermutlich dem kleinen Maßstab geschuldet.

Neben diesen flächenmäßigen Differenzen fallen die räumlichen Unterschiede auf. Als „auffällig“ wurde zu Beginn bereits genannt (Kap. 4-1), dass die Verbreitung der Lösssedimente bei Haase et al. (2007) die ungarische Staatsgrenze deutlich nachzeichnet. Durch die Verwendung nationaler Daten wurde hier eine künstliche, scheinbare Sedimentgrenze erstellt. Das hier für die rumänische Seite erstellte Modell hat deutlich mehr Lösssedimentflächen identifizieren können. In der „Haase-Karte“ finden sich Lösssedimente nur in den Niederungen, während im hier genutzten Modell auch die Gebirgsfußflächen mit einbezogen werden.

Zusammenfassend kann also gesagt werden, dass die Verbreitung der Lösssedimente auf ungarischer Seite bei Haase et al. (2007) wie auch hier ähnlich eingeschätzt wird.

Wesentliche Unterschiede finden sich jedoch bei der räumlichen Verteilung. Vermutlich wurde für den ungarischen Teil eine vergleichbare Quelle genutzt und in der „Haase-Karte“ stärker generalisiert. Für den rumänischen Teil gilt, dass Haase et al. (2007) die Lössverbreitung wesentlich stärker unterschätzt als das hier erstellte Modell.

Im direkten Vergleich macht die räumliche Verbreitung der Lösssedimente in dieser Arbeit also insgesamt einen wesentlich realistischeren Eindruck als die Karte von Haase et al. (2007).

9 Fazit und Empfehlung

Die Lössverbreitung im Pannonischen Becken konnte anhand von Geodaten, die aus verschiedenen, alten thematischen Karten gewonnen wurden, ermittelt werden. Da es sich hierbei um einen grenzüberschreitenden Raum handelte, waren diese Daten an gewachsene, national-administrative Gegebenheiten geknüpft. Die daraus resultierenden Probleme, wie geodätische und sachliche Unterschiede wurden dargestellt.

Aktuelle Entwicklungen im Raum der Europäischen Union – insbesondere die INSPIRE-Richtlinie – boten Möglichkeiten die geodätisch-technischen Probleme schnell auszuräumen. Hilfreich dabei waren auch die technischen Möglichkeiten der EDV vor allem durch die Nutzung von Geoinformationssystemen.

Die sachlichen Inhalte konnten aus geologischen und pedologischen Karten erzeugt werden. Aufgrund der langen Tradition der Lössforschung in Ungarn war die Lösssedimentverbreitung der ungarischen geologischen Karte ohne weiteres zu entnehmen. Sie musste lediglich neu klassifiziert werden. Die geologische und die geomorphologische Karte Rumäniens, waren im Vergleich dazu jeweils unbrauchbar. Über Umwege konnten die benötigten Daten aus einer Bodenkarte erzeugt werden. Mit Fokus auf die Aufgabenstellung, nämlich die Lössverbreitung zu kartieren, geschah dies über Lösspotentialflächen. Dieser Begriff wurde dazu neu eingeführt. Lösssedimentflächen wurden so aus dem Bodentyp und der Landnutzung unter Zuhilfenahme der Bodenart und der Geomorphologie bzw. Höheninformationen modelliert. Anschließend mussten

die gewonnenen Daten in eine einheitliche Klassifikation überführt werden. Hier wurde auf die Klassifikation von Koch & Neumeister (2005) zurückgegriffen.

Letztendlich konnten die Daten so in eine gemeinsame Klassifikation übertragen werden. Das Ziel eine nahtlose Karte zu erzeugen wurde damit erreicht, wenn auch zurzeit nicht gesichert ist, inwiefern das Modell tatsächlich korrekt ist.

Für die Erstellung einer Lösssedimentverbreitungskarte für Gesamt-Rumänien empfiehlt es sich die Bodenkarte 1:500.000 zu nutzen. Im Vergleich des in dieser Arbeit generierten Modells mit der geologischen Karte Rumäniens (Abb. A-7) stellt sich heraus, dass insbesondere in den höheren Lagen keine Hinweise auf Löss bestehen, lediglich auf quartäre Sedimente. Nur im Bereich der Niederungen weisen einzelne Signaturen (gestrichelte Signaturen) und Strukturen auf Löss hin, die gleichzeitig im Modell als Löss erkannt wurden. Für eine grobe Vorab-Kartierung der Lösssedimentflächen und Dünen kann zumindest für den Bereich der Walachei die rumänische geomorphologische Karte genutzt werden.

In beiden Fällen tritt aber das Problem auf, dass es keine Informationen zur Art des Lösssediments gibt. Die Bodenkarte bietet dies jedoch ansatzweise mit der Darstellung der Bodenart. Da sonst keine tiefergehende Klassifikation möglich ist, ist der Mehraufwand der zweifachen Vektorisierung der Daten durch den größeren Informationsgewinn gerechtfertigt. Diese Prozedur kann also als praktikable Vorgehensweise empfohlen werden, sofern eine hohe inhaltliche Auflösung gefordert ist.

Abschließend ist darauf hinzuweisen, dass eine Karte – ein Modell – wie hier generiert wurde, nur als Anhalt für eine Darstellung der Lössverbreitung dienen kann. Sie sollte anhand von in-situ erfassten Daten der Geländearbeit validiert und vervollständigt werden. Damit versteht sich diese Karte als Ausgangspunkt für weitere Entwicklungen und Arbeiten und sollte entsprechend genutzt und angepasst werden.

10 Literatur- und Quellenverzeichnis

579/2015: Hotărârea Guvernului nr.579/2015 privind stabilirea responsabilităților specifice ale autorităților publice, precum și a structurilor tehnice pentru realizarea temelor de date spațiale și aprobarea măsurilor necesare pentru punerea în comun a acestora.

2007/2/EG: Richtlinie 2007/2/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 14. März 2007 zur Schaffung einer Geodateninfrastruktur in der Europäischen Gemeinschaft (INSPIRE). Amtsblatt der Europäischen Union 25.04.2007.

A Kormány 241/2009 (2009) A Kormány 241/2009. (X. 29.) Korm. rendelele a Nemzeti Környezeti Térinformatikai Rendszer létrehozásáról és működtetéséről.

Ad-hoc AG Boden (2005⁵): Bodenkundliche Kartieranleitung KA 5. Hannover: BGR.

Arnold, A. (1997): Allgemeine Agrargeographie. Gotha: Perthes.

Asch, K. (2005): Internationale Geologische Karte von Europa und den angrenzenden Regionen 1:5.000.000 (IGME5000). Hannover: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe.

< <https://download.bgr.de/bgr/Geologie/IGME5000/tiff/igme5000.zip> > abgerufen . 22.03.2016

Azevedo-Opazo, C./Ortega Farias, S./Fuentes, S. (2010): Effects of grapevine (*Vitis vinifera* L.) water status on water consumption, vegetative growth and grape quality: An irrigation scheduling application to achieve regulated deficit irrigation. In: Agricultural Water Management 2010. Article in press. S. 1 – 9.

Badea, L./Niculescu, G./Sencu, V.(1976): Atlasul Republicii Socialiste Romania Harta Geomorfologica, III-1. Romania: Institutul de Geographie.

Balogh, K./Erdélyi, M./Kretzoi, M./Rónai, A./ Schréter, Z./ Sümeghy, J./Szebényi, L./Szentes, F./Szöts, E./Urbancksek, J.(1956): Magyarország földtani térképe, 1 : 300000. Budapest: Magyar Állami Földtani.

- Belding, W. (2014): Getting more from Loess.
 < http://www.winereviewonline.com/Wayne_Belding_on_Loess_Soils.cfm >
 abger. 03.04.2016
- Blott, S./Pye, K. (2012): Particle size scales and classification of sediment types based on particle size distributions: Review and recommended procedures. In: Sedimentology (2012) 59, S. 2071 – 2096.
- Blume, H. P. /Brümmer, G.W. /Horn, R. / Kandler, E. /Kögeler-Knabner, I. /Kretschmar, R. /Stahr, K./ Wilke, B.-M. (2010¹⁶): Scheffer/Schachtschabel Lehrbuch der Bodenkunde. Heidelberg: Spektrum.
- Büttner, G./Kosztra, B./ Maucha, G./Pataki, R. (2010): Implementation and achievements of CLC2006. Brüssel: European Environment Agency.
- De Lange, N. (2013³): Geoinformatik in Theorie und Praxis. Berlin, Heidelberg: Springer.
- De Reu, J./Bourgeois, J./Bats, M./ Zwertvaegher, A./Gelorini, V./De Smedt, P./Chu, W./Antrop, M./De Maeyer, P./Finke, P./Van Meirvenne, M./Verniers, J./Crombé, P. (2013): Application of the topographic position index to heterogeneous landscapes. In: Geomorphology 186 (2013). S. 39 – 49.
- DIN 4124 (2012):Baugruben und Gräben – Böschungen, Verbau, Arbeitsraumbreiten. Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN. Berlin: Beuth.
- Dolton, G.L. (2006): Pannonian Basin Province, Central Europe (Province 4808) - Petroleum Geology, Total Petroleum Systems, and Petroleum Resource Assessment. In: US Geological Survey Bulletin 2204-B. S. 1 – 53.
- Easton, S. (2011): Loess is more for grüner veltliner.
 < <http://www.winewisdom.com/articles/loess-is-more-for-gruner-veltliner/> > abger. 03.04.2016
- EuDASM (2015): National Soil Maps. European Digital Archive of Soil Maps (EuDASM). Brüssel: Europäische Kommission, Joint Research Centre.
 < <http://esdac.jrc.ec.europa.eu/resource-type/maps> > abger. 19.12.2015

- Eurostat (2015): Verwaltungseinheiten/Statistische Einheiten Länder 2014.
 <http://ec.europa.eu/eurostat/cache/GISCO/geodatafiles/CNTR_2014_03M_SH.zip> abger. am 07.08.2015
- FAO (2015): World reference base for soil resources 2014 - International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. Update 2015.
 In: World soil resources reports 106. Rom: Food and agriculture organization of the United Nations.
- Farr, T.G./Rosen, P.A./Caro, E./Crippen, R./Duren, R./Hensley, S./Kobrick, M./Paller, M./Rodriguez, E./Roth, L./Seal, D./Shaffer, S./Shimada, J./Umland, J./Werner, M./Oskin, M. /Burbank, D./Alsdorf, D. (2007): The Shuttle Radar Topography Mission. In: Reviews of Geophysics, 45, RG2004. S. 1 - 43.
- Florea, N./Conea, A./Munteanu, I. (1971): HARTA PEDOLOGICĂ A REPUBLICII SOCIALISTE ROMÂNIA – SOIL MAP OF ROMANIA. INSTITUTUL GEOLOGIC ŞI INSTITUTUL DE STUDII ŞI CERCETĂRI PEDOLOGICE.
 < http://esdac.jrc.ec.europa.eu/images/Eudasm/RO/hun_x14.jpg >
 < http://esdac.jrc.ec.europa.eu/images/Eudasm/RO/hun_x14_2.jpg > jeweils abger. am 28.03.2016
- Földvary, G.Z. (1988): Geology of the Carpathian Region. Singapur: World Scientific Publishing.
- Gallant, J.C./Wilson, J.P., (2000): Primary topographic attributes. In: Wilson, J.P., Gallant, J.C. (Hrsg.) (2000): Terrain Analysis: Principles and Applications. New York: Wiley. S. 51–85.
- Geodatenportal (2016): Geodateninfrastruktur Deutschland. Frankfurt a.M.. Bundesamt für Kartographie und Geodäsie.
 < <http://www.geoportal.de/DE/GDI-DE/INSPIRE/Direktive/direktive.html%3bjsessionid=B7338D0C4334E74401228ABBDB2668ED?lang=de> > abger. 21.02.2016
- Grotzinger, J./Jordan, T.H./Press, F./Siever, P. (2007⁵): Press/Siever – Allgemeine Geologie. München: Elsevier Spektrum.

