

Konzepte großmaßstäbiger Bodenkarten

Schriftenreihe, Heft 1/2020



Konzepte großmaßstäbiger Bodenkarten Sachsens

Michael Steininger, Daniel Wurbs, Markus Möller, Henning Gerstmann

1	Einleitung und Zielstellung	9
2	Verwendete Datengrundlagen	10
3	Untersuchungsgebiete	13
4	Räumliche Qualitätsprüfung und Homogenisierung der Datenbestände „Boden“	16
4.1	Qualitätsprüfung der bodenkundlichen Datenbestände	16
4.1.1	Bodenaufschlüsse aus Oracle-Datenbank (FIS-Datensatz)	16
4.1.2	Digitale Bodenkarte 1:50.000 (digBK50)	16
4.2	Qualitätsprüfung der Unterlagen der Bodenschätzung	17
5	Aufbereitung der Grundlagendaten zu Landnutzung und Relief	18
5.1	Analyse und Aufbereitung der Landnutzungsdaten	18
5.2	Aufbereitung des digitalen Geländemodells (DGM5)	20
6	Ableitung von Reliefparametern und Reliefeinheiten	21
6.1	Ableitung von Reliefparametern	21
6.2	Ableitung von Reliefeinheiten und Reliefklassifizierung	25
7	Methoden zur Erstellung großmaßstäbiger Bodenkarten in den Testgebieten	30
7.1	Bewertung der räumlichen Repräsentativität der Bodendaten	30
7.2	Bewertung der inhaltlichen Qualität der Bodendaten	37
7.3	Transformation der Bodenarten der Bodenschätzung in die Nomenklatur der Bodenkundlichen Kartieranleitung KA5	38
8	Prozesskettenentwicklung und Anwendung von geostatistischen Interpolations- und Prognosemethoden zur Ableitung von Bodenkennwerten	42
8.1	Einführung	42
8.2	Parametrisierung der Prozesskette	43
8.3	Interpolation	46
8.4	Data-Mining	49
8.4.1	Beschreibung des Algorithmus und der Modellgütemaße	49
8.4.2	Beschreibung der verwendeten qualitativen und quantitativen Bodenparameter	51
8.4.3	Prognoseergebnisse und Modellgütemaße für die erste Bodenschicht (Testlauf)	53
8.4.3.1	Prognoseergebnisse und Modellgütemaße für den Bodenparameter Bodenart	53
8.4.3.2	Prognoseergebnisse und Modellgütemaße für den Bodenparameter Nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes	57
8.4.3.3	Interpretation der Ergebnisse	59
8.4.4	Prognoseergebnisse und Modellgütemaße für den gesamten Wurzelraum	60
8.4.4.1	Prognoseergebnisse und Modellgütemaße für den Bodenparameter `Bodenart`	60
8.4.4.2	Prognoseergebnisse für die Bodenparameter Humusgehalt und abgeleiteter K_B -Faktor	64
8.4.4.3	Prognoseergebnisse und Modellgütemaße für den Bodenparameter Nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes (nFKWe)	66
9	Ableitung der nutzbaren Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes (nFKWe) aus den Klassenzeichen der Bodenschätzung	72
9.1	Methodik	72
9.2	Prognoseergebnisse und Modellgütemaße	74
10	Handlungsempfehlungen für die landesweite Übertragung	77
10.1	Zusammenfassung	77
10.2	Prozessablauf zur Ableitung großmaßstäbiger Bodenkarten	77

10.3	Aufschlussdaten der Bodenkundlichen Landesaufnahme aus dem FIS-Boden-Datensatz	79
10.4	Unterlagen Punktdaten Bodenschätzung.....	79
10.5	Modellansatz Flächendaten Bodenschätzung	80
Literaturverzeichnis.....		82
Anhang (Karten).....		85

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Verfügbarkeit digitaler Daten der Bodenkundlichen Landesaufnahme im FIS Boden	11
Abbildung 2:	Verfügbarkeit digitalisierter Grablöcher der Bodenschätzung	12
Abbildung 3:	Lage der Untersuchungsgebiete im Freistaat Sachsen	14
Abbildung 4:	Verfügbarkeit digitaler Daten des FIS Boden im erweiterten Testgebiet Mittelsachsen.....	15
Abbildung 5:	Verfügbarkeit digitaler Grablöcher im erweiterten Testgebiet Mittelsachsen	15
Abbildung 6:	Grünland- und Ackerlandflächen im Testgebiet Mittelsachsen.....	18
Abbildung 7:	Landnutzungsstruktur im erweiterten Testgebiet Mittelsachsen.....	20
Abbildung 8:	Entfernung anthropogener Reliefformen im DGM	20
Abbildung 9:	Reliefattribut Bodenfeuchteindex	22
Abbildung 10:	Reliefattribut, Flood-plain Index	23
Abbildung 11:	Reliefattribut, Massenbilanzindex	23
Abbildung 12:	Reliefattribut, Topographic Position Index	24
Abbildung 13:	Reliefattribut, Normalisierte Höhe	24
Abbildung 14:	Reliefattribut, relative Höhendifferenz zu Fließgewässern.....	25
Abbildung 15:	Primäre Klassifikation in hierarchische Obereinheiten	26
Abbildung 16:	Sekundäre semantische Klassifikation und Zusammenführung zu einfachen Nomenklaturen....	27
Abbildung 17:	Reliefklassifizierung des Attributes „Aue“ im erweiterten Testgebiet Mittelsachsen.....	28
Abbildung 18:	Verteilung der Anteile der Flächengrößen der Bezugseinheiten	29
Abbildung 19:	Lage der FIS-Aufschlüsse innerhalb der Reliefklassen	30
Abbildung 20:	Einordnung von Analyseergebnissen nach Köhn für die Bodenart L, fs3	39
Abbildung 21:	Klassifizierung der Bodenarten für die unterschiedlichen Transformationsmethoden	41
Abbildung 22:	Fließschema zur Prognose und Interpolation von Bodenparametern und -klassen.....	43
Abbildung 23:	Korngrößendiagramm der KA5, generiert mit dem R-Paket soiltexture	44
Abbildung 24:	Reliefeinheiten, Positionen der FIS-Aufschlüsse und Grablöcher vor dem Hintergrund des Reliefparameters Bodenfeuchteindex – Testgebiet Mittelsachsen	45
Abbildung 25:	Ausschnitt des Testgebietes Mittelsachsen mit Reliefobjekten sowie die Häufigkeitsverteilung der Reliefobjektgrößen	46
Abbildung 26:	Semivariogramm, empirisches Variogramm und theoretische Variogrammfunktion für die Kriging-Interpolation des Schluff- und Tongehaltes.....	47
Abbildung 27:	Interpolationsergebnisse für den Schluff- und Tongehalt der obersten 10-cm-Schicht.....	47
Abbildung 28:	Prognoseergebnisse für den Schluff- und Tongehalt der obersten 10-cm-Schicht.....	48
Abbildung 29:	Prinzip von Entscheidungsbaumverfahren	49
Abbildung 30:	Test- und Trainingsdaten der FIS-Aufschlüsse im erweiterten Testgebiet Mittelsachsen.....	50
Abbildung 31:	Die Konfusionsmatrix und Maße der Klassifikationsgenauigkeit	51
Abbildung 32:	Vor- und Nachteile der Verwendung qualitativer und quantitativer Bodenparameter zur Ableitung hochauflösender Bodenkarten durch geostatistische Verfahren	53
Abbildung 33:	Aus FIS-Daten und transformierten Daten der Bodenschätzung abgeleitete Bodenarten (Testgebiet Mittelsachsen)	54
Abbildung 34:	Aus FIS-Daten und Daten der Bodenschätzung abgeleitete nFKWe (Testgebiet Mittelsachsen)	58
Abbildung 35:	Prognosegenauigkeit der Bodenart und Bodenarten-Gruppe des Oberbodens im Vergleich mit den FIS- und GLB-Aufschlüssen.....	61
Abbildung 36:	Prognose der Bodenart des Oberbodens im Vergleich mit den FIS-Aufschlüssen.....	62
Abbildung 37:	Prognose der Bodenart des Oberbodens im Vergleich mit den GLB-Aufschlüssen	62

Abbildung 38:	Prognose der Bodenartengruppe des Oberbodens im Vergleich mit den FIS-Aufschlüssen.....	63
Abbildung 39:	Prognose der Bodenartengruppe des Oberbodens im Vergleich mit den GLB-Aufschlüssen	63
Abbildung 40:	Prognose des Humusgehaltes des Oberbodens im Vergleich mit den FIS-Aufschlüssen	64
Abbildung 41:	Prognose des Humusgehaltes des Oberbodens im Vergleich mit den GLB-Aufschlüssen	65
Abbildung 42:	Prognose des K_B -Faktors des Oberbodens im Vergleich mit den FIS-Aufschlüssen	65
Abbildung 43:	Prognose des K_B -Faktors des Oberbodens im Vergleich mit den GLB-Aufschlüssen	66
Abbildung 44:	Vergleich der nFKWe-Klassen der Aufschlussdaten mit Prognosevarianten und aus der Bodenart abgeleiteten Werten	67
Abbildung 45:	Vergleich der nFKWe-Klassen der Aufschlussdaten mit Prognosevarianten und aus der Bodenart abgeleiteten Werten	68
Abbildung 46:	Statistische Kennwerte zur Übereinstimmung zwischen Prognosedaten und Aufschlüssen für Parameter nFKWe.....	69
Abbildung 47:	Abweichung der nFKWe-Klassen der Prognosewerte von den Klassen der Aufschlussdaten	70
Abbildung 48:	Prognose des nFKWe im Vergleich mit den FIS-Aufschlüssen.....	70
Abbildung 49:	Prognose des nFKWe im Vergleich mit den GLB-Aufschlüssen	71
Abbildung 50:	Aus den Klassenzeichen der Bodenschätzung abgeleitete Werte für die Bodenzahl und die nFKWe nach hessischem Modellansatz	74
Abbildung 51:	Vergleichskarte der nFKWe-Klassen der Aufschlussdaten mit Ergebnissen nach hessischem Modellansatz und digBK50	75
Abbildung 52:	Statistische Güte der Übereinstimmung der nach hessischem Modellansatz abgeleiteten nFKWe mit den nFKWe-Werten der FIS-Aufschlüsse	76
Abbildung 53:	Prozessablauf zur großmaßstäbigen Ausweisung von Bodenfunktionen	78
Abbildung 54:	Anhang Karte 1 – Vergleichskarte (Oberboden) – Aufschlüsse und Prognosedaten FIS/GLB und digBK50	85
Abbildung 55:	Anhang Karte 2 – Vergleichskarte Bodenartengruppe (Oberboden) – Aufschlüsse und Prognosedaten FIS/GLB und digBK50	86
Abbildung 56:	Anhang Karte 3 – Vergleichskarte Humusgehaltsstufen (Oberboden) – Aufschlüsse und Prognosedaten FIS/GLB und digBK50	87
Abbildung 57:	Anhang Karte 4 – Vergleichskarte K_B -Faktor – Aufschlüsse und Prognosedaten FIS/GLB und digBK50.....	88
Abbildung 58:	Anhang Karte 5 – Vergleichskarte nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes – Aufschlüsse und Prognosedaten FIS/GLB und digBK50	89

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Flächenanalyse ATKIS-DLM- und INVEKOS-Daten.....	19
Tabelle 2:	Beschreibung der Reliefparameter ²¹	
Tabelle 3:	Darstellungsgrößen und -arten	28
Tabelle 4:	Anzahl und Raumdichte der FIS-Aufschlüsse in den Landnutzungseinheiten	31
Tabelle 5:	Anzahl und Raumdichte der FIS-Aufschlüsse in den Reliefeinheiten.....	32
Tabelle 6:	Anzahl und Raumdichte der FIS-Aufschlüsse in den Reliefeinheiten (Ackerland)	32
Tabelle 7:	Lage der Reliefpositionen der FIS-Aufschlüsse nach Kartierer in Reliefeinheiten (Mittelsachsen)...	33
Tabelle 8:	Lage der Reliefpositionen der FIS-Aufschlüsse nach Kartierer in Reliefeinheiten (Ostsachsen).....	34
Tabelle 9:	Verwendbarkeit der FIS-Aufschlussdaten nach Prüfung der Plausibilität ihrer Reliefposition (Testgebiet Mittelsachsen; Lösshügelland)	35
Tabelle 10:	Verwendbarkeit der FIS-Aufschlussdaten nach Prüfung der Plausibilität ihrer Reliefposition (Testgebiet Mittelsachsen; Lössstiefland)	35
Tabelle 11:	Verwendbarkeit der FIS-Aufschlussdaten nach Prüfung der Plausibilität ihrer Reliefposition (Testgebiet Ostsachsen; Lösslandschaften des Berglandes)	35
Tabelle 12:	Verwendbarkeit der FIS-Aufschlussdaten nach Prüfung der Plausibilität ihrer Reliefposition (Testgebiet Ostsachsen; Saure Magmatite)	36
Tabelle 13:	Anzahl und Raumdichte der Grablöcher (FESCH) in den Landnutzungseinheiten (Testgebiet Mittelsachsen)	36
Tabelle 14:	Abgeleitete Korngrößenfraktionen für die Bodenarten nach KA5	44
Tabelle 15:	Interne und externe Gütemaße für die Prognose des Schluff- und Tongehaltes	48
Tabelle 16:	Statistische Kennwerte zur Übereinstimmung Prognosedaten und Aufschlüsse für Parameter Bodenart.....	54
Tabelle 17:	Übereinstimmung Prognosedaten und Aufschlüsse für Parameter Bodenart – Korrigierte FIS-Daten.....	55
Tabelle 18:	Übereinstimmung Prognosedaten und Aufschlüsse für Parameter Bodenart – Bodenschätzungsdaten (Transformation NIBIS-Schlüssel)	55
Tabelle 19:	Übereinstimmung Prognosedaten und Aufschlüsse für Parameter Bodenart – Bodenschätzungsdaten (Transformation standortspezifische Anpassung)	56
Tabelle 20:	Übereinstimmung Prognosedaten und Aufschlüsse für Parameter Bodenart – Bodenschätzungsdaten (Transformation mittels NIBIS-Schlüssel) + FIS-Daten.....	56
Tabelle 21:	Übereinstimmung Prognosedaten und Aufschlüsse für Parameter Bodenart – Bodenschätzungsdaten (Transformation durch standortspezifische Anpassung) + FIS-Daten	57
Tabelle 22:	Übereinstimmung der transformierten Bodenarten der Bodenschätzung mit den Angaben der FIS Aufschlüsse für den ersten Dezimeter	59
Tabelle 23:	Übereinstimmung der Prognosedaten und Aufschlussdaten für den Parameter Bodenart der ersten Bodenschicht – Testdatensatz FIS-Aufschlüsse.....	60
Tabelle 24:	Übereinstimmung der Prognosedaten und Aufschlussdaten für den Parameter Bodenart der ersten Bodenschicht – Testdatensatz GLB-Aufschlüsse	61
Tabelle 25:	Ergebnisbeispiele für die nFKWe nach hessischem Modellansatz für den vereinfachten Ackerschätzungsrahmen	73

Abkürzungsverzeichnis

ABAG	Allgemeine Bodenabtragungsgleichung
AG	Auftraggeber
ALKIS	Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem
ATKIS-DLM	Digitales Basis-Landschaftsmodell
BDF	Bodendauerbeobachtungsflächen
BA	Bodenart
BAG	Bodenartengruppe
BLA	Bodenkundliche Landesaufnahme
BOSSA-SH	Bodenschätzungs-Standard-Auswertung Schleswig-Holstein
BS	Bodenschätzung
BS-KLZ	Klassenzeichen der Bodenschätzung
DB	Datenbank
DGM	Digitales Geländemodell
digBK50	Digitale Bodenkarte 1:50.000
FESCH	Feldschätzungsbuch
FIS	Fachinformationssystem
GG	Gesamtgenauigkeit
GIS	Geoinformationssystem
GK	Gauß-Krüger
GK25	Geologische Karte 1:25.000
GLB	Grablockbeschreibung
GMK	Geomorphographische Karte
HG	Herstellergenauigkeit
HUT	Höhe über Tiefenlinie
INVEKOS	Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystem
KA4	Bodenkundliche Kartieranleitung, 4.Aufgabe
KA5	Bodenkundliche Kartieranleitung, 5.Aufgabe
KA6	Bodenkundliche Kartieranleitung, 6.Aufgabe
LAGB	Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt
Ld	Lagerungsdichte
LfULG	Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
LMBV	Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft
MMK	Mittelmaßstäbige landwirtschaftliche Standortkartierung
MBI	Massenbilanzindex
nFKWe	nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes
NIBIS	Niedersächsisches Bodeninformationssystem
NG	Nutzergenauigkeit
RA	Reliefattribut
RMSE	Root Mean Square Error
TK	Topographische Karte

1 Einleitung und Zielstellung

Für den Freistaat Sachsen liegt als bodenkundliches Kartenwerk die blattschnittfreie digitale Bodenkarte im Maßstab 1:50.000 (digBK50) vor. Darin sind repräsentative Leit- und Begleitbodenformen als Legendeneinheiten räumlich dargestellt und durch Profilingaben gekennzeichnet. Im Fachinformationssystem (FIS) Boden des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) sind etwa 60.000 Bodenprofile sowie 64.000 Flächendaten der digBK50 enthalten.

Für die Unterlagen der Bodenschätzung liegen digitalisierte Erfassungsdaten als Punkt- und Flächendatensätze für einzelne Gemarkungen vor. Ausgehend vom flächendeckenden Vorhandensein der mittelmaßstäbigen digBK50 und räumlich hochauflösender Punkt- und Flächendatensätze im FIS Boden sowie der Bodenschätzungsdaten war es Ziel des Vorhabens, auf Basis des genannten Datenbestandes Prozessabläufe zu entwickeln, mit denen großmaßstäbige Bodenfunktionskarten, einschließlich relevanter Bodenkennwerte, erzeugt werden können.

Zur Anwendung kamen digitale Gelände- und Landschaftsmodelle und geostatistische Berechnungsmethoden, die eine Prognose der Entwicklung von Bodenkennwerten in die Fläche ermöglichen. Zu bewerten war die Aussage-dichte und Aussageintensität der Punktdaten sowohl der BK50, als auch der Bodenschätzung.

Zielebenen sind qualitative bodenkundliche Merkmale, wie z. B. Bodenart oder Humusgehalt, aus denen Karten generiert und bodenkundliche Sekundärinformationen abgeleitet werden können, von denen verschiedene Anwendungsbereiche, wie Bodenschutz, Bodenkartierung, Landwirtschaft, Hochwasserschutz sowie kommunale und lokale Planung profitieren können. Zusätzlich sind quantitative Parameter wie die nutzbare Feldkapazität direkte Zielmerkmale, die einen kontinuierlichen metrischen Verlauf aufweisen und somit gut für direkte Auswertungen geeignet sind. Folgende Arbeitsbereiche sind Schwerpunkt des Vorhabens:

- Übernahme, Qualitätsprüfung, Homogenisierung und Generalisierung der im FIS Boden vorhandenen Datenbestände als Grundlage für die Eruiierung und Anwendung von Methoden zur Ableitung großmaßstäbiger Bodeninformationen
- Eruiierung, Zusammenstellung, Bewertung und testweise Anwendung von geostatistischen Berechnungs-, Interpolations- und Darstellungsmethoden zur maßstabsgerechten Erarbeitung digitaler Bodeninformationen (Bodenkennwerte)
- Erarbeitung eines methodischen Handlungsleitfadens zur landesweiten Übertragung der Methoden und Bewertung des Optimierungsgrades durch Einbeziehung der Unterlagen der Bodenschätzung
- Praktische Anwendung der eruierten Methoden für festzulegende Bodenkennwerte in ausgewählten Test- bzw. Untersuchungsgebieten
- Zusammenfassung der Ergebnisse

2 Verwendete Datengrundlagen

Für die Projektbearbeitung wurden folgende Daten durch das LfULG in digitaler Form bereitgestellt:

- Bodenaufschlüsse aus Oracle-DB des Fachinformationssystems Boden (FIS), einschließlich bewerteter Leitprofilaufschlüsse der Bodenkundlichen Landesaufnahme (BLA)
- Digitale Bodenkarte 1:50.000 (digBK50) mit den Parametern des Oberbodens
- Bodenlandschaften und -regionen
- Daten der Bodenschätzung (Polygone der Klassenflächen; Aufschlusspunkte, Musterstücke)
- FESCH-Grablöcher mit Schicht- und Horizontdaten für zwei Testgebiete (Mittel-, Ostsachsen)
- Waldbodenkarte
- Geologische Karte 1:50.000 (GK50)
- Geomorphographische Karte 1:20.000 (GMK20)
- Digitales Geländemodell 2 m (DGM2) und 5 m (DGM5)
- Digitales Landschaftsmodell (ATKIS-DLM)
- Feldblockgrenzen aus INVEKOS
- Gemeinde- und Gemarkungsgrenzen
- Grenzen der Bodenlandschaften

Aus dem übergebenen FIS-Datenstand wurde für die Projektbearbeitung ausschließlich auf die Aufschlüsse der Bodenkundlichen Landesaufnahme (BLA) und die Bodendauerbeobachtungsflächen (BDF) zurückgegriffen. Ausschlaggebend hierfür war, dass diese Bodenansprachen auf der Grundlage der Bodenkundlichen Kartieranleitung (KA5; AD-HOC-AG BODEN 2005) erfolgten und vollständige Profilbeschreibungen vorliegen. Zur Vereinfachung wird nachfolgend die Kurzform der Bodenkundlichen Kartieranleitung (KA) ohne Quellenangabe verwendet. Auf dieser Grundlage war es möglich, bodenkundliche Auswertungen und Parameterzuweisungen durchzuführen, die dem Qualitätsanspruch einer hochauflösenden Bodenkarte entsprechen. Dieser Anspruch konnte von den anderen in der FIS-Datenbank enthaltenen Aufschlüssen nicht gewährleistet werden bzw. hätte es einer eingehenden Qualitätsprüfung der Profilbeschreibungen bedurft, was nicht Inhalt und Gegenstand des Projektes war.

Um die Daten der Bodenschätzung im Projekt nutzen zu können, erfolgte die Transformation der Bodenarten der Bodenschätzung in die Nomenklatur der KA5 im Rahmen der Projektbearbeitung mittels unterschiedlicher Transformationsschlüssel. Einen Überblick über die räumliche Verteilung der verfügbaren digitalen Bodenaufschlüsse des FIS Boden und der Grablöcher der Bodenschätzung im Freistaat Sachsen geben Abbildung 1 und Abbildung 2.

Im Rahmen der geostatistischen Modellierung wurde der Versuch unternommen, die Boden-Relief-Beziehungen der Bodenschätzungsdaten auch auf nichtlandwirtschaftlich genutzte Flächen zu transformieren. Die Gütemaße für diese Flächen sind jedoch sehr gering, deshalb sollten die Ergebnisse der Bodenschätzung ausschließlich für landwirtschaftlich genutzte Flächen verwendet werden.

Die übergebenen Daten wurden aus den unterschiedlichen Datenformaten in ein einheitliches GIS-Format und Koordinatensystem (ETRS 89/ UTM-Zone 33N) überführt und in eine GIS-Datenbank eingearbeitet.

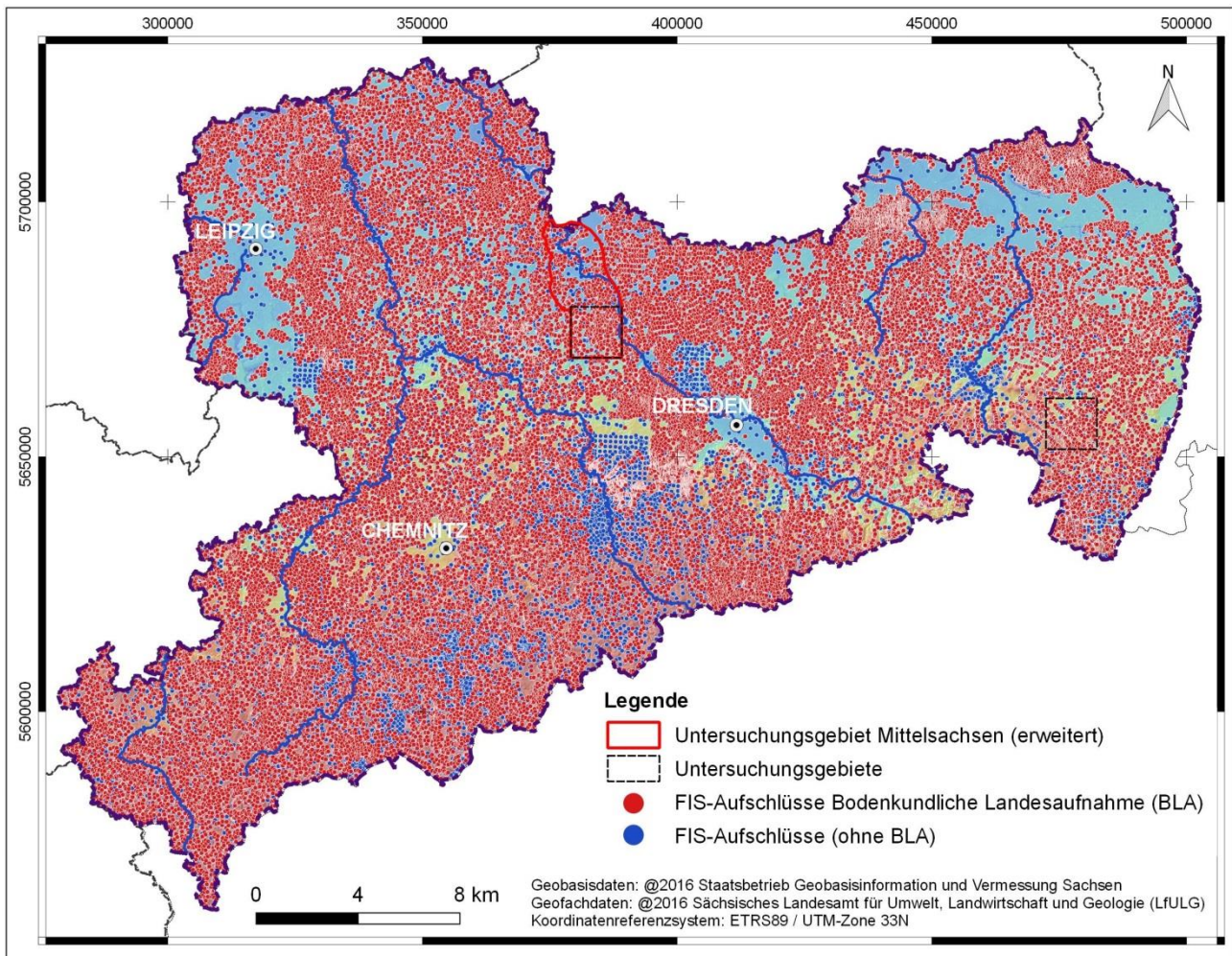


Abbildung 1: Verfügbarkeit digitaler Daten der Bodenkundlichen Landesaufnahme im FIS Boden

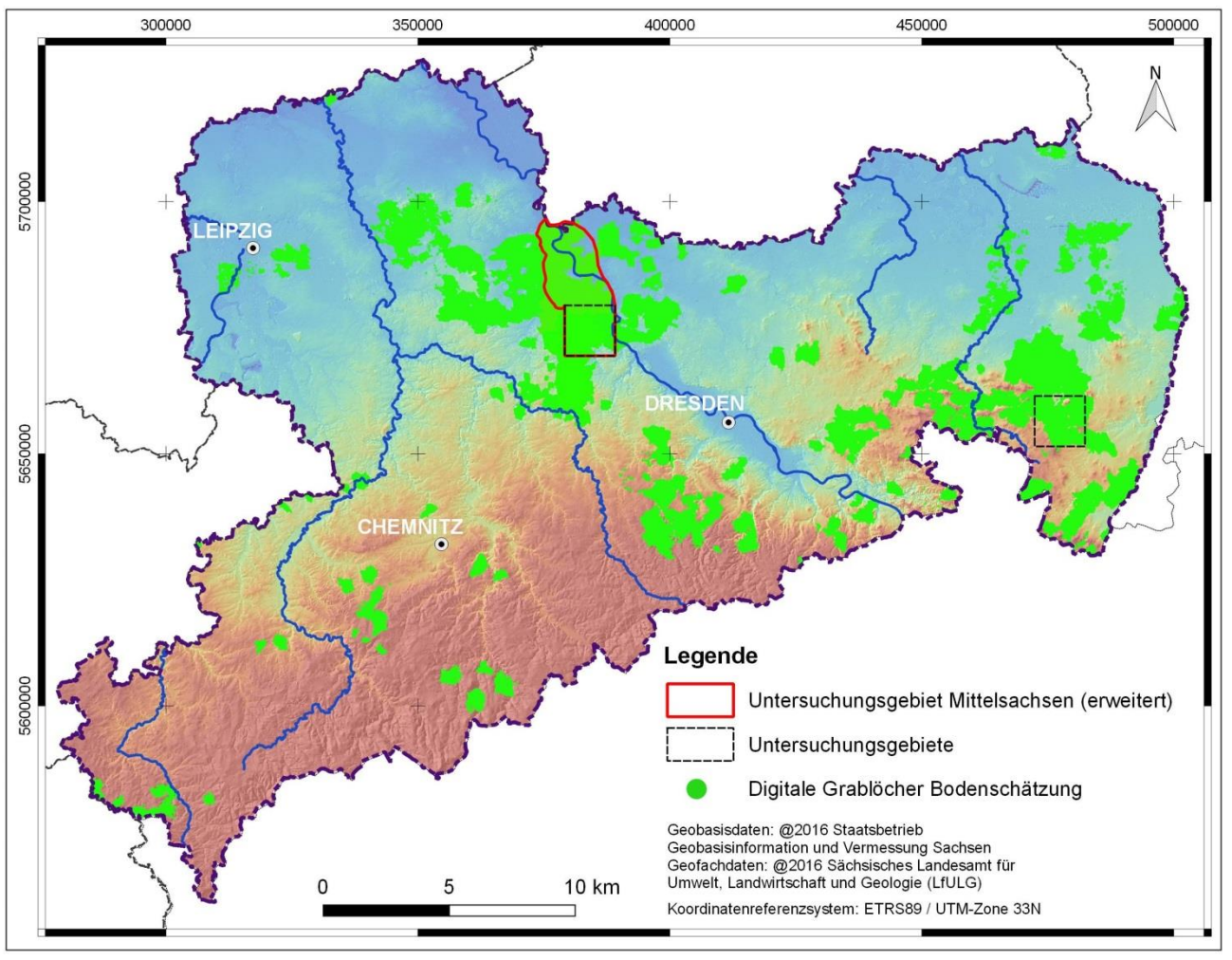


Abbildung 2: Verfügbarkeit digitalisierter Grablöcher der Bodenschätzung (Stand 29.09.2016)

3 Untersuchungsgebiete

Die Bearbeitung des Projektes erfolgte in zwei Arbeitsetappen. Innerhalb der ersten Etappe standen die Eruiierung und Anwendung von Methoden im landesweiten Maßstab und deren praktische Anwendung in ausgewählten Test- bzw. Untersuchungsgebieten im Fokus der Arbeiten. Hierzu wurden durch das LfULG zwei Testgebiete mit einer Gesamtfläche von jeweils 100 km² (Abbildung 3) ausgewählt. Das Testgebiet Mittelsachsen befindet sich innerhalb der Landschaftseinheiten „Nordsächsisches Lössstief- und Plattenland“ im Norden und „Mittelsächsisches Lösshügelland“ im südlichen Teil. Zusätzlich sind kleinere Ausschnitte dem „Riesa-Torgauer Elbtal“ zuzuordnen. Das Testgebiet Ostsachsen gehört zu großen Teilen dem „Bautzner- und Oberlausitzer Lösshügelland“ an. Im Südwesten reichen bereits die Ausläufer des „Oberlausitzer Hügellandes“ in das Gebiet hinein.

