

Tagungsbeitrag zu: Jahrestagung der
DBG, Kommission I
Titel der Tagung: Horizonte des Bodens
Veranstalter: DBG
Termin und Ort der Tagung: September
2017, Göttingen
Berichte der DBG (nicht begutachtete
online Publikation, <http://dbges.de>)

Untersuchungen zum Zusammen- hang klein- und großskaliger Ober- flächenstrukturen

JENS HANNEMANN¹ & WINFRIED RIEK²

1 Einleitung

1.1 Ansatz

Ausgangspunkt für den folgenden Ansatz bildet die Annahme, dass oberflächenwirksame und -abhängige Landschaftseigenschaften **natürliche Fraktale** bilden. Dies trifft besonders auf das Oberflächenrelief, aber auch die durch das Wasser (Grund- und Bodenwasser) gebildete Oberfläche zu. Das Phänomen der fraktalen Dimension des Oberflächenreliefs bzw. der **Oberflächenrauigkeit** kann durch den angenommenen proportionalen Zusammenhang von Mikrorelief bzw. -rauigkeit und Makrorelief bzw. -rauigkeit beschrieben werden. Demnach bilden die Mikrostrukturen die Makrostrukturen ab und umgekehrt, Veränderungen des Maßstabs führen also zu ähnlichen geometrischen Abbildern.

Die sog. **Selbstähnlichkeit** wurde erstmals für künstliche Fraktale von KOCH (1904) beschrieben. Im landschaftlichen Kontext bezieht sie sich im betrachteten Fall zum Einen auf die **Bodenart**, die als **Mikrorelief** der „Körner“ aufgefasst wird - Untersuchungen zur Bestimmung der Bodenart über Oberflächenparameter laufen zur Zeit - und zum Anderen auf die **Landschaftsoberfläche (Makrorelief)**, das immer durch die Energie der geologischen Verhältnisse/Prozesse und das Klima geprägt wird. Dies sind im Norddeutschen Tiefland vorrangig das Vorrücken und Abschmelzen des Eises. Nachgeprägt

wird das Relief durch Eis (Frostwechsel, Austauen) und durch Wasser und Wind (Erosion und Akkumulation).

Dabei existiert ein enger Zusammenhang von Relief- und Akkumulationsenergie, wonach „Berge“ und Höhenzüge durch sehr große „Körner“ (z.B. Blöcke in Endmoränenzügen) und Täler durch kleine „Körner“ (Auentone) gebildet werden. Des Weiteren kann angenommen werden, dass gleichkörnige Areale Plateaus (z.B. Urstromtäler, Hochflächen, Auentone) bilden. Steigt die Gleichkörnigkeit sinkt die Relieferung, d.h. die fraktale Dimension wird geringer. Dies bis zu einem Maß, das vom Gesamt-Kornspektrum abhängig ist. Dabei bietet sich perspektivisch ein Vergleich der Kornverteilungskurven und den hypsometrischen Kurven der betrachteten Ausschnitte an. Es wird betont, dass sich die Überlegungen auf die Glaziallandschaft des nordostdeutschen Tieflandes beziehen.

1.2 Fraktale Dimension

Fraktale werden als **gebrochene Dimension** aufgefasst. Demnach bestehen zwischen den geometrischen Primitiven (Punkt: 0-dimensional, Linie: 1-dimensional, Fläche: 2-dimensional, Körper: 3-dimensional) hinsichtlich der Dimensionalität Übergänge bzw. keine ganzzahligen Verhältnisse. Besonders deutlich wird dies z.B. bei einem Fluss, der zunächst sehr geradlinig ist, eine Linie darstellt, und dann sehr stark mäandriert und eine große Fläche einnimmt, also sich der 2. Dimension nähert (vgl. LANG & BLASCHKE, 2007). Dieses Phänomen, bezogen auf die Oberflächencharakteristik (Rauigkeit, Höhenwerteverteilung) von Sedimenten, soll mit diesem Ansatz untersucht werden. Im vertikalen Schnitt besitzt ein Auenbereich, der meist aus Tonen gebildet wird, eine fraktale Dimension nahe 1, während Endmoränenzüge, die einen sehr heterogenen Substrataufbau zeigen und eine starke Relieferung aufweisen, eine fraktale Dimension nahe 2. Mit einem Vergleich des sehr kleinen und sehr großen Maßstabbereiches soll besonders auch der stoffliche und strukturelle Zusammenhang von Sedimenten charakterisiert werden. Dabei spielt die Maßstabstransformation dahingehend eine wichtige Rolle,

¹Landesbetrieb Forst Brandenburg, LFE, Alfred-Möller-Str. 1, 16225 Eberswalde

²HNE Eberswalde, Fachbereich Wald und Umwelt & Landesbetrieb Forst Brandenburg, LFE

dass Objekte mit höhergradigen fraktalen Dimensionen eine stärkere Auswirkung erfahren als Objekte mit niedergradigen fraktalen Dimensionen (vgl. LANG & BLASCHKE, 2007). Dies bedeutet, dass bei einer Maßstabsverkleinerung ein Auenbereich im Vertikalschnitt eine Linie bleibt, während ein Endmoränenzug deutlich nivelliert wird, d.h. es findet eine Dimensionsreduktion statt (s. Abschnitt 1.1).