- Haase, D./Fink, J./Haase, G./Ruske, R./Pecsi, M./Richter, H./Altermann, M./Jäger, K.D. (2007): Loess in Europe – spatial distribution based on a European Loess Map, scale 1 : 2,500,000. In: *Quaternary Science Reviews* 26 (2007).S. 1301 -1312.
- Hassenpflug, W. (1998): Bodenerosion durch Wind. In: Richter, G. (Hrsg.) (1998): *Bodenerosion – Analyse und Bilanz eines Umweltproblems*. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft. S. 69 - 82.
- Horvath, E./Bradak, B. (2014): Sága föld, lösz, lösz: Short historical overview of loess research and lithostratigraphy in Hungary. In: *Quaternary International* 319 (2014). S. 1- 10.
- Hoymann, J. (2013): Neuere Flächennutzungsdaten – Übersicht, Vergleich und Nutzungsmöglichkeiten. In: *BBSR-Analysen KOMPAKT 02/2013*. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung.
- Hugenholtz C. H./Levin, N./Barchyn, T.E./Baddock, M.C.(2012): Remote sensing and spatial analysis of Aeolian sand dunes: A review and outlook. In: *Earth-Science Reviews* 111 (2012). S. 319 – 334).
- Huisman, R.S./ Podladchikov, Y. Y./ Cloetingh, S. A. P. L. (2002): The Pannonian basin: Dynamic modelling of the transition from passive to active rifting. In: *EGU Stephan Mueller Special Publication Series*, 3, 2002. S. 41–63.
- INSPIRE (2013a): D2.8.II.4 Data Specification on Geology – Draft Technical Guidelines. Brüssel: INSPIRE Thematic Working Group Geology.
- INSPIRE (2013b): D2.8.III.3 Data Specification on Soil – Technical Guidelines. Brüssel: INSPIRE Data Specification for the spatial data theme Soil.
- INSPIRE (2014): D2.8.I.1 Data Specification on Coordinate Reference Systems – Technical Guidelines. . Brüssel: INSPIRE Thematic Working Group Coordinate Reference Systems & Geographical Grid Systems.
- Kerényi, A. (2015): Loess features on Tokaj Hill. In D. Lóczy (Hrsg.) (2015) *Landscapes and Landforms of Hungary, World Geomorphological Landscapes*. Schweiz: Springer. S. 219-225.

- Koch, R./Neumeister, H. (2005): Zur Klassifikation von Lösssedimenten nach genetischen Kriterien. In: Zeitschrift für Geomorphologie NF, Jahrgang 49 (2005). S. 183-203.
- Kuntze, H./ Roeschmann, G./Schwerdtfeger, G. (1995⁵): Bodenkunde. Stuttgart: UTB.
- Lang, S./Blaschke, T. (2007): Landschaftsanalyse mit GIS. Stuttgart: Ulmer.
- Li, Y./ Zhang, G./Zhang, J./Zhu, Q./L,Y./Guo, H.(2005). Effects of Sand Soil Physical and Chemical Properties on Root Distribution of Wine Grape. In: Sino-overseas Grapevine & Wine 2005-03.
- Magyar I./Radivojević, D./Sztanó, O./Syna, R./Ujzászi, K./Pócsik, M. (2013): Progradation of the paleo-Danube shelf margin across the Pannonian Basin during the Late Miocene and Early Pliocene. In: Global and Planetary Change 103 (2013). S. 168–173.
- Magyar Nemet Online (o.J.): Magyar Nemet Online.
< <http://szotar.magyarnemet.hu/> > abger. 20.11.2015
- Mahowald, N./Albani, S./Kok, J. F./Engelstaeder, S./Scanza, R./Ward, D. S./Flanner, M. G. (2013): The size distribution of desert dust aerosols and its impact on the Earth system. In: Aeolian Research. Article in press. S.1-18.
- mapref.org (2015): Collection of CRS in Europe.
< <http://mapref.org/CollectionofCRSinEurope.html> > abgerufen am 15.12.2015
- Marković, S.B./Fitzsimmons, K.E./Sprafke, T./Gavrilović, D./Smalley, I.J./Jović, V./Svirčev, Z./Bešlin, M. (2015): The history of Danube loess research. In: Quaternary International (2015). Article in press. S. 1 - 14.
- Novák, T.J./Incze, J./Spohn, M./ Glina, B./Giani L. (2014): Soil and vegetation transformation in abandoned vineyards of the Tokaj Nagy-Hill, Hungary. In Catene 123 (2014). S. 88-98.
- Ovejanu, I./Candrea, B./Crăciunescu, V. (1968) HARTA GEOLOGICĂ A REPUBLICII SOCIALISTE ROMÂNIA 1:200.000. Bukarest: Comittul de stat al geologiei Insti-

tutul geologic.

< http://www.geo-spatial.org/file_download/27833 > (abgerufen am 26.03.2016)

- Pecsi, M. (1967): A löszfeltárások üledékeinek genetikai osztályozása a Kárpát-medencében. In: Földrajzi Értesítő 15. S. 1 – 17.
- Pecsi, M. (1990): Loess is not just the accumulation of dust. In: Quarternary International, Vols. 7/8, 1990. S. 1 – 21.
- Pye, K. (1995): The Nature, Origin, and Accumulation of Loess. In: Quaternary Science Reviews, Vol. 14, 1995. S. 653 – 667.
- Pye, K./Tsoar, H. (2009²): Aeolian sand and sand dunes. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Rădulescu, D./Bleahu, M. (1968): HARTA GEOLOGICĂ 1: 200.000 NOTĂ INTRODUC-
TIVĂ. Bukarest: Comittul de stat al geologiei Institutul geologic.
< http://www.geo-spatial.org/file_download/27834 > (abger. am 26.03.2016)
- Schönenberg, R./Neugebauer, J.(1997⁷): Einführung in die Geologie Europas. Freiburg: Rombach Verlag.
- Smalley, I.J./Jefferson, I.F./Dijkstra, T.A./ Derbyshire, E. (2001): Some major events in the development of the scientific study of loess. In: Earth-Science Reviews 54 (2001). S. 5 - 18.
- Smalley, I. J./Markovic, S. B. /Svircev, Z. (2010): Loess is [almost totally formed by] the accumulation of dust. In: Quarternary International 240 (2010). S. 4 - 11.
- Sprafke, T./Obrecht, I. (2015): Loess: Rock, sediment or soil – What is missing for its definition. In Quarternary International (2015). Article in Press. S. 1 - 10.
- Stevens, T. /Markovic, S. B. /Zech, M. /Hambach, U. / Pal, S. (2011): Dust deposition and climate in the Carpathian Basin over an independently dated last glacial – interglacial cycle. In: Quarternary Science Reviews 30 (2011). S. 662 - 681.
- Sümegei, P./Nafradi K./Molnar, D./Savai, Sz. (2014): Results of paleoecological studies in the loess region of Szeged-Öthalom (SE Hungary). In: Quarternary International (2014). Article in press. S. 1 - 13.

- Tsoar, H./Pye, K. (1987): Dust transport and the question of desert loess formation. In: *Sedimentology* 34. S. 139 - 153.
- USDA (1987): Soil mechanics level 1 – Module 3 – USDA Textural Soil Classification Study Guide. United States Department of Agriculture Soil Conservation Service.
< <http://www.wcc.nrcs.usda.gov/ftpref/wntsc/H&H/training/soilsOther/soil-USDA-textural-class.pdf> > abger. 05.02.2016
- USGS (2015): SRTM 1 Arc-Second Global.
< <http://earthexplorer.usgs.gov/> > abger. 25.12.2015
- Vendl, A. (1935): A Börzsöny hegység néhány löszéről. In: *Matematikai és Természettudományi Értesítő* 53. S.181 – 202.
- Vlad, V./Florea, N./Toti, M./Raducu, D./Munteanu, I./Seceleanu, I./Vintila, R./Cojocaru, G./Anghel, V.A./Cotet, V./Dumitru, S./Eftene, M./Gherghina, A./Ignat, P./Mocani, V./Vranceanu, A. (2012): Definition of the soil units of the 1:200,000 soil map of Romania using an extended terminology of the WRB system. In: *Annals of the University of Craiova – Agriculture Montanology Cadastre Series*, Vol XLII – 2012/1. S. 615 – 639.
- Washington, R./Wiggs, G. S. F. (2011³): Desert dust. In: Thomas, D.S.G. (Hrsg.) (2011³): *Arid zone geomorphology – process, form and change in drylands*. Chichester: Wiley. S. 517 - 537.
- Weischet, W./Endlicher, W. (2000): *Regionale Klimatologie – Teil 2 Die Alte Welt: Europa, Afrika, Asien*. Stuttgart: Teubner.
- Weiss, A.D. (2001): Topographic position and landforms analysis. Poster Presentation. ESRI Users Conference, San Diego, CA.
< http://www.jennessent.com/downloads/tpi-poster-tnc_18x22.pdf > abger. 20.02.2016
- Winefolly.com (2014): Introduction to Soil Types and Wine.
< <http://winefolly.com/review/introduction-soil-types-wine/> > abger. 03.04.2016

WISE (2012): WISE Large rivers and large lakes. Kopenhagen: European Environment Agency.