Die Qualitätsprüfung und Homogenisierung der FIS-Datenbestände der Bodenkundlichen Landesaufnahme konnten aufgrund der für den gesamten Freistaat vorliegenden Bodenaufschlüsse landesweit durchgeführt werden. Dagegen liegen die Daten der Bodenschätzung und die FESCH-Grablöcher mit den zugehörigen Schicht- und Horizontdaten noch nicht flächendeckend, sondern nur für einzelne Gemarkungen des Freistaates Sachsen, u. a. für die oben genannten Testgebiete vor. Um dennoch eine vergleichende Bewertung der räumlichen Repräsentativität und der inhaltlichen Qualität der Datenbestände sowie die Anwendung erster Tests zur Erarbeitung und Anwendung von Methoden zur Erstellung großmaßstäbiger Bodenkarten unter Nutzung der BLA- und FESCH-Daten durchführen zu können, erfolgte dies exemplarisch in den beiden Testgebieten.

Um im Ergebnis dieser 1. Arbeitsetappe die Prozesskettenentwicklung und Anwendung von geostatistischen Interpolations- und Prognosemethoden zur Ableitung von Bodenkennwerten in einem Landschaftsausschnitt mit unterschiedlichen Relief-, Boden-, Geologie- und Landnutzungseigenschaften gesamtheitlich entwickeln und erproben zu können, wurde in der 2. Arbeitsetappe das Untersuchungsgebiet Mittelsachsen priorisiert und nach Norden erweitert. Das erweiterte Testgebiet Mittelsachsen weist eine Fläche von 281 km² auf und umfasst 83 Gemarkungen. Neben den oben genannten Landschaftseinheiten ist der nordöstliche Teil zusätzlich der „Elsterwerda-Herzberger Elsterniederung“ zuzuordnen. Darüber hinaus nimmt die Landschaftseinheit „Nordsächsisches Lössstief- und Plattenland“ einen deutlich größeren Anteil an der Gesamtfläche ein als im zunächst festgelegten 100 km² großen Testgebiet. Insgesamt liegen im Untersuchungsraum 662 FIS-Aufschlüsse der Bodenkundlichen Landesaufnahme sowie 12.133 digitale FESCH-Grablöcher der Bodenschätzung mit Schicht- und Horizontdaten vor (Abbildung 4 und Abbildung 5). Zugunsten des erweiterten Testgebiets Mittelsachsen wurde auf eine vertiefende Betrachtung des ursprünglich geplanten Testgebietes Ostsachsen verzichtet.

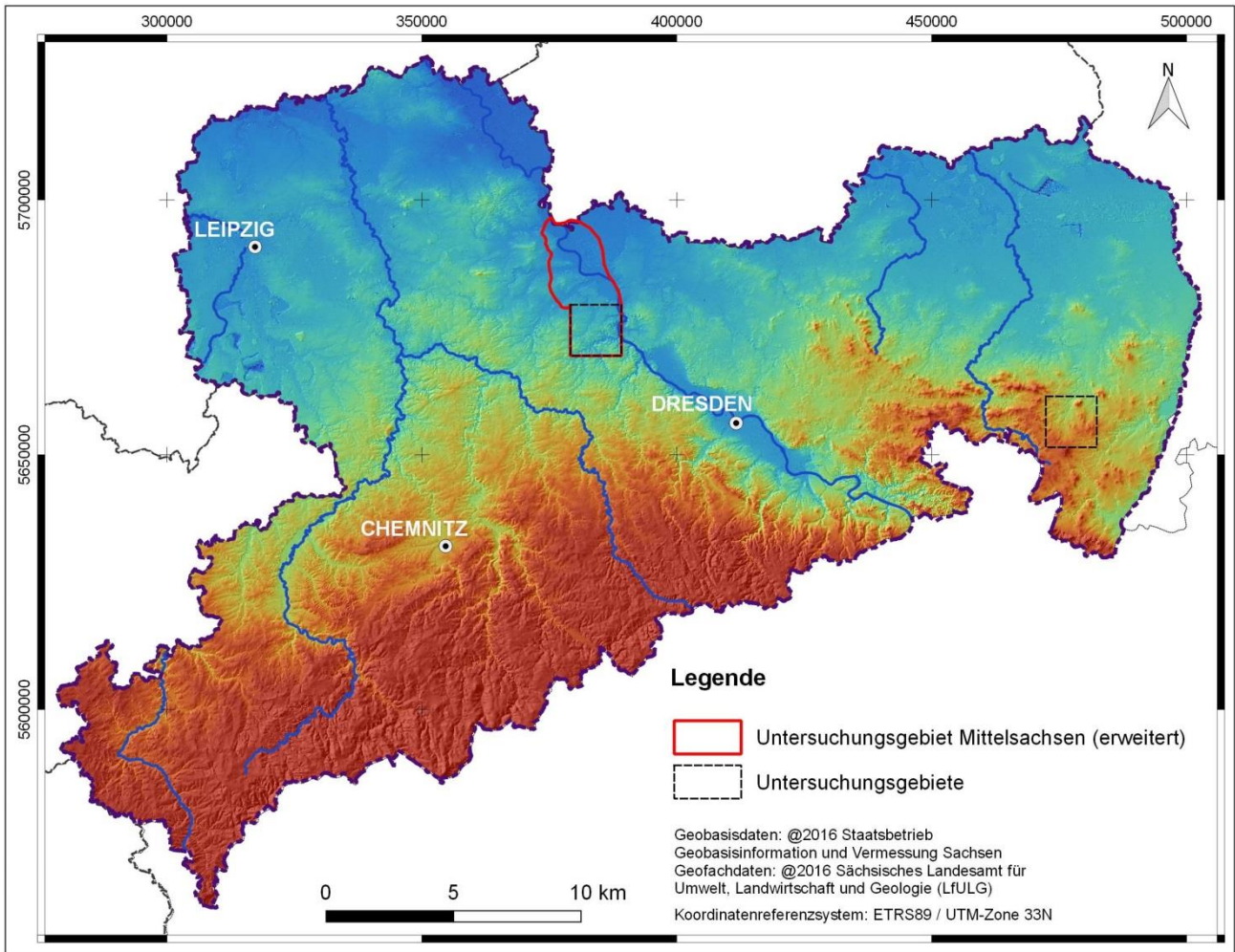


Abbildung 3: Lage der Untersuchungsgebiete im Freistaat Sachsen

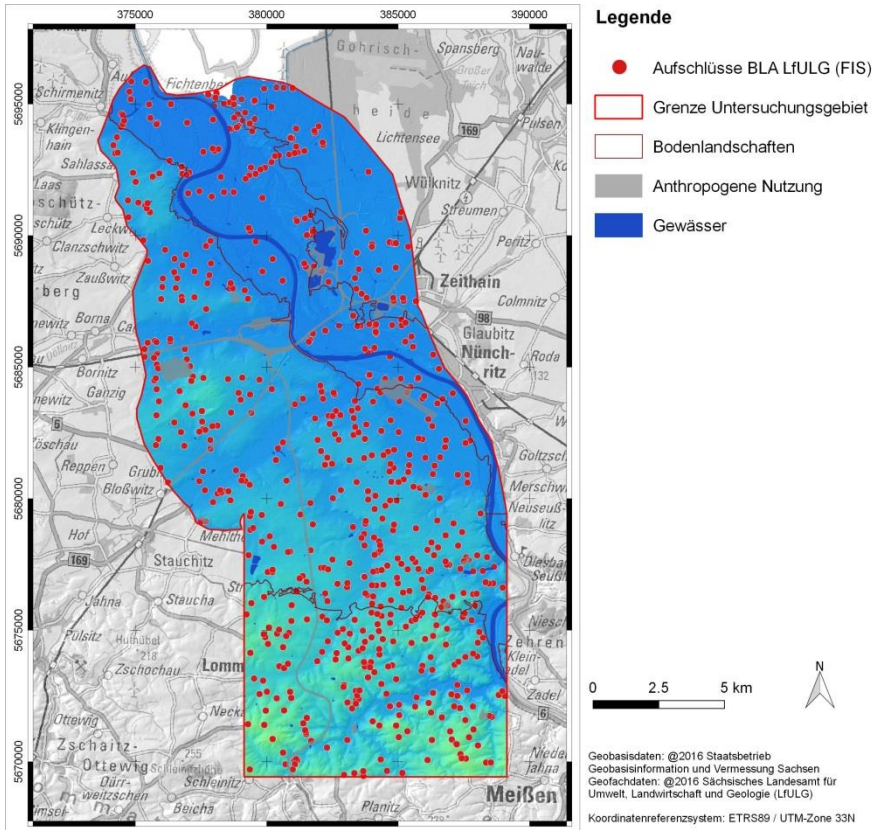


Abbildung 4: Verfügbarkeit digitaler Daten des FIS Boden (BLA) im erweiterten Testgebiet Mittelsachsen

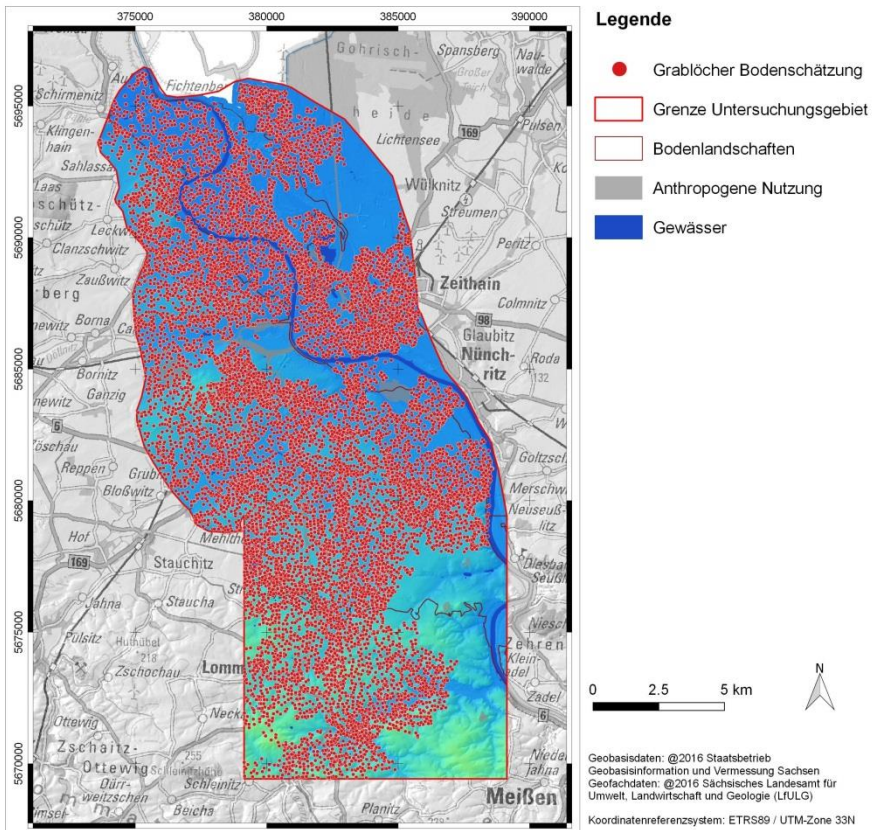


Abbildung 5: Verfügbarkeit digitaler Grablöcher (Bodenschätzung) im erweiterten Testgebiet Mittelsachsen

4 Räumliche Qualitätsprüfung und Homogenisierung der Datenbestände „Boden“

4.1 Qualitätsprüfung der bodenkundlichen Datenbestände

4.1.1 Bodenaufschlüsse aus Oracle-Datenbank (FIS-Datensatz)

In einem ersten Arbeitsschritt erfolgte die GIS-basierte Prüfung der Punktdaten der Bodenaufschlüsse aus der Oracle-DB. Hierfür standen sowohl der Gesamtdatenbestand an Bodenaufschlüssen als auch der extrahierte und weiterverarbeitete Datensatz der ausschließlich im Rahmen der Bodenkundlichen Landesaufnahme erfassten Bodenaufnahmen zur Verfügung. Folgende Erkenntnisse lieferte die erste Datenprüfung des Gesamtdatenbestandes:

■ Koordinatensystem

- Punktdaten sind in unterschiedlichen Gauß-Krüger-Zonen (GK) 4 und 5 abgelegt.
- Die Zylinder liegen für einzelne Aufschlüsse nicht sauber getrennt vor; teils liegen Aufschlüsse aus GK 4 in GK 5.
- Einzelne Aufschlüsse weisen eine komplett fehlerhafte Lage auf und konnten aufgrund der Lageunsicherheit nicht weiterverwendet werden.

■ Metadaten

- Die Liste zu Inhalten der Projekte ist unvollständig bzw. ist eine eindeutige Definition der Intensität der Aufschlüsse nicht vorhanden.
- Die Art des Aufschlusses fehlt teilweise.

Nach Abschluss der Qualitätsprüfung für den gesamten Datenbestand erfolgte die Übergabe eines Teildatenbestandes aus der Oracle-DB, der ausschließlich die Ergebnisse der Bodenkundlichen Landesaufnahme umfasst. Da dieser Datensatz ergänzende Parameterangaben enthielt, die für die weiterführende Projektbearbeitung relevant waren, erfolgte auch hier die Prüfung des Datenbestandes. Im Vordergrund stand die Prüfung der Lagegenauigkeit der Aufschlüsse mittels einer Analyse der im Datensatz enthaltenen Koordinaten.

Unter Berücksichtigung ihrer Lage in Nutzungs- und Reliefeinheiten erfolgte in einer zweiten Stufe die Bewertung der Bodenaufschlüsse in den festgelegten Testgebieten hinsichtlich ihrer Repräsentativität für die weiterführenden Untersuchungen. Dieser schloss sich die Prüfung ausgewählter Bodenkennwerte der Aufschlüsse der Bodenkundlichen Landesaufnahme (BLA) an. Im Detail wird hierzu in den Kapiteln 7.1 und 7.2 eingegangen.

4.1.2 Digitale Bodenkarte 1:50.000 (digBK50)

Die Analyse der digBK50 ergab folgende Erkenntnisse:

- Es existieren drei Darstellungsgrößen, die sich an Blattschnittgrenzen der Topographischen Karte 1:25.000 (TK25) orientieren und etwa Maßstabsebenen von 1:25.000 bis 1:50.000 entsprechen.
- In Bereichen höherer Auflösungen liegt eine deutlich höhere Informationsdichte vor (z. B. Kolluvialböden).
- Die kleinste Größe der Kartierungseinheiten weicht von der Vorgabe 4-6 ha für digBK 50 ab.

Im Projektverlauf wurde darauf verzichtet, die Raumeinheiten (Polygone) der digBK50 als räumliche Bezugseinheiten für die relief-nutzungsbasierte Anwendung geostatistischer Berechnungs- und Interpolationsmethoden zu nut-

zen. Vielmehr wird auf die aufbereitete Datenbank (Punktdatei) der Bodenkundlichen Landesaufnahme (FIS-Daten) zurückgegriffen. Die digBK50 wurde als Vergleichskarte den Ergebnissen der Bodenprognose (siehe Anhang) gegenübergestellt.

4.2 Qualitätsprüfung der Unterlagen der Bodenschätzung

Die übergebenen Unterlagen der Bodenschätzung beinhalten die ALKIS-Karte der Klassenflächenzeichen und den FESCH-Auszug der Grablochbeschriebe. Die Verknüpfung von Grablöchern mit den zugehörigen Klassenflächen erfolgt über die Felder Flid (= ID der Klassenfläche) und Pidf (ID des Grablochbeschriebes). Im Rahmen der Digitalisierung der Grablochbeschriebe durch die Finanzverwaltungen in das FESCH wurde das durch den amtlichen Bodenschätzer aufgenommene Bodengefüge (Feld: BOGEFn; n = Schichtnummer), welches Angaben zum Humus-, Skelett-, Kalk- und Eisengehalt sowie die Bodenart - Hauptbodenart + Nebenbodenart + Ergänzung enthält, bereits in entsprechende Einzelfelder zerlegt.

Da die ALKIS- und die FESCH-Daten in Sachsen durch unterschiedliche Behörden geführt werden, wurde durch das LfULG der FESCH-Datensatz als der Datenbestand, der relevant für die Ableitung bodenkundlicher Informationen ist, logisch und fachlich geprüft sowie mit den Grablochkoordinaten aus dem ALKIS verknüpft. Innerhalb des Projektes wurde somit davon ausgegangen, dass die Lage der Grablöcher korrekt ist. Eine nochmalige Prüfung auf Übereinstimmung der Angaben aus der Karte der Klassenzeichen mit den Grablöchern erfolgte nicht.

Aus diesem Datensatz erstellte das LfULG einen Auszug für die Gemarkungen des Testgebietes, der gemarkungsweise übergeben und zu einem Datensatz vereinigt wurde. Dieser Datensatz bildete die Grundlage für die weiteren Auswertungen und enthält u. a folgende projektrelevanten Daten:

- Klassenzeichen
- Boden-, Acker- und Grünlandzahl
- Bodengefügebeschriebe
- Mächtigkeit, Angabe der unteren Schichttiefe
- Bodenart Bodenschätzung (Hauptbodenart, Nebenbodenart(en), Ergänzungen)
- Skelett

5 Aufbereitung der Grundlagendaten zu Landnutzung und Relief

5.1 Analyse und Aufbereitung der Landnutzungsdaten

Für die Schaffung von Landnutzungs-Reliefeinheiten ist es erforderlich, räumliche Bezüge zwischen bodenkundlichen Daten und Landnutzungseinheiten (Acker, Grünland, Wald) herzustellen. Für die Differenzierung vorwiegend landwirtschaftlicher Nutzungen (Acker-, Grünland) stehen als Datenbasis das digitale Landschaftsmodell (ATKIS-DLM) und die Feldblockeinheiten aus dem INVEKOS-Datenbestand zur Verfügung. Abbildung 6 zeigt exemplarisch für das Testgebiet Mittelsachsen die Flächenverteilung von Grün- und Ackerflächen für den ATKIS-DLM- und INVEKOS-Datensatz. Sichtbar ist ein größerer Anteil an Grünlandflächen im ATKIS-DLM. Dies spiegelt gleichermaßen der Vergleich für beide Testgebiete anhand Tabelle 1 wieder. Hierzu wurden sämtliche Grünland- und Ackerflächen beider Datensätze miteinander verschnitten. Im Testgebiet Mittelsachsen sind für das ATKIS-DLM 915,2 ha als Grünland ausgewiesen, im INVEKOS-Bestand nur 758,8 ha. Daraus erklärt sich auch ein relativ geringer Deckungsgrad in beiden Datensätzen von 58,9 % (Mittelsachsen) bzw. 66,7 % (Ostsachsen). Deutlich höher ist der Deckungsgrad für die Ackerflächen (> 90 %). In Addition der Acker- und Grünlandflächen zeigt der ATKIS-DLM-Datensatz eine größere Gesamtfläche in beiden Testgebieten als der INVEKOS-Datensatz. Das lässt sich vorwiegend durch die größere Lagegenauigkeit bei der Ausgrenzung der INVEKOS-Flächen erklären. Im Gegensatz zum ATKIS-DLM sind im INVEKOS-Datensatz nicht-landwirtschaftlich genutzte Flächen zwischen ausgewiesenen Feldblöcken nicht belegt (z. B. Wege, Straßen, Gräben). Maßstabsbedingt ist eine solche Ausgrenzung im ATKIS-DLM nicht vorhanden, sodass Flächengrenzen zwar durch Linien gekennzeichnet, aber geometrisch ungenauer ausgewiesen sind als beim INVEKOS-Datensatz.

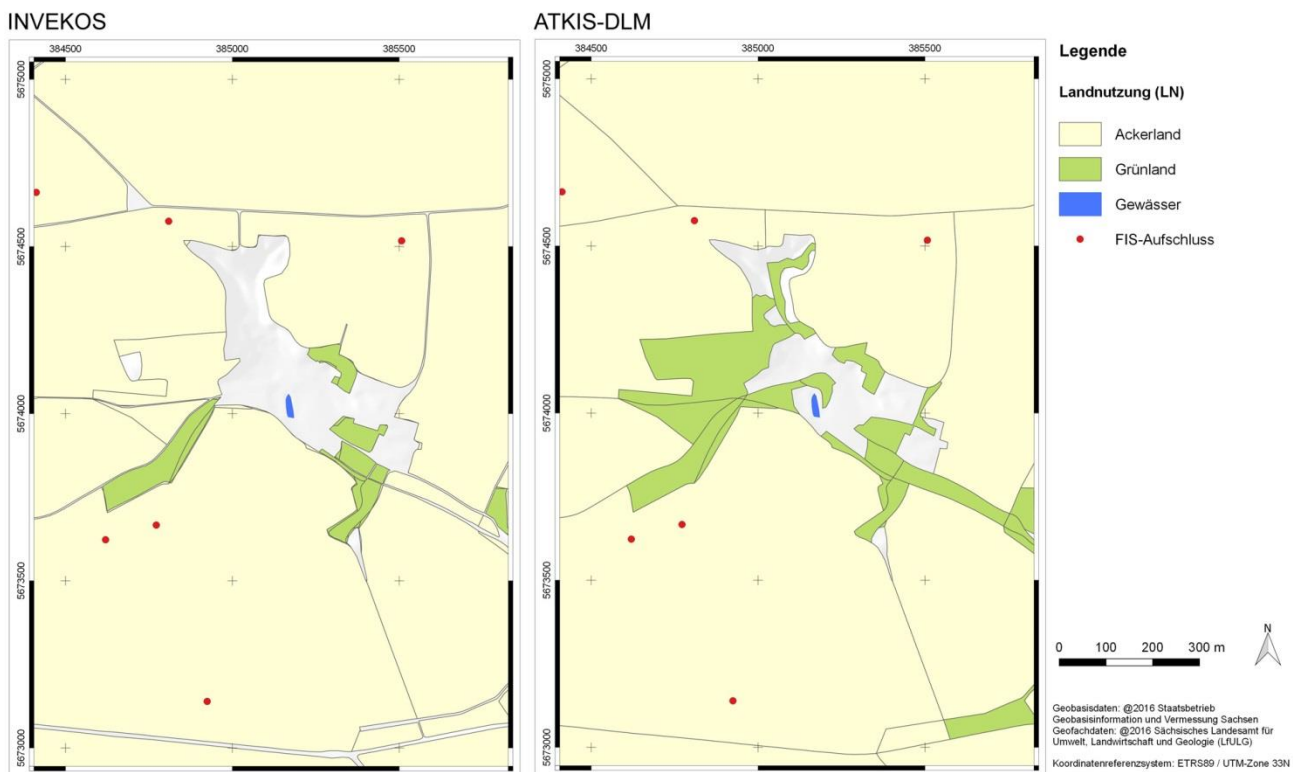


Abbildung 6: Grünland- und Ackerlandflächen im Testgebiet Mittelsachsen

Die im INVEKOS-Datensatz gewährleistete hohe Flächengenauigkeit ist insbesondere bei der Einbeziehung von Reliefinformationen von großer Bedeutung, um zu vermeiden, dass sich Ackerflächen rein geometrisch auf abgegrenzten Verkehrsflächen mit Dammstrukturen befinden, und so Fehlinterpretationen bei der Reliefklassifikation ergeben.

Tabelle 1: Flächenanalyse ATKIS-DLM- und INVEKOS-Daten

	Testgebiet Mittelsachsen	Testgebiet Ostsachsen
Gesamtfläche Acker - INVEKOS	7.595,9 ha	5.289,3 ha
Gesamtfläche Acker - ATKIS-DLM	7.629,4 ha	5.206,9 ha
Acker in INVEKOS enthalten/nicht in ATKIS-DLM enthalten	2,0 %	4,1 %
Acker in ATKIS-DLM enthalten/nicht in INVEKOS enthalten	2,4 %	4,4 %
Acker in INVEKOS und ATKIS-DLM enthalten	95,6 %	91,4 %
Gesamtfläche Grünland – INVEKOS	758,8 ha	1.175,6 ha
Gesamtfläche Grünland – ATKIS-DLM	915,2 ha	1.441,7 ha
Grünland in INVEKOS enthalten/nicht in ATKIS-DLM enthalten	13,1 %	7,1 %
Grünland in ATKIS-DLM enthalten/nicht in INVEKOS enthalten	28,0 %	26,3 %
Fläche Grünland in INVEKOS und in ATKIS-DLM enthalten	58,9 %	66,7 %

Im Rahmen des Vorhabens wurde der ATKIS-Datensatz als Landnutzungsgrundlage verwendet, da er flächendeckende Landnutzungsinformationen enthält.

Die Nutzungen Ackerland, Grünland, Wald, Obst und sonstige Vegetation wurden als überlagernder Datensatz in den Testgebieten verwendet. Siedlungs- und Verkehrsflächen wurden nur informell klassifiziert und für die weitere Analyse nicht berücksichtigt. Im Ergebnis standen für beide Testgebiete digitale Landnutzungskarten zur Verfügung. Abbildung 7 zeigt die Landnutzungsklassifizierung für das erweiterte Testgebiet Mittelsachsen vor dem Hintergrund der Verteilung der FIS-Aufschlüsse der Bodenkundlichen Landesaufnahme.

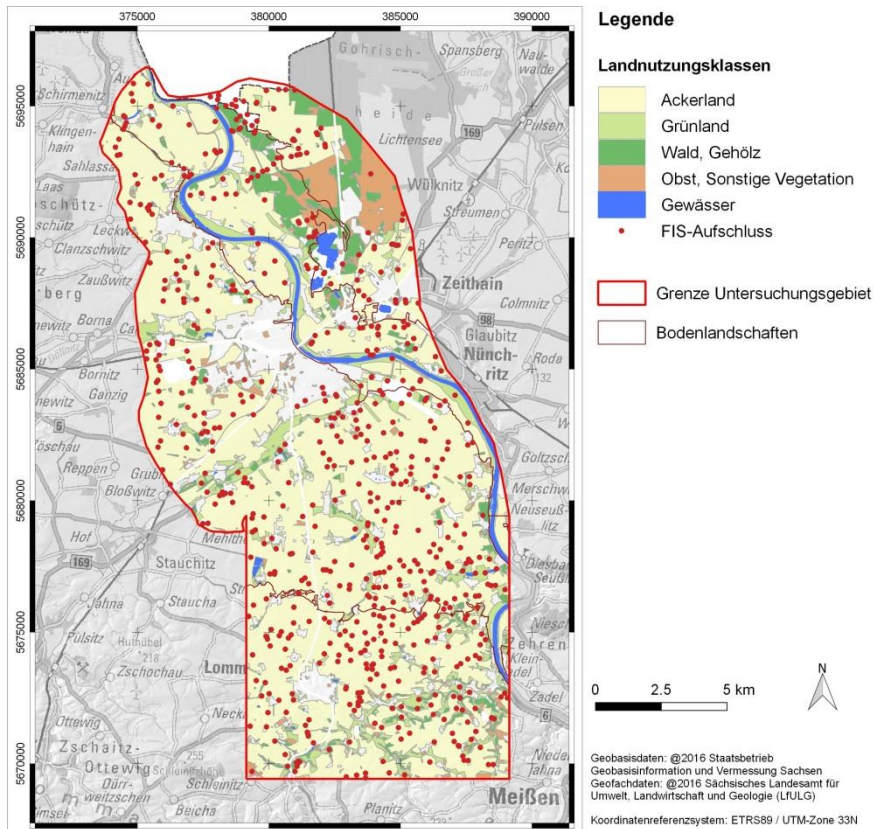


Abbildung 7: Landnutzungsstruktur im erweiterten Testgebiet Mittelsachsen

5.2 Aufbereitung des digitalen Geländemodells (DGM5)

Im DGM 5 enthaltene anthropogene Elemente (v. a. Dämme im Bereich von Verkehrsanlagen) beeinflussen die Ableitung von Reliefparametern und können Ergebnisse verfälschen. Demzufolge ist für die Reliefanalyse im Zusammenhang mit der Bodenkundlichen Landesaufnahme ein DGM zu nutzen, welches möglichst die natürliche Oberfläche abbildet. Insofern müssen anthropogene Reliefformen eliminiert werden. Dies wurde indirekt umgesetzt, indem nur das DGM im Bereich der zuvor erarbeiteten Landnutzungsklassen Ackerland, Grünland und Wald unverändert genutzt wurde. Für die Nutzungsbereiche außerhalb der genannten Klassen erfolgte die räumliche Interpolation (Nivellierung) des DGM – ausgehend von den benachbarten Randbereichen. Abschließend wurde eine manuelle Nachkontrolle und ggf. Korrektur auffälliger Strukturen im DGM vorgenommen. Abbildung 8 zeigt exemplarisch das aufbereitete DGM (rechts) nach Eliminierung eines Straßenkörpers.

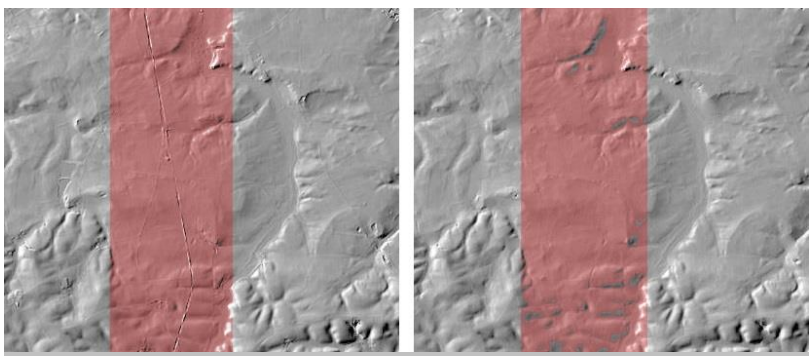


Abbildung 8: Entfernung anthropogener Reliefformen im DGM

6 Ableitung von Reliefparametern und Reliefseinheiten

6.1 Ableitung von Reliefparametern

Das bereitgestellte digitale Geländemodell bildet die Grundlage für die Ableitung geomorphometrischer Reliefattribute (RA), die in drei Kategorien unterschieden werden können (WILSON und GALLANT 2000, HENGL und REUTER 2009):

- Einfache Reliefattribute gehen aus der Anwendung lokaler Fensteroperationen hervor.
- Komplexe Parameter sind das Ergebnis von Operationen, die sich auf Relationen räumlich entfernter Rasterzellen beziehen.
- Kombinierte Attribute werden durch die Anwendung analytischer Funktionen auf einfache oder komplexe Attribute berechnet.