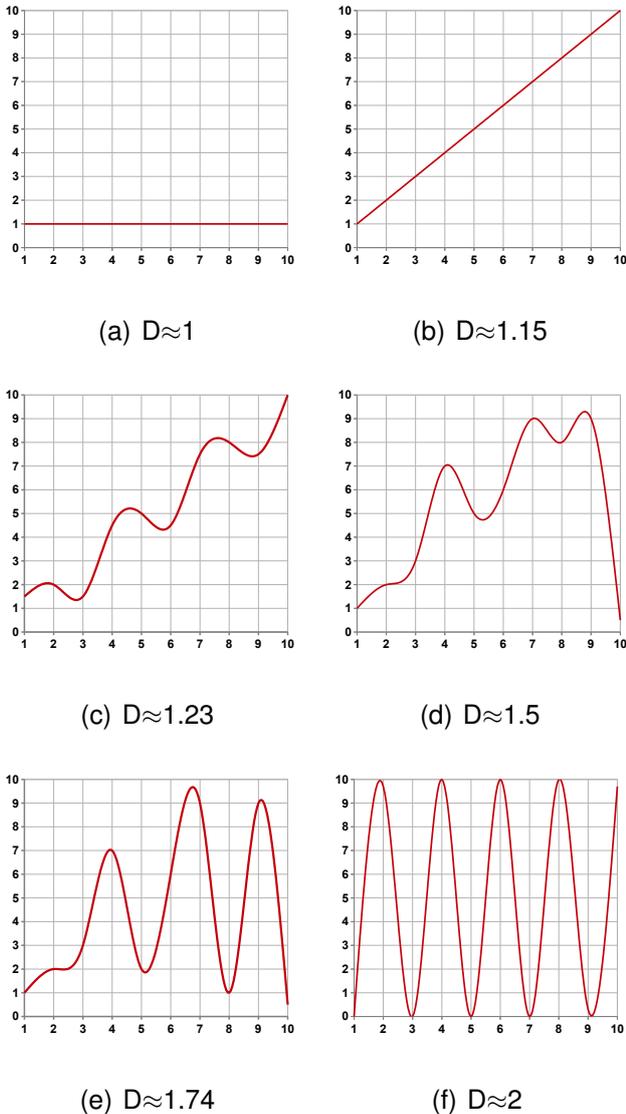


Abbildung 1.1: Beispiele für die Fraktale Dimension (Repräsentationen einer vertikalen Höhenprofilinie)

In der Abbildung 1.1 wird die größer werdende Flächeninanspruchnahme der Profillinie deutlich. Die fraktale Dimension wird wie folgt berechnet:

$$D_{REL} = \frac{\ln(OR)}{\ln(M)}$$

mit: OR - Oberflächenrauigkeit (Profilinienlänge); M - Maßstab

Die Herleitung der fraktalen Dimension für die Oberflächenrauigkeit von Sedimenten soll durch weitere Untersuchungen, insbesondere auf Mikroebene, unterstützt werden.

2 Betrachtungen zum Makrorelief

Das Makrorelief Brandenburgs ist durch Formen der glazialen Serie geprägt, deren Erscheinungsbild das Ergebnis von Prozessen unterschiedlicher Sedimentationsenergie ist. Neben material- bzw. mineralspezifischen Eigenschaften, wie z.B. der Dichte, spielt die Größe der Körner eine entscheidende Rolle im Ablagerungsergebnis und in der Oberflächenprägung (vgl. Tabelle 2.1).

Objekte	Korngröße	Gleichförmigkeit	Steigung/Neigung	Reliefenergie	geomorphologische Einheit
Blöcke, Steine	sehr groß	sehr gering	hoch	sehr groß	Endmoränen
Steine, Lehm	groß	gering	mittel	groß	kuppige Grundmoräne
Kies, Lehm, Sande	mittel	mittel-hoch	gering	mittel	Grundmoräne, Sander
Sande	gering	hoch	sehr gering	gering	Tal-, Flusssande
Tone	sehr gering	hoch	extrem gering	sehr gering	Auentone

Tabelle 2.1: Mikro- und makroreliefwirksame Objekte (vgl. auch ZEPP, 2014, S. 95)

Die Reliefformen bauen sich in ihrer Gliederung (vgl. Abbildung 2.1) aus den jeweils hierarchisch tiefer liegenden Elementen auf. Im vorliegenden Ansatz befindet sich unter der Ebene der Facetten die Ebene des Mikroreliefs, die durch die Korngrößen gebildet wird. Dabei wird davon ausgegangen, dass sich die Reliefformen durch jeweils charakteristische Höhenprofilinien resp. Höhenwerteverteilungen typisieren lassen. Untersuchungsgegenstand ist des Weiteren, ob sich das Relief mit Hilfe der fraktalen Dimension über die verschiedenen Maßstabebenen hinweg skalieren lässt.