< <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/wise-large-rivers-and-large-lakes> > abger. 25.03.2016

Witschas, S. (2004): Cross-border mapping – Geodata and geonames. In: Borders in a new Europe. Association for Borderland Studies European Conference 2004, Graz, 15.-19.9.2004. Proceedings. Graz, 2004.

Witschas, S. (2005): Cross-border mapping – Experiences with geodata and geonames. In: XXII. International Cartographic Conference, A Coruna 2005. Mapping approaches into a changing world. A Coruna: The International Cartographic Association.

Witschas, S. (2007): SOME ASPECTS OF “CROSS-BORDER MAPPING” - SPATIAL TYPOLOGY, GEODATA AND GEONAMES. In: 4th International conference, Recent problems in geodesy and related fields with international importance. February 28 – March 2, 2007, Inter Expo Centre, Sofia, Bulgaria.

Xi, Z./Fang, Y./Zhang, Z.(2007): The effect of water stress on main physiological indexes of wine grape leaf. In: Agricultural Research in the Arid Areas 2007-03.

A Anhang

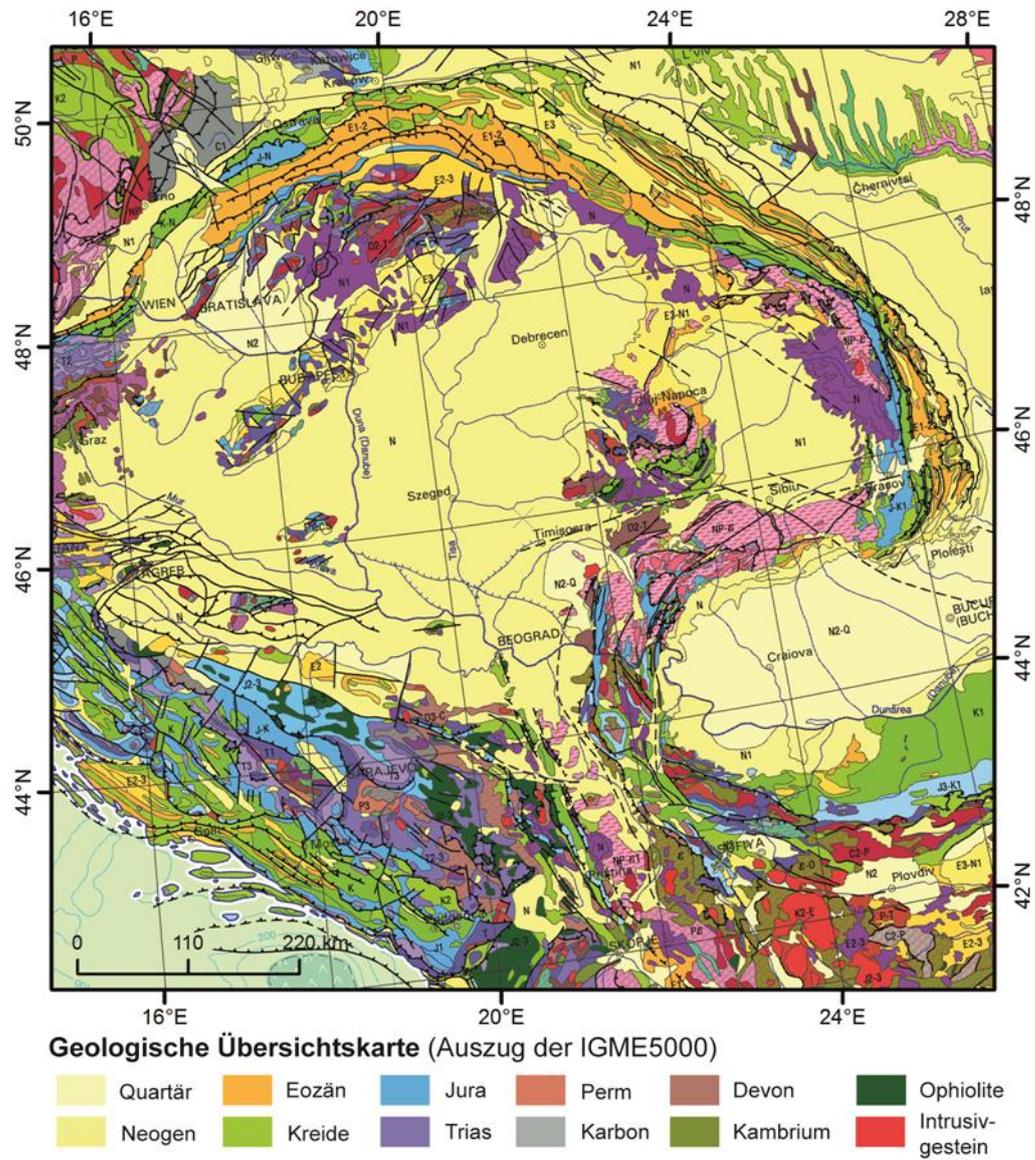


Abbildung A-1: Geologische Karte des Pannonischen Beckens (Auszug aus der IGME5000, verändert nach Asch 2005).

Tabelle A-1: Landnutzung und Flächeninanspruchnahme im Pannonischen Becken (Gesamtausschnitt) (Datengrundlage CLC 2006).

Landnutzungs-kategorie		Fläche km²
<i>Gesamtfläche</i>		263028,81
<i>davon:</i>		
<i>Künstliche Oberflächen</i>		15164,23
Urbane Strukturen	Flächen durchgängig städtischer Prägung	75,62
	Flächen nicht durchgängig städtischer Prägung	12349,02
	Industrie und Gewerbeflächen	1390,12
	Zwischensumme	13814,76
Industrie, Gewerbe und Transport	Straßen und Eisenbahn	118,73
	Hafengebiete	11,54
	Flughäfen	120,68
	Zwischensumme	250,95
Bergbau, Entsorgung und Baustellen	Abbauflächen	330,09
	Deponien und Abraumhalden	112,49
	Baustellen	68,38
	Zwischensumme	510,96
Künstliche Grünanlagen	Städtische Grünflächen	141,76
	Sport- und Freizeitanlagen	445,8
	Zwischensumme	587,56
<i>Landwirtschaftliche Flächen</i>		162271,36
Ackerflächen	Nicht bewässertes Ackerland	107915,83
	Reisfelder	128,64
	Zwischensumme	108044,47
Dauerkulturen	Weinbauflächen	2957,51
	Obst- und Beerenobstbestände	2095,49
	Zwischensumme	5053,00
Grünland	Wiesen und Weiden	19984,46
Heterogene landwirtschaftliche Flächen	Mischung einjähriger Früchte mit Dauerkulturen	0,76
	Komplexe Parzellenstrukturen	17651,05
	Landwirtschaft mit natürlicher Bedeckung	11537,62
	Zwischensumme	29189,43
<i>Wälder und naturnahe Flächen</i>		80102,98
Wälder	Laubwald	57224,41
	Mischwald	6731,26
	Nadelwald	4068,73
	Zwischensumme	68024,4
Busch- und Grasland	Natürliches Grasland	3710,63
	Heiden und Moorheiden	204,16
	Wald-Strauch-Übergangsstadien	8030,47
	Zwischensumme	11945,26
Flächen mit wenig oder keiner Vegetation	Strände, Dünen und Sandflächen	12,62
	Felsflächen ohne Vegetation	26,98
	Flächen mit spärlicher Vegetation	93,72

	Zwischensumme	133,32
<i>Feuchtgebiete</i>		1528,3
	Sümpfe	1432,23
	Torfmoore	96,07
<i>Wasserkörper</i>		3961,94
	Gewässerläufe	1850,82
	Wasserflächen	2111,12

Tabelle A-2: Landnutzung und Flächeninanspruchnahme in der Beispielregion (Datengrundlage CLC 2006).

Landnutzungs-klasse		Fläche km²
<i>Gesamtfläche</i>		71070,63
<i>davon:</i>		
<i>Künstliche Oberflächen</i>		4065,02
Urbane Strukturen	Flächen durchgängig städtischer Prägung	0,98
	Flächen nicht durchgängig städtischer Prägung	3515,23
	Industrie und Gewerbeflächen	393,57
	Zwischensumme	3909,78
Industrie, Gewerbe und Transport	Straßen und Eisenbahn	20,09
	Flughäfen	15,04
	Zwischensumme	35,13
Bergbau, Entsorgung und Baustellen	Abbauflächen	26,72
	Deponien und Abraumhalden	17,62
	Baustellen	5,91
	Zwischensumme	50,25
Künstliche Grünanlagen	Städtische Grünflächen	17,46
	Sport- und Freizeitanlagen	52,4
	Zwischensumme	69,86
<i>Landwirtschaftliche Flächen</i>		50534,22
Ackerflächen	Nicht bewässertes Ackerland	37028,03
	Reisfelder	119,21
	Zwischensumme	37147,24
Dauerkulturen	Weinbauflächen	516,96
	Obst- und Beerenobstbestände	834,14
	Zwischensumme	1351,10
Grünland	Wiesen und Weiden	7409,4
Heterogene landwirtschaftliche Flächen	Komplexe Parzellenstrukturen	2282,29
	Landwirtschaft mit natürlicher Bedeckung	2344,19
	Zwischensumme	4626,48
<i>Wälder und naturnahe Flächen</i>		15144,85
Wälder	Laubwald	11493,92
	Mischwald	432,48
	Nadelwald	638,38

		Zwischensumme	12564,78
Busch- und Grasland	Natürliches Grasland		1548,3
	Heiden und Moroheiden		16,72
	Wald-Strauch-Übergangsstadien		1003,8
		Zwischensumme	2568,82
Flächen mit wenig oder keiner Vegetation	Strände, Dünen und Sandflächen		0,25
	Felsflächen ohne Vegetation		0,42
	Flächen mit spärlicher Vegetation		10,58
		Zwischensumme	11,25
<i>Feuchtgebiete</i>			<i>398,07</i>
	Sümpfe		397,08
	Torfmoore		0,99
<i>Wasserkörper</i>			<i>928,47</i>
	Gewässerläufe		533,71
	Wasserflächen		394,76