Die verwendeten Attribute sind in Tabelle 2 dokumentiert. Deren Berechnung erfolgte unter Verwendung des R-Paketes RSAGA (BRENNING 2008), das den Zugriff auf Reliefanalysefunktionen des Programmes SAGA GIS ermöglicht (CONRAD ET AL. 2015).

Tabelle 2: Beschreibung der Reliefparameter

Reliefparameter		Definition	Quelle
Höhe	DEM		
Neigung	SLP	Winkel des größten Gefälles in Grad oder Prozent	ZEVENBERGEN und THORNE (1987)
Vertikalkrümmung	KV	Veränderung der Neigungsstärke in Richtung des potenziellen Wasserflusses	ZEVENBERGEN und THORNE (1987)
Horizontalkrümmung	KH	Longitudinale Veränderung der Neigungsstärke	ZEVENBERGEN und THORNE (1987)
Gesamtkrümmung	KG	Summe aus VK und HK	
Bodenfeuchteindex	BFI	Grad der reliefabhängigen Feuchteverteilung	BEVEN und KIRKBY (1979)
Flood-plain Index 1	FPI	Kennzeichnung der Tendenz einer Rasterzelle hinsichtlich potenzieller Flachheit, hoher Fließakkumulation und geringer Höhe über Tiefenlinie $(1 + N) * (1 - BFI) * (1 + HUT)$	MÖLLER ET AL. (2012)
Modifizierter FPI	FPI2	$(HUT + 1) * (1 - BFI)$	HÄRING ET AL. (2012)
Massenbilanzindex	MBI	Kennzeichnung der Tendenz einer Rasterzelle zu Akkumulation, Abtrag oder ausgeglichener reliefbezogener Massenbilanz unter Berücksichtigung der bodenspezifischen Erodierbarkeit $(VK + HK) * (1 + N)$	MÖLLER ET AL. (2008, 2012); MÖLLER und VOLK (2015); FRIEDRICH (1996)
Konvergenzindex	CI		KOETHE und LEHMEIER (1996)
Terrain Classification Index for Lowlands	TCI	parametrisiert reliefbildende Prozesse in flach geneigten Gebieten und in Tiefländern – gebildet aus HUT und BFI	BOCK ET AL. (2007)

Fortsetzung Tabelle 2: Beschreibung der Reliefparameter

Reliefparameter	Definition	Quelle
Topographic Position Index	TPI	GUIBAN ET AL. (1999)
Relative Hangposition	RHP	Wert zwischen 0 = Hangfuß und 1 = Kamm BOEHNER und SELIGE (2006); MACMILLAN ET AL. (2004)
Höhe über Tiefenlinie	HUT	relative Höhendifferenz zu Tiefenlinien CONRAD ET AL. (2015)
Höhe unter Kulminationslinie	HUK	relative Höhendifferenz zu Tiefenlinien auf Basis des inversen DGM CONRAD ET AL. (2015)
Höhe über Fließgewässer	HUF	relative Höhendifferenz zu Fließgewässern CONRAD ET AL. (2015)
Multiresolution Index of Valley Bottom	MRV BV	GALLANT und DOWLING (2003)
Flatness	OPN	Grad der Sichtbarkeit bzw. Offen- heit/Geschlossenheit der (unregelmäßigen) Landschaft von einem bestimmten Ort aus YOKOYAMA ET AL. (2002)

Die Ableitung der Reliefparameter erfolgte sowohl für die Testgebiete Ost- und Mittelsachsen als auch für das erweiterte Untersuchungsgebiet Mittelsachsen. Die nachfolgenden Abbildungen zeigen exemplarisch für das erweiterte Testgebiet Mittelsachsen eine Auswahl der wichtigsten Reliefparameter.

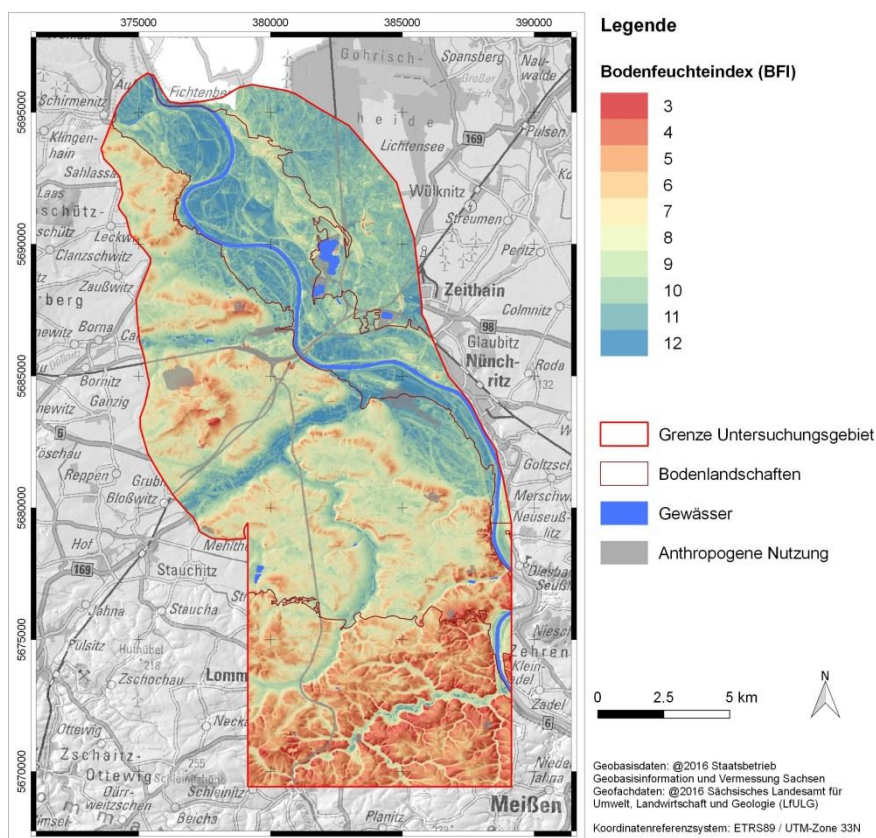


Abbildung 9: Reliefattribut Bodenfeuchteindex (BFI)

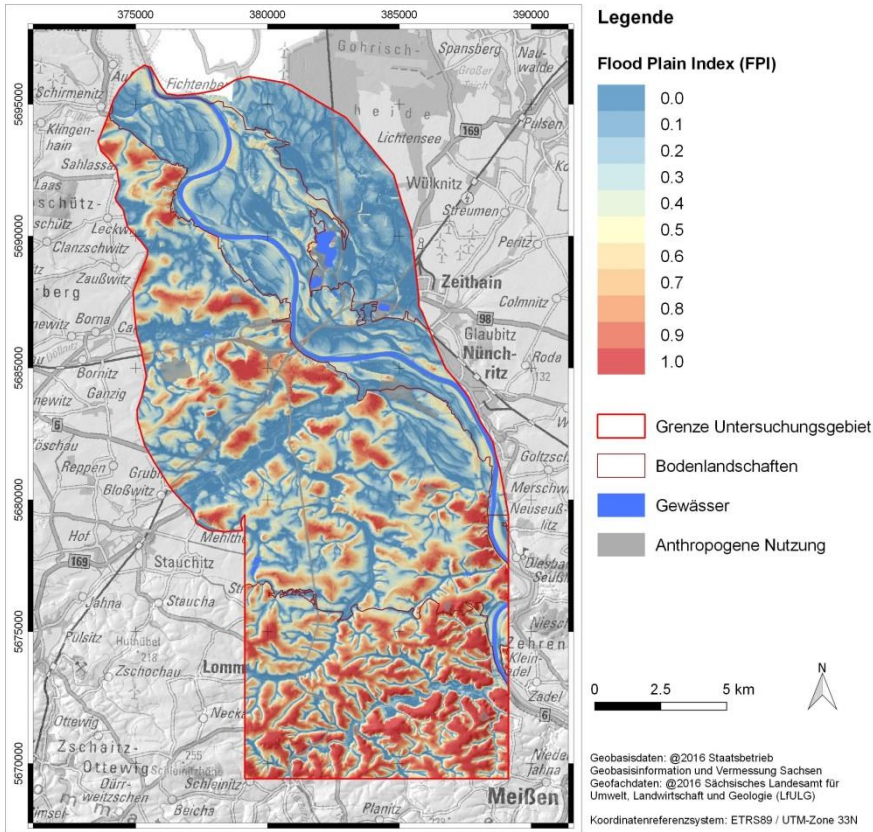


Abbildung 10: Reliefattribut, Flood-plain Index (FPI)

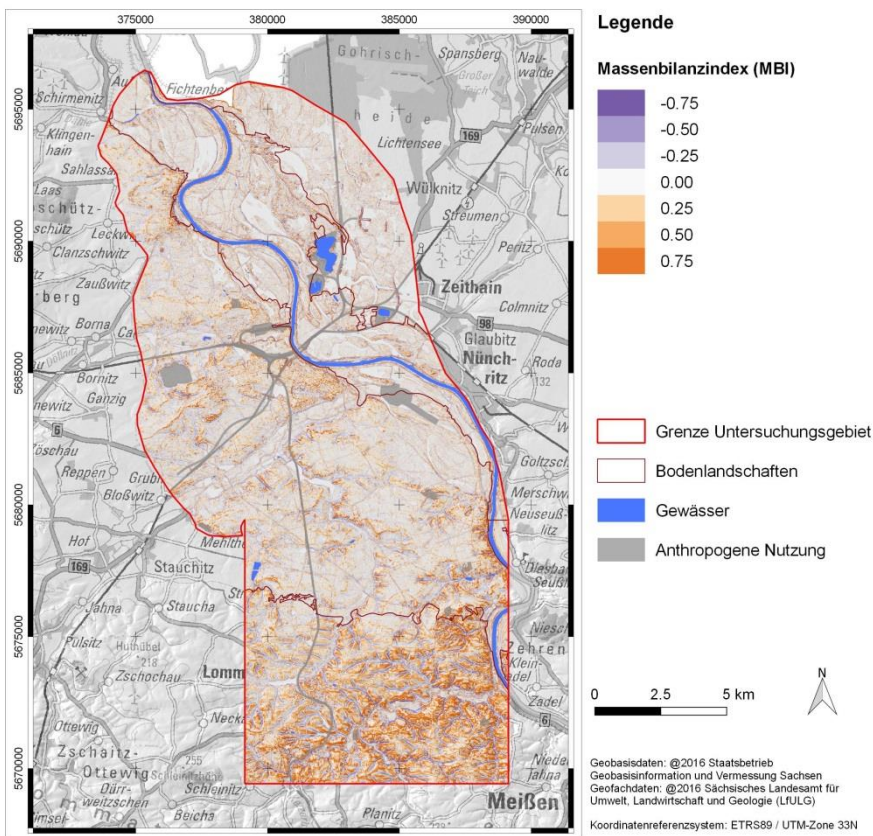


Abbildung 11: Reliefattribut, Massenbilanzindex (MBI)

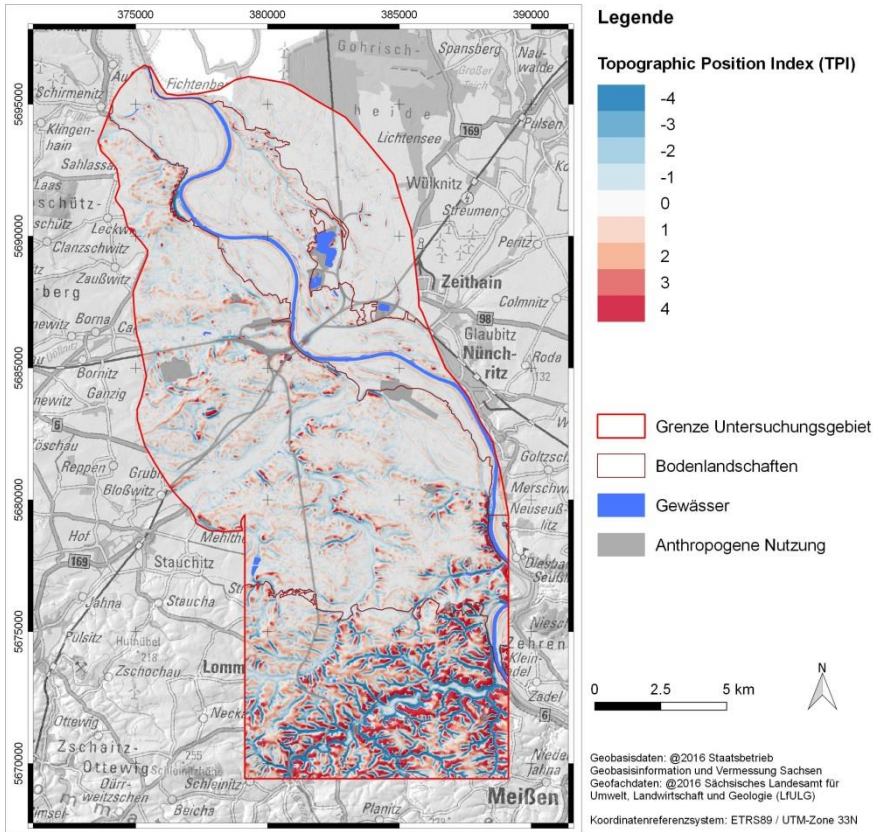


Abbildung 12: Reliefattribut, Topographic Position Index (PI)

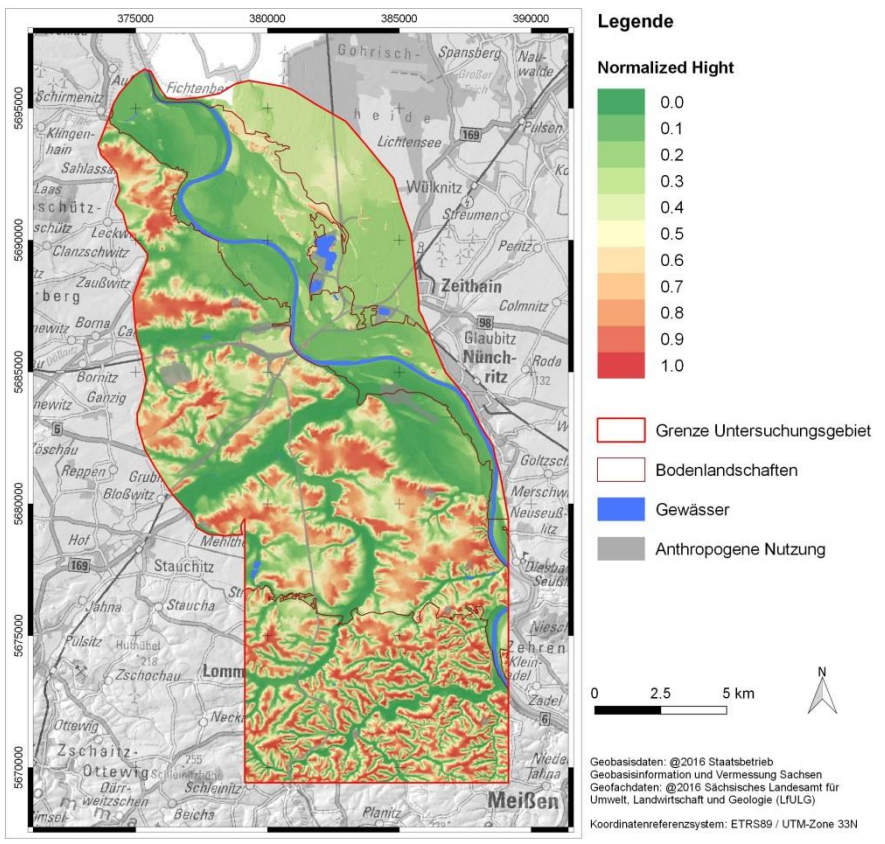


Abbildung 13: Reliefattribut, Normalisierte Höhe (NH)

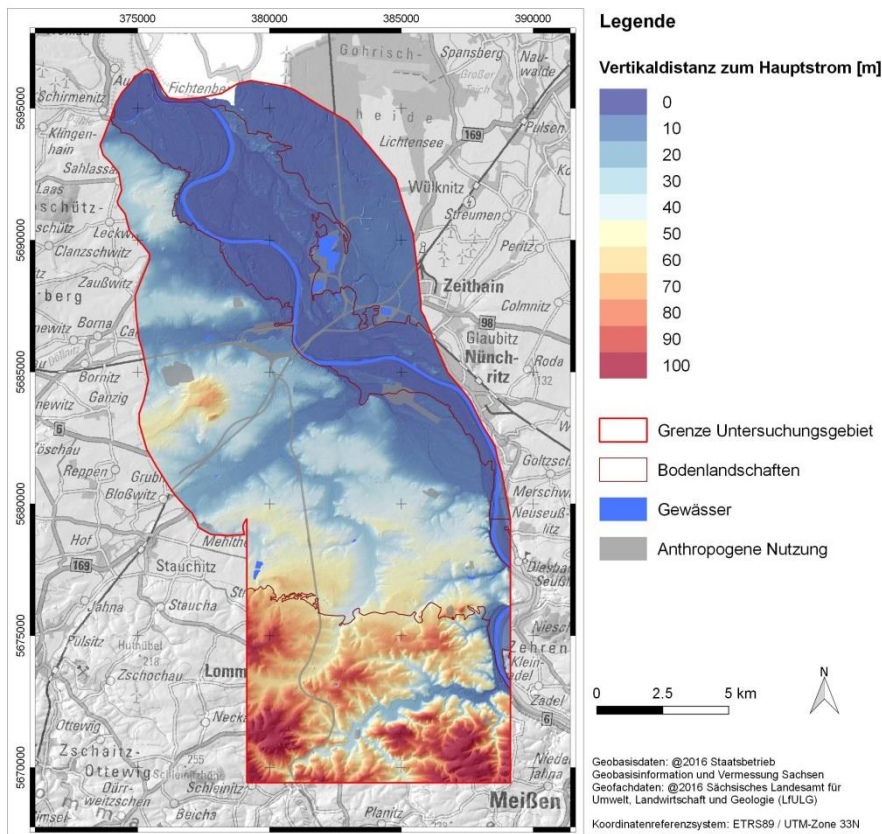


Abbildung 14: Reliefattribut, relative Höhendifferenz zu Fließgewässern (HUF)

6.2 Ableitung von Reliefeinheiten und Reliefklassifizierung

Sowohl die Bewertung der räumlichen Repräsentativität der Bodendaten als auch die Anwendung von Methoden zur Erstellung großmaßstäbiger Bodenkarten erfordern die Bildung von Bezugseinheiten (Polygone). Als solche dienen Reliefeinheiten, die aus den Rasterdaten der Reliefparameter überführt werden. Unter Berücksichtigung der Grenzen der Bodenlandschaften und der Landnutzungsklassen kommt hierfür ein Segmentierungsprozess zum Einsatz. Die Segmentierung wurde mit der Software „Definiens Developer 7.0“ für alle Testgebiete umgesetzt. Während des Segmentierungsprozesses werden Reliefattribute räumlich zu Reliefeinheiten aggregiert. Der Definiens-interne regionenbasierte Algorithmus geht von einzelnen Rasterzellen aus, die den Kristallisationskern für ein iteratives Regionen-Wachstum sowohl in dessen räumlicher Nachbarschaft als auch im n-dimensionalen Merkmalsraum bilden. Jede entstehende Einheit ist durch einen Objektdatensatz gekennzeichnet, der um weitere objektbezogene Formattribute ergänzt wird. Somit enthält jeder segmentierte Objektdatensatz je Segment die flächengewichteten Mittelwerte aus den aggregierten Rasterzellen der oben aufgeführten Reliefparameter (MÖLLER und VOLK 2015).

Die Reliefklassifizierung folgt mit ihrem Ansatz der hierarchischen Landschaftsgliederung. Dabei wurden die Grundtypen des Reliefs und die Gesetzmäßigkeiten ihres Vorkommens erfasst. Durch die große Anzahl zu verarbeitender Datensätze war es notwendig, einen Ansatz zur möglichst automatisierten Reliefgliederung zu finden, der die Reliefheterogenität und Maßstabsabhängigkeit von Reliefklassen berücksichtigt sowie eine Anpassung der Definition von Reliefklassen erlaubt. Bei der Klassifikation werden numerische in semantische Informationen über-

führt. Konkret wurde mittels modifiziertem Flood-plain Index (FPI2) zunächst eine Untergliederung in die Primärklassen „Aue/Ebene/Senke“, „Hang/Terrasse“ und „Top“ vorgenommen (Abbildung 15).

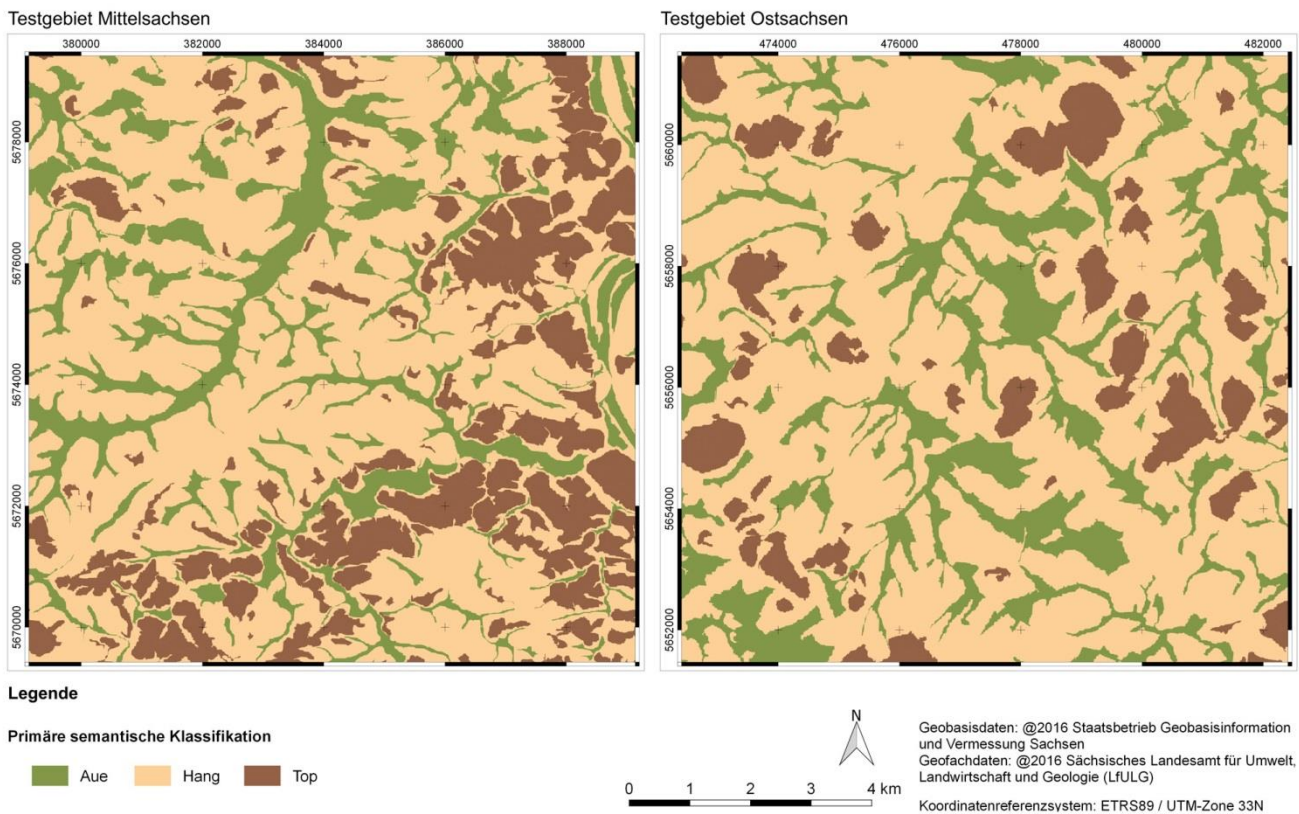
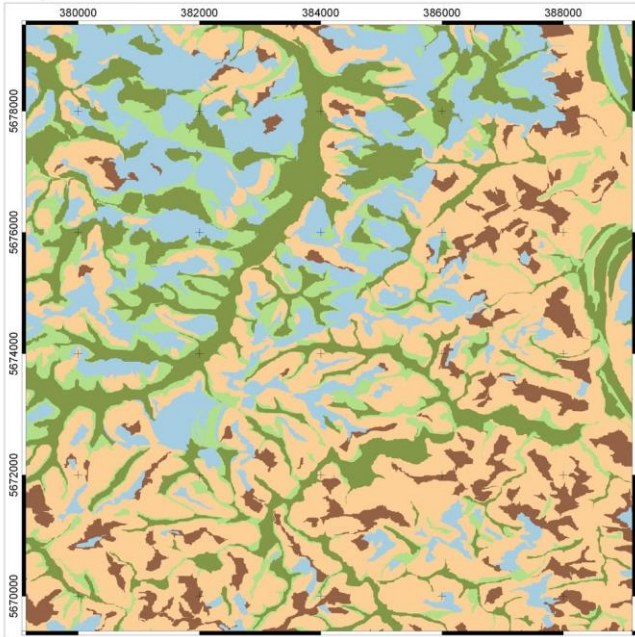


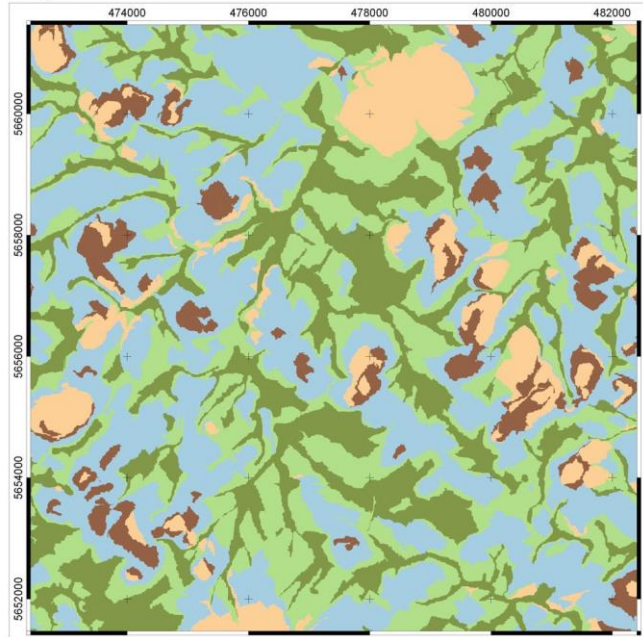
Abbildung 15: Primäre Klassifikation in hierarchische Obereinheiten

Aus der Primärklassifikation ergaben sich vorläufig implizit die Hanglagen für alle Klassen zwischen den Auen und Toplagen, wobei unter vorwiegender Verwendung der Reliefparameter „Hangneigung“, „Höhe über Tiefenlinie“ und „Bodenfeuchteindex“ eine weitere Ausdifferenzierung in die Lagen „oben“, „Mitte“, „unten“, die Neigungsklassen „flach“, „steil“ sowie „trockene“ und „feuchte“ Einheiten erfolgte. Diese Informationen auf Basis kontinuierlicher Werte konnten nun wissenschaftsbasiert zu einer sekundären semantischen Klassifikation mit den entsprechenden einfachen Nomenklaturen zusammengeführt werden. Diese Reliefeinheiten sind in Hinblick auf die Bodenlandschaften und Landnutzungsklassen in sich homogen. Abbildung 16 zeigt die Reliefklassifizierung für die beiden Testgebiete, welche der Prüfung der Bodendaten dienen. In Abbildung 17 ist die Reliefklassifizierung des Attributes „Aue“ für das erweiterte Testgebiet Mittelsachsen dargestellt. Geringe Werte bedeuten eine hohe Merkmalsneigung für die Ausweisung von Reliefeinheiten als „Aue“.

Testgebiet Mittelsachsen



Testgebiet Ostsachsen



Legende

Sekundäre semantische Klassifikation

- | | | |
|--|---|---|
|  Aue/Tal/Senke |  Hang |  Terrasse, Ebene |
|  Auen-, Tal-, Senkenuebergang |  Kuppe | |



Geobasisdaten: @2016 Staatsbetrieb Geobasisinformation und Vermessung Sachsen
Geofachdaten: @2016 Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG)
Koordinatenreferenzsystem: ETRS89 / UTM-Zone 33N

Abbildung 16: Sekundäre semantische Klassifikation und Zusammenführung zu einfachen Nomenklaturen

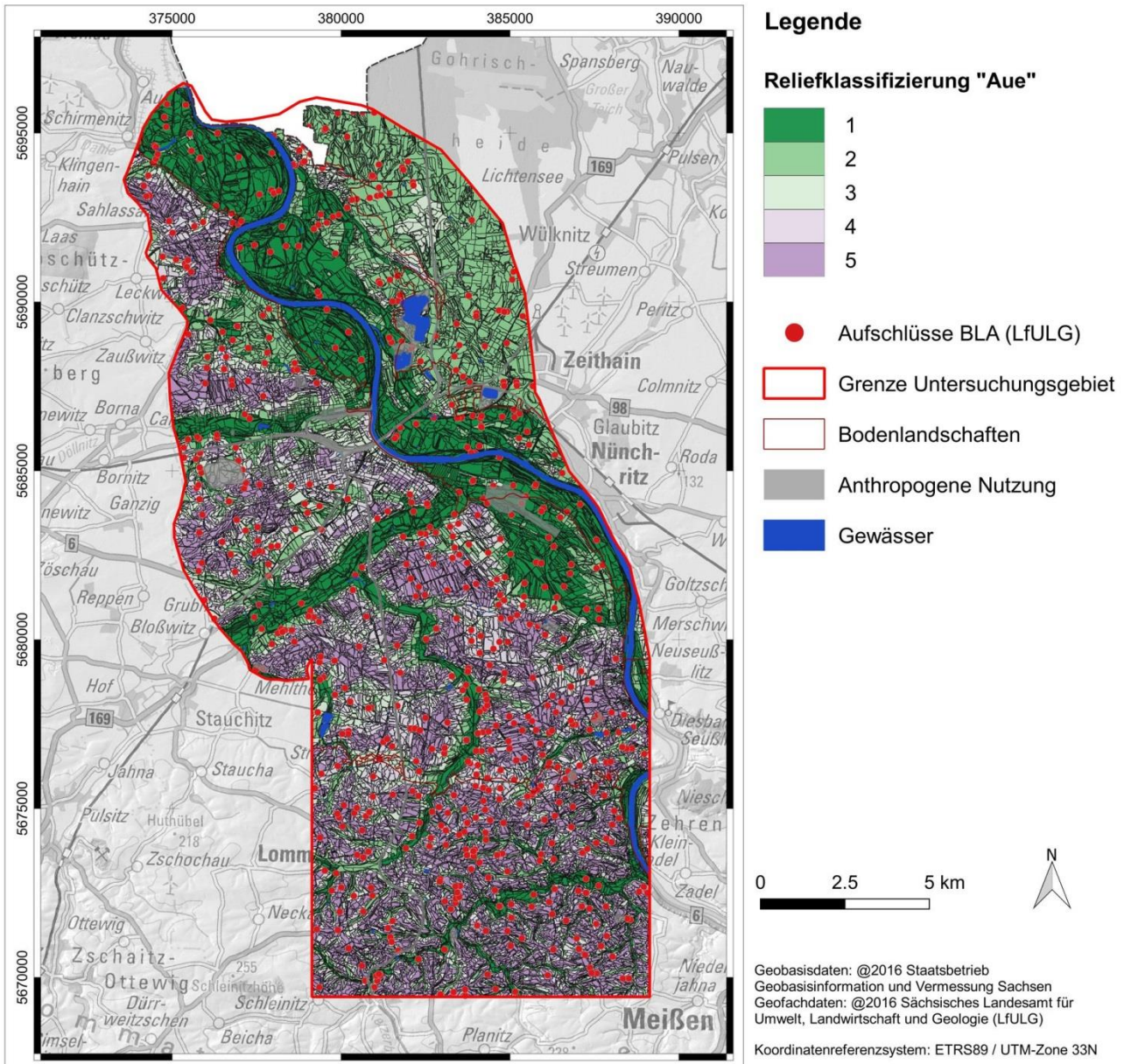


Abbildung 17: Reliefklassifizierung des Attributes „Aue“ im erweiterten Testgebiet Mittelsachsen

Die Festlegung des Zielmaßstabes einer Karte ist abhängig vom darzustellenden Detailierungsgrad und dem Inhaltsreichtum (Kontrast). Für gedruckte Karten sind nach AD-HOC-AG BODEN (2006) die in Tabelle 3 aufgeführten Darstellungsgrößen anzustreben.