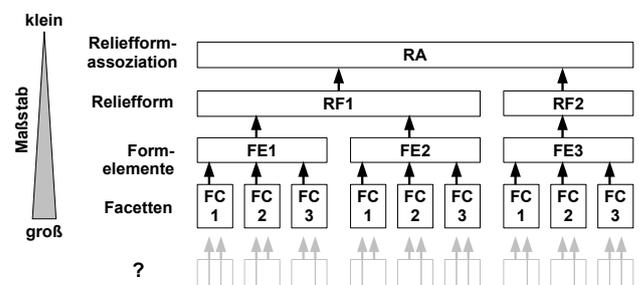


Abbildung 2.1: Hierarchische Gliederung von Reliefformen nach ZEPP, 2014, S. 288; verändert

Die Skalierbarkeit soll dabei durch vertikal und horizontal gleitende Fenster untersucht werden (vgl. Abbildung 2.2).

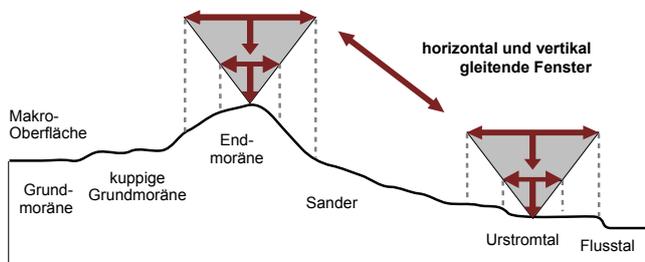


Abbildung 2.2: Vertikalschnitt durch eine glaziale Serie und Oberflächenprofil

3 Korngrößen der Mikro- und Makroskala

Die Bodenart ist einer der wichtigsten bodenphysikalischen Parameter. Sie spielt im wasserhaushaltlichen Regelungsgefüge der Pedosphäre, aber auch im geomorphologischen Erscheinungsbild der Landschaft eine herausragende Rolle. Im Prinzip ist sie ein klassifikatorischer Ausdruck für die statistische Verteilung von Korngrößen, wobei für die Definition der Feinbodenart (Korngrößen < 2mm) die Hauptfraktionen Sand, Schluff und Ton maßgeblich sind.

Fraktion	Unterfraktion	Kurzzeichen	Max-/Min-Größe in mm
Grob-boden	Großblöcke (rund,kantig)	gO, gX	>630
	Blöcke (rund,kantig)	mO, mX	630-200
	Steine (rund,kantig)	fO, fX	200-63
	Grobkies,-grus	gG, gGr	63-20
	Mittelkies,-grus	mG, mGr	20-6,3
	Feinkies,-grus	fG, fGr	6,3-2
Sand	Grobsand 1	gS1	2-1
	Grobsand 2	gS2	1-0,63
	Mittelsand	mS	0,63-0,2
	Feinsand	fS1	0,2-0,063
	Feinstsand	fS2	0,125-0,063
Schluff	Grobschluff	gU	0,063-0,02
	Mittelschluff	mU	0,02-0,0063
	Feinschluff	fU	0,0063-0,002
Ton	Grobton	gT	0,002-0,00063
	Mittelton	mT	0,00063-0,0002
	Feinton	fT	<0,0002

Tabelle 3.1: Korngrößenfraktionen des Fein- und Grobbodens nach Bodenkundlicher Kartieranleitung (KA5)

Besonders aber im Zusammenhang mit der Betrachtung des Grobbodens wird die morphologische Wirksamkeit deutlich und legt die Vermutung nahe, dass eine Beziehung zwischen „Mikro-Bodenart“ und „Landschafts-Bodenart“ existiert. Die Größenverhältnisse sind entsprechend der Tabelle 3.1 und der Abbildung 3.1 über verschiedene Maßstäbe hinweg (kontinuierlich) skalierbar. Dabei wird davon ausgegangen, dass dies auch für Korngrößengemische gilt.

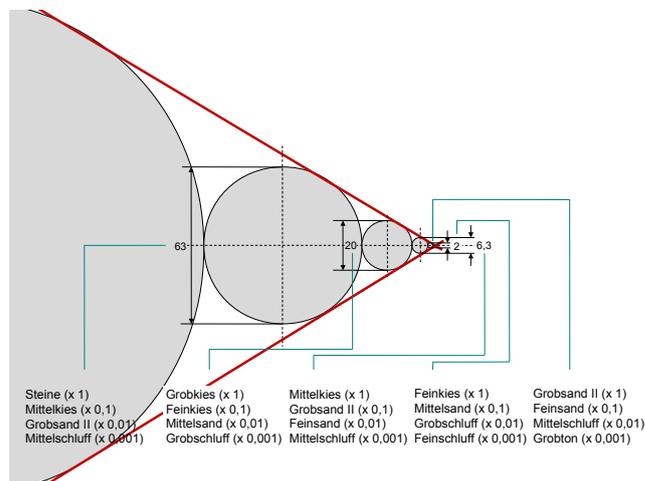


Abbildung 3.1: Korngrößenreihe und -verhältnisse mit Skalierungsfaktoren

Dieser Zusammenhang soll quasi durch die Oberflächendetektion extrem unterschiedlich großer Landschaftsausschnitte (mm- und km-Bereich) untersucht werden. Die Oberflächenerfassung der Landschaft erfolgt derzeit mit Flugzeug gestützten Laserverfahren die hoch aufgelöste Digitale Geländemodelle (z.B. DGM2) liefern. Für die Bestimmung der Bodenart (Korngrößenverteilung) werden Schätzverfahren bzw. laborative Sieb-, Schlamm- und Sedimentationsverfahren verwendet. Neuere Verfahren bedienen sich der Laserbeugung oder Bildverarbeitung. Die im folgenden Abschnitt beschriebene Methode versucht die Korngrößenbestimmung über eine Oberflächenerfassung der Probe.