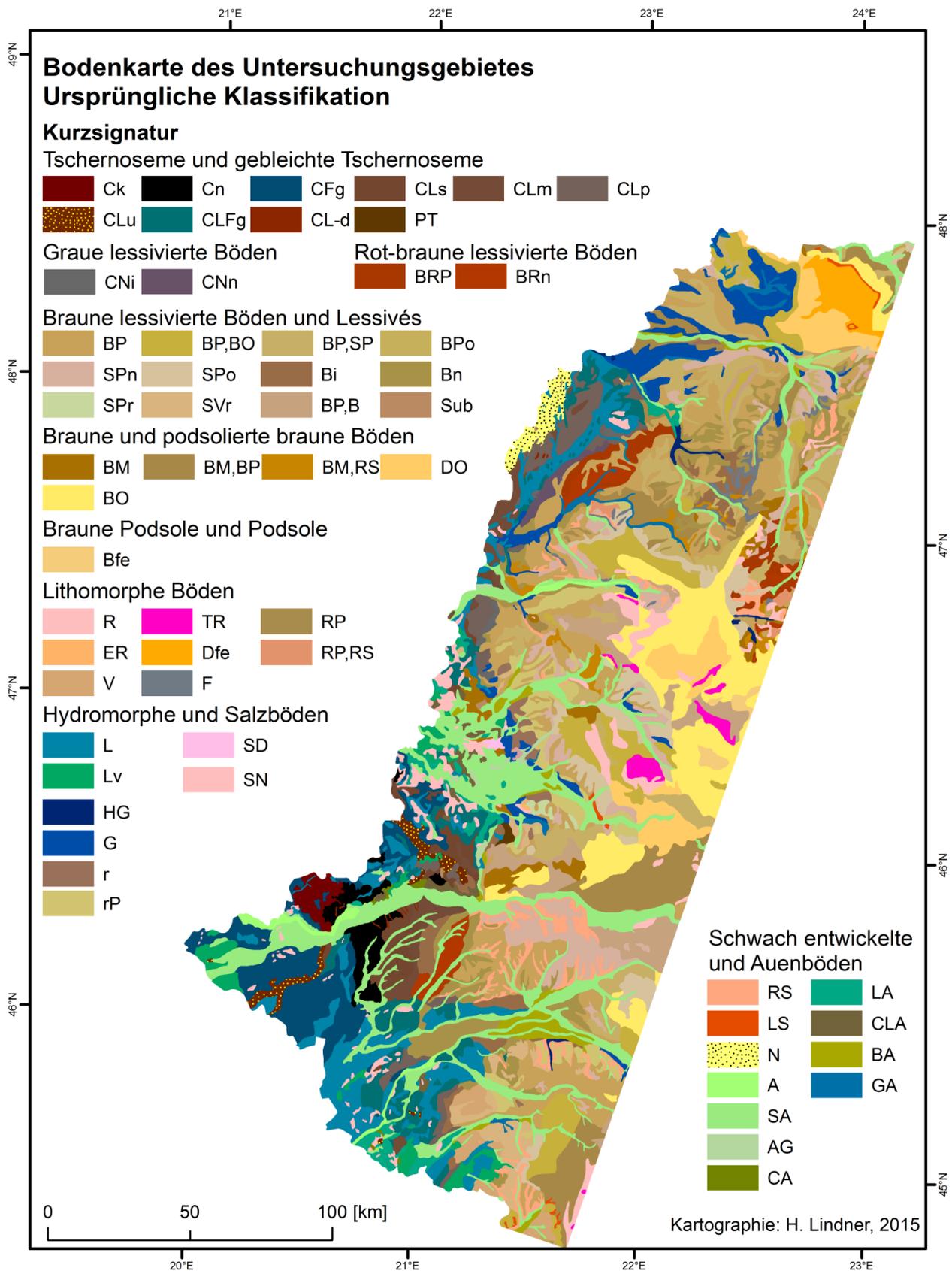


Abbildung A-2: Bodentypen in der Beispielregion in der ursprünglichen Kurzbezeichnung.

Tabelle A-3: Auszug der Tabelle zur Übersetzung der Bodentypen.

	Legende	Vlad et al. 2012	WRB nach Vlad et al. 2012	WRB nach KA5	Typ nach KA5	Subtyp nach KA 5		Abteilung nach KA5	Lösspotential
A	Alluvia	Alluvial Protosols	Fluvisols	?	Auenböden	Normrambla	AOn	ST	LP1
AG	Alluvial gleyed soils	?	?	Fluvisol	Gleye	Auengley	GGa	ST	LP1
BA	Alluvial brown (frequently gleyed)	?	?	Fluvisol	Gleye	Braunerde-Gley	BB-GG	ST	LP1
...									
(Auszug – siehe Datenanhang für vollständige Tabelle)									

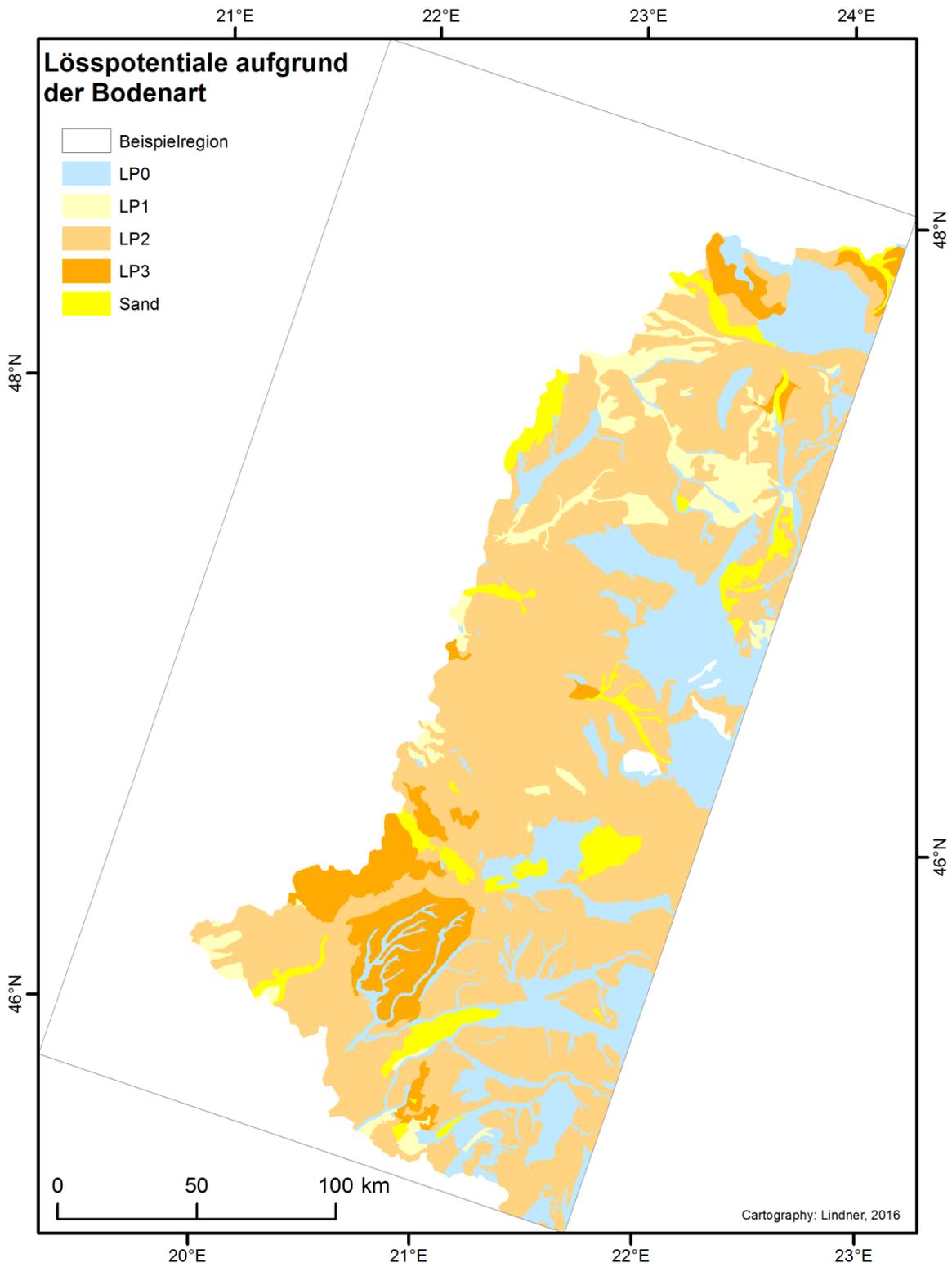


Abbildung A-3: Lösspotentiale aufgrund der Bodenart.

Tabelle A-4: Zuordnung der modifizierten Klassifikation zur CLC Klassifikation

Corine Landcover 2006 Klassifikation			modifizierte Klassifikation
LABEL1	LABEL2	LABEL3	
Artificial surfaces	Urban fabric	Continuous urban fabric	Urbanes Gelände
		Discontinuous urban fabric	
	Industrial, commercial and transport units	Industrial or commercial units	
		Road and rail networks and associated land	
Mine, dump and construction sites	Port areas	Airports	
		Mineral extraction sites	Bergbau
	Dump sites	Deponien	
Artificial, non-agricultural vegetated areas	Construction sites	Green urban areas	Urbanes Gelände
		Sport and leisure facilities	
Agricultural areas	Arable land	Non-irrigated arable land	Landwirtschaft
		Rice fields	
	Permanent crops	Vineyards	Weinberge
		Fruit trees and berry plantations	Obstanbau
	Pastures	Pastures	Grünland
Heterogeneous agricultural areas	Complex cultivation patterns	Landwirtschaft	
Land principally occupied by agriculture, with significant areas of natural vegetation			
Forest and semi natural areas	Forests	Broad-leaved forest	Laubwald
		Coniferous forest	Nadelwald
		Mixed forest	Mischwald
	Scrub and/or herbaceous vegetation associations	Natural grasslands	Natürl. Grasland
		Moors and heathland	
	Open spaces with little or no vegetation	Transitional woodland-shrub	Wald-Strauch- Übergangsstadien
		Beaches, dunes, sands	Strand, Dünen, Sand
Bare rocks		Fels	
Wetlands	Inland wetlands	Inland marshes	Marsche
		Peat bogs	Torfmoore
Water bodies	Inland waters	Water courses	Gewässer
		Water bodies	