Tabelle 3: Darstellungsgrößen und -arten (Quelle: AD-HOC-AG BODEN 2006)

	Minimale Darstellungsgröße bei hohem Kontrast	Minimale Darstellungsgröße
Flächen (runde Form)	D = 1,5 mm	D = 4,0 mm
Flächen (ovale Form)	L = 2,5 mm B = 1,2 mm	L = 6,0 mm B = 3,0 mm
Konforme Linien		B = 1,0 mm

Für den gewählten großmaßstäbigen Zielmaßstab der geostatistischen Modellierung, der mit ca. 1:10.000 festgelegt wurde, bedeutet das eine Mindestfläche von ca. 0,03 ha bei Arealen mit einem hohen Kontrastmaß und außerhalb von diesen 0,2 ha.

Der Vorteil des gewählten Segmentierungsverfahrens besteht in der Definition der minimalen Größe der Bezugseinheiten. Im vorliegenden Fall wurde dieser Wert, um der Reliefheterogenität im Löss-Hügelland zu entsprechen, auf 0,01 ha gesetzt und die Bezugseinheiten entsprechend des beschriebenen Modellverfahrens gebildet. Die prozentuale Verteilung der Anteile der Flächengrößen der erzeugten Bezugseinheiten ist in Abbildung 18: Verteilung der Anteile der Flächengrößen der Bezugseinheiten dargestellt.

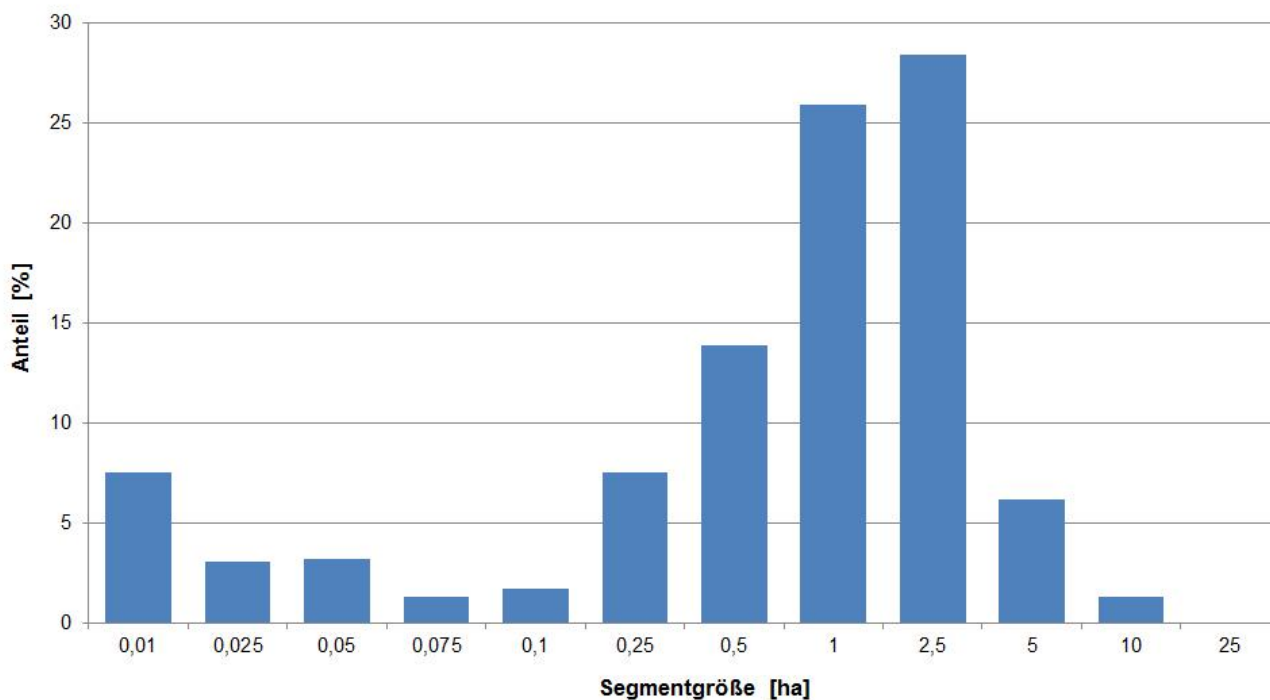


Abbildung 18: Verteilung der Anteile der Flächengrößen der Bezugseinheiten

64 % der Bezugseinheiten weisen eine Größe von ≤ 1 ha auf, 29 % liegen im Bereich von > 1 ha bis $\leq 2,5$ ha. 7 % der Bezugseinheiten haben eine Flächengröße von $> 2,5$ ha. Mit einer durchschnittlichen Größe der Bezugseinheiten von 1 ha liegt der Wert deutlich unter dem von der AD-HOC-AG BODEN (2006) geforderten Wert von 20 bis 35 ha für den Maßstabsbereich 1:50.000.

7 Methoden zur Erstellung großmaßstäbiger Bodenkarten in den Testgebieten

7.1 Bewertung der räumlichen Repräsentativität der Bodendaten

Auf Basis der in Kapitel 6 beschriebenen Ableitung von nutzungsdifferenzierten Reliefeinheiten und -klassen erfolgte eine umfassende Daten- und Qualitätsanalyse der Aufschlussesdaten der Bodenkundlichen Landesaufnahme des FIS Boden hinsichtlich ihrer Raumdichte, ihrer Lage in den Reliefeinheiten und in den Nutzungsklassen. Daraus ableitend wurde eine Bewertung der Daten bezüglich ihrer räumlichen Repräsentativität für die weiterführende Verwendung bei der Anwendung von geostatistischen Interpolations- und Prognosemethoden vorgenommen. Die Bewertung wurde in den 100 km² großen Testgebieten Ost- und Mittelsachsen (ohne Erweiterung) vorgenommen.

Aus der Aufschlussesdatenbank des FIS Boden konnten 292 Aufschlüsse für das Testgebiet Mittelsachsen und 239 Aufschlüsse für das Testgebiet Ostsachsen extrahiert werden, die im Rahmen der Bodenkundlichen Landesaufnahme erfasst wurden. Abbildung 19 zeigt die Lage der Aufschlüsse innerhalb der Reliefklassen.

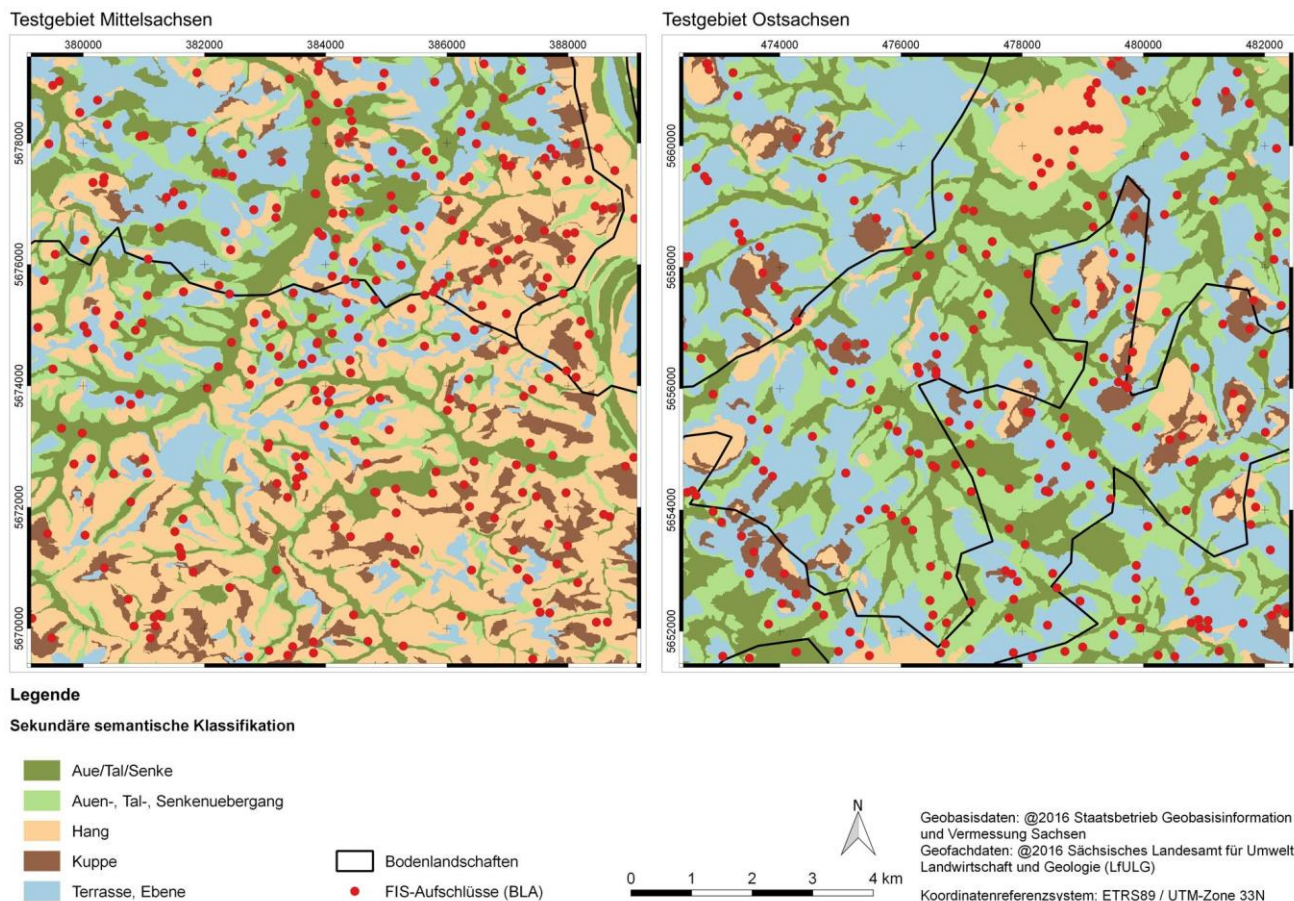


Abbildung 19: Lage der FIS-Aufschlüsse (BLA) innerhalb der Reliefklassen

In Tabelle 4 ist die Punktdichte der Aufschlüsse in Bezug auf die Hauptnutzungseinheiten zusammengefasst. Je km² wurden 2,9 bzw. 2,4 Aufschlüsse im jeweiligen Testgebiet erfasst. Bezogen auf die ackerbaulich genutzten Flächen liegt die Punktdichte um jeweils 0,5 Punkte je km² etwas höher.

Tabelle 4: Anzahl und Raumdichte der FIS-Aufschlüsse in den Landnutzungseinheiten

Landnutzungseinheit/Parameter	Testgebiet Mittelsachsen	Testgebiet Ostsachsen
Gesamtnutzung		
Anzahl Punkte	292	239
Punktdichte [Anzahl/km ²]	2,9	2,4
Ackerland		
Fläche [km ²]	76	52
Anzahl Punkte	258	151
Punktdichte [Anzahl/km ²]	3,4	2,9
Grünland		
Fläche [km ²]	9	15
Anzahl Punkte	20	32
Punktdichte [Anzahl/km ²]	2,2	2,2
Wald		
Fläche [km ²]	4	18
Anzahl Punkte	3	48
Punktdichte [Anzahl/km ²]	0,8	2,6

In ihrer Größenordnung vergleichbar ist die Punktdichte der Aufschlüsse innerhalb der ausgewiesenen Reliefeinheiten. Hier befinden sich etwa zwei Punkte je km² innerhalb der Auen-/Tal- und Senkenbereiche. Höher ist die Punktdichte in Kuppen- sowie Terrassenbereichen (Tabelle 5).

Unter besonderer Berücksichtigung der Landnutzungseinheit „Ackerland“ zeigt Tabelle 6 die Punktdichte innerhalb der Reliefeinheiten. Diese verdeutlicht, dass die Punktdichte differenziert zu bewerten ist: Insbesondere die als Auen- und Senkenbereiche ausgewiesenen Flächen sind durch Aufschlussdaten unterrepräsentiert.

Im Anschluss wurde die Prüfung der Aufschlüsse hinsichtlich ihrer Plausibilität für das Vorkommen auf der Reliefposition unter Berücksichtigung der Hangneigung, Hangposition, Nutzung und Genese vorgenommen. Hierzu wurden die durch den Kartierer erfassten Positionen der Aufschlüsse im Relief in Bezug gesetzt zu den ausgewiesenen Reliefklassen. Tabelle 7 und Tabelle 8 zeigen für beide Testgebiete die Ergebnisse. Grün markierte Werte stellen gute Übereinstimmungen zwischen den modellbasiert ausgewiesenen Reliefeinheiten und den Reliefpositionen der Kartierer dar. Rot markierte Zuordnungen gelten als unplausibel. Für beide Testgebiete kann festgestellt werden, dass für den überwiegenden Teil der Aufschlüsse die im Gelände erfasste Reliefposition sehr gut durch die ausgewiesenen Reliefeinheiten wiedergegeben wird.

Tabelle 5: Anzahl und Raumdichte der FIS-Aufschlüsse in den Reliefeinheiten

Reliefeinheit/Parameter	Testgebiet Mittelsachsen	Testgebiet Ostsachsen
Aue/Tal/Senke		
Fläche [km ²]	19	21
Anzahl Punkte	43	43
Punktdichte [Anzahl/km ²]	2,3	2,0
Terrasse/Ebene		
Fläche [km ²]	19	37
Anzahl Punkte	81	77
Punktdichte [Anzahl/km ²]	4,3	2,1
Hang		
Fläche [km ²]	42	9
Anzahl Punkte	107	35
Punktdichte [Anzahl/km ²]	2,5	3,8
Kuppe		
Fläche [km ²]	8	6
Anzahl Punkte	34	26
Punktdichte [Anzahl/km ²]	4,5	4,6

Tabelle 6: Anzahl und Raumdichte der FIS-Aufschlüsse in den Reliefeinheiten (Ackerland)

Reliefeinheit/Parameter	Testgebiet Mittelsachsen	Testgebiet Ostsachsen
Aue/Tal/Senke		
Fläche [km ²]	13	9
Anzahl Punkte	33	20
Punktdichte [Anzahl/km ²]	2,6	2,3
Terrasse/Ebene		
Fläche [km ²]	17	23
Anzahl Punkte	78	62
Punktdichte [Anzahl/km ²]	4,6	2,7
Hang		
Fläche [km ²]	30	2
Anzahl Punkte	95	5
Punktdichte [Anzahl/km ²]	3,2	3,1
Kuppe		
Fläche [km ²]	7	4
Anzahl Punkte	28	19
Punktdichte [Anzahl/km ²]	4,2	5,4

Tabelle 7: Lage der Reliefpositionen der FIS-Aufschlüsse nach Kartierer in Reliefeinheiten (Mittelsachsen)

Position Aufschluss nach Kartierer	Reliefeinheiten					Gesamt
	Aue/ Tal/ Senke	Auen-, Tal-, Senken-übergang	Hang	Kuppe	Terrasse/ Ebene	
ebener Kulminationsbereich, Scheitelbereich			1		3	4
Erhebung			4	2	2	8
Flanke		1	4	2		7
flächenhafte Erhebung				1	2	3
flächenhafte, flach muldenförmige, offene Hohlform	2					2
Flussauenbereich	8		3			11
geneigter Tiefenbereich (Hangneigung N1 – N2)		1				1
gerundete Erhebung	1				3	4
gerundete, offene Hohlform	1	2				3
Hang	4	5	50	13	12	84
Hangverflachung mit vorherrschend gestreckter Vertikalwölbung	3	4	10	3	1	21
Hangversteilung mit vorherrschend gestreckter Vertikalwölbung			16	1	5	22
hängender Kulminationsbereich (Hangneigung N1 – N2)				4	4	8
Kulminationsbereich			1		5	6
muldenförmige Hangrinne mit konkaver, gerundeter Horizontalwölbung	6	1	2		1	10
offene Hohlform	2					2
plateauförmige Erhebung/ Platte (überwiegend begrenzt durch gerundete Kanten)	1	2	4	1	11	19
sohlenförmige, offene Hohlform (Sohlentäl)	7	3				10
Verebnung	8	8	12	7	32	67
GESAMT						292

Tabelle 8: Lage der Reliefpositionen der FIS-Aufschlüsse nach Kartierer in Reliefeinheiten (Ostsachsen)

Position Aufschluss nach Kartierer	Reliefeinheiten					Gesamt
	Aue/ Tal/ Senke	Auen-, Tal-, Senken-übergang	Hang	Kuppe	Terrasse/ Ebene	
ebener Kulminationsbereich, Scheitelbereich	2		1	5	4	12
ebener Tiefenbereich, Senkenbereich	5	2				7
Erhebung		1	1		1	3
Flanke					1	1
flächenhafte Erhebung		1				1
Flussauenbereich	4					4
geneigter Tiefenbereich (Hangneigung N1 – N2)	10	2			1	13
gerundete Erhebung			2			2
gerundete, offene Hohlform	1					1
Hang	7	22	21	9	21	80
Hangverflachung mit vorherrschend gestreckter Vertikalwölbung	4	13	1		23	41
Hangversteilung mi vorherrschend gestreckter Vertikalwölbung	1		2		4	7
hängender Kulminationsbereich (Hangneigung N1 – N2)	1	1	1	3	3	9
Kulminationsbereich				1		1
Kulminationssattel mit konkav gewölbter Kulminationslinie			2		2	4
muldenförmige Hangrinne mit konkaver, gerundeter Horizontalwölbung	1				1	2
plateauförmige Erhebung/ Platte		3	3	7	8	21
Tiefenbereich	2	3				5
Tiefensattelbereich mit konvex gewölbter Tiefenlinie/Talwasserscheidenbereich	1			1		2
Verebnung	4	10	1		8	23
Gesamt						292

Aus der Auswertung der räumlichen Lage der Aufschlussdaten ergeben sich die in den Tabelle 9 bis Tabelle 12 zusammengefassten Ergebnisse für die Weiterverwendung und ggf. Korrekturerfordernis der Aufschlussdaten. Die tabellarische Auswertung erfolgte getrennt nach den Testgebieten und den betrachteten Landschaftseinheiten.

Tabelle 9: Verwendbarkeit der FIS-Aufschlussdaten nach Prüfung der Plausibilität ihrer Reliefposition (Testgebiet Mittelsachsen; Lösshügelland)

Reliefeinheit	Anzahl der Aufschlüsse	Davon			Davon		
		für Weiterverarbeitung ohne Anpassung verwendbar	Lagekorrektur notwendig	keine Berücksichtigung bei Weiterverarbeitung	Anzahl BT	terrestisch	Semiterrestisch
Aue/Tal/Senke	26	24	1	1	5	3	2
Auen-, Tal-, Senkenübergang	14	11	3		4	3	1
Hang	68	68			7	7	
Kuppe	22	22			5	5	
Terrasse, Ebene	45	45			6	6	
Gesamt	175	170	4	1			

Tabelle 10: Verwendbarkeit der FIS-Aufschlussdaten nach Prüfung der Plausibilität ihrer Reliefposition (Testgebiet Mittelsachsen; Lösstiefland)

Reliefeinheit	Anzahl der Aufschlüsse	Davon			Davon		
		für Weiterverarbeitung ohne Anpassung verwendbar	Lagekorrektur notwendig	keine Berücksichtigung bei Weiterverarbeitung	Anzahl BT	terrestisch	Semiterrestisch
Aue/Tal/Senke	17	9	7	1	8	7	1
Auen-, Tal-, Senkenübergang	13	6	7		4	4	
Hang	39	35	3	1	8	6	2
Kuppe	12	10	1	1	5	5	
Terrasse, Ebene	36	35	1		7	6	1
Gesamt	117	95	19	3			

Tabelle 11: Verwendbarkeit der FIS-Aufschlussdaten nach Prüfung der Plausibilität ihrer Reliefposition (Testgebiet Ostsachsen; Lösslandschaften des Berglandes)

Reliefeinheit	Anzahl der Aufschlüsse	Davon			Davon		
		für Weiterverarbeitung ohne Anpassung verwendbar	Lagekorrektur notwendig	keine Berücksichtigung bei Weiterverarbeitung	Anzahl BT	terrestisch	Semiterrestisch
Aue/Tal/Senke	27	22	3	2	6	4	2
Auen-, Tal-, Senkenübergang	32	32			5	3	2
Hang	27	21	2	4	7	7	
Kuppe	12	12			3	3	
Terrasse, Ebene	46	42	1	3	7	6	1
Gesamt	144	129	6	9			

Tabelle 12: Verwendbarkeit der FIS-Aufschlusssdaten nach Prüfung der Plausibilität ihrer Reliefposition (Testgebiet Ostsachsen; Saure Magmatite)

Reliefeinheit	Anzahl der Aufschlüsse	Davon			Davon		
		für Weiterverarbeitung ohne Anpassung verwendbar	Lagekorrektur notwendig	keine Berücksichtigung bei Weiterverarbeitung	Anzahl BT	terrestrisch	Semiterrestrisch
Aue/Tal/Senke	16	14	2		4	3	1
Auen-, Tal-, Senkenübergang	26	24	1	1	6	5	1
Hang	8	8			2	2	
Kuppe	14	14			3	3	
Terrasse, Ebene	31	27	3	1	6	5	1
Gesamt	95	87	6	2			

Generell hat die räumliche Analyse der Aufschlusssdaten der Bodenkundlichen Landesaufnahme ergeben, dass, unabhängig von der Datenqualität, die räumliche Repräsentativität der FIS-Aufschlüsse für die Erarbeitung großmaßstäbiger Bodenkarten als nur bedingt ausreichend bewertet werden muss. Punktdichten zwischen 2,0 und 4,5 (je nach Nutzungs-, Reliefeinheit sowie Testgebiet) entsprechen einer geringeren räumlichen Auflösung als sie die derzeit vorliegende digitale Bodenkarte 1:50.000 in ihren Konturen vorgibt.

Tabelle 13: Anzahl und Raumdichte der Grablöcher (FESCH) in den Landnutzungseinheiten (Testgebiet Mittelsachsen)

Landnutzungseinheit/Parameter	Testgebiet Mittelsachsen
Gesamtnutzung	
Anzahl Punkte	3.252
Punktdichte [Anzahl/km ²]	32,5
Ackerland	
Fläche [km ²]	76
Anzahl Punkte	2.068
Punktdichte [Anzahl/km ²]	27,1
Grünland	
Fläche [km ²]	9
Anzahl Punkte	878
Punktdichte [Anzahl/km ²]	95,4
Wald	
Fläche [km ²]	4
Anzahl Punkte	66
Punktdichte [Anzahl/km ²]	17,8

Dagegen zeigen die digitalen Daten der FESCH-Grablöcher eine deutlich höhere Raumdichte (Tabelle 13). Diese liegt im Testgebiet Mittelsachsen bei 32,5 Aufschlüssen je km² und somit um das mehr als Zehnfache höher als bei den FIS-Aufschlüssen. Insofern würde der Bewertung des Optimierungsgrades, der durch die Einbeziehung der

FESCH-Grablöcher mit Schicht- und Horizontdaten erreicht werden kann, eine besondere Bedeutung zukommen. Voraussetzung hierfür ist, dass die Daten der Bodenschätzung eine gute inhaltliche Qualität aufweisen und die Abbildung der Bodenarten der Nomenklatur der KA5 entspricht.

7.2 Bewertung der inhaltlichen Qualität der Bodendaten

Die Bewertung der inhaltlichen Qualität der Bodendaten der Bodenkundlichen Landesaufnahme erfolgte anhand der Vollständigkeit und Plausibilität der nachfolgend aufgeführten Kennwerte:

- Geprüfte Kennwerte (dokumentiert) –FIS-Aufschlüsse (BLA):
 - Substratangabe (BA-Hauptgruppe) in Substrattyp mit BA-Angabe in Aufschlüssen
 - Carbonatangabe in Substrattyp mit Carbonatgehalten in Aufschlüssen
 - Vollständigkeit Skelettangabe in Aufschlussdaten
 - Skelettangabe in Substrat mit Skelettangaben in Aufschlüssen
 - Humusangaben in Aufschlüssen
 - Feuchtestufen in Aufschlüssen
 - Stufen der Lagerungsdichte in Aufschlüssen
- Geprüfte Kennwerte (fallweise, nicht dokumentiert) – FIS-Aufschlüsse (BLA):
 - Horizontbezeichnungen
 - Ausweisung Bodentypen

Dabei musste festgestellt werden, dass die Aufschlussdaten in unterschiedlichem Umfang Fehlwerte oder unplausible Werte bei den einzelnen Kennwerten enthielten. Demzufolge erfolgte die manuelle Korrektur und Setzung von Werten, wie folgt:

- Humus – Humusgehalte nur für Horizonte mit plausiblen Humuswert
- Lagerungsdichte – fehlende Lagerungsdichten bzw. Ld 0 und Ld 1 im Ap-Horizont wurden mit in Ld 2, im Unterboden in Abhängigkeit vom Horizontsymbol Ld 3/Ld 4 gesetzt
- Kalkgehalt – für Bodenphysik nicht relevant; deshalb keine Korrektur/Setzung
- Skelettgehalt – Bildung von Anteilsklassen des Grobbodens aus den vorhandenen Angaben der Horizonte bzw. falls nicht vorhanden aus der Skelettangabe

Im Ergebnis der manuellen Korrektur/Setzung liegt für die Testgebiete ein FIS-Datensatz vor, der alle für die Ausweisung von bodenphysikalischen Kennwerten relevanten Eingangsgrößen enthält.

7.3 Transformation der Bodenarten der Bodenschätzung in die Nomenklatur der Bodenkundlichen Kartieranleitung KA5

Zur Ableitung großmaßstäbiger Bodeninformationen ist der Rückgriff auf Unterlagen der Bodenschätzung, die als einzige Datenbasis für Deutschland flächendeckend nach einer einheitlichen Methodik und Nomenklatur vorliegt, zwingend notwendig.

Die individuelle (manuelle) Auswertung und Übersetzung der Grablochbeschriebe (GLB) zur Ableitung von Boden-daten ist sehr zeit- und kostenaufwendig. Durch die Bemühungen des Freistaates Sachsen, die Unterlagen (Grab-lochbeschriebe, Karten) der Bodenschätzung zu digitalisieren, besteht jedoch die Möglichkeit einer computerge-stützten Übertragung der Informationen in die aktuelle bodenkundliche Nomenklatur und die Zuweisung der Daten an die auskartierten Einheiten (Klassenflächen).

Für die Nutzung der Altdaten sind jedoch folgende Einschränkungen zu beachten: Die Bodenschätzungsunterlagen sind überwiegend mehr als 60 Jahre alt, und sie bilden, wie eine Reihe von Untersuchungen zeigen, die gegen-wärtigen Bodenverhältnisse nur zum Teil zutreffend bzw. – aufgrund von überwiegend anthropogen bedingten Bodenveränderungen – sogar falsch ab (MÖLLER ET AL. 2009). Die Übereinstimmung der (Alt-)Bodenschätzungs-unterlagen mit den gegenwärtigen Bodenverhältnissen beträgt nach Untersuchungen in anderen Bundesländern in Abhängigkeit von der Bodenlandschaft nur noch etwa 50 bis 80/90 %, im Durchschnitt etwa 60 %. Diese Werte dürften, obgleich keine Untersuchungen hierzu vorliegen, auch für Sachsen zutreffend sein. Außerdem stimmen die der Bodenschätzung zugrundeliegenden Nomenklaturen und Kriterien (z. B. Bodenartenansprache) mit den gegenwärtig gültigen nicht überein. Dies betrifft neben den Horizontangaben, die in der Bodenschätzungsnomen-klatur generell nicht aufgenommen werden, insbesondere die Bodenart, den Kalk- und Humusgehalt. Letzterer wurde häufig zu hoch angesetzt.

Trotz dieser genannten Sachverhalte ist der hohe Wert der Bodenschätzungsdaten unumstritten. In den vergange-nen Jahren wurden Aktivitäten entwickelt, diese Unterlagen aufzubereiten, zu überprüfen und an die aktuellen No-menklaturen anzupassen, um dadurch das Datenmaterial für großmaßstäbige Auswertungen nutzen zu können. Die Übersetzung der Bodenschätzungsdaten muss auf der Basis der Grablochbeschriebe erfolgen. Eine regional-spezifische Anpassung von Übersetzungsschlüsseln zur Nutzung der Bodenschätzungsdaten ist unumgänglich, um letztlich die Wiedergabe der heutigen Bodenverhältnisse durch Auswertung und (Gelände-)Überprüfung der umgedeuteten Bodenschätzungsdaten mit einer anzustrebenden Treffsicherheit von mehr als 80 % zu erreichen.

Mit den Übersetzungsschlüsseln aus NIBIS (Niedersachsen) und BOSSA-SH (Schleswig-Holstein) stehen compu-tergestützte Instrumente zur Übertragung zur Verfügung, deren Verwendbarkeit jeweils standortbezogen zu über-prüfen und anzupassen ist. Dieser Schritt steht für Sachsen flächendeckend noch aus und wurde für das Testge-biet Mittelsachsen nur exemplarisch angewandt.