4 Mikrorelief von Bodenproben

4.1 Oberflächenmessung

Für die Erfassung des Mikroreliefs von Sediment-/Bodenproben wurde ein mikroskopisches Streifenlichtverfahren eingesetzt, das eine horizontale und vertikale Auflösung im Submillimeter-Bereich erlaubt und ein 3D-Abbild der Oberfläche erzeugt. Für die Messung wird ein schräg einfallendes Streifenmuster auf die Oberfläche projiziert. Die Streifen werden durch die Höhenunterschiede verzerrt. Diese Verzerrungen werden gemessen. Mit diesem Verfahren wird versucht die ermittelten statistischen Parameter mit den Korngrößenanalysedaten, die mit konventionellen Verfahren (z.B. KÖHN nach GAFA, 2009) bestimmt wurden, in Beziehung zu setzen. Die Abbildung 4.1 entstammt einem Prüfbericht

der BAM (WEISE, 2012).

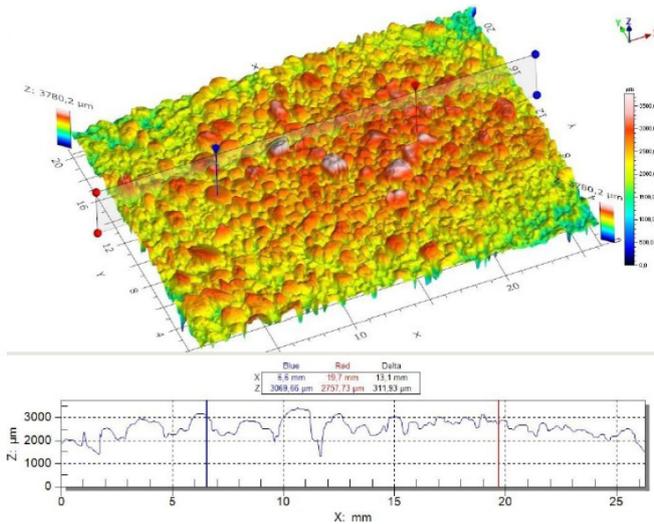


Abbildung 4.1: Prinzip der sensorischen Oberflächenerfassung von Bodenproben (L×B: 20×26 mm, aus WEISE, 2012)

Kernpunkt bildet dabei die These, dass die Oberfläche, die durch die unterschiedlichen Korn- und Partikelgrößen gebildet wird, ein Maß für die Rauheit/Rauhigkeit ist. Ein abzuleitender Rauhigkeitsindex bzw. bestimmte Rauhigkeitskenngrößen (R_a und R_z nach DIN EN ISO 4287) sollen dabei die Bestimmung der Bodenart bzw. der Korngrößenverteilung erlauben.

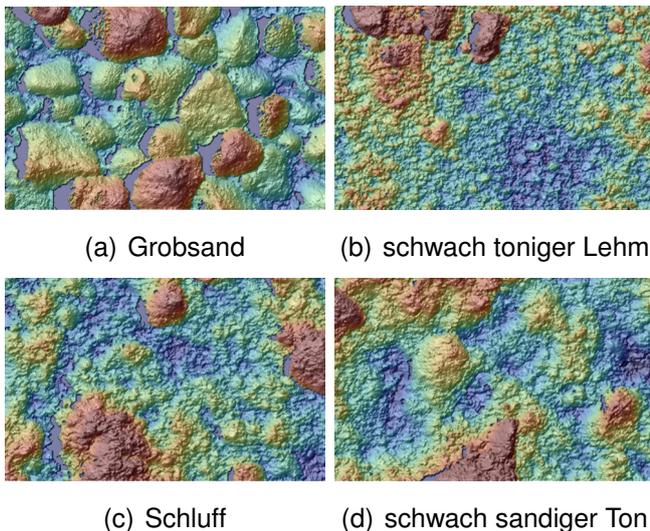


Abbildung 4.2: Mikrooberfläche von Bodenproben (Ausschnitt L×B: 5×3 mm)

Die Abbildungen zeigen die erwarteten Unterschiede in der Ausbildung des Mikroreliefs. Parameter der deskriptiven Statistik (Minimum, Maximum, Median, Percentile, Varianz, Standardabweichung, RMS (Root

Mean Square), Interquartilsabstand, Schiefe, Kurtosis, Verteilungen etc.) und der Probengeographie/-topographie werden zur Charakterisierung herangezogen und bilden den Fingerabdruck der Oberfläche der Probe und damit der Bodenart. Für die Aufstellung einer Rangfolge des Drei-Korn-Gemisches (Sand-Schluff-Ton) der Feinbodenart sind die Parameter Steigung SG und Gleichförmigkeit (-körnigkeit) GF, die wie in Abschnitt 4.3 beschrieben berechnet werden, geeignet.