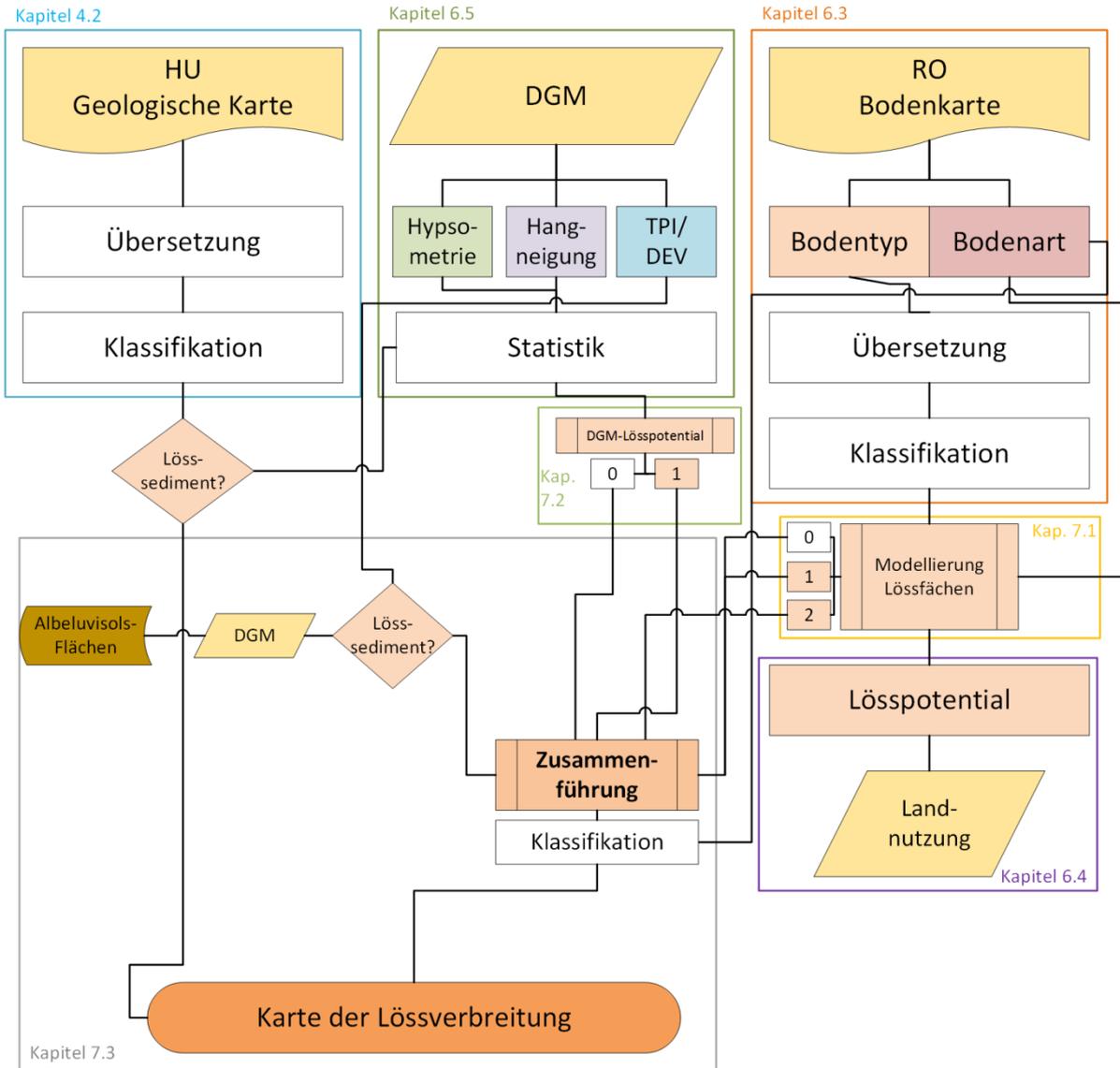


Abbildung A-4: Fließdiagramm der Modellierung.

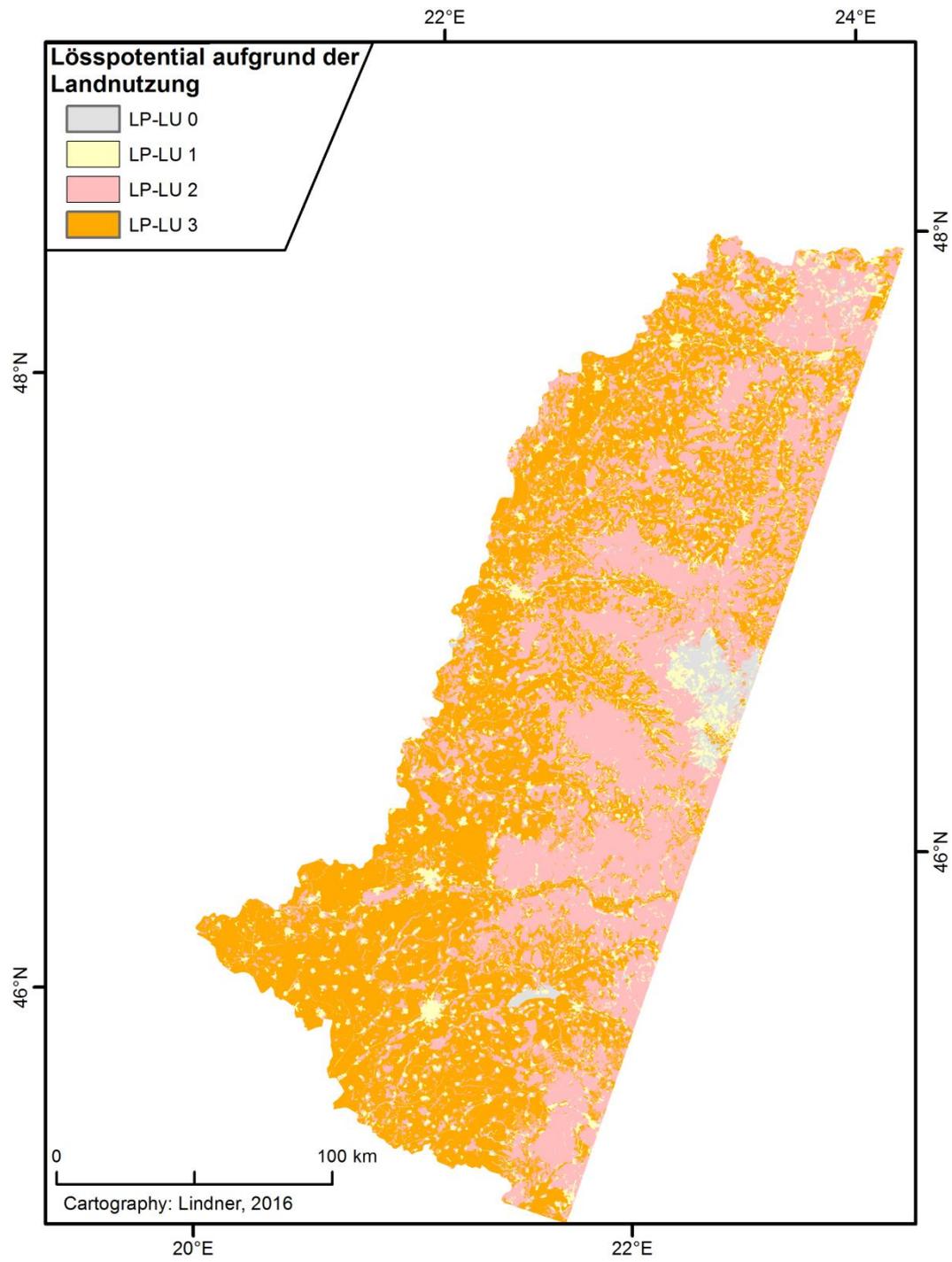


Abbildung A-5: Lösspotential aufgrund der Landnutzung.

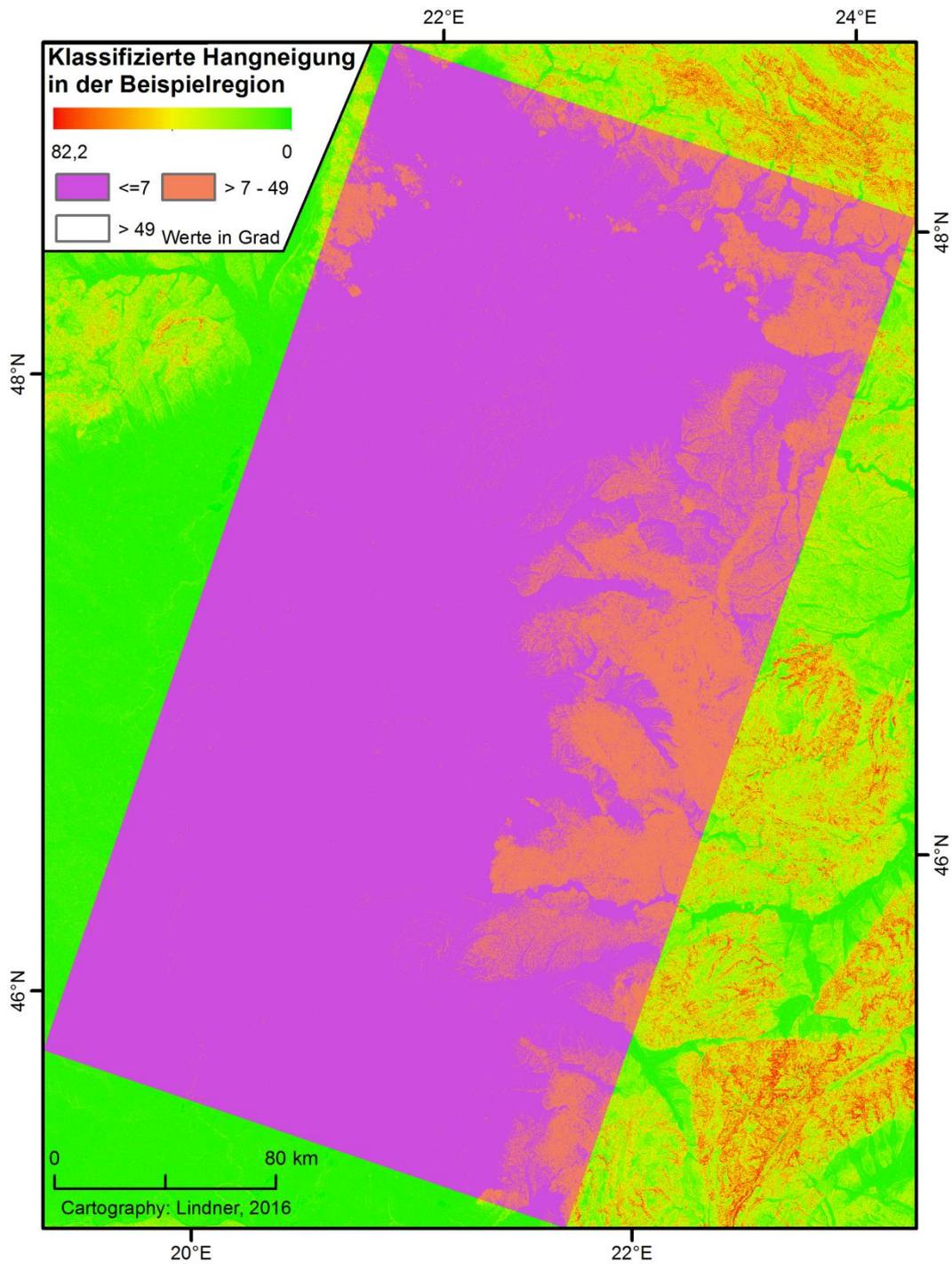


Abbildung A-6: Klassifizierte Hangneigung in der Beispielregion.