Besonders die Transformation der Bodenarten gestaltet sich schwierig, da aus dem System nach ATTERBERG (1905) in das Körnungsartendiagramm der KA5 (AD-HOC-AG BODEN 2005) transformiert werden muss. Hierbei treten eine Reihe von Überlagerungen und Zugehörigkeiten in mehrere Bodenarten laut KA5 auf, die für eine Reihe von Bodenarten keine eindeutige Zuordnung zulassen. Dieses Problem ist für die Ebene der Bodenartengruppe nicht so gravierend, kann aber im Einzelfall noch auftreten. Zu beachten ist jedoch, inwieweit eine Bodenarten-gruppe für großmaßstäbige Auswertungen nutzbar ist. Dieses Problem ist in Abbildung 20 am Beispiel der Muster-stücke der Finanzkreise Meißen, Döbeln, Oschatz und Grimma für die Bodenart L, fs3 dokumentiert. Die Analy-senergebnisse zeigen eine deutliche Streuung der Bodenart nach Bodenschätzung L, fs3 innerhalb der KA5-

Bodenarten Ut2, Ut3, Ut4, Tu4 und Uls, mit einem Schwerpunkt im Bereich Ut3/Ut4, was der Angabe nach NIBIS entspricht.

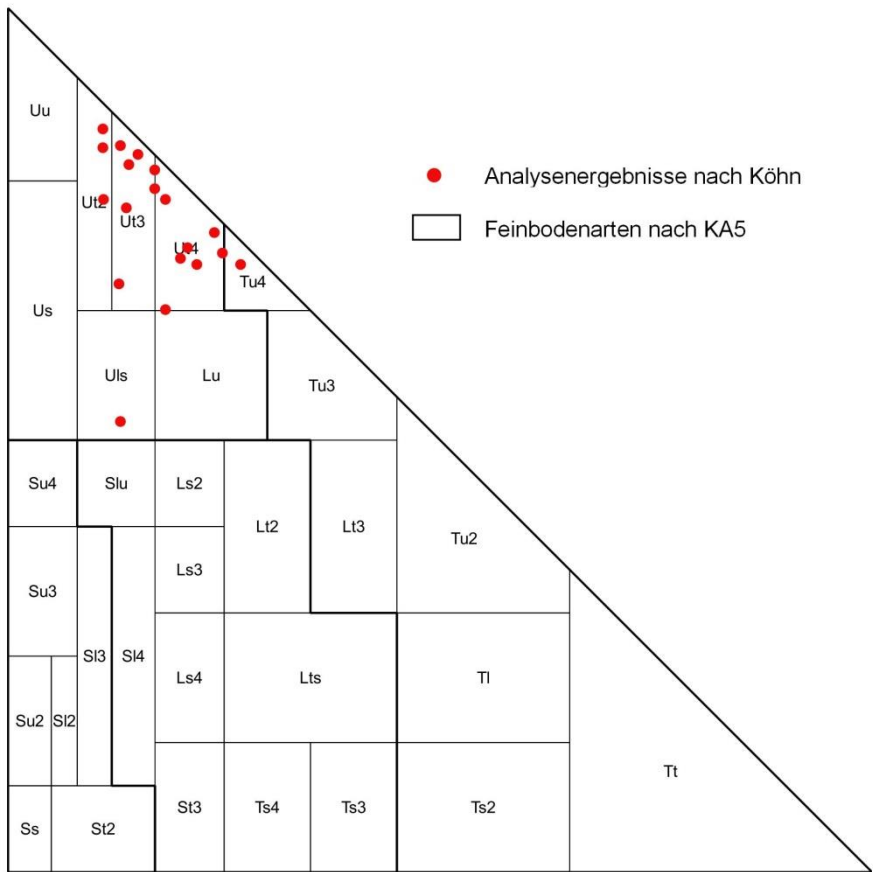


Abbildung 20: Einordnung von Analyseergebnissen nach Köhn für die Bodenart L, fs3 (Quelle: Datenbank Musterstücke Sachsen 2011)

Für die Entwicklung der geostatistischen Verfahren zur Erstellung großmaßstäbiger Bodenkarten wurden folgende bodenkundliche Eingangsdaten genutzt. Die Vorgehensweise beschränkte sich zunächst auf das Testgebiet Mittelsachsen.

- Korrigierte FIS-Aufschlüsse des Testgebietes
- Grablochbeschriebe und Karte der Klassenflächenzeichen des Testgebietes

Entsprechend der prinzipiellen Vorgehensweise wurde das geostatistische Verfahren 3-stufig umgesetzt. Die 1. Stufe bildet die Nutzung der korrigierten FIS-Aufschlüsse (BLA). Für die Aufschlüsse, die einen fehlerhaften Kennwert des Humus-, Kalk oder Skelettgehaltes sowie der Lagerungsdichte aufwiesen, wurde eine manuelle Anpassung mit Standardwerten durchgeführt.

Die 2. Stufe basiert auf den Grablochbeschrieben des FESCH-Datensatzes. Da, wie eingangs dargelegt, die Transformation der Bodenart standortspezifisch ist und zum Teil fehlerbehaftet sein kann, wurden drei Transformationsschlüssel der Bodenartenangaben in die Nomenklatur der KA5 angewandt:

- a) Transformation durch LfULG Sachsen (Arbeitsstand 2002)

■ b) Transformation mittels NIBIS-Schlüssel in der Anpassung nach ALTERMANN u.a. (2004), KÜHN UND MÜLLER (2009) sowie ABRAHAM (2016) für ostdeutsche Substratverhältnisse

■ Dieser Schlüssel stellt eine Weiterentwicklung der Arbeiten von ALTERMANN u. a. (2004) dar. Genutzt wurde dieser Schlüssel für die Erstellung großmaßstäbiger Bodeninformationskarten, die die Basis für die Umsetzung von teilflächenspezifischen Bewirtschaftungssystemen in Landwirtschaftsbetrieben Sachsen-Anhalts, Thüringens und Sachsens sowie für Wasserhaushaltsmodellierungen der LMBV bilden. Die Erstellung des Schlüssels basiert auf einem Datensatz aus sechs Testgebieten unterschiedlicher geologischer Entstehungen, in denen an den Grablöchern aktuelle Bodenansprachen durchgeführt und anschließend die Bodenarten abgeglichen wurden. Im Rahmen einer aktuell am LAGB Sachsen-Anhalt laufenden Untersuchung wurde dieser Schlüssel mit den Arbeiten von KÜHN UND MÜLLER (2009) und den Angaben von ABRAHAM (2016) ergänzt.

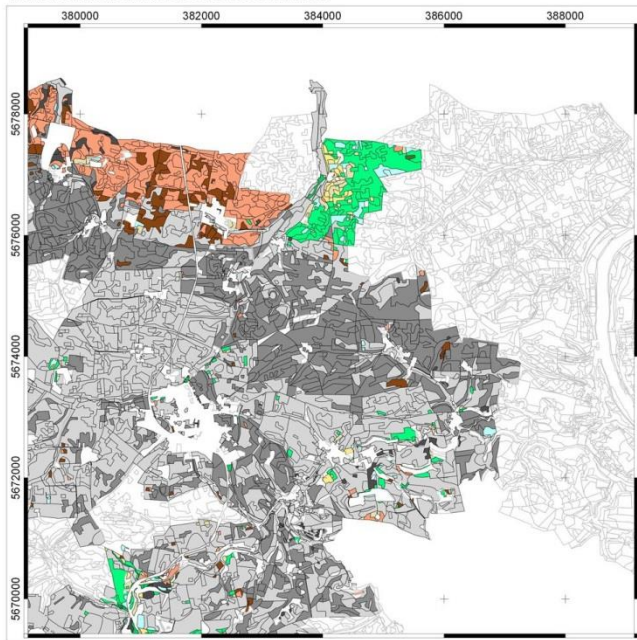
■ c) Transformation durch standortspezifische Anpassung

■ Da auch der zweite Transformationsschlüssel (b) im Abgleich mit den FIS-Aufschlüssen keine zufriedenstellenden Ergebnisse lieferte, wurde der Versuch unternommen, diesen Schlüssel standortspezifisch anzupassen. Hierzu erfolgte ein Abgleich zwischen Grabloch und nächstgelegenen FIS-Aufschluss, wobei die maximale Entfernung auf die gleiche Klassenfläche und Reliefposition auf 200 m begrenzt wurde. Dieser Schritt stellt im Ansatz eine standortspezifische Anpassung dar. Die Ergebnisse sind jedoch nicht zufriedenstellend, was in der immer noch großen Streuung der Angaben sowie dem kleinen Datenkollektiv begründet liegt.

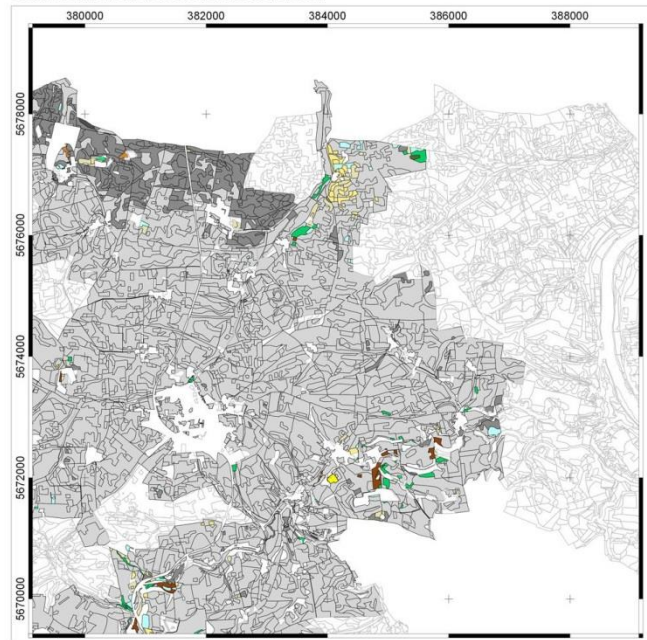
In der 3. Stufe wurden die FIS-Aufschlüsse mit den Grablochauswertungen untersetzt. Abbildung 21 zeigt für das Testgebiet Mittelsachsen die Ergebnisse der unterschiedlichen Transformationen anhand der Klassifikation der Bodenarten. Ergänzend sind (Karte unten rechts) die Bodenarten der FIS-Aufschlüsse in die Klassenflächenzeichen der Bodenschätzung übertragen worden.

Für die Auswahl und Festlegung der anzuwendenden Prognosemodelle musste im Vorfeld eine Untersuchung durchgeführt werden, welche Gütemaße bei der Anwendung geostatistischer Verfahren für klassierte qualitative Merkmale mit unterschiedlichen Bandbreiten und für quantitative Merkmale erreicht werden können. Hierzu kam in einem ersten Schritt das quantitative Merkmal „nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes“ (nFKWe) zur Anwendung. Die nFKWe wurde für die FIS-Aufschlüsse bis zur jeweiligen Durchwurzelungstiefe nach LFULG (2009) horizontbezogen aus den korrigierten Angaben der Bodenart, der Lagerungsdichte und dem Humusgehalt unter Nutzung der bodenphysikalischen Kennwerte nach DEHNER u. a. (2015) abgeleitet. Für die Grablöcher erfolgte die Ableitung ebenfalls schichtbezogen bis zur Durchwurzelungstiefe unter Nutzung der Bodenart und des Humusgehaltes. Die Lagerungsdichte wurde für den Oberboden pauschal mit Ld3, für den Unterboden mit Ld4 angesetzt. Eine Ableitung der nFKWe erfolgte nur für die transformierten Grablochangaben unter Anwendung des zweiten Transformationsschlüssels.

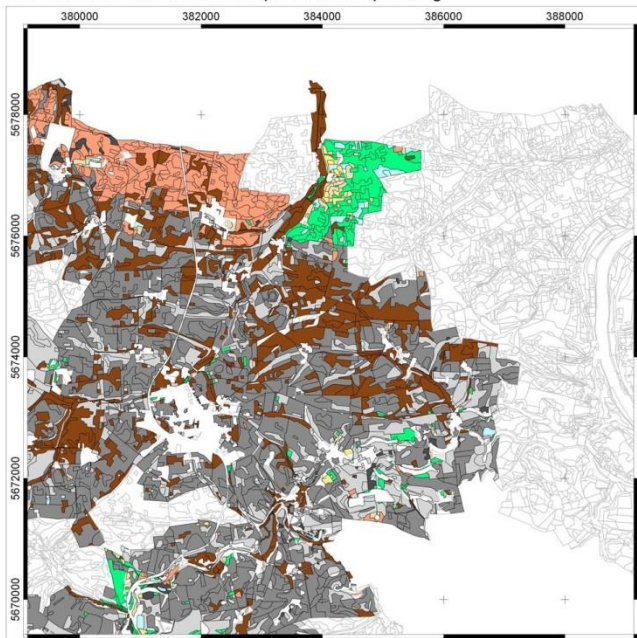
Transformation mittels NIBIS-Schlüssel



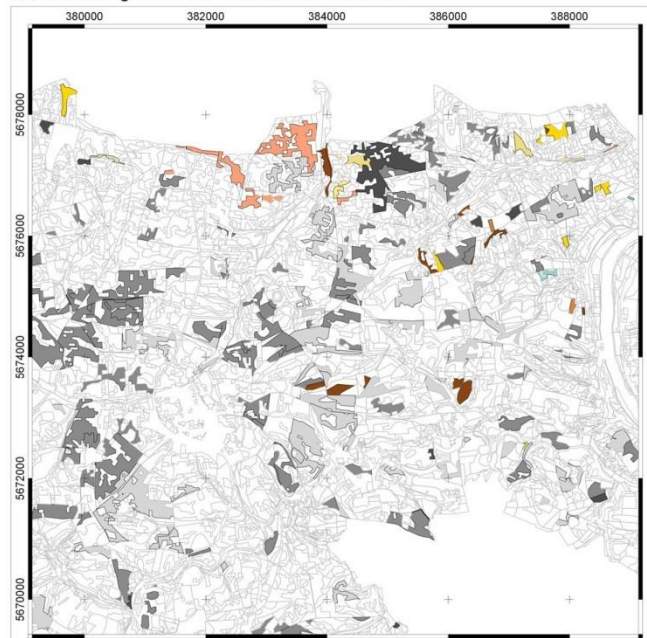
Transformation durch LfULG Sachsen



Transformation durch standortspezifische Anpassung

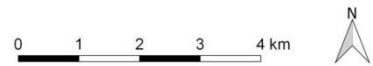


Klassifizierung FIS in BS-Klassenflächenzeichen



Legende Bodenarten

Sande	Lehme	Tone	Schluffe
Ss	Slu	Uu	Lt3
Su2	Sl4	Us	Tu3
Sl2	St3	Uls	Tu4
Sl3	Lt2	Ut2	Tl
Su3	Ls2	Ut3	Tu2
Su4	Ls3	Ut4	Ts2
Sl2	Ls4	Lu	Tt
	Lts		
	Ts3		
	Ts4		



Geobasisdaten: ©2016 Staatsbetrieb Geobasisinformation und Vermessung Sachsen
 Geofachdaten: ©2016 Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG)
 Koordinatenreferenzsystem: ETRS89 / UTM-Zone 33N

Abbildung 21: Klassifizierung der Bodenarten für die unterschiedlichen Transformationsmethoden

8 Prozesskettenentwicklung und Anwendung von geostatistischen Interpolations- und Prognosemethoden zur Ableitung von Bodenkennwerten

8.1 Einführung

Für die Anwendung von geostatistischen Interpolations- und Prognosemethoden zur Ableitung von Bodenkennwerten wurde von den bisher verwendeten Testgebieten das Gebiet Mittelsachsen priorisiert und nach Norden um 181 km² erweitert, um die Heterogenität der Relief-, Boden-, Geologie- und Landnutzungseigenschaften in einem Landschaftsausschnitt besser abbilden zu können. Insgesamt liegen im Untersuchungsraum 662 FIS-Aufschlüsse der Bodenkundlichen Landesaufnahme sowie 12.133 digitale FESCH-Grablöcher der Bodenschätzung mit Schicht- und Horizontdaten vor. Die Entwicklung der Prozesskette zur Interpolation bzw. Prognose von Bodenkennwerten orientiert sich an folgenden Schwerpunkten, die in einem Fließschema abgebildet sind (Abbildung 22):

- Als Datengrundlagen dienen die Aufschlüsse der Bodenkarte 1:50.000 (FIS-Aufschlüsse der BLA) sowie die Grablochbeschriebe (GLB) des Testgebietes. Die Profildaten werden mit Reliefparametern miteinander in Beziehung gesetzt.
- Die geostatistische Interpolationsmethode Kriging kann als Regressionsverfahren verstanden werden, dass neben statistischen Beziehungen auch entfernungsweightete Abhängigkeiten der Variablenausprägungen berücksichtigt (Kap. 7.1.2).
- Bei der räumlichen Prognose der Bodenkennwerte und -klassen wird ein Data-Mining-Verfahren angewendet, das auf statistische Beziehungen zwischen Ziel- und erklärenden kontinuierlichen und/oder thematischen Variablen beruht und auf die Detektion verborgener Zusammenhänge zielt (Kap. 7.1.3).
- Zur Bewertung der Prognoseergebnisse werden das Bestimmtheitsmaß R^2 und das Streuungsmaß Root Mean Square Error (RMSE) herangezogen. Die Interpolationsergebnisse werden mithilfe der Kriging-Standardabweichung bewertet. Die Bewertung der Klassifikationsergebnisse basiert auf der Konfusionsmatrix und dem Kappa-Index.

Die einzelnen Prozessierungsschritte sind innerhalb der statistischen Open-Source-Programmumgebung R in Form von R-Skripten bzw. -Funktionen umgesetzt worden (R CORE TEAM 2015).

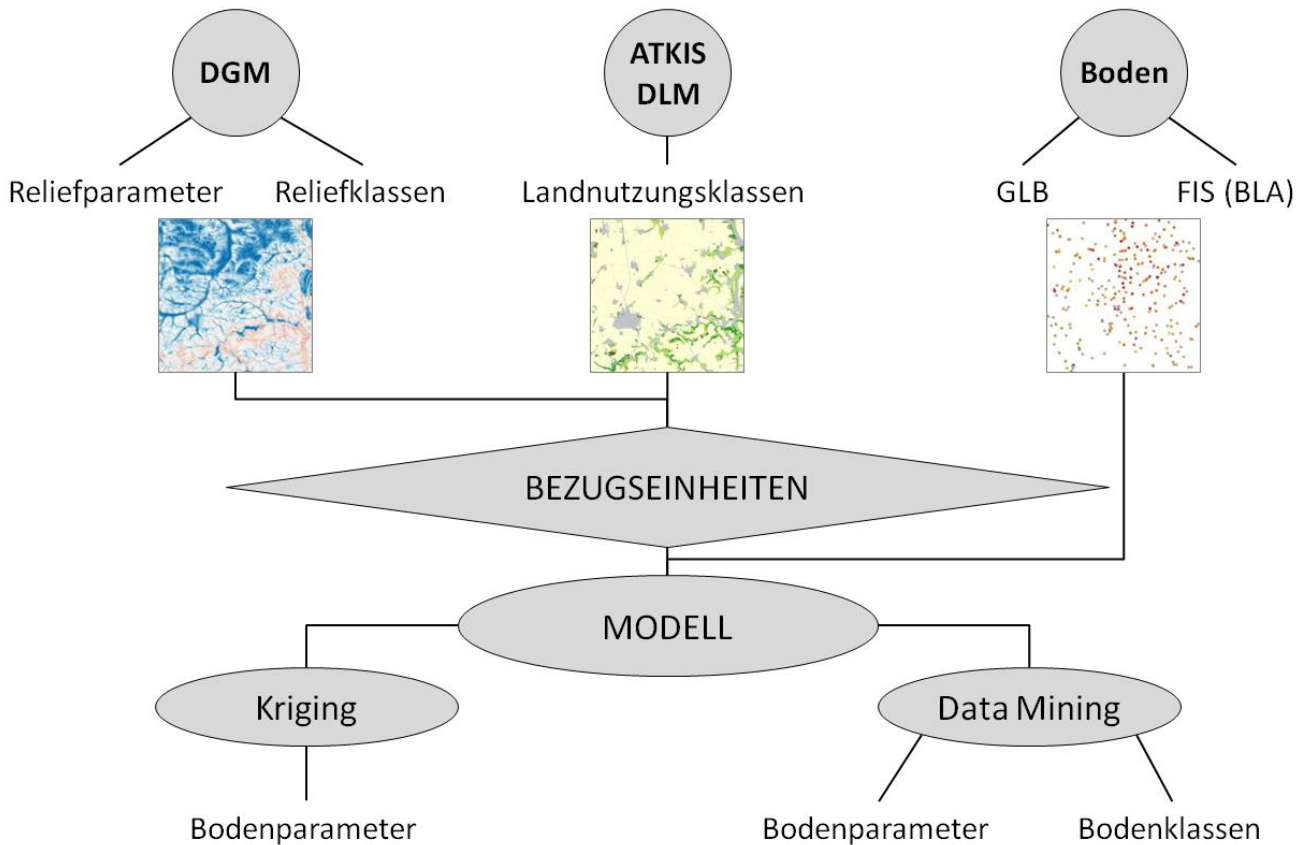


Abbildung 22: Fließschema zur Prognose und Interpolation von Bodenparametern und -klassen

8.2 Parametrisierung der Prozesskette

Auf Basis des digitalen Geländemodells wurden zunächst geomorphometrische Reliefattribute (RA), kategorisiert nach einfachen, kombinierten und komplexen Attributen, abgeleitet. In Kapitel 6.1. wurde ausführlich darauf eingegangen.

Die in dem korrigierten bodenkundlichen Aufschlusssdatensatz enthaltenen Zielvariablen sind durch ein kategoriales Skalenniveau gekennzeichnet (Beispiel Bodenart, Abbildung 23). Um die qualitativen Variablen flächenhaft interpolieren zu können, ist eine Konvertierung in metrische Werte notwendig. Für die Variable „Bodenart“ sind unter Verwendung des R-Paketes *soiltexure* (MOEYS 2016) aus den Anteilen der einzelnen Korngrößenfraktionen Sand, Schluff und Ton die Zentroide der jeweiligen Bodenartenklassen des Korngrößendiagrammes der KA5 abgeleitet worden. Die resultierenden Zentroid-Werte sind in Tabelle Tabelle 14 dokumentiert. Die Variablen „Stufe Humusgehalt“, „Stufe Skelettgehalt“ und „Lagerungsdichte“ wurden als thematische Klassen entsprechend der Gehalts-werte nach KA5 behandelt.

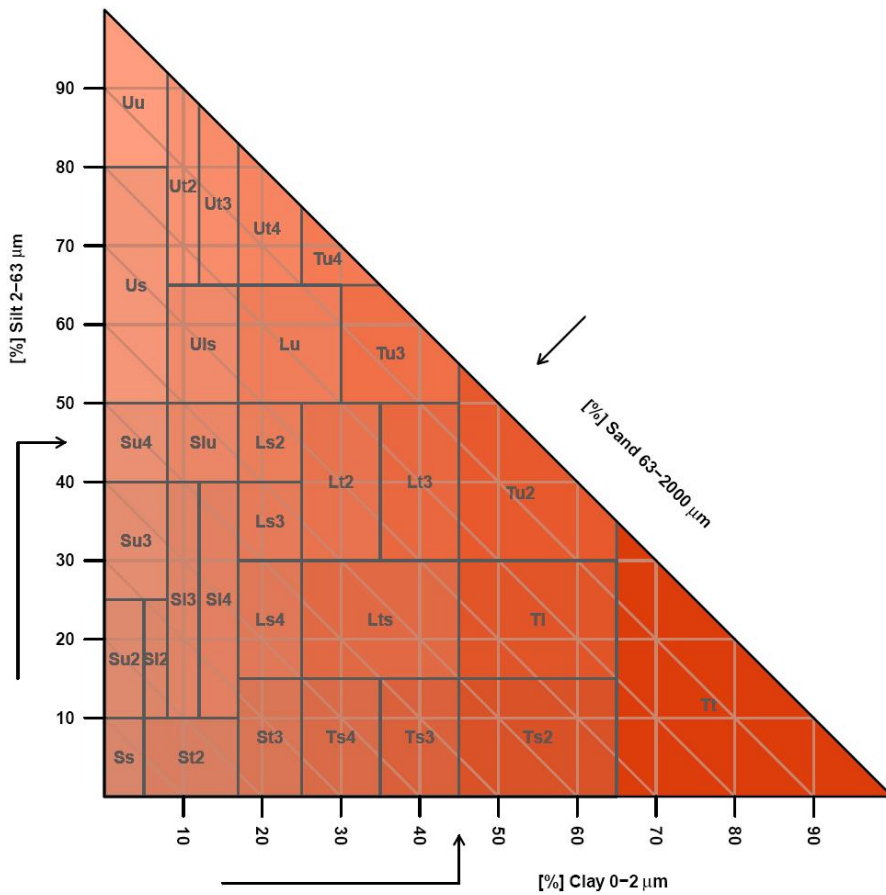


Abbildung 23: Korngrößendiagramm der KA5, generiert mit dem R-Paket soiltexture (MOEYS 2016)

Tabelle 14: Abgeleitete Korngrößenfraktionen für die Bodenarten nach KA5

Bodenart	Anteil [%]			Bodenart	Anteil [%]		
	Ton	Schluff	Sand		Ton	Schluff	Sand
Ss	2,5	5,0	92,5	Ts3	40,0	7,5	52,5
Su2	2,5	17,5	80,0	Uu	3,7	88,2	8,2
Sl2	6,5	17,5	76,0	Us	4,0	65,0	31,0
Sl3	10,0	25,0	65,0	Ut2	10,0	77,5	12,5
St2	11,0	5,0	84,0	Ut3	14,4	75,3	10,3
Su3	4,0	32,5	63,5	Uls	12,5	57,5	30,0
Su4	4,0	45,0	51,0	Ut4	20,6	72,2	7,2
Slu	12,5	45,0	42,5	Lu	23,5	57,5	19,0
Sl4	14,5	25,0	60,5	Lt3	40,0	40,0	20,0
St3	21,0	7,5	71,5	Tu3	36,3	56,3	7,4
Ls2	21,0	45,0	34,0	Tu4	28,3	68,3	3,3
Ls3	21,0	35,0	44,0	Ts2	55,0	7,5	37,5
Ls4	21,0	22,5	56,5	Tl	55,0	22,5	22,5
Lt2	30,0	40,0	30,0	Tu2	52,8	38,6	8,6
Lts	35,0	22,5	42,5	Tt	76,7	11,7	11,7
Ts4	30,0	7,5	62,5				

Die Datenintegration zielt auf die Attributierung des Aufschlussesdatensatzes mit Reliefparametern ab. Wie in MÖLLER ET AL. (2012) und MÖLLER und VOLK (2015) beschrieben, sind Reliefobjekte durch die Anwendung eines regionenbasierten Segmentierungsalgorithmus generiert worden. Dabei werden Rasterzellen zu Polygonen unter Berücksichtigung ihrer räumlichen Nachbarschaft sowie der Nachbarschaft im n-dimensionalen Merkmalsraum zusammengefasst. In dieser Studie wird der Merkmalsraum durch die die Reliefattribute HUT, MBI und SLP aufgespannt (Abbildung 24).

Ähnlich dem Wasserscheidenalgorithmus beginnt das Regionenwachstum bei lokalen Werteminima und stoppt, bis eine vom Anwender zu bestimmende Merkmalsheterogenität der resultierenden Reliefobjekte erreicht wird, die wiederum im Zusammenhang mit der Objektgrößenverteilung steht. Als zusätzliches Haltekriterium können bestehende Grenzen herangezogen werden. Hier fanden die Grenzen der Bodenlandschaften Eingang in die Segmentierungsprozedur.

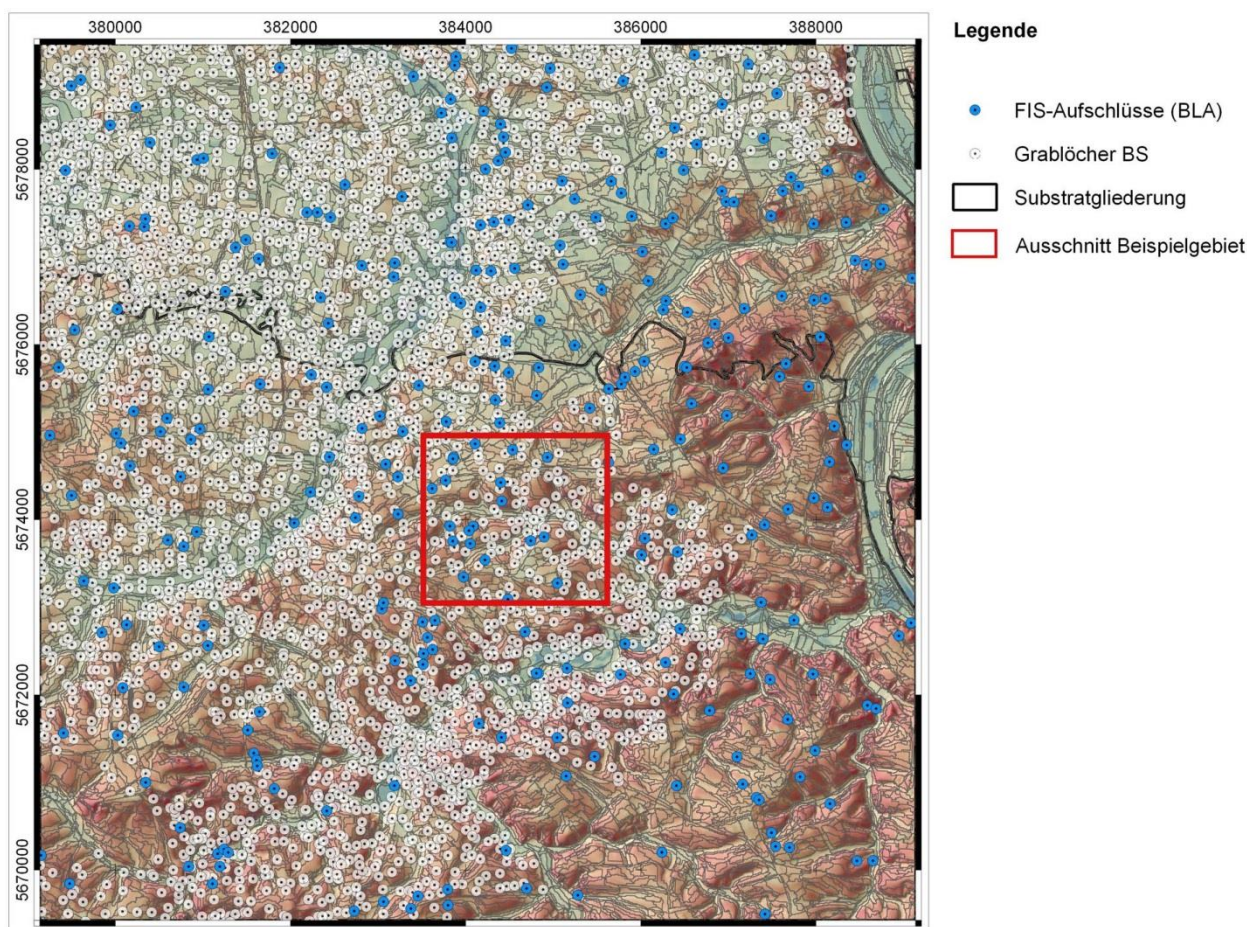


Abbildung 24: Reliefeinheiten, Positionen der FIS-Aufschlüsse und Grablöcher vor dem Hintergrund des Reliefparameters Bodenfeuchteindex – Testgebiet Mittelsachsen

In Abbildung 25 sind die Reliefobjekte beispielhaft dargestellt (links). Entsprechend Abbildung 25 (rechts) beträgt der Median der resultierenden Objektgrößen 0,1 ha. Ein Vorteil der Vorgehensweise besteht zum einen in der Datenreduktion. So reduzierte sich als Ergebnis der Segmentierung die Anzahl der 1.000.000 Rasterzellen auf ca. 78.000 Polygone. Neben der potentiellen Einbindung weiterer „fester“ Grenzen (z. B. Geologische Karte) besteht die Möglichkeit, Reliefobjektdatensätze verschiedener räumlicher Aggregationsniveaus generieren zu können, die zur Optimierung von Prognose- oder Interpolationsergebnissen genutzt werden können (MÖLLER und VOLK 2015). Hintergrund ist, dass die dokumentierte Lage der Aufschlüsse oft durch Positionsungenauigkeiten gekennzeichnet

ist. Das bedeutet, dass der resultierende Repräsentativitätsgrad bzw. Kartierungsmaßstab der Aufschlussstandorte unbekannt ist. In dieser Studie wird sich aber zunächst auf ein Aggregationsniveau beschränkt, um prinzipielle Zusammenhänge zwischen Ziel- und erklärenden Variablen zu untersuchen.