4.2 Höhenwerteverteilung

Die folgenden Verteilungen der Höhenwerte der Bodenproben belegen zunächst keinen eindeutigen Zusammenhang zur konventionell bestimmten Bodenart. Gründe hierfür liegen evtl. in den Unterschieden der Verfahren und der Aufbereitungsarten (getrocknet, auf Objektträger gestreut/geklebt) der Proben.

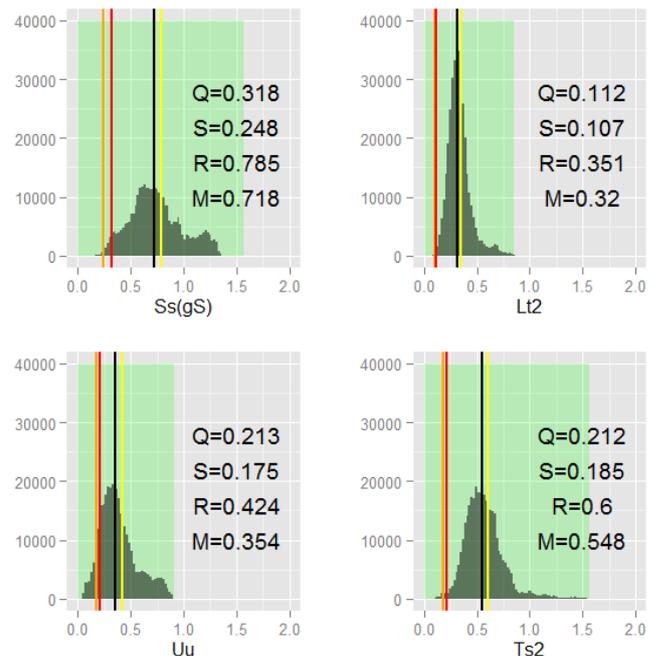


Abbildung 4.3: Höhenwerteverteilung (grau) der Bodenproben aus Abbildung 4.2; Q (rot): Interquartilsabstand, S (orange): Standardabweichung, R (gelb): RMS, M (schwarz): Median; grüne Fläche: Range

4.3 Weitere Parameter zur Charakterisierung der Bodenart

Neben der Höhenwerteverteilung werden zur Charakterisierung der Bodenart die Parameter Steigung SG und Gleichförmigkeit GF herangezogen. Betrachtet werden zunächst nur die Hauptfraktionen. Hohe Steigungswerte zeigen einen hohen Anteil an Sand an,

niedrige (negative) einen hohen Tonanteil.

$$SG = \frac{\sum(KF_G - \overline{KF_G})(KF_A - \overline{KF_A})}{\sum(KF_G - \overline{KF_G})^2}$$

mit: KF_G , KF_A - Größe, Anteil der Kornfraktion

$$GF = \sqrt{(KF_{AT})^2 + (KF_{AU})^2 + (KF_{AS})^2}$$

mit: KF_{AT} , KF_{AU} , KF_{AS} - Kornfraktionenanteil Ton, Schluff, Sand

Hohe Werte in der Gleichförmigkeit repräsentieren reine Bodenarten (s. Tab. 4.1). Bezogen auf das Oberflächenrelief bedeuten „enge, spitze“ Verteilungen ebene Oberflächen. „Weite, flache“ Verteilungen stellen stark reliefierte Oberflächen dar. Korrespondierend zu diesen, auf die Hauptkomponenten der Feinbodenart angewendeten Parametern, werden zur genauen Charakterisierung der Form der Verteilung die Schiefe und die Kurtosis herangezogen. Die Schiefe der Verteilung zeigt an in welche Richtung die Verteilung gegenüber einer symmetrischen Verteilung verschoben ist. Die Kurtosis gibt die Stärke der Wölbung der Verteilung an.

Lfd-Nr.	Bodenart	S_{MW}	U_{MW}	T_{MW}	SG_R	SG	GF_R	GF
1	T _{reinst}	0	0	100	1	-50	33	100,00
2	T ₁	17,5	17,5	82,5	2	-32,5	30	86,13
3	T _{u2}	12,5	42,5	55	3	-21,25	19	70,62
4	T _l	22,5	22,5	55	4	-16,25	8	63,54
5	T _{u3}	10	57,5	37,5	5	-13,75	16	69,37
6	T _{u4}	5	70	30	6	-12,5	23	76,32
7	L _{h3}	20	40	40	7	-10	4	60,00
8	T _{s2}	37,5	7,5	55	8	-8,75	13	66,99
9	U _{l4}	9	74	21	9	-6	24	77,45
10	L _u	19	57,5	23,5	10	-2,25	10	64,96
11	U _{h3}	11,5	76,5	14,5	11	-1,5	26	78,71
12	L _{h2}	30	40	30	12	0	2	58,31
13	U _u reinst	0	100	0	12	0	33	100,00
14	L _u reinst	33,3	33,3	33,3	12	0	1	57,68
15	U _{h2}	13,5	78,5	10	13	1,75	27	80,28
16	U _u	10	90	4	14	3	31	90,64
17	L _{ts}	42,5	22,5	35	15	3,75	3	59,48
18	T _{s3}	52,5	7,5	40	16	6,25	12	66,43
19	L _{s2}	34	45	21	17	6,5	6	60,18
20	U _{ls}	30	57,5	12,5	18	8,75	11	66,05
21	L _{s3}	44	35	21	19	11,5	5	60,02
22	U _s	31	65	4	20	13,5	21	72,12
23	S _{lu}	42,5	45	12,5	21	15	7	63,15
24	T _{s4}	62,5	7,5	30	22	16,25	17	69,73
25	L _{s4}	56,5	22,5	21	23	17,75	9	64,34
26	S _{l4}	60,5	25	14,5	24	23	14	67,05
27	S _{u4}	51	45	4	25	23,5	15	68,13
28	S _{l3}	71,5	7,5	21	26	25,25	22	74,90
29	S _{l3}	65	25	10	27	27,5	18	70,36
30	S _{u3}	63,5	32,5	4	28	29,75	20	71,45
31	S _{l2}	76	17,5	6,5	29	34,75	25	78,26
32	S _{l2}	84	5	11	30	36,5	29	84,86
33	S _{u2}	80	17,5	2,5	31	38,75	28	81,93
34	S _s	92,5	5	2,5	32	45	32	92,67
35	S _s reinst	100	0	0	33	50	33	100,00