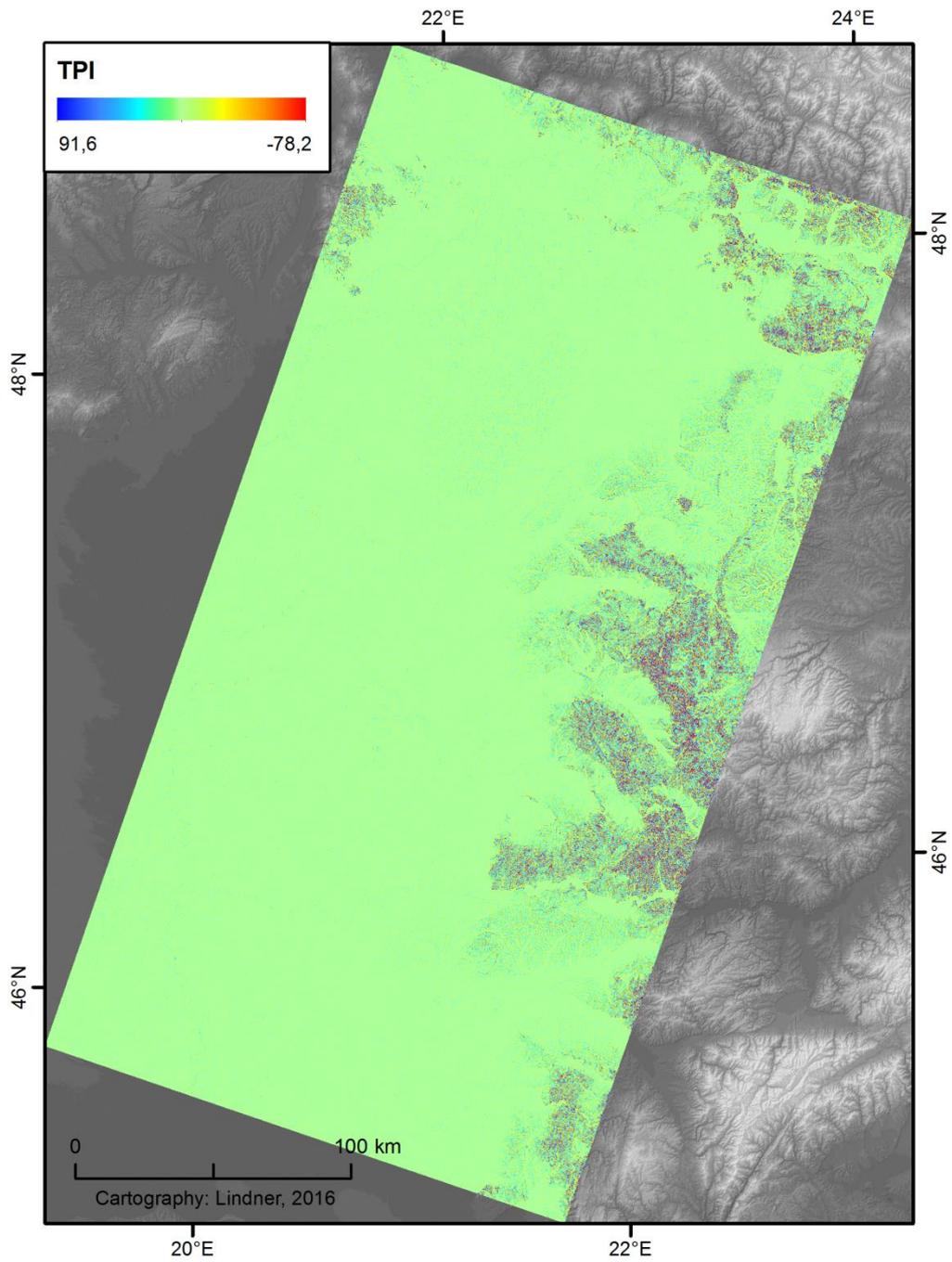


Abbildung A-7: Topographic Position Index.

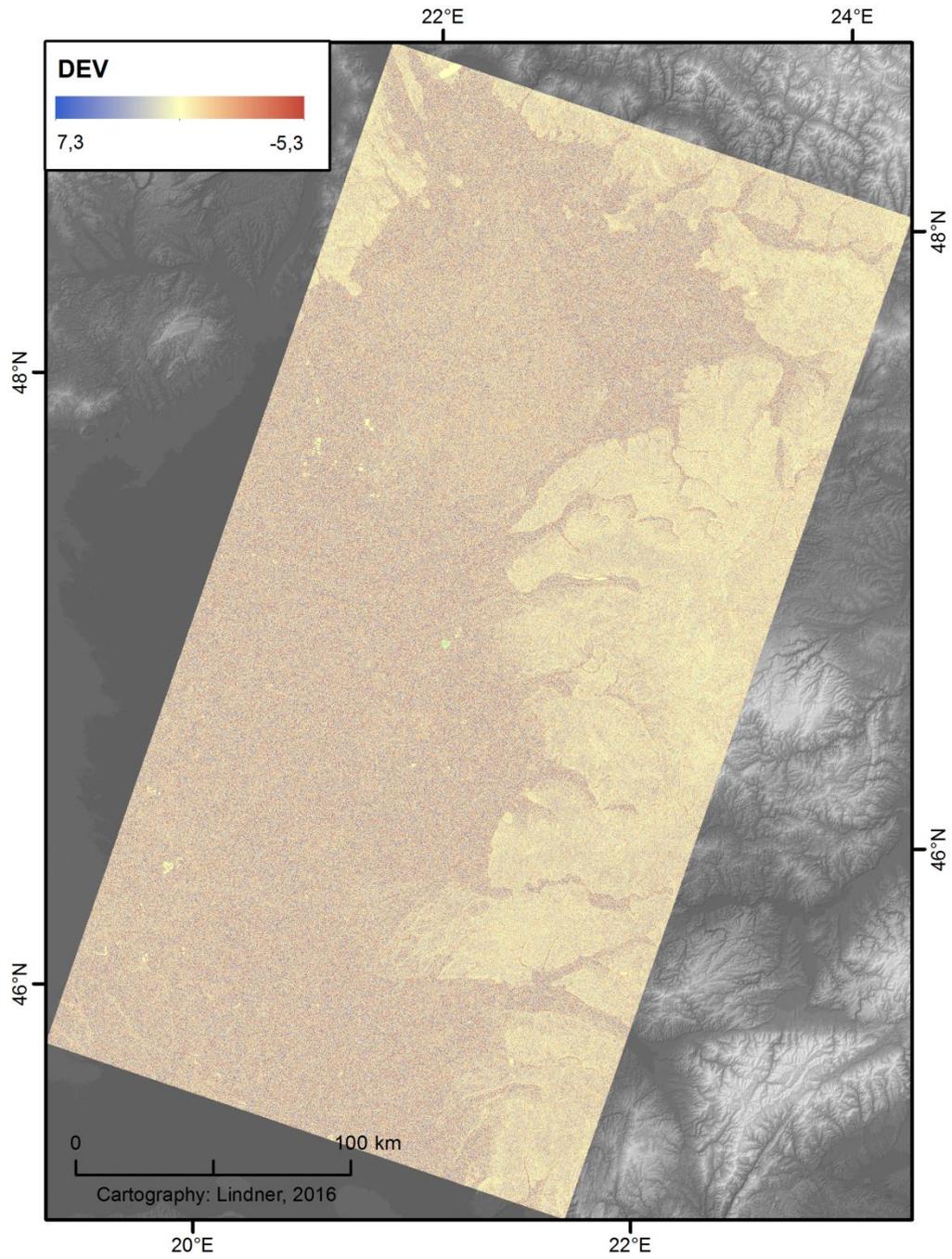


Abbildung A-8: TPI Abweichung DEV.

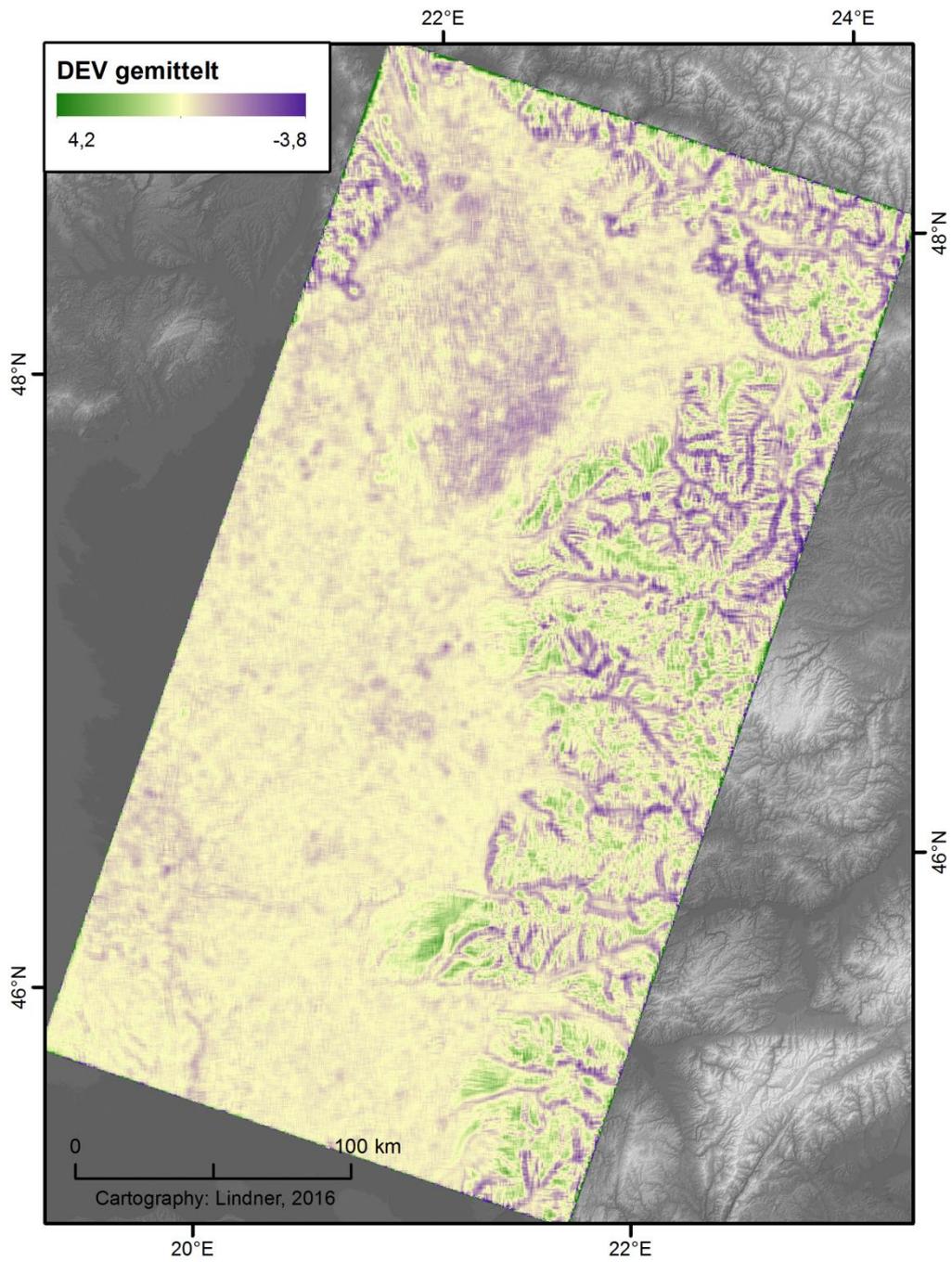


Abbildung A-9: Über 9 km² gemittelte TPI-Abweichung DEV.