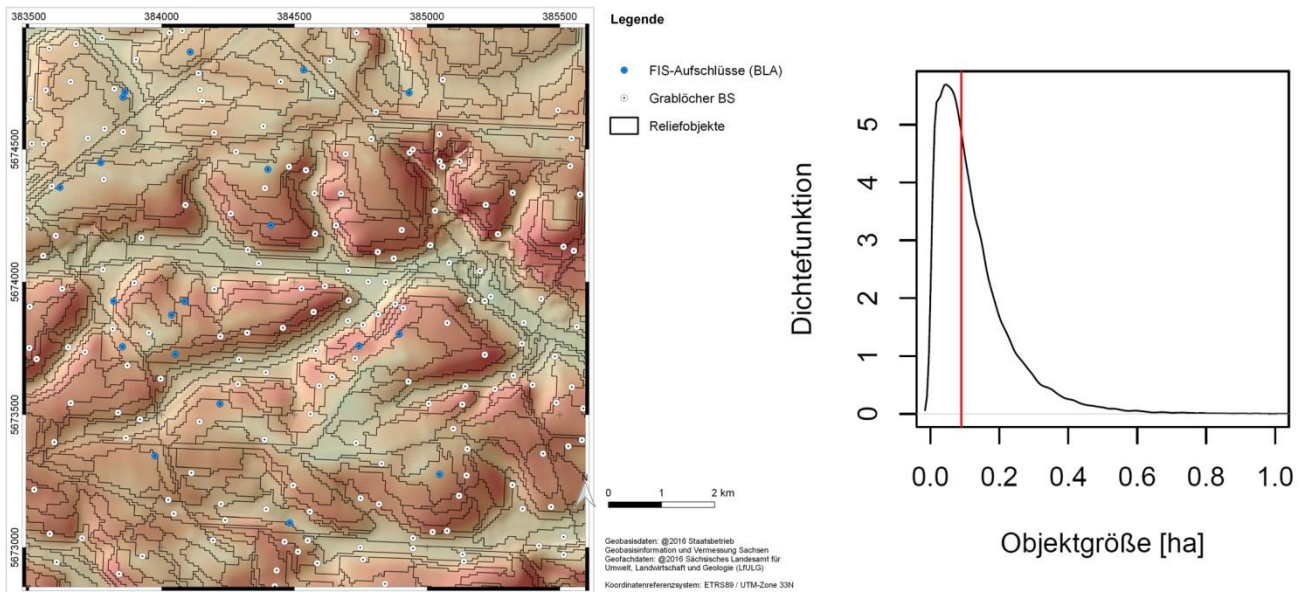


Abbildung 25: Ausschnitt des Testgebietes Mittelsachsen mit Reliefobjekten (links) sowie die Häufigkeitsverteilung der Reliefobjektgrößen (rechts). Die rote Linie kennzeichnet die Position des Medians

8.3 Interpolation

Die Interpolation der Schluff- und Tongehalte ist mit der geostatistischen Interpolationsmethode Universal Kriging für die FIS-Aufschlüsse der Bodenkundlichen Landesaufnahme realisiert worden, die im R-Paket automap implementiert ist (HIEMSTRA ET AL. 2008). Als Bezugseinheiten dienen die in Kapitel 6.1 beschriebenen Reliefobjekte. Das Kriging-Verfahren basiert auf der Annahme, dass die Ähnlichkeit zweier Variablenausprägungen mit deren Entfernung abnimmt. Dieser Zusammenhang wird mittels Variogrammdarstellungen illustriert. Abbildung 26 zeigt ein Semivariogramm, empirisches Variogramm und eine theoretische Variogrammfunktion einschließlich der optimierten Werte für die Parameter Model, Nugget, Sill und Range für die Kriging-Interpolation des Schluffgehaltes (Abbildung 26a) und des Tongehaltes (Abbildung 26b). Punktsignaturen entsprechen dem empirischen Variogramm. Blaue Liniensignaturen kennzeichnen die theoretische Variogrammfunktion. Die Modellgrundlage bilden das Gauß-Modell (Gauß-Variogrammmodell) und das Ste-Modell (Matérn Variogrammmodell) mit einer Parametrisierung nach STEIN (1999).

Die Semivarianz ist für die Modellierung des Tongehaltes um den Faktor 10 höher als für den Schluffgehalt. Der Wert des Parameters „Nugget“ ist für den Tongehalt gleich Null, was einen geringen Anteil an „Rauschen“ anzeigt, während das Variogramm für den Schluffgehalt einen Nugget von 75 aufweist. Je geringer die Semivarianz, desto ähnlicher sind die Variablenausprägungen in Bezug zu den benachbarten Beobachtungen. Der Parameter „Range“ ist für beide Interpolationen mit ca. 70 m relativ gering. Dies bedeutet, dass innerhalb von 70 m ein Zusammenhang zwischen benachbarten Bodenprofilen besteht, während zwischen Punkten größerer Entfernung nahezu kein Zusammenhang vorliegt. Diese hohe Anpassung des Modells an die Beobachtungen kann eventuell durch eine reduzierte Anzahl an erklärenden Variablen verringert werden, wodurch ein allgemeingültigeres Modell mit geringe-

rer Anpassung an die Beobachtungen erstellt werden kann. Das so beschriebene Variogrammodell wird dann als Grundlage für die räumliche Interpolation verwendet.

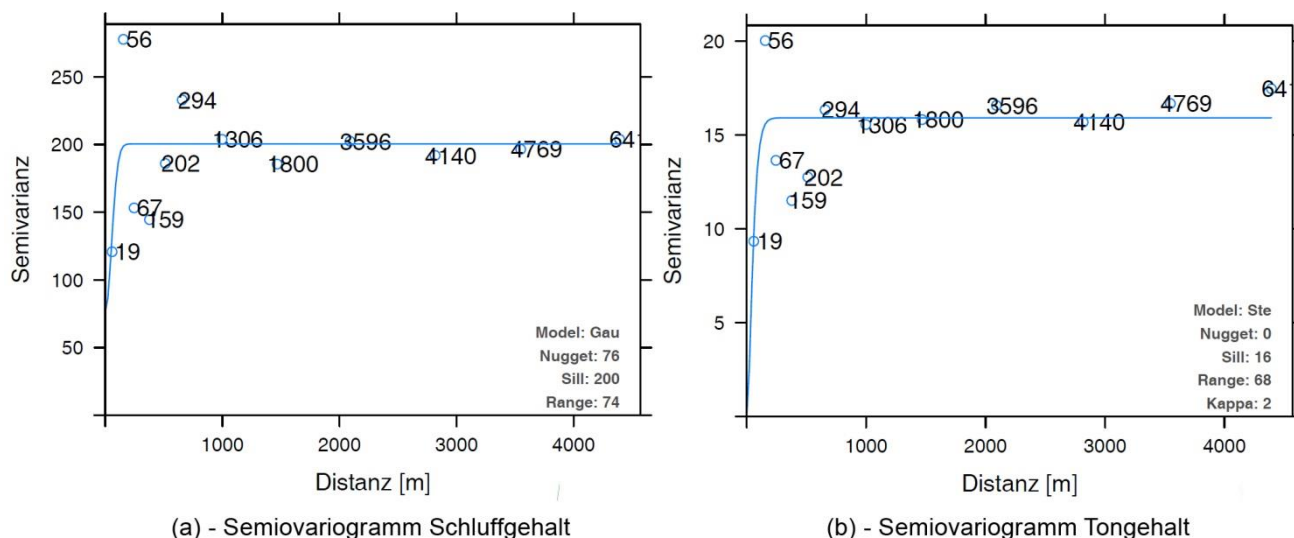


Abbildung 26: Semivariogramm, empirisches Variogramm und theoretische Variogrammfunktion für die Kriging-Interpolation des Schluff- und Tongehaltes

Die Interpolationsergebnisse auf Basis der FIS-Aufschlüsse der Schluff- und Tongehalte für die oberste 10 cm-Bodenschicht sind in Abbildung 27 dargestellt. Die interpolierten Tongehalte sind durch eine relative Höhenabhängigkeit gekennzeichnet, was sich in hohen Tongehalten in Tiefenlinien sowie geringeren Tongehalten in den Plateaulagen niederschlägt. Die Schluffgehalte sind in Tiefenlinien eher geringer als im Umland. Plateaulagen weisen hohe Schluffgehalte auf.

Die Wurzel der mittleren Fehlerquadratsumme (=Root Mean Square Error bzw. RMSE) beträgt 4,1 (Tongehalt) und 16,7 (Schluffgehalt).

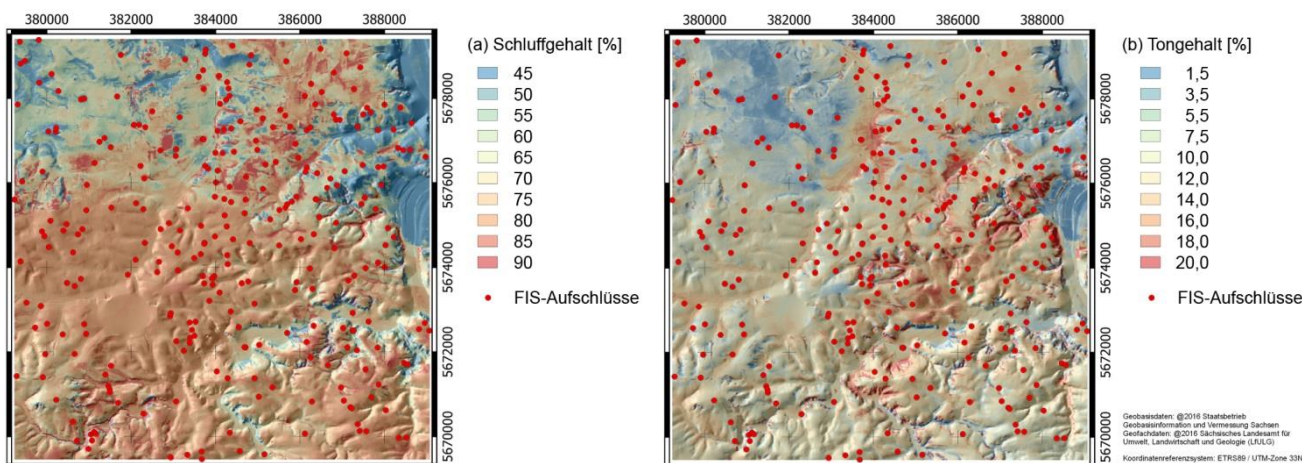


Abbildung 27: Interpolationsergebnisse für den Schluff- und Tongehalt der obersten 10-cm-Schicht

Die Prognoseergebnisse sind für den Schluffgehalt der obersten 10 cm in Abbildung 28 visualisiert. Wie bei den Interpolationsergebnissen sind die Prognoseergebnisse durch eine relative Höhenabhängigkeit gekennzeichnet. Tabelle 15 dokumentiert die internen und externen Validierungsergebnisse. Die RMSE-Gütemaße sind mit denen

der Interpolationsergebnisse vergleichbar. So ist der RMSE des prognostizierten Schluffgehaltes etwa dreimal höher als der des Tongehaltes. Die zusätzlich aufgeführten Bestimmtheitsmaße (einschließlich Kategorisierung mittels k-Wert) zeigen sowohl bei der internen als auch externen Validierung, dass die Varianzen der Prognosen durch die Modelle kaum (Schluffgehalt) bzw. nicht erklärt werden können (Tongehalt). Aus diesem Grund wurde der Interpolationsansatz für die Ableitung großmaßstäbiger Karten nicht weiter verfolgt.

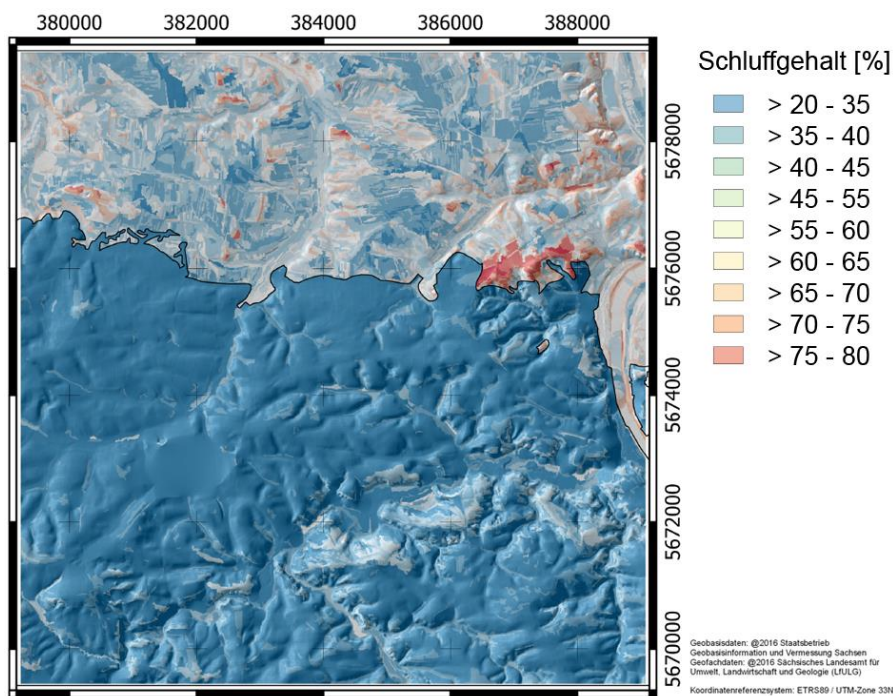


Abbildung 28: Prognoseergebnisse für den Schluff- und Tongehalt der obersten 10-cm-Schicht

Tabelle 15: Interne und externe Gütemaße für die Prognose des Schluff- und Tongehaltes

	Schluffgehalt [%]		Tongehalt [%]	
	R ²	RMSE	R ²	RMSE
Intern	0,18	19,67	0,10	4,50
Extern	0,10	15,23	0,06	4,20

- ... Wert < 0 = schlechte Übereinstimmung
- ... Wert > 0,0 und k ≤ 0,2 = leichte Übereinstimmung
- ... Wert > 0,2 und k ≤ 0,4 = ausreichende Übereinstimmung
- ... Wert > 0,4 und k ≤ 0,6 = mittlere Übereinstimmung
- ... Wert > 0,6 und k ≤ 0,8 = gute Übereinstimmung
- ... Wert > 0,8 und k ≤ 1,0 = sehr gute Übereinstimmung

8.4 Data-Mining

8.4.1 Beschreibung des Algorithmus und der Modellgütemaße

Zur Prognose der Parameter und Klassen sind verschiedene Data-Mining-Varianten angewendet worden, die innerhalb des R-Paket caret implementiert sind (KUHNS ET AL. 2014). Zu den bekanntesten Verfahren im Digital Soil Mapping-Kontext gehört der Entscheidungsbaumalgorithmus Random Forest (BREIMAN 2001). Das Prinzip von Entscheidungsbaumverfahren ist in Abbildung 29 veranschaulicht. Danach teilt der Algorithmus bei optionaler Berücksichtigung von thematischen Klassen den n-dimensionalen Merkmalsraum von erklärenden Variablen solange, bis der höchste statistische Zusammenhang bei minimaler Varianz erreicht wird.

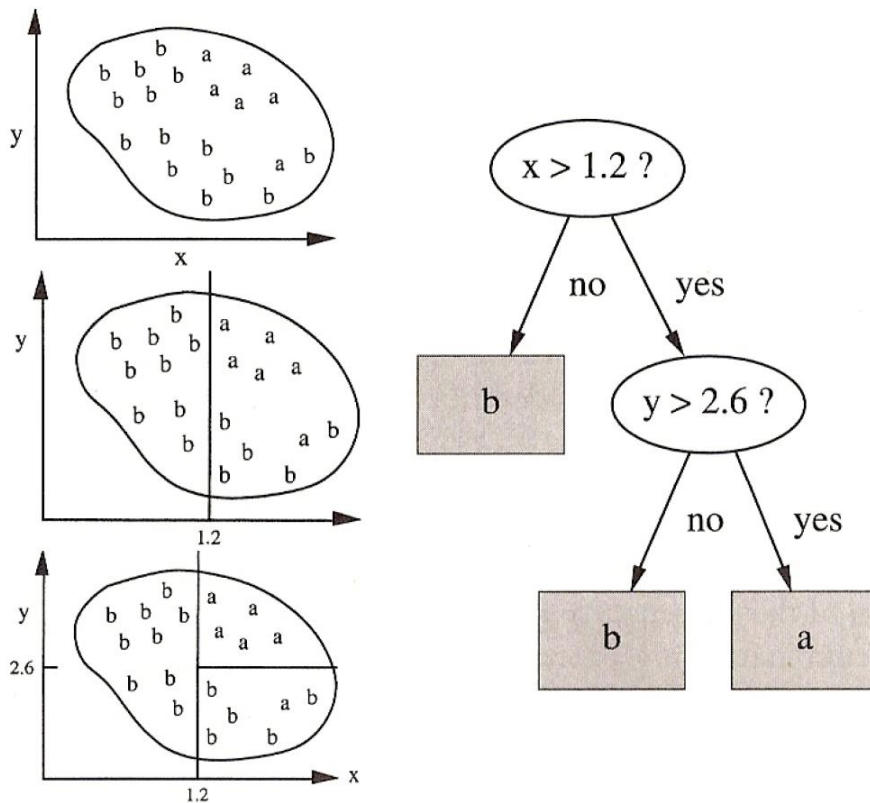


Abbildung 29: Prinzip von Entscheidungsbaumverfahren

In die Prozesskette zur Bodenprognose wurden drei Validierungsoptionen integriert:

- Der FIS- bzw. GLB-Ausgangsdatensatz ist in Abhängigkeit vom Zielparame-ter in einen Trainings- und Testdatensatz von 75 % bzw. 25 % geteilt worden. So ist der FIS-Datensatz der Bodenkundlichen Landesaufnahme in 502 Aufschlüsse, die als Trainingsdaten sowie 160 Aufschlüsse, die als Testdaten dienen, aufgeteilt. Abbildung 30 zeigt die räumliche Verteilung der Trainings- und Testdaten (FIS) im Testgebiet. Aus der Anwendung des jeweiligen Prognosemodells auf beide Datensätze ergeben sich „interne“ und „externe“ Genauigkeitsmaße.
- Bei der Kreuzvalidierung wird der Trainingsdatensatz zufällig geteilt. 66 % der Daten dienen der Modellbildung und 33 % der Modellvalidierung. Dieser Vorgang wird mehrmals wiederholt, sodass jede Teilmenge genau einmal für die Validierung verwendet wird.

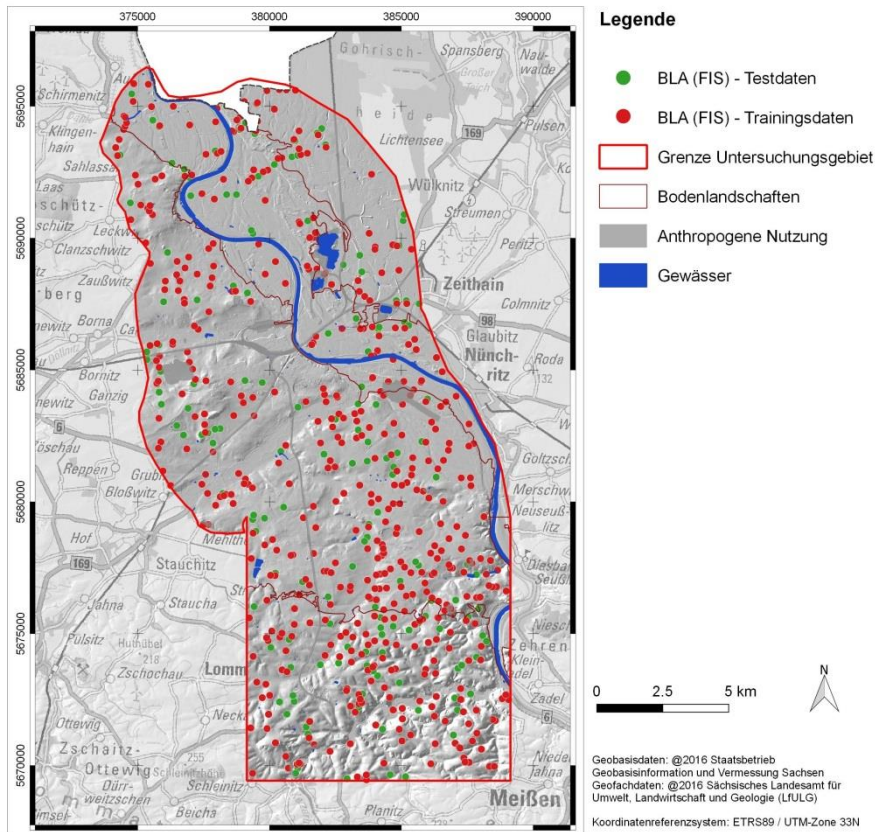


Abbildung 30: Test- und Trainingsdaten der FIS-Aufschlüsse im erweiterten Testgebiet Mittelsachsen

Die Modellgütemaße unterscheiden sich für Klassifikationen und Parameterprognose:

- Die Parameterprognosen (z. B. nFKWe) werden über das Bestimmtheitsmaß (R^2) und die Quadratwurzel des durchschnittlichen Prognosefehlers (RMSE) bewertet.
- Die Beurteilung der Klassifikationsergebnisse basiert auf der Konfusionsmatrix (Abbildung 31). FOODY (2002) gibt einen umfassenden Überblick zu Bewertungsmethoden der Klassifikationsgenauigkeit. Viele Bewertungsverfahren basieren auf Konfusionsmatrizen bzw. Kreuztabellen, aus denen Indizes zum „Übereinstimmungsgrad“ zwischen Referenzinformationen und zugehörigem Klassifikationsergebnis abgeleitet werden (Abbildung 31). Das einfachste Maß ist die Gesamtgenauigkeit GG (overall accuracy), die den Anteil der korrekt zugewiesenen Fälle an allen Referenzinformationen kennzeichnet (Diagonale der Kreuztabelle; Gleichung 1).

$$GG = \frac{\sum_{k=1}^q n_{kk}}{n} * 100 \quad (\text{Gleichung 1})$$

Sollen einzelne Klassen bewertet werden, sind die Hersteller- und Nutzergenauigkeit (producer's bzw. user's accuracy) gebräuchlich. Die Herstellergenauigkeit HG gibt die tatsächliche Trefferquote der Klassifikation hinsichtlich der Referenzinformationen bzw. der „Realität“ an (Summe der Spalten; Gleichung 2).

$$HG = \frac{n_{ii}}{n_{i+}} \quad (\text{Gleichung 2})$$

Die Nutzergenauigkeit NG (Gleichung 3) drückt dagegen die Wahrscheinlichkeit aus, mit der ein Objekt oder Pixel einer „genutzten“ analogen bzw. digitalen Karte (hier: Klassifikationsergebnis) als wahr einzuschätzen ist. Der In-

formationsgehalt des Klassifikationsproduktes wird den Referenzpunkten zugeordnet und mit den korrekt klassifizierten Treffern verglichen (Summe der Reihen).

$$NG = \frac{n_{ii}}{n_{i+}} \quad \text{(Gleichung 3)}$$

Ein wesentlicher Kritikpunkt der genannten Indizes besteht darin, dass die Varianz bei der Auswahl der Stichproben unberücksichtigt bleibt, sodass der Übereinstimmungsgrad zwischen Referenz und Klassifikationsergebnis durch eine hohe Zufallskomponente bzw. unbekannte statistische Signifikanz gekennzeichnet ist und verschiedene Klassifikationsergebnisse nicht verglichen werden können (STEHMAN 1997). Als Alternative bzw. Ergänzung zur Gesamtgenauigkeit findet deshalb häufig der Kappa-Koeffizient (k) Verwendung (ROSENFELD 1986). Im Gegensatz zur Gesamtgenauigkeit wird beim Kappa-Koeffizienten davon ausgegangen, dass sowohl die Klassifikation als auch die Referenz auf unabhängigen Klassenzuweisungen gleicher Verlässlichkeit beruhen. Diese beiden unabhängigen Grundgesamtheiten werden miteinander verglichen, wodurch Zufallsübereinstimmungen berücksichtigt werden können. Der Kappa-Koeffizient kann einen maximalen Wert von $k = 1$ erreichen. LANDIS und KOCH (1977) schlagen die in Abbildung 31 dargestellte k -Kategorisierung vor. Die grau hervorgehobenen Elemente der Hauptdiagonalen repräsentieren die Fälle, wo Referenz und Klassifikationsergebnis inhaltlich übereinstimmen. Die übrigen Fälle außerhalb der Diagonalen enthalten dagegen die Fälle, wo Referenz und Klassifikationsergebnis keine Übereinstimmung aufweisen.

		Actual Class				
		A	B	C	D	Σ
Predicted Class	A	n_{AA}	n_{AB}	n_{AC}	n_{AD}	n_{A+}
	B	n_{BA}	n_{BB}	n_{BC}	n_{BD}	n_{B+}
	C	n_{CA}	n_{CB}	n_{CC}	n_{CD}	n_{C+}
	D	n_{DA}	n_{DB}	n_{DC}	n_{DD}	n_{D+}
	Σ	n_{+A}	n_{+B}	n_{+C}	n_{+D}	n

Abbildung 31: Die Konfusionsmatrix und Maße der Klassifikationsgenauigkeit (aus FOODY 2002)

8.4.2 Beschreibung der verwendeten qualitativen und quantitativen Bodenparameter

Für die Prognose mittels des Data-Mining-Verfahrens wurden folgende Bodenmerkmale und -parameter ausgewählt:

■ Qualitative Parameter

- Bodenart
- Stufe Humusgehalt
- Lagerungsdichte (nur für den FIS-Datensatz)
- Stufe Skelettgehalt

■ Quantitative Parameter

- Gesamtporenvolumen
- Luftkapazität

- Feldkapazität
- Welkepunkt
- Nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes
- Sand-, Schluff- und Tongehalte

Die qualitativen Merkmale wurden direkt aus den Angaben der FIS-Aufschlüsse bzw. für die Bodenschätzung aus den transformierten Datensätzen entnommen. Die quantitativen Merkmale stellen Sekundärauswertungen dar, deren Ableitung nach LFULG (2009) erfolgte.

Als maximale Tiefe für die Parametrisierung wurde die maximale Durchwurzelungstiefe der Substrate nach LFULG (2009) mit einer Schichtauflösung von 1 dm festgelegt. Die Bodenbereiche unterhalb der maximalen Durchwurzelung wurden von der Prognose nicht betrachtet.

Für beide Parametergruppen lassen sich Vor- und Nachteile ausweisen, die je nach Ansatz und Sichtweise zur Erstellung von hochauflösenden Bodenkarten berücksichtigt werden müssen (Abbildung 32). So liegt der Vorteil der qualitativen Parameter darin, dass diese den Angaben der Substratausweisung in den „klassischen Bodenkarten“ entsprechen und aus den Ergebnissen der Prognose jederzeit nachträglich eine sekundäre Ableitung von Zielparametern mit unterschiedlichen Schlüsseln, Methoden usw. erfolgen kann. Der entscheidende Nachteil für diese Parametergruppe liegt darin, dass durch die Klassenbildung harte Grenzen und Sprünge zwischen den Einheiten auftreten.

Die Vorteile der quantitativen Parameter bestehen darin, dass es sich um direkte Zielmerkmale handelt, die einen kontinuierlichen metrischen Verlauf aufweisen und damit gut für statistische Auswertungen geeignet sind. Damit entsteht gleichzeitig ein entscheidender Nachteil: Da es sich um Sekundärparameter handelt, müssen diese im Vorfeld der Prognose festgelegt und abgeleitet werden. Jede Erweiterung sowie Änderung des Ableitungsansatzes bedarf einer erneuten Ableitung und anschließenden Prognose.