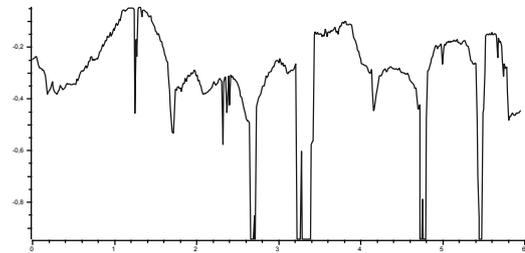
Tabelle 4.1: Ermittlung des Rangs der Bodenarten nach Steigung und Gleichförmigkeit; hier: sortiert nach Rang der Steigung, Tabelle gekürzt; S_{MW} , U_{MW} , T_{MW} - Mittelwert Spanne Sand, Schluff, Ton (nach KA5); SG_R - Rang der Steigung; SG - Steigung; GF_R - Rang nach Gleichförmigkeit; GF - Gleichförmigkeit

Weiterhin ist auch das Quadratische Mittel (RMS) als Parameterwert geeignet, die Ober-

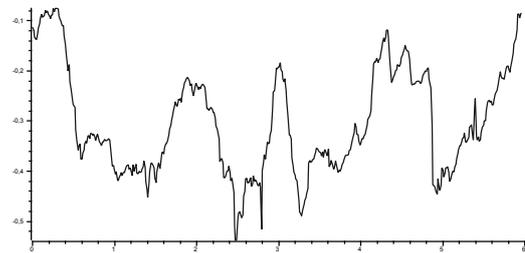
flächencharakteristik zu beschreiben. Es wird wie folgt berechnet (vgl. auch LEUE & GERKE, 2016):

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N Z_n^2}$$

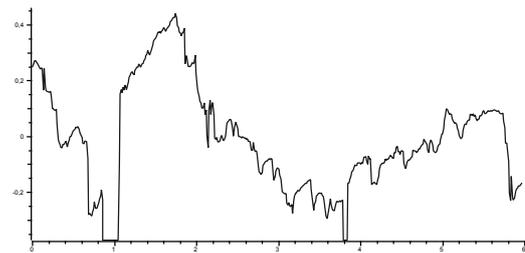
Folgend sind die Höhenprofillinien von Bodenproben dargestellt, die im Vergleich zu den Höhenprofillinien geomorphologischer Einheiten (s. Abbildung 5.3) die Herleitung der fraktalen Dimensionen als Quotient der Oberflächenrauigkeit bzw. der Länge der Profillinien und der Erstreckung über die Anwendung gleitender Fenster (s. Abbildung 2.2) ermöglichen sollen.



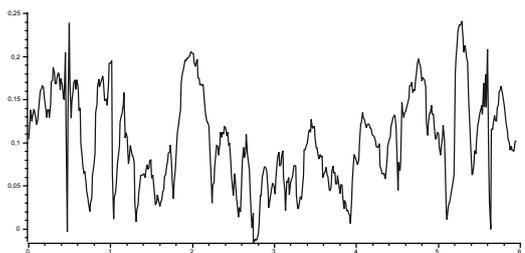
(a) Grobsand



(b) schwach sandiger Ton



(c) Schluff



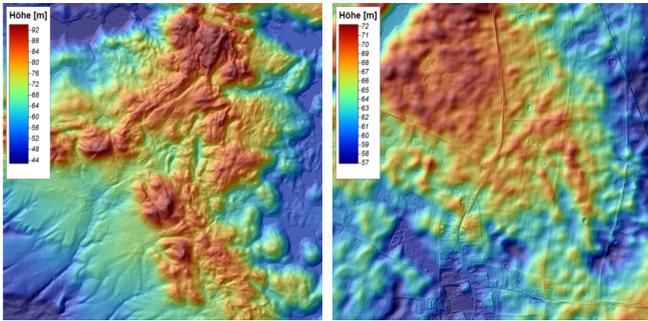
(d) schwach toniger Lehm

Abbildung 4.4: Höhenprofillinien der Bodenproben aus Abbildung 4.2 (Angaben in mm)