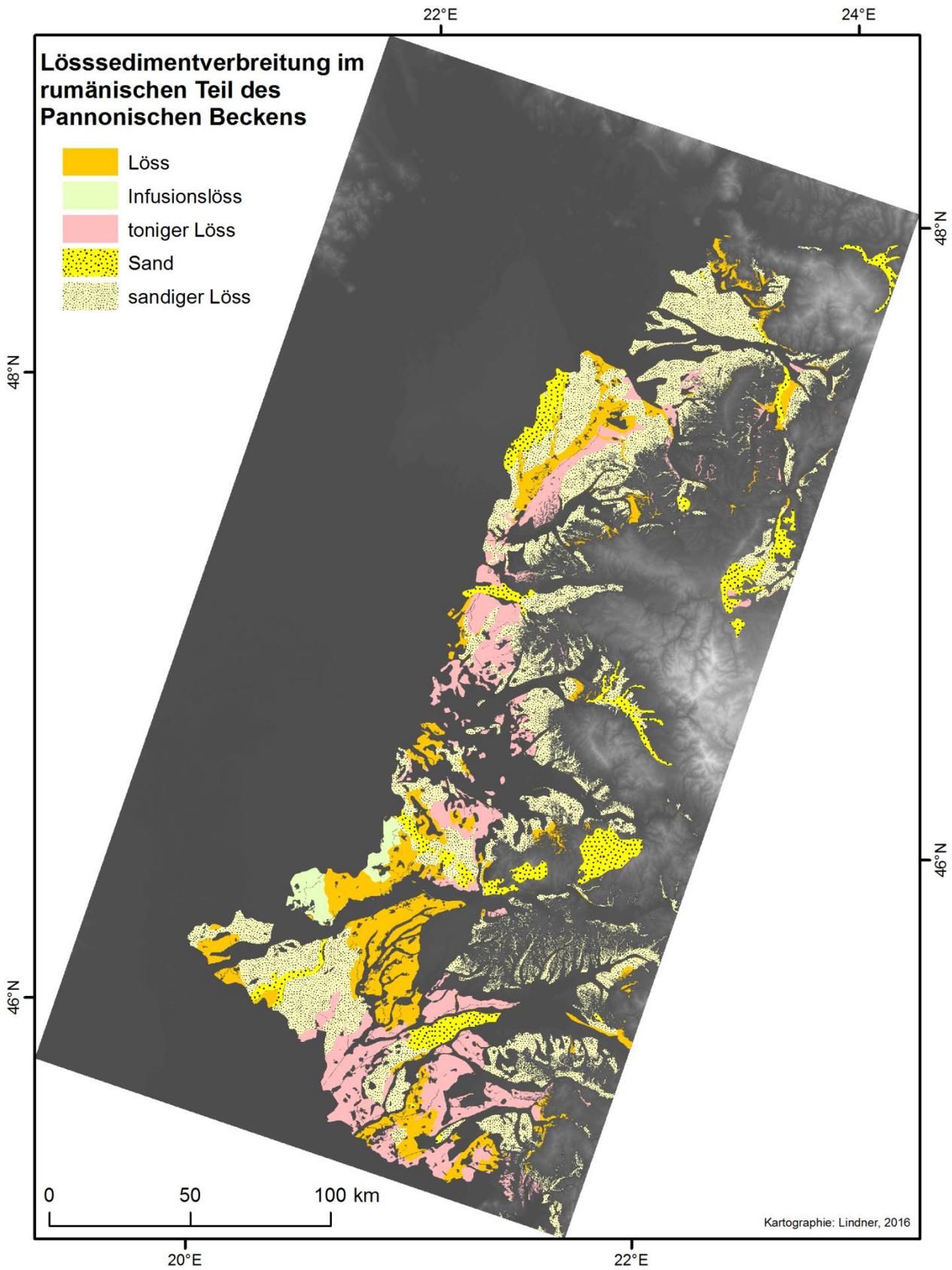


Abbildung A-10: Verbreitung von Lösssedimenten im rumänischen Teil des Pannonischen Beckens.

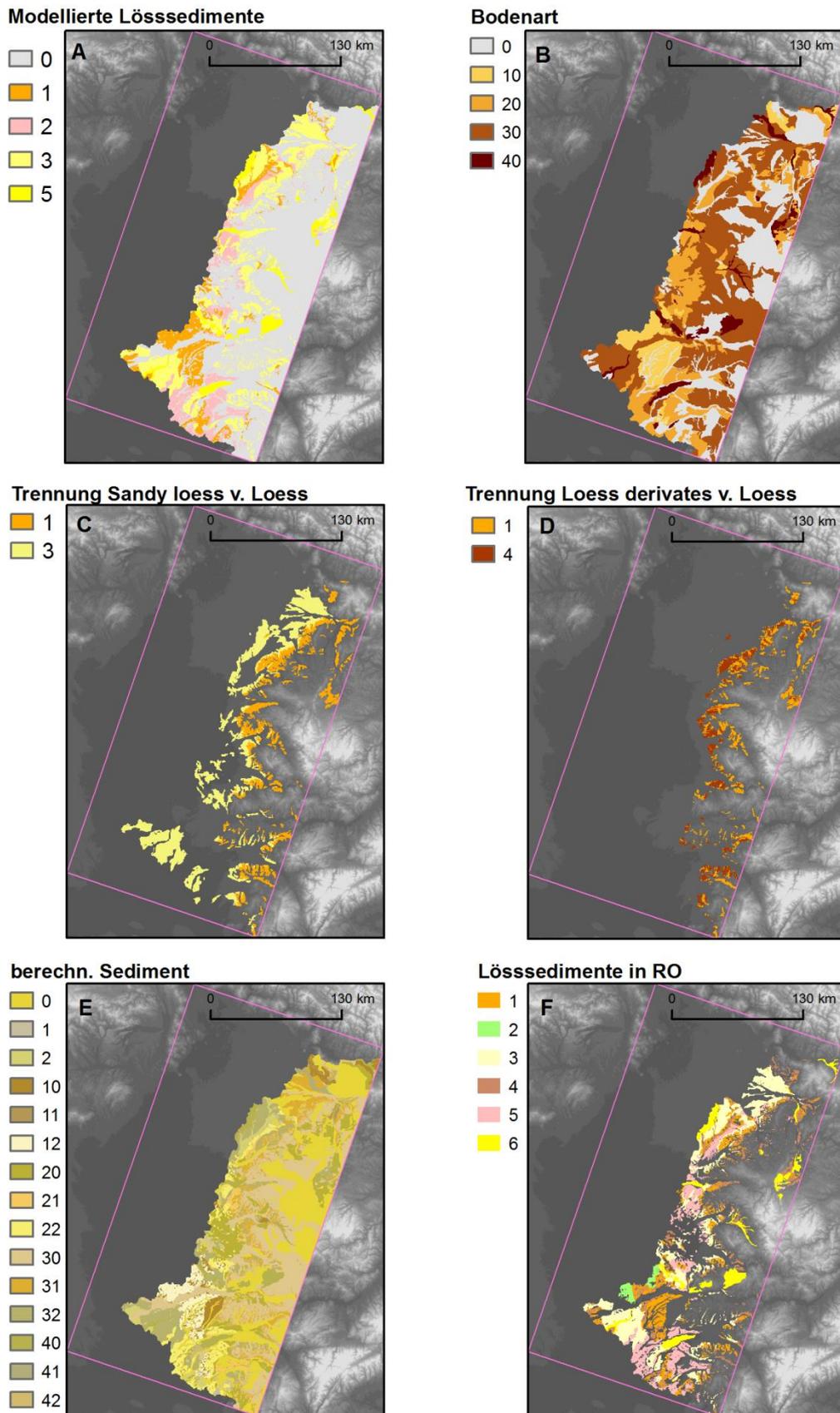


Abbildung A-11: Zusammenführung der jeweiligen Daten und deren Klassifikation (Legende analog zu den Tabellen Kapitel 7).