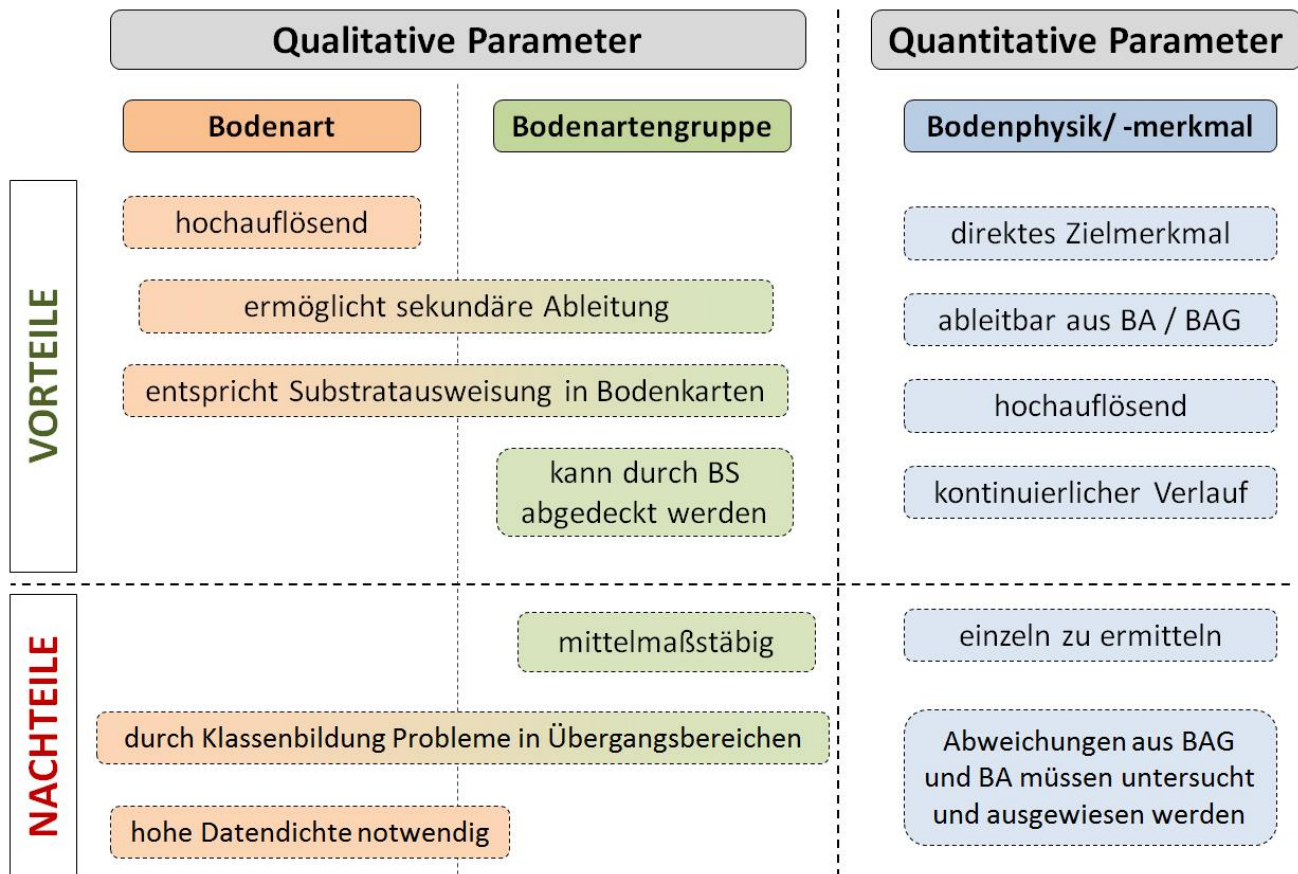


Abbildung 32: Vor- und Nachteile der Verwendung qualitativer und quantitativer Bodenparameter zur Ableitung hochauflösender Bodenkarten durch geostatistische Verfahren

8.4.3 Prognoseergebnisse und Modellgütemaße für die erste Bodenschicht (Testlauf)

8.4.3.1 Prognoseergebnisse und Modellgütemaße für den Bodenparameter Bodenart

Ein wesentliches Projektziel bestand in der Bewertung des Optimierungsgrads, welcher durch die Ergänzung des Datenbestandes der Bodenkundlichen Landesaufnahme (FIS-Daten) durch die Daten der Bodenschätzung (FESCH) erreicht werden kann. Hierzu wurde in einem ersten Prognoseschritt die Berechnung mittels der Datensätze „FIS-Aufschlüsse“, „transformierte Daten der Bodenschätzung“ sowie einem Datensatz aus der Vereinigung der transformierten Daten der Bodenschätzung und der korrigierten FIS-Daten durchgeführt. Dieser Arbeitsschritt erfolgte nur für die oberste (1,0 dm) Bodenschicht und die Parameter „Bodenart“ und „nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes“.

Abbildung 33 zeigt die mittels Data-Mining-Methode aus den FIS-Daten und den Daten der Bodenschätzung (FESCH) abgeleiteten Bodenarten des obersten Horizontes für das Testgebiet Mittelsachsen (ohne Erweiterung). Tabelle 16 dokumentiert die Übereinstimmung zwischen Prognosedaten und Aufschlussdaten für die oben beschriebenen verwendeten Datenkombinationen anhand statistischer Kennwerte (Gesamtgenauigkeit GG, Kappa-Werte).

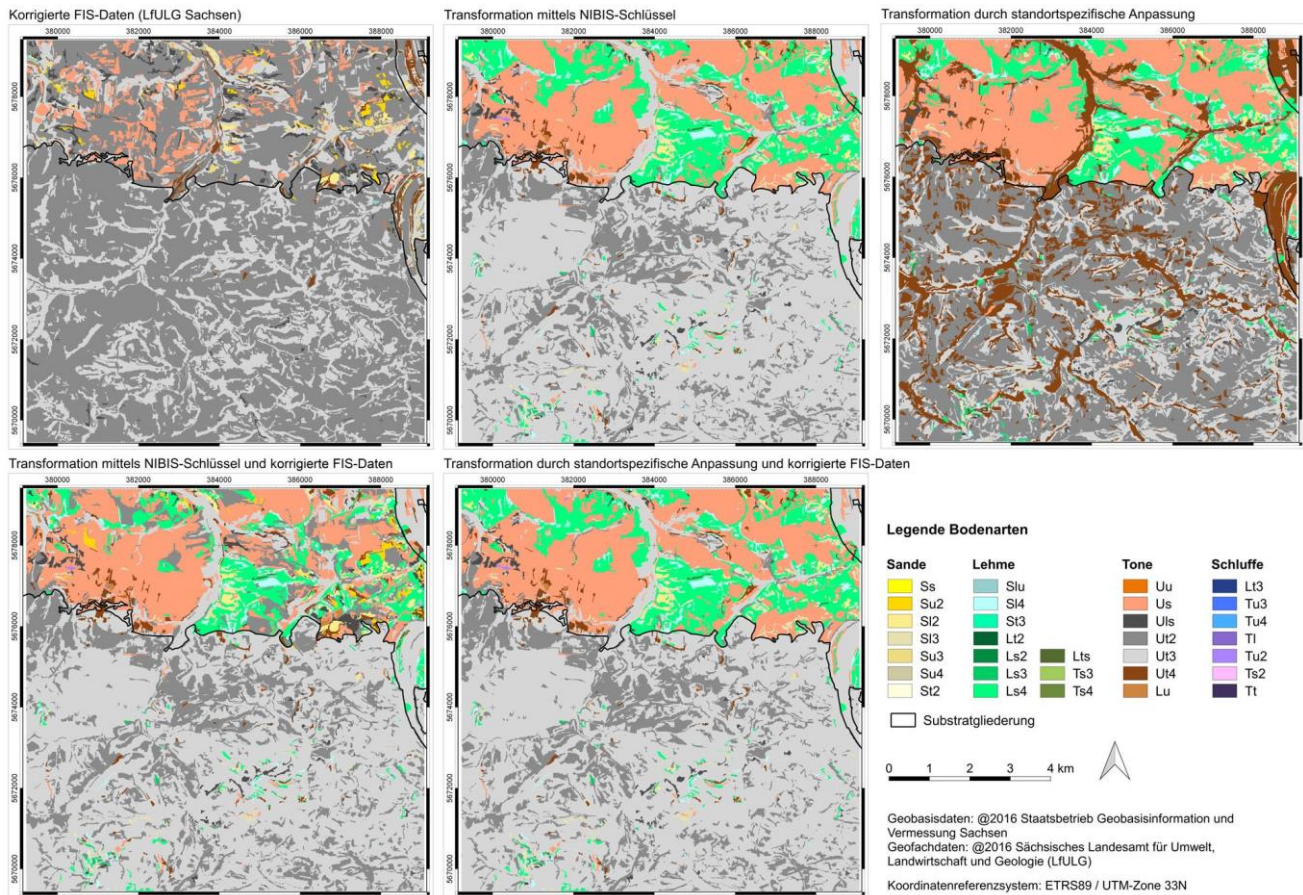


Abbildung 33: Aus FIS-Daten und transformierten Daten der Bodenschätzung abgeleitete Bodenarten (Testgebiet Mittelsachsen)

Tabelle 16: Statistische Kennwerte zur Übereinstimmung Prognosedaten und Aufschlüsse für Parameter Bodenart

Berechnungsvariante	Summe Aufschlüsse	Übereinstimmung Plots	Gesamtgenauigkeit GG [%]	Kappa-Wert
Korrigierte FIS-Daten	288	118	41 %	0,0456
Bodenschätzungsdaten (Transformation NIBIS-Schlüssel)	2.643	1.559	59 %	0,2868
Bodenschätzungsdaten (Transformation standortspezifische Anpassung)	2.065	907	44 %	0,2814
Bodenschätzungsdaten (Transformation NIBIS-Schlüssel) + FIS-Daten	2.931	1.615	55 %	0,3316
Bodenschätzungsdaten (Transformation standortspezifische Anpassung) + FIS-Daten	2.352	1.003	43 %	0,2386

Tabelle 17: Übereinstimmung Prognosedaten und Aufschlüsse für Parameter Bodenart – Korrigierte FIS-Daten

	Lu	Sl2	Sl3	Slu	Ss	Su2	Su3	Su4	Uls	Us	Ut2	Ut3	Ut4	Summe	Übereinstimmung	
															[%]	plots
Lu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	3	0%	0
Sl2	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	0	1	0	5	0%	0
Sl3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0%	0
Slu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	3	0%	0
Ss	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0%	0
Su2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	8	1	1	11	0%	0
Su3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	3	0	0	4	0%	0
Su4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	0%	0
Uls	0	1	0	0	0	2	0	0	0	3	9	3	0	18	0%	0
Us	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	14	3	0	19	5%	1
Ut2	1	0	0	0	0	0	1	1	1	5	87	31	0	127	69%	87
Ut3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	46	30	1	81	37%	30
Ut4	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	6	6	0	13	0%	0

Tabelle 18: Übereinstimmung Prognosedaten und Aufschlüsse für Parameter Bodenart – Bodenschätzungsdaten (Transformation NIBIS-Schlüssel)

	Ls3	Ls4	Lts	Lu	Sl2	Sl3	Sl4	Su2	Tu2	Uls	Us	Ut2	Ut3	Ut4	Summe	Übereinstimmung	
																[%]	plots
Ls3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	18	0	21	0%	0
Ls4	1	53	1	0	5	11	10	0	0	0	4	7	60	0	152	35%	53
Lts	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	100%	2
Lu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0%	0
Sl2	0	6	0	0	6	9	1	0	0	1	0	2	5	0	30	20%	6
Sl3	1	13	0	0	6	9	4	0	0	1	9	2	17	1	63	14%	9
Sl4	0	14	0	0	3	6	6	0	0	0	4	2	19	0	54	11%	6
Su2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0%	0
Tu2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0%	0
Uls	0	1	0	0	1	1	1	0	0	10	13	7	34	1	69	14%	10
Us	0	3	0	0	0	3	1	0	0	6	178	15	26	14	246	72%	178
Ut2	1	2	0	0	0	2	1	0	0	4	17	289	353	2	671	43%	289
Ut3	3	14	0	0	1	5	4	1	0	5	15	173	996	15	1232	81%	996
Ut4	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	29	13	46	10	100	10%	10

Tabelle 19: Übereinstimmung Prognosedaten und Aufschlüsse für Parameter Bodenart – Bodenschätzungsdaten (Transformation standortspezifische Anpassung)

	Ls3	Ls4	Lts	Sl2	Sl3	Sl4	Su2	Uls	Us	Ut2	Ut3	Ut4	Summe	Übereinstimmung	
														[%]	plots
Ls3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	5	5	4	15	0%	0
Ls4	1	28	0	3	11	9	0	1	6	14	27	15	115	24%	28
Lts	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0%	0
Sl2	0	7	0	4	4	2	0	1	0	4	2	1	25	16%	4
Sl3	0	9	0	3	4	3	0	1	6	11	11	4	52	8%	4
Sl4	0	11	0	2	6	4	0	0	6	7	9	0	45	9%	4
Su2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0%	0
Uls	0	2	0	1	1	1	0	7	6	12	20	3	53	13%	7
Us	0	2	0	0	4	2	0	3	158	19	11	14	213	74%	158
Ut2	1	2	0	0	1	3	1	5	14	381	141	91	640	60%	381
Ut3	0	10	0	1	2	1	0	4	5	190	193	84	490	39%	193
Ut4	1	3	0	0	2	0	0	0	23	171	87	128	415	31%	128

Tabelle 20: Übereinstimmung Prognosedaten und Aufschlüsse für Parameter Bodenart – Bodenschätzungsdaten (Transformation mittels NIBIS-Schlüssel) + FIS-Daten

	Ls3	Ls4	Lts	Lu	Sl2	Sl3	Sl4	Slu	Ss	Su2	Su3	Su4	Tu2	Uls	Us	Ut2	Ut3	Ut4	Summe	Übereinstimmung		
																				[%]	plots	
Ls3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	19	0	21	0%	0
Ls4	1	44	2	0	3	11	11	0	0	0	2	0	0	0	5	11	62	0	152	29%	44	
Lts	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	100%	2	
Lu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	0	4	0%	0	
Sl2	0	8	0	0	9	5	1	0	0	0	0	0	0	2	2	1	7	0	35	26%	9	
Sl3	1	12	0	0	4	11	4	0	0	0	0	0	0	2	9	2	18	1	64	17%	11	
Sl4	0	13	0	0	3	5	5	0	0	0	0	0	0	0	4	5	19	0	54	9%	5	
Slu	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	3	0%	0	
Ss	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0%	0	
Su2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	4	2	3	1	12	8%	1	
Su3	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	4	0%	0	
Su4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	2	0%	0	
Tu2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0%	0	
Uls	0	4	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	11	20	10	37	1	87	13%	11	
Us	0	4	0	0	0	4	1	0	0	0	0	0	0	7	190	18	25	16	265	72%	190	
Ut2	1	10	0	0	0	1	6	0	0	0	1	0	0	7	36	319	411	6	798	40%	319	
Ut3	4	22	0	0	1	6	4	0	0	2	0	0	0	5	18	224	1012	15	1313	77%	1012	
Ut4	0	1	0	0	0	2	0	0	0	1	0	0	0	1	28	20	49	11	113	10%	11	

Tabelle 21: Übereinstimmung Prognosedaten und Aufschlüsse für Parameter Bodenart – Bodenschätzungsdaten (Transformation durch standortspezifische Anpassung) + FIS-Daten

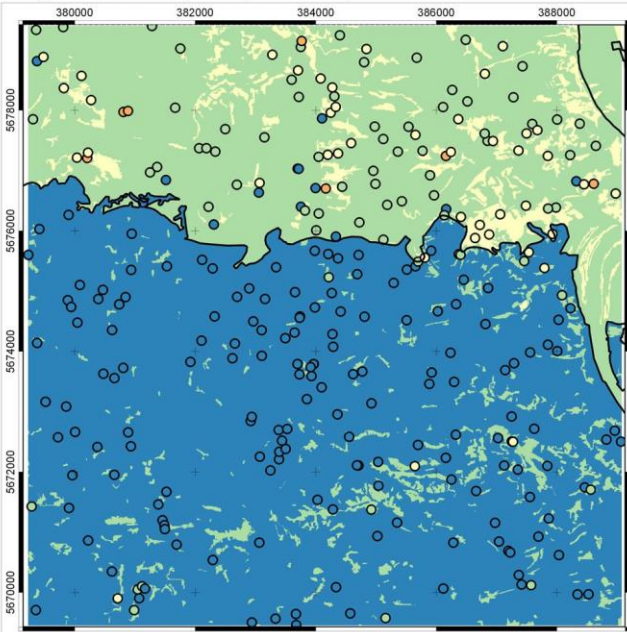
	Ls3	Ls4	Lts	Lu	SI2	SI3	SI4	Slu	Ss	Su2	Su3	Su4	Uls	Us	Ut2	Ut3	Ut4	Summe	Übereinstimmung	
																			[%]	plots
Ls3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5	4	15	0%	0
Ls4	1	17	0	0	3	10	8	0	0	0	2	0	0	10	23	32	9	115	15%	17
Lts	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0%	0
Lu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	3	0%	0
SI2	0	5	0	0	7	2	1	0	0	0	0	0	2	3	4	3	3	30	23%	7
SI3	1	6	0	0	4	4	3	0	0	0	0	0	2	9	11	9	4	53	8%	4
SI4	0	8	0	0	2	5	3	0	0	0	0	0	1	6	12	8	0	45	7%	3
Slu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	3	0%	0
Ss	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0%	0
Su2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	4	5	1	1	12	0%	0
Su3	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	4	0%	0
Su4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	0%	0
Uls	0	2	0	0	2	1	2	0	0	0	0	0	6	14	15	23	6	71	8%	6
Us	0	4	0	0	1	4	2	0	0	0	0	0	2	169	24	10	16	232	73%	169
Ut2	1	5	0	0	0	1	7	0	0	1	1	0	3	31	480	149	88	767	63%	480
Ut3	0	13	0	0	1	4	1	0	0	0	0	0	4	8	260	199	81	571	35%	199
Ut4	1	3	0	0	0	2	0	0	0	1	0	0	0	20	199	84	118	428	28%	118

8.4.3.2 Prognoseergebnisse und Modellgütemaße für den Bodenparameter Nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes

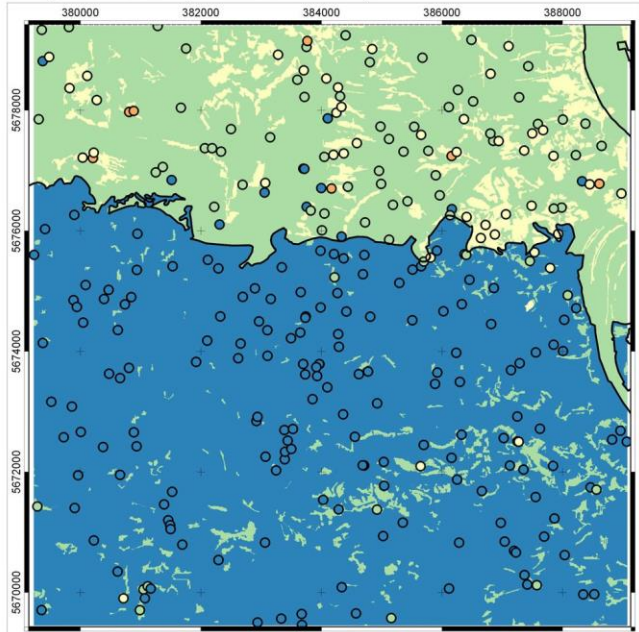
Zur Bewertung des Optimierungsgrades durch Integration der transformierten Daten der Bodenschätzung in das Prognosemodell wurde in einem weiteren Schritt das quantitative Merkmal „Nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes (nFKWe)“ in die Auswertung einbezogen.

Abbildung 34 zeigt die mittels Data-Mining-Methode aus den FIS-Daten und den Daten der Bodenschätzung (FESCH) abgeleiteten nutzbaren Feldkapazitäten des Oberbodens für die oben beschriebenen verwendeten Datenkombinationen für das Testgebiet Mittelsachsen (ohne Erweiterung). Die Prognoseergebnisse sind dabei als Flächendaten dargestellt. Überlagert werden die Ergebnisse mit den Punktdaten der nutzbaren Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes, die aus den realen FIS-Aufschlussesdaten abgeleitet wurden. Die Legendenklassen entsprechen jeweils der im Bodenbewertungsinstrument Sachsen vorgenommenen Einstufung (LFULG 2009).

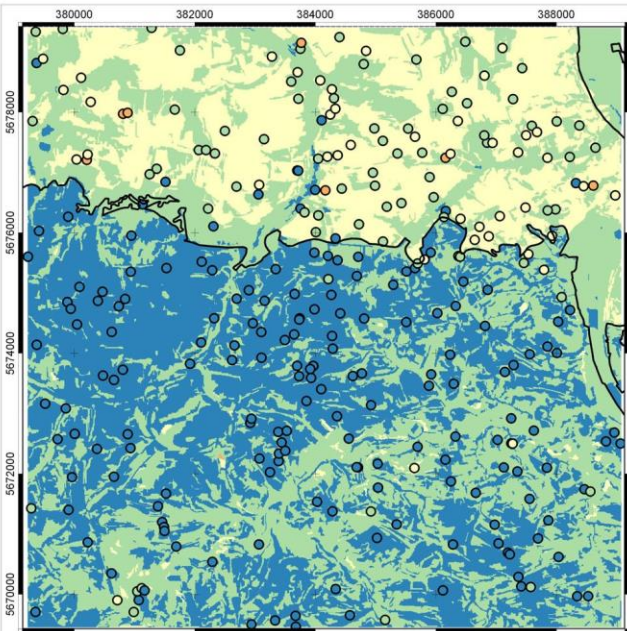
Korrigierte FIS-Daten (Trainingsdatensatz)



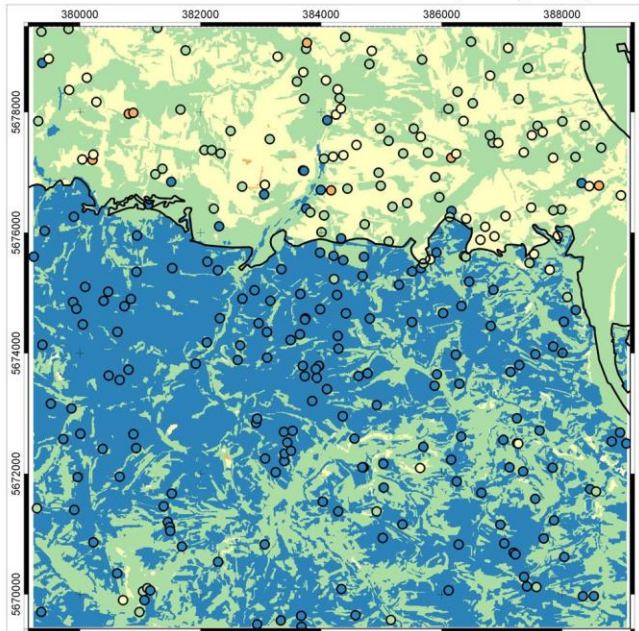
Korrigierte FIS-Daten (Gesamter Datensatz)



Transformation mittels NIBIS-Schlüssel



Transformation mittels NIBIS-Schlüssel und FIS-Daten (Trainingsdaten)



Legende

Nutzbare Feldkapazität (nFK)

- 0 - < 50 mm - sehr gering
- 50 - < 90 mm - gering
- 90 - < 140 mm - mittel
- 140 - < 200 mm - hoch
- ≥ 200 mm - sehr hoch

Substratgliederung



Geobasisdaten: ©2016 Staatsbetrieb
 Geobasisinformation und Vermessung Sachsen
 Geofachdaten: ©2016 Sächsisches Landesamt für
 Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG)
 Koordinatenreferenzsystem: ETRS89 / UTM-Zone 33N

Abbildung 34: Aus FIS-Daten und Daten der Bodenschätzung abgeleitete nFKWe (Testgebiet Mittelsachsen)

8.4.3.3 Interpretation der Ergebnisse

Bei der Nutzung der separaten Verwendung der FIS-Aufschlüsse sowie der transformierten Daten der Bodenschätzung treten zwei Defizite auf, die die Modellgüte der Prognosen stark beeinflussen. Im Falle der FIS-Aufschlüsse ist es die, wie bereits mehrfach erwähnte, geringe Anzahl von Aufschlüssen je km², sodass eine Übertragung der jeweiligen Standortdaten auf alle Reliefpositionen nicht möglich ist. Für die Bodenschätzung ist diese Übertragbarkeit aufgrund der großen Anzahl von Grablochbeschrieben gegeben, allerdings liegt für diesen Datenbestand das Defizit in der korrekten Transformation der Bodenart nach Bodenschätzung in die Nomenklatur der KA5. Auch dieses Problem wurde bereits eingehend dargelegt. Aus diesem Grund sollten die Möglichkeit und der Grad der Optimierung der Modellgüte des FIS-Datensatzes durch Integration der Bodenschätzungsdaten untersucht werden.

Für beide Parametergruppen, qualitative und quantitative, zeigt sich, dass dieser Weg nicht zu einer Verbesserung der Modellgüte führt. Im Gegenteil, diese nimmt in beiden untersuchten Fällen ab.

Für den Parameter „Bodenart“ beträgt die Übereinstimmung der Prognoseergebnisse mit den Ausgangsdaten bei Verwendung der FIS-Daten 41 %, der transformierten Daten der Bodenschätzung 59 % und der integrierten Datenbestände 55 % (Tabelle 16). Ein ähnliches Bild zeigt sich für den Parameter „nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes“ (Abbildung 34). Hier beträgt das Bestimmtheitsmaß bei Verwendung der FIS-Daten 0,56, der transformierten Daten der Bodenschätzung 0,45 und der integrierten Datenbestände 0,42.

Die Ursache, dass für den integrierten Datenbestand trotz hoher Punktdichte eine geringere Übereinstimmung bzw. ein geringeres Bestimmtheitsmaß erzielt wird, liegt darin, dass die Güte der Transformation der Bodenarten der Bodenschätzung in die Nomenklatur der KA5 auf dem Niveau der Bodenart unzureichend ist. Das zeigt die in Tabelle 22 aufgeführte Gegenüberstellung der Bodenarten für den ersten Dezimeter aus den FIS-Aufschlüssen und den Bodenschätzungsdaten.

Tabelle 22: Übereinstimmung der transformierten Bodenarten der Bodenschätzung mit den Angaben der FIS Aufschlüsse für den ersten Dezimeter (n=334)

Niveau der Transformation	Übereinstimmung Bodenart FIS mit Bodenart GLB [%]
Bodenart	10
Bodenartengruppe	25
Bodenartenhauptgruppe	46

Um dem Anspruch einer großmaßstäbigen Auflösung gerecht zu werden, erfolgte die Prognose auf dem Niveau der Bodenart und der daraus abgeleiteten nutzbaren Feldkapazität. Die Übereinstimmung beträgt hierfür lediglich 10 %, was vielfältige Ursachen hat. So wurde bei der BLA-Kartierung das Löss-Substrat häufig als Ut2 oder Ut4 ausgewiesen. Die angewendeten Transformationsschlüssel weisen jedoch den entsprechenden Bodenarten der Grablochbeschriebe ein Ut3 zu. Gleiches gilt für den Sand, der in der BLA-Kartierung meist als reiner Sand angesprochen wurde, im Rahmen der Transformation jedoch in Richtung Lehmsande tendiert. Die fehlende Übereinstimmung führt dazu, dass für die Bezugsflächen keine eindeutige Zuweisung der Bodenparameter erfolgen konnte und es zu einer Mittelung kam, die das Prognoseergebnis stark beeinträchtigt hat.

Als Ergebnis muss festgestellt werden, dass eine Integration des bisherigen Transformationsstandes der Angaben der Bodenschätzung in den Bestand der FIS-Aufschlüsse keine Verbesserung des Prognoseergebnisses mit sich bringt und aufgrund der Abweichungen bei der Ausweisung der Bodenarten nicht durchgeführt werden sollte. Beide Datenbestände sind getrennt zu halten.

8.4.4 Prognoseergebnisse und Modellgütemaße für den gesamten Wurzelraum

8.4.4.1 Prognoseergebnisse und Modellgütemaße für den Bodenparameter `Bodenart`

Nachfolgende Abbildungen und Tabellen zeigen für das erweiterte Testgebiet Mittelsachsen die Prognoseergebnisse für die Bodenart und Bodenartengruppe des Oberbodens (1. Schicht) – abgeleitet aus den FIS-Aufschlüssen der Bodenkundlichen Landesaufnahme sowie den Grablochbeschrieben. Den Ergebnissen gegenübergestellt sind die originären Aufschlussparameter.

Die Anwendung des trainierten Modells auf den Testdatensatz der FIS-Aufschlüsse zeigt eine Übereinstimmung von 36 % aller Stichproben (Tabelle 23). Die vergleichsweise geringe Raumdichte der FIS-Aufschlüsse hat zur Folge, dass eine Übertragung der Standortdaten nicht auf alle Reliefpositionen möglich ist und somit keine höhere Übereinstimmung der Prognose- mit den Aufschlussdaten erzielt werden kann. Die Bodenschätzungsdaten zeigen eine höhere Übereinstimmung von 44 % (Tabelle 24), was sich durch die größere Raumdichte der Aufschlüsse erklären lässt. Auf das Defizit der korrekten Transformation der Bodenart nach Bodenschätzung in die Nomenklatur der KA5 wurde hingegen bereits eingegangen.

Auf die Schwierigkeit, im Rahmen einer Kartierung sicher einzelne Bodenarten (u. a. Ut2, Ut3) ansprechen zu können, wurde in Kapitel 8.4.3.3 bereits eingegangen. Fasst man vor diesem Hintergrund die Bodenarten zu Bodenartengruppen zusammen, ergibt sich für beide Datensätze eine deutlich höhere Prognosegenauigkeit zwischen 50 und 60 % (Abbildung 35). Insgesamt ist festzustellen, dass der Erklärungsgehalt von Reliefparametern bei der Prognose von Reliefparametern und –klassen Grenzen aufweist.