5 Makrorelief

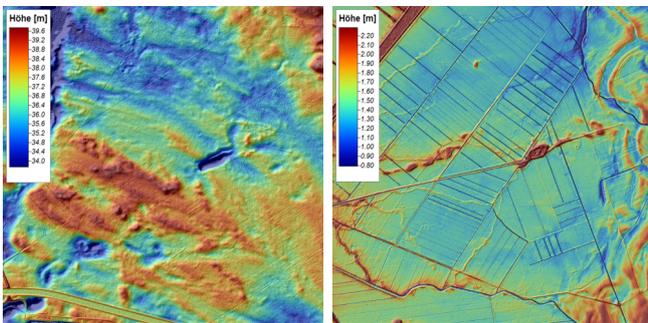
5.1 Landschaftsausschnitte

Die folgenden Abbildungen sollen zunächst lediglich die Ähnlichkeit zu den Oberflächenstrukturen aus Abb. 4.2 verdeutlichen.



(a) Endmoräne

(b) Grundmoräne



(c) Urstromtal

(d) Flussaue

Abbildung 5.1: Makrooberfläche von Ausschnitten geomorphologischer Einheiten (DGM2, L×B: 2×2 km) der glazialen Serie im Raum Uckermark/Barnim (Brandenburg)

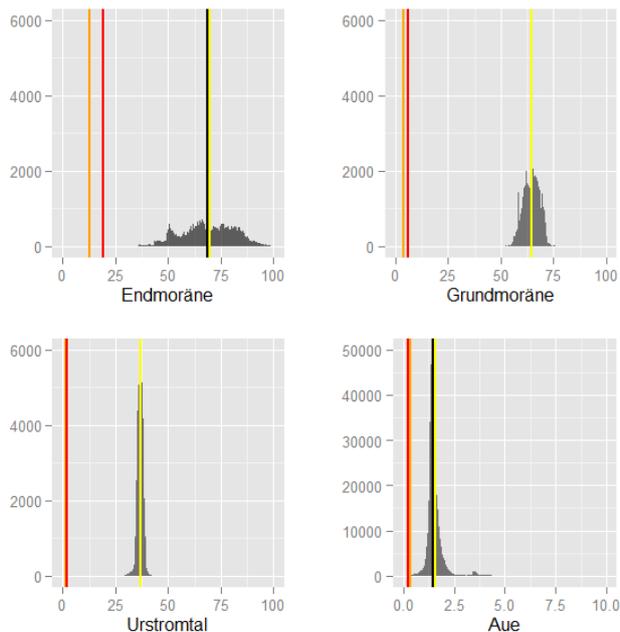
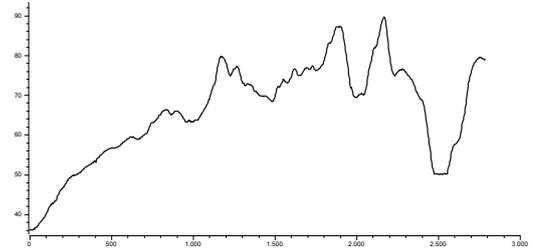
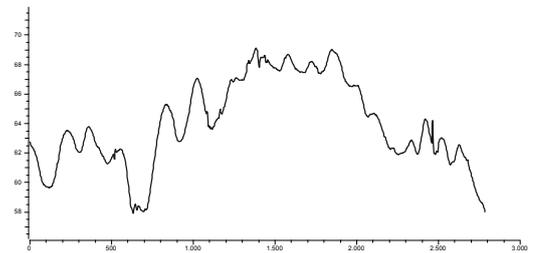


Abbildung 5.2: Verteilung (grau) der Höhenwerte (in m) der geomorphologischen Einheiten aus Abbildung 5.1; (rot): Interquartilsabstand, (orange): Standardabweichung, (gelb): RMS, (schwarz): Median; grüne Fläche: Range); Aue mit gesonderter Skalierung!

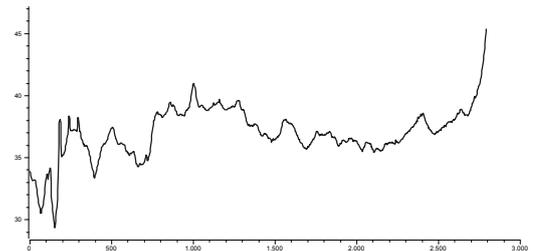
Die Endmoräne verkörpert dominant große Korngrößen, die Grundmoräne mittlere, die Urstromtalbereiche geringe und die Flussauenbereiche sehr geringe Korngrößen. Dies widerspiegelt sich auf der Landschaftsebene in korrespondierenden Höhen resp. Höhenverteilungen (vgl. Abbildung 5.1).