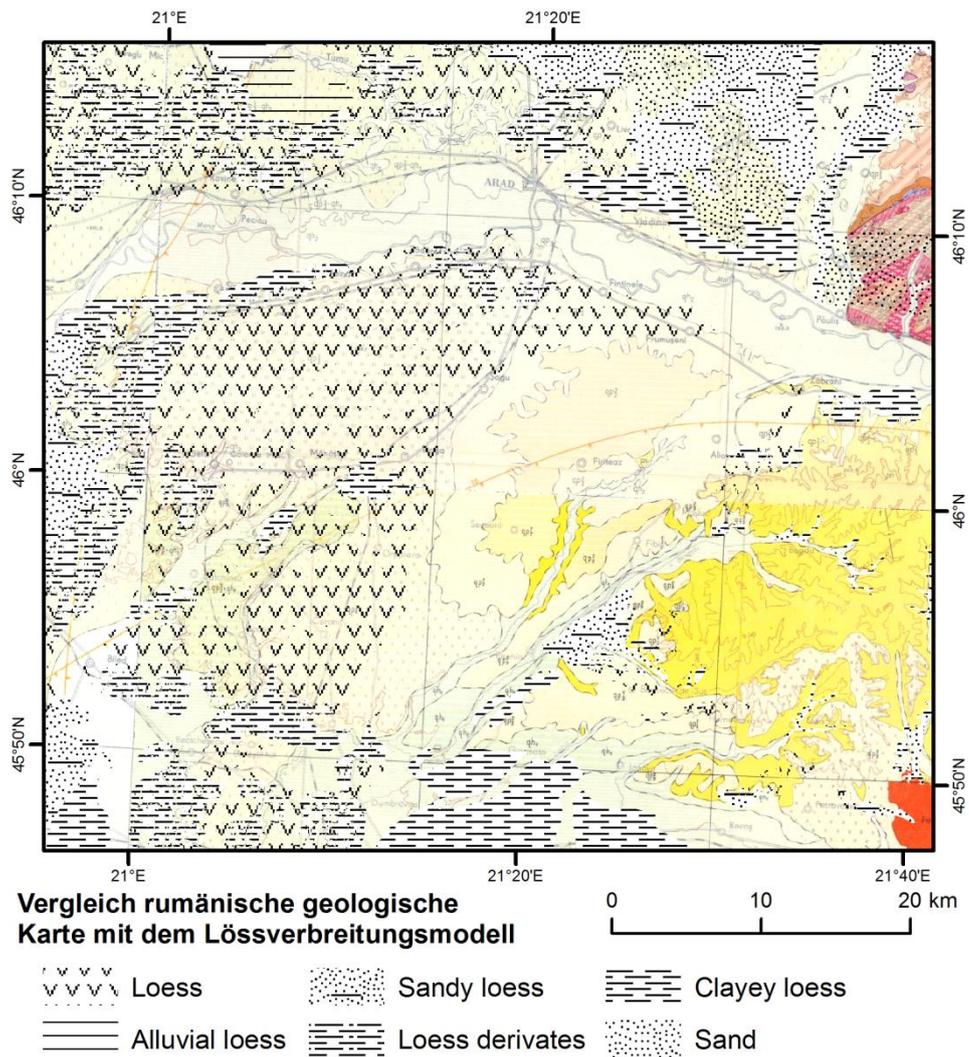


Abbildung A-12: Vergleich der geologischen Karte Rumäniens mit dem Lössverbreitungsmodell.

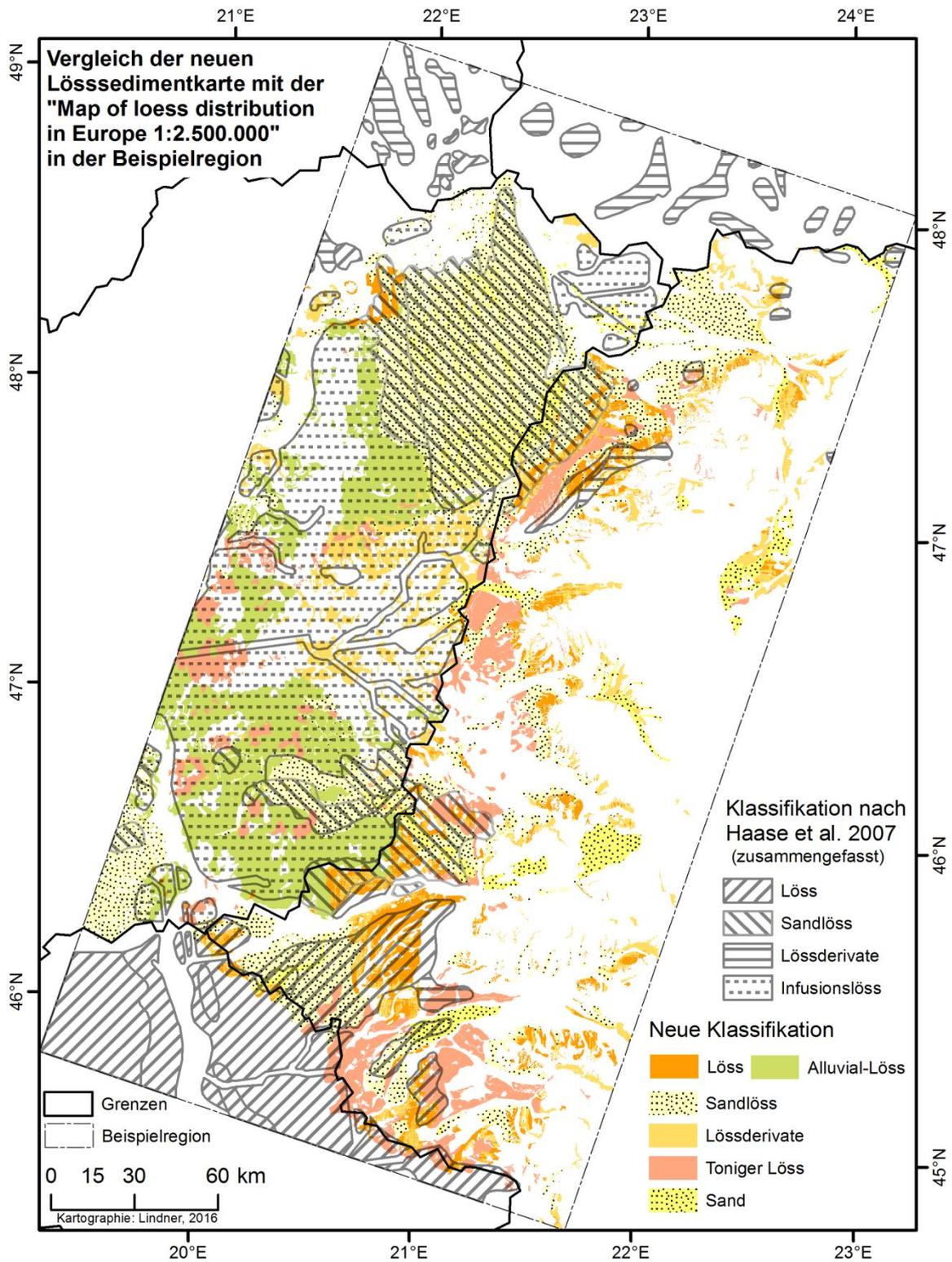


Abbildung A-13: Vergleich der „Map of loess distribution in Europe“ (Haase et al. 2007) mit den hier gewonnenen Daten.

B Inhalt der DVD

Die DVD enthält den Datenanhang zu dieser Arbeit. Darin befinden sich Materialien und Daten, wie wichtige verwendete Geodaten im Raster und Vektorformat in File Geodatabases und (ergänzende) Tabellen.

DVD: 00_Material und Daten.zip	10_Ergebnisse	11_Text	MA_Lindner_2016_Loessverbreitung im Pann. Becken	
		12_Tabellen	121_Böden, Prozesse, Lösspotentiale	
			122_Gemeinsame Klassifikation der Karte	
			123_Klassifikation der Lösssedimente	
			124_Bodenart	
			125_Problematiken grenzüber Geodaten	
	126_Statistik_Vgl_mit_Haase			
	13_Fertige Karte	Loessdistribution in the Pannonian Basin		
	20_Geodaten	21_Rasterdaten.gdb	BART_classific	Klassifizierte, normierte Bodenart
			DEV_RO_300	DEV aus TPI berechnet 300 x 300 m Auflösung
			LD_PB_HU	Loessverbreitung im Pann. Becken, Ungarn
			LD_PB_RO	Loessverbreitung im Pann. Becken, Rumänien
			Loess_trenn_Lderiv	Trennung von Loess und Loessderivaten
Loess_trenn_Sloess			Trennung von Loess und Sandloess	
LoessIdent_Elev			Identifikation potentieller Loessflächen ueber Höhenlage	
Loesspot_LU_RO			Loesspotentiale nach Landnutzung	
LSedi_calc			Ergebnis der Berechnung von Loesssedimenten	
LSedi_Classific			Reklassifizierte Loesssedimentflächen	
Mean_DEV_RO_3k	Ueber 3000 m gemittelte DEV Daten			
SD_RO_300	Standardabweichung der Höhe mit Auflösung 300 x 300 m			
TPI_RO_300	Berechneter TPI			
22_Vektordaten.gdb	Lakes	Seen im Untersuchungsgebiet		
	LD_HU	Loessverbreitung, Ungarn		
	LD_PB	Loessverbreitung gesamtes Untersuchungsgebiet, Pannonisches Becken		
	LD_PB_RO	Loessverbreitung Pannonisches Becken, Rumänien		
	Rivers_HU Rivers_RO	Flüsse Ungarn Flüsse Rumänien		
30_Grundkarten	31_Bodenkarte_RO	Karten-Scans	Scans der Papierkarte Bodenkarte 1:500000	
	32_Geologie	geologie200k	Geologische Karte von Rumänien 1:200000	
		Erläuterungen GeologicalMap200k.pdf legenda_geologicalmap200k.pdf	Erläuterungstexte Legende zur geologischen Karte von Rumänien 1:200000	

Eidesstattliche Versicherung

Lindner, Heiko
Name, Vorname

293197
Matrikelnummer (freiwillige Angabe)

Ich versichere hiermit an Eides Statt, dass ich die vorliegende Arbeit/Bachelorarbeit/
Masterarbeit* mit dem Titel

Lössverbreitung im Pannonischen Becken - Problematik grenzüberschreitender
Geodaten und Lösungs-ansatz mit GIS für eine Beispielregion (Grenzregion Ungarn-
Rumänien)

selbständig und ohne unzulässige fremde Hilfe erbracht habe. Ich habe keine anderen
als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt. Für den Fall, dass die Arbeit
zusätzlich auf einem Datenträger eingereicht wird, erkläre ich, dass die schriftliche und
die elektronische Form vollständig übereinstimmen. Die Arbeit hat in gleicher oder
ähnlicher Form noch keiner Prüfungsbehörde vorgelegen.

Geilenkirchen
Ort, Datum

Unterschrift

*Nichtzutreffendes bitte streichen

Belehrung:

§ 156 StGB: Falsche Versicherung an Eides Statt

Wer vor einer zur Abnahme einer Versicherung an Eides Statt zuständigen Behörde eine solche Versicherung
falsch abgibt oder unter Berufung auf eine solche Versicherung falsch aussagt, wird mit Freiheitsstrafe bis zu drei
Jahren oder mit Geldstrafe bestraft.

§ 161 StGB: Fahrlässiger Falscheid; fahrlässige falsche Versicherung an Eides Statt

(1) Wenn eine der in den §§ 154 bis 156 bezeichneten Handlungen aus Fahrlässigkeit begangen worden ist, so
tritt Freiheitsstrafe bis zu einem Jahr oder Geldstrafe ein.

(2) Straflosigkeit tritt ein, wenn der Täter die falsche Angabe rechtzeitig berichtigt. Die Vorschriften des § 158
Abs. 2 und 3 gelten entsprechend.

Die vorstehende Belehrung habe ich zur Kenntnis genommen:

Geilenkirchen
Ort, Datum

Unterschrift