Tabelle 23: Übereinstimmung der Prognosedaten und Aufschlussdaten für den Parameter Bodenart der ersten Bodenschicht (1 dm) – Testdatensatz FIS-Aufschlüsse (BLA)

	Lu	Sl2	Sl3	Sl4	Slu	Ss	Su2	Su3	Su4	Uls	Us	Ut2	Ut3	Ut4	Summe	Übereinstimmung			
																[%]	plots		
Lu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	
Sl2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	3	0	0	0	0	4	0	0	
Sl3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	0	0	
Sl4	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
Slu	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2	50	1	
Ss	0	0	0	1	0	4	2	0	0	1	0	0	1	0	0	9	44	4	
Su2	0	1	0	0	0	6	8	2	1	3	2	0	0	1	0	24	33	8	
Su3	0	0	0	0	0	0	2	2	0	3	0	2	0	0	0	9	22	2	
Su4	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	2	0	0	
Uls	2	1	0	0	0	1	3	2	0	3	3	0	2	1	0	18	17	3	
Us	0	0	0	0	2	2	2	1	0	2	15	2	1	0	0	27	56	15	
Ut2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	4	18	10	1	0	34	53	18	
Ut3	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	2	12	5	2	0	24	21	5	
Ut4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	3	33	1	
																GESAMT	160	36	57

Tabelle 24: Übereinstimmung der Prognosedaten und Aufschlusssdaten für den Parameter Bodenart der ersten Bodenschicht (1 dm) – Testdatensatz GLB-Aufschlüsse

																					Übereinstimmung	
	Ls3	Ls4	Lt2	Lts	Lu	SI2	SI3	SI4	Slu	Ss	Su2	Su4	Tu3	Tu4	Uls	Us	Ut2	Ut3	Ut4	Summe	[%]	plots
Ls3	2	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	8	1	16	13	2
Ls4	1	7	0	3	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	2	1	0	3	1	21	33	7
Lt2	0	0	6	6	0	3	0	7	0	0	3	0	0	0	4	0	1	0	0	30	20	6
Lts	0	4	6	171	2	18	2	48	0	0	41	0	0	19	38	0	1	17	11	378	45	171
Lu	0	2	0	2	11	1	0	6	0	0	1	0	0	9	1	0	0	3	3	39	28	11
SI2	1	3	0	29	2	160	2	45	0	0	116	0	0	10	6	0	3	9	0	386	41	160
SI3	0	2	0	3	0	1	3	2	0	0	0	0	0	0	1	0	1	6	0	19	16	3
SI4	1	2	2	91	4	58	0	120	0	0	61	1	0	37	24	0	2	20	1	424	28	120
Slu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
Ss	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Su2	2	1	1	54	3	131	1	96	0	0	141	1	0	33	11	0	3	7	1	486	29	141
Su4	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	4	0	0
Tu3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
Tu4	0	0	1	10	21	13	0	14	0	0	9	0	6	74	0	0	0	6	5	159	47	74
Uls	0	0	3	24	0	6	0	15	1	0	10	2	0	0	33	0	2	13	2	111	30	33
Us	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Ut2	0	3	0	6	0	1	3	1	0	0	2	0	0	0	2	0	44	28	3	93	47	44
Ut3	3	1	5	38	3	5	11	33	0	0	13	0	1	19	28	0	33	502	7	702	72	502
Ut4	1	0	0	5	0	2	0	3	0	0	4	0	0	3	0	0	3	4	22	47	47	22
GESAMT																				2.919	44	1.296

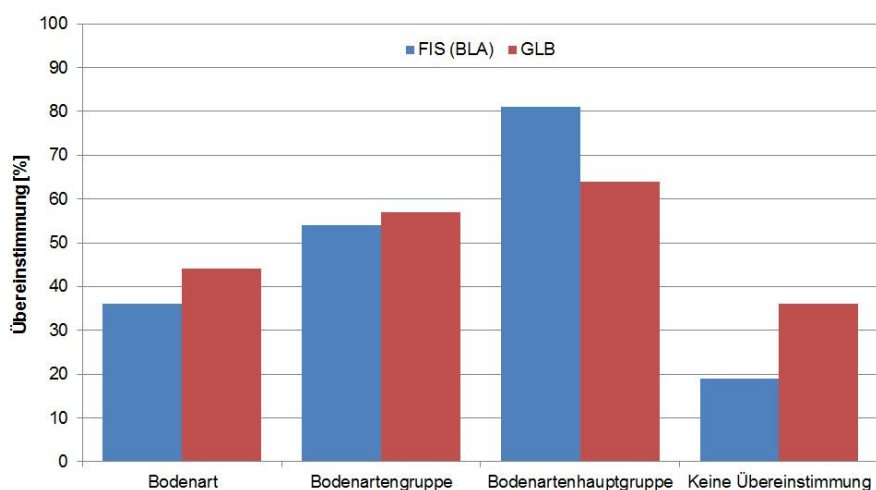


Abbildung 35: Prognosegenauigkeit der Bodenart und Bodenarten-(Haupt-)Gruppe des Oberbodens (1.Schicht) im Vergleich mit den FIS- und GLB-Aufschlüssen

Die nachfolgenden Karten zeigen für das erweiterte Testgebiet Mittelsachsen die räumliche Darstellung der Prognoseergebnisse für die FIS- und GLB-Aufschlüsse im Vergleich zu den Aufschlusssdaten. Hierbei wurde zwischen den Bodenarten (Abbildung 36 und Abbildung 37) und den Bodenartengruppen unterschieden (Abbildung 38 und Abbildung 39). Vergleichskarten, welche die Ergebnisse für beide Datensätze (FIS, GLB) der digitalen Bodenkarte 1:50.000 (digBK50) gegenüberstellen, sind dem Anhang (Karten 1 und 2) zu entnehmen.

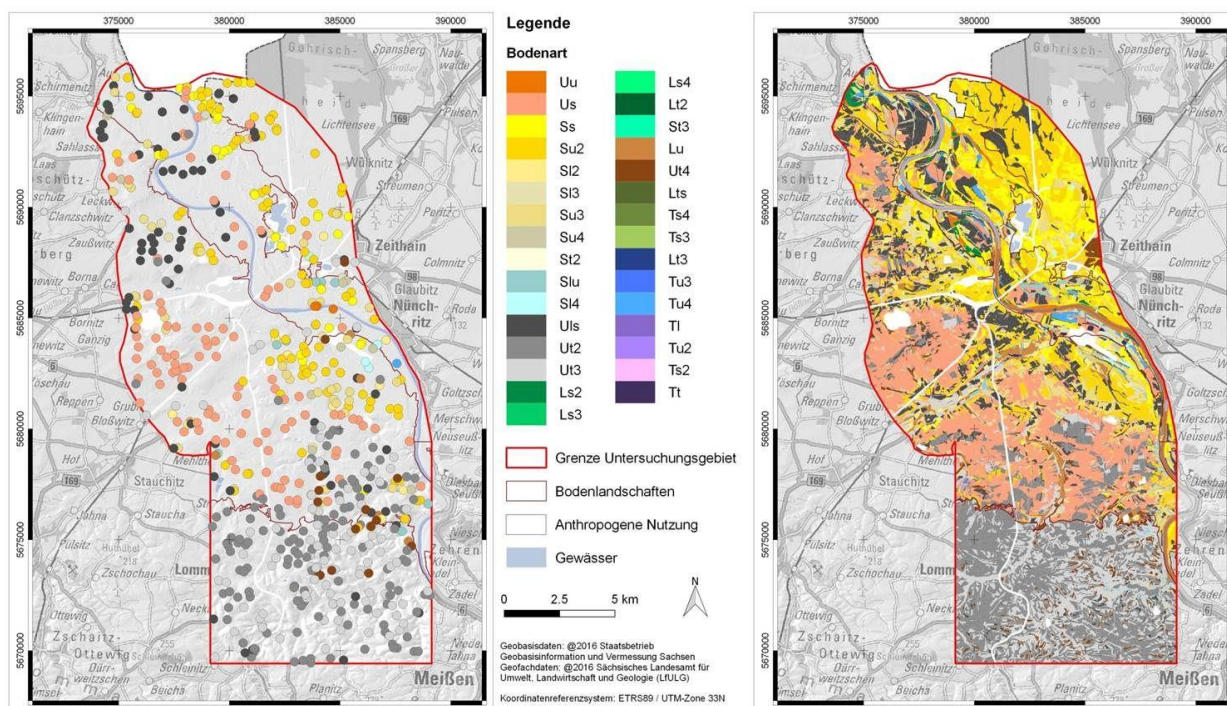


Abbildung 36: Prognose der Bodenart des Oberbodens (1. Schicht) (rechts) im Vergleich mit den FIS-Aufschlüssen (links)

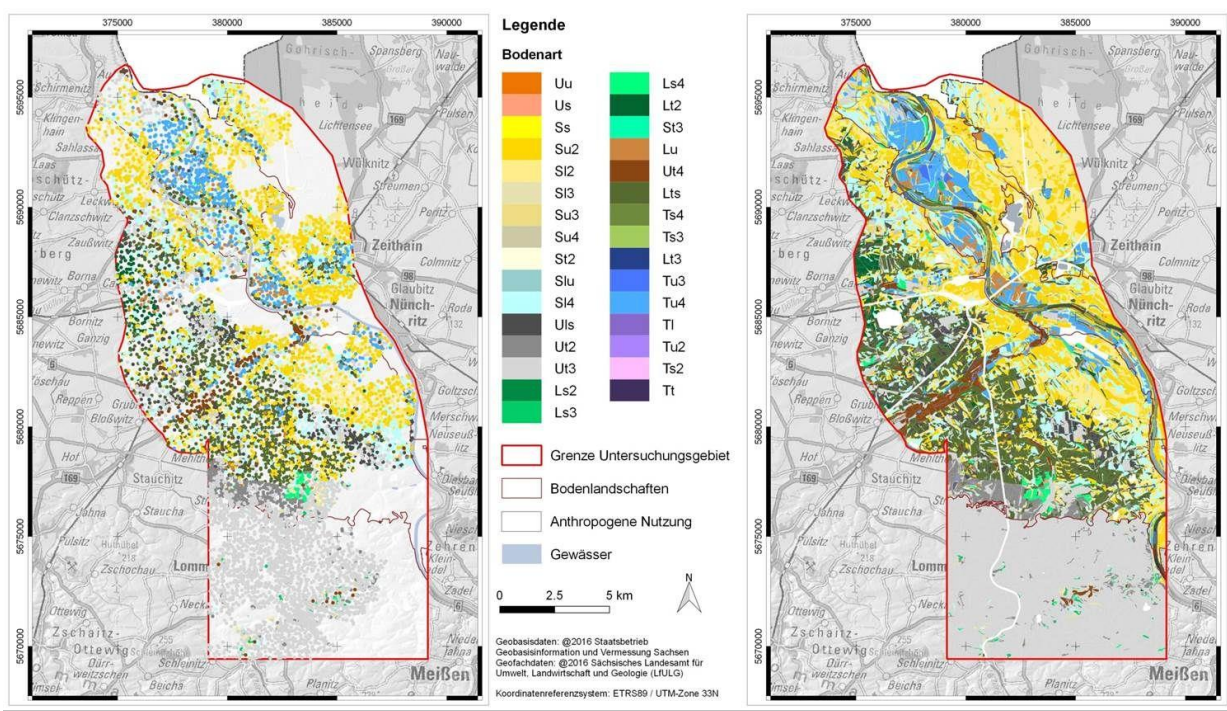


Abbildung 37: Prognose der Bodenart des Oberbodens (1. Schicht) (rechts) im Vergleich mit den GLB-Aufschlüssen (links)

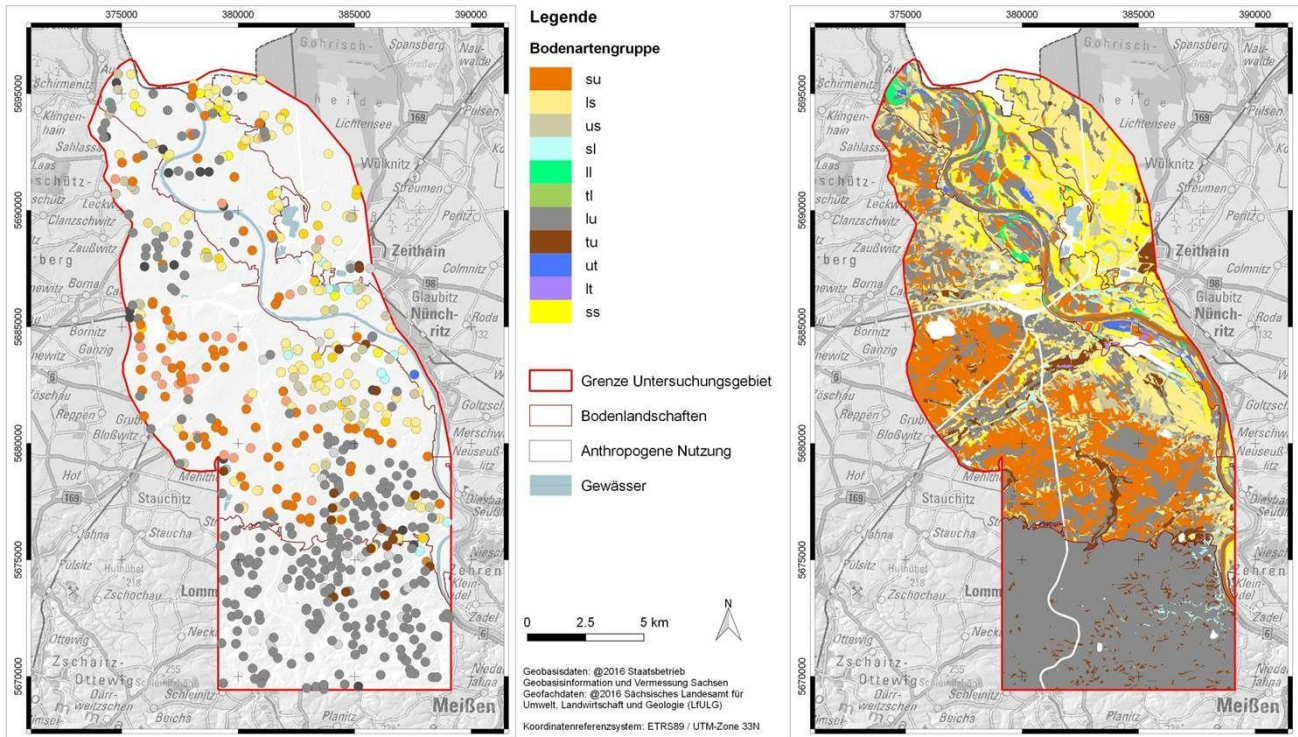


Abbildung 38: Prognose der Bodenartengruppe des Oberbodens (1. Schicht) (rechts) im Vergleich mit den FIS-Aufschlüssen (links)

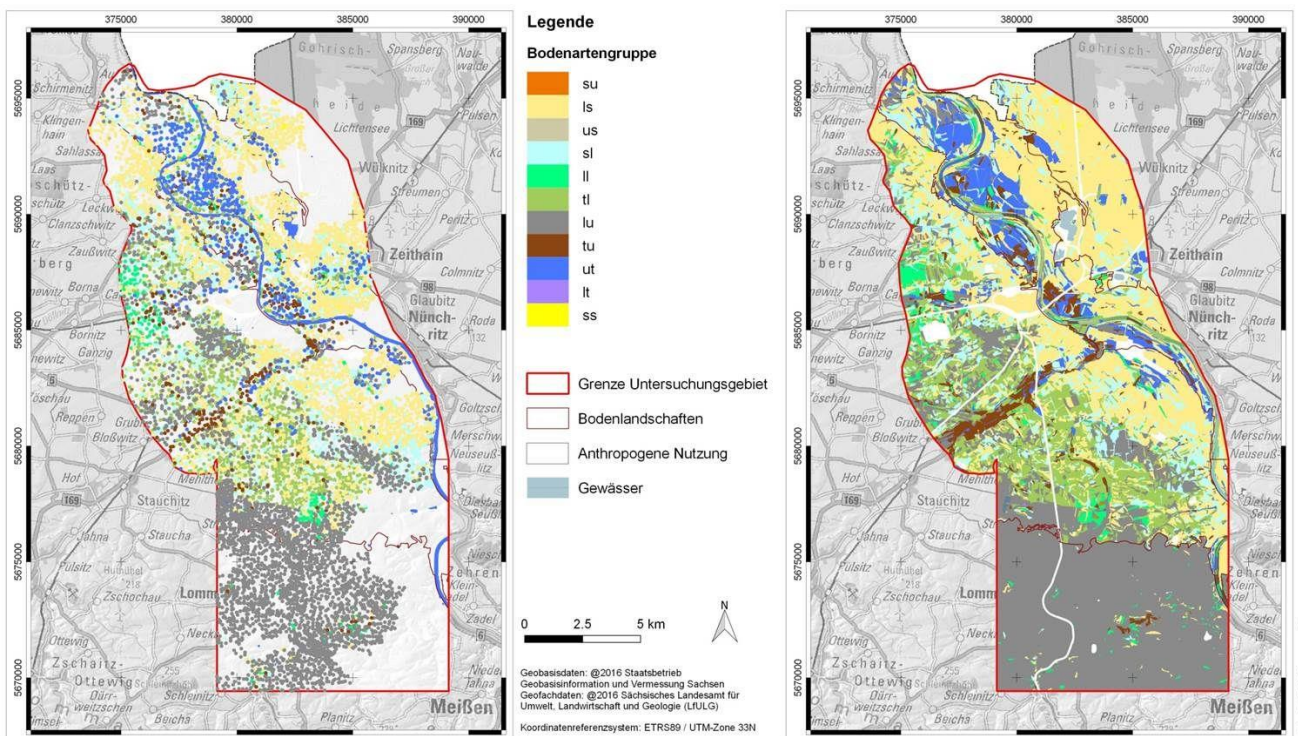


Abbildung 39: Prognose der Bodenartengruppe des Oberbodens (1. Schicht) (rechts) im Vergleich mit den GLB-Aufschlüssen (links)

8.4.4.2 Prognoseergebnisse für die Bodenparameter Humusgehalt und abgeleiteter K_B -Faktor

Nachfolgende Abbildungen zeigen für das erweiterte Testgebiet Mittelsachsen die Prognoseergebnisse für den nach KA5 klassifizierten Humusgehalt des Oberbodens (1. Schicht) – abgeleitet aus den FIS-Aufschlüssen der Bodenkundlichen Landesaufnahme sowie den Grablochbeschrieben. Den Ergebnissen gegenübergestellt sind die originären Aufschlussparameter (Abbildung 40 und Abbildung 41). Als anwendungsbezogener Parameter wurde der bodenartenabhängige K-Faktor K_B der Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung (ABAG) aus den Prognoseergebnissen für die Bodenart und den Humusgehalt abgeleitet. Der K_B -Faktor beschreibt die bodenartenabhängige Erodierbarkeit des Oberbodens unter Berücksichtigung des Humusgehaltes. Abbildung 42 und Abbildung 43 zeigen für das Testgebiet Mittelsachsen die Verbreitung des K_B -Faktors.

Vergleichskarten, welche die Ergebnisse für den Humusgehalt und den K_B -Faktor der digitalen Bodenkarte 1:50.000 (digBK50) gegenüberstellen, sind dem Anhang (Karten 3 und 4) zu entnehmen.

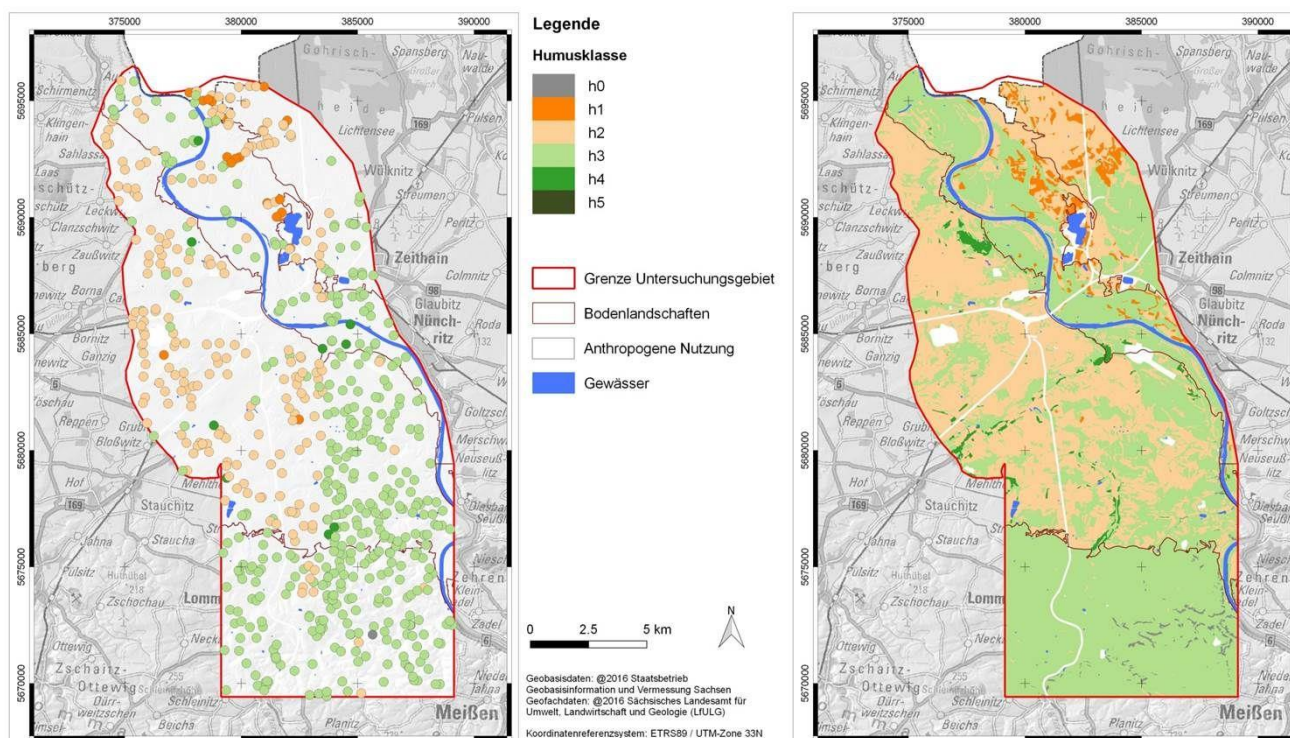


Abbildung 40: Prognose des Humusgehaltes des Oberbodens (rechts 1. Schicht) im Vergleich mit den FIS-Aufschlüssen (links)

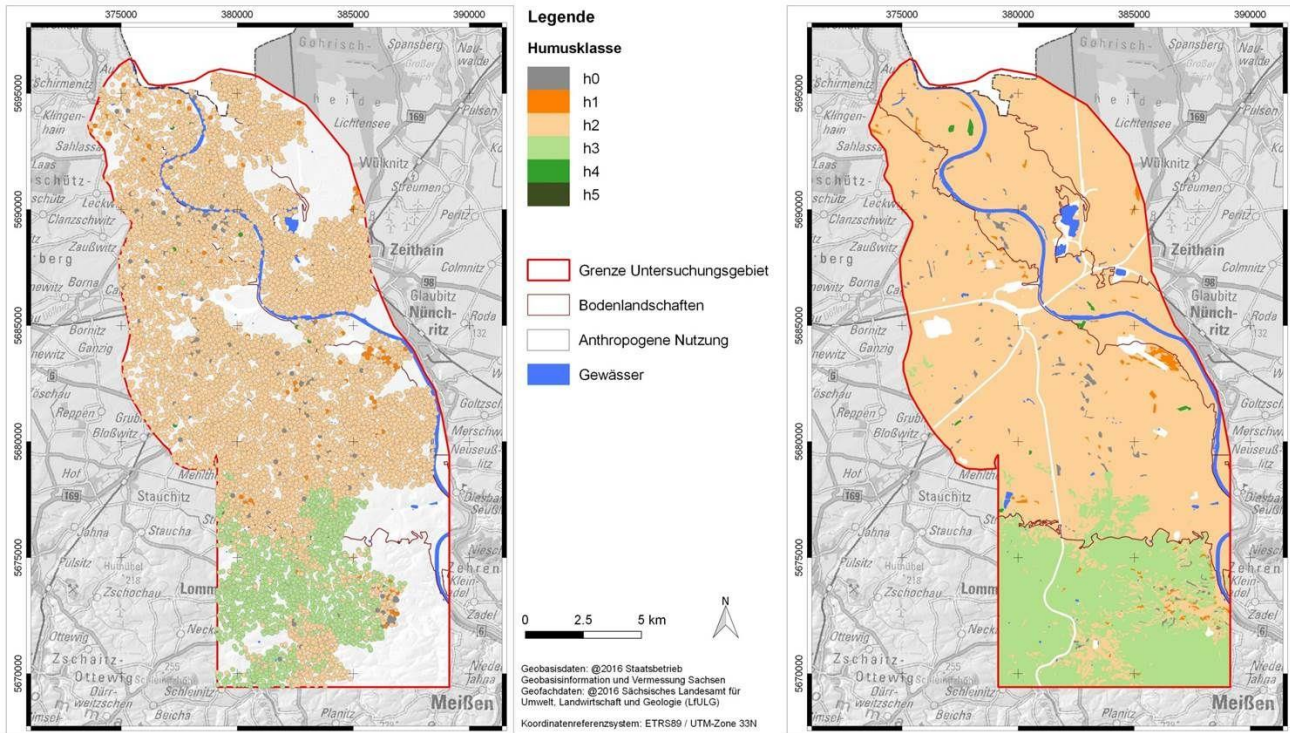


Abbildung 41: Prognose des Humusgehaltes des Oberbodens (rechts 1. Schicht) im Vergleich mit den GLB-Aufschlüssen (links)

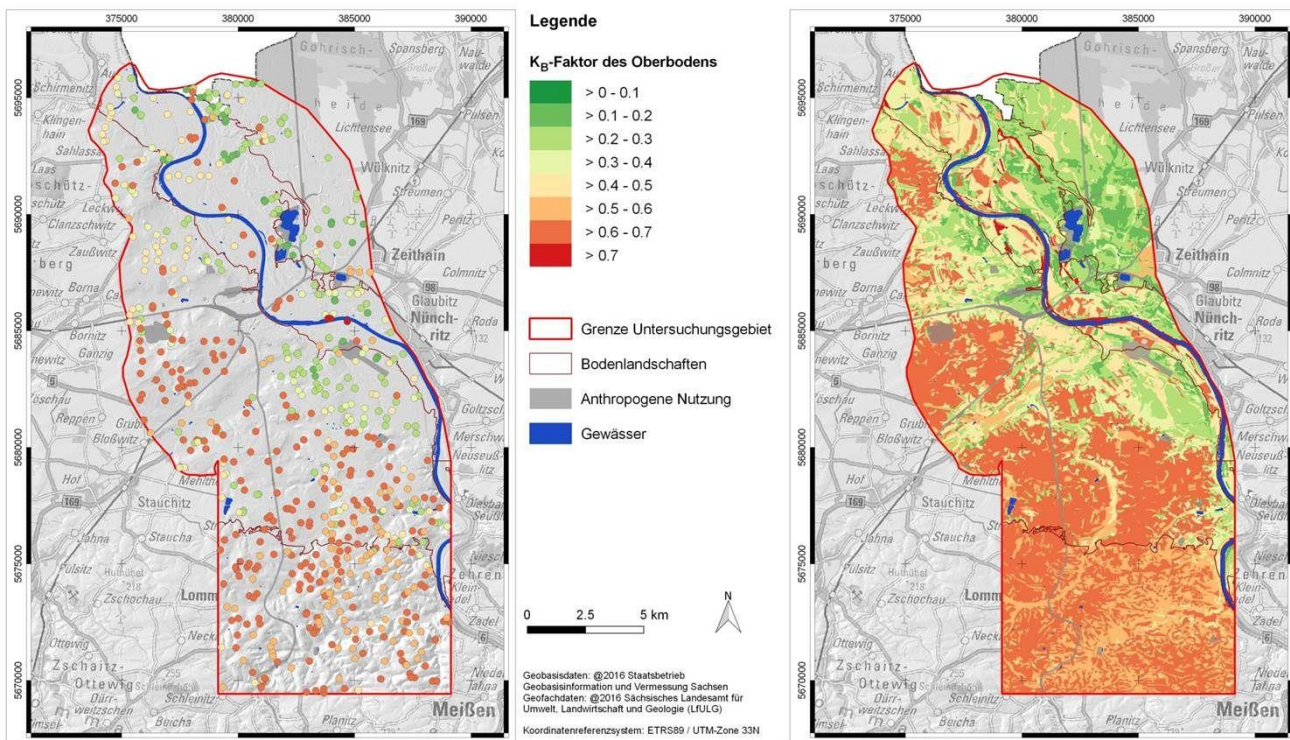


Abbildung 42: Prognose des K_B -Faktors des Oberbodens (rechts 1. Schicht) im Vergleich mit den FIS-Aufschlüssen (links)

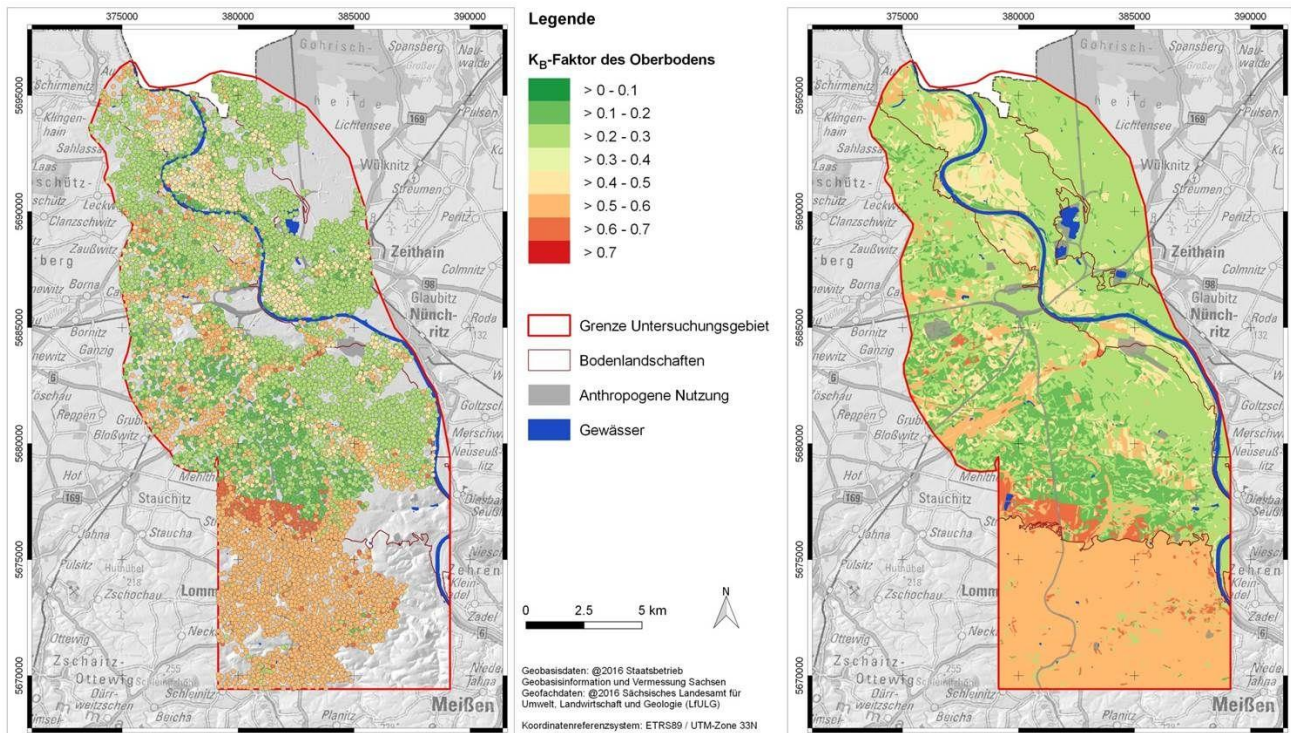


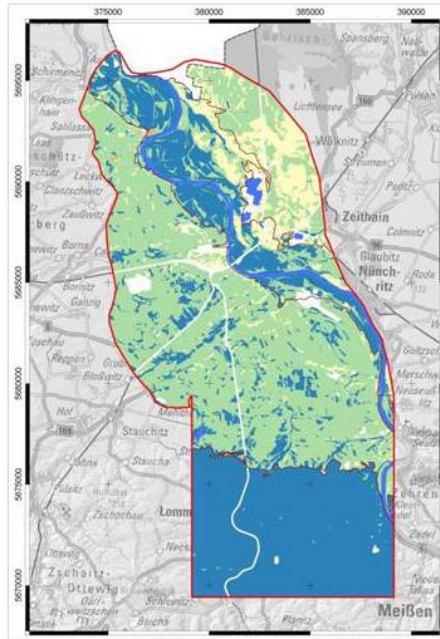