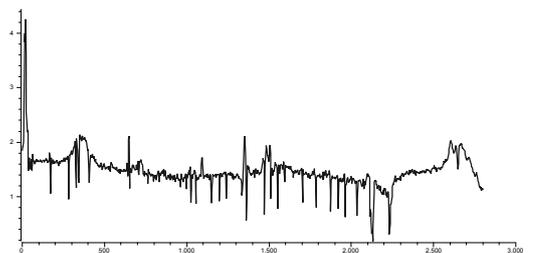
(a) Endmoräne



(b) Grundmoräne



(c) Urstromtal



(d) Flussaue

Abbildung 5.3: Höhenprofillinien der geomorphologischen Einheiten aus Abbildung 5.1 (Angaben in m)

Die unter Abschnitt 4.3 gemachten Aussagen zur Form der Verteilung finden sich auch hier wieder. Die Endmoränen weisen weite, flache Verteilungen auf, während Auenbereiche enge, spitze Verteilungen zeigen (s. Abbildung 5.2). Die Höhenprofillinien in Abbildung 5.3 veranschaulichen den Höhenverlauf in NE-SW-Richtung über den gesamten Ausschnitt. Zu beachten ist die

unterschiedliche Höhengskalierung. Die Länge der Höhenprofilinien ist dabei wie in den Abschnitten 1.2 und 4.3 die Grundlage für die Berechnung der fraktalen Dimension.

6 Zusammenfassung / Ausblick

Die Korngrößenverteilung spielt eine immens wichtige Rolle im Wasserhaushalt und im geomorphologischen Erscheinungsbild der Landschaft. Es existiert eine selbstähnliche Korngrößenverteilung im Millimeter- und Submillimeterbereich zur Korngrößenverteilung/zum Landschaftsrelief im Meter- und Kilometerbereich. Die Abgrenzung genetischer Landschaftselemente kann nach der makro- und mikromorphologischen Charakteristik erfolgen. Die Gegenüberstellung zeigt, dass die Bodenart in der bisher verwendeten Dimension für die Beschreibung des Charakters der Landschaft kaum ausreichend ist. Die Korngrößenzusammensetzung (einschließlich der Steine und Kiese, die einen stark relief- und landschaftprägenden Charakter besitzen) ist stets abhängig vom betrachteten Ausschnitt und repräsentiert immer eine mittlere Korngröße. Generell scheint eine stärkere Beachtung der Gesamt-Korngrößenverteilung im landschaftlichen Kontext sinnvoll. Diese kann in Abhängigkeit vom betrachteten Ausschnitt angegeben werden und integriert damit über die betrachtete Fläche. Die Substratsystematik der KA5 ist hier geeignet. Reliefeigenschaften der Landschaft zu charakterisieren, da sie geogenetische und bodenartige Differenzierungen erlaubt. Die Herleitung der fraktalen Dimension für die Oberflächenrauigkeit von Sedimenten soll durch weitere Untersuchungen, insbesondere auf Mikroebene, unterstützt werden. Die Auswertung wird sich nicht nur auf Ausschnitte geologischer Einheiten beziehen, sondern auf die konkret abgegrenzte Fläche. Dabei ist insbesondere zu analysieren, ob mit Hilfe der fraktalen Geometrie das Mikrorelief über das Makrorelief abgeleitet werden kann bzw. Transformationsfunktionen gefunden werden können. Maßstabstransformationen unter Berücksichtigung der fraktalen Dimension sind gerade auch im Hinblick auf Betrachtungen zu Stoffkonzentrationen, -bilanzen und -flüssen auf Ökosystemebene von Bedeutung

und sind möglicherweise geeignet diese skalierbar auszuweisen. Desweiteren dürfte sich die fraktale Dimension sehr gut für die Analyse von Zeitreihen (Quantifizierung von Schwankungen in bestimmten Zeitschnitten) eignen.

7 Quellen

AG BODENKUNDE (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung (KA5).- 5. Aufl., 438 S., Hannover.

DIN EN ISO 4287 (2010): Geometrische Produktspezifikation (GPS)- Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren-Benennungen, Definitionen und Kenngrößen der Oberflächenbeschaffenheit (ISO 4287:1997 + Cor 1:1998 + Cor 2:2005 + Amd 1:2009); Deutsche Fassung EN ISO 4287:1998 + AC:2008 + A1:2009.

Gafa (2005): Gutachterausschuss Forstliche Analytik (Hrsg.): Handbuch Forstliche Analytik (HFA)- Eine Loseblatt-Sammlung der Analysemethoden im Forstbereich. Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (BMELV), Bonn.

Koch, H. (1904): Une courbe continue sans tangente, obtenue par une construction géométrique élémentaire. Arkiv för Matematik 1, 681-704.

Lang, S. & Blaschke, Th. (2007): Landschaftsanalyse mit GIS. Ulmer-Verlag.

Leue, M. & Gerke, H.H. (2016): Roughness of biopores and cracks in Bt-horizons assessed by confocal laser scanning microscopy. J. Plant Nutr. Soil Sci. 2016, 179, 529-536.

LGB Brandenburg (2012): Digitales Geländemodell DGM2.

Weise, M. (2012): Prüfbericht zur Streifenlichtprojektion - Messung der Oberflächentopographie und flächenhafte Bewertung der Rauheit. Im Auftrag des Landesamtes für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg. BAM-Az. 6.7-3920/12, Bundesanstalt für Materialprüfung und -forschung (BAM) Berlin, unveröffentlicht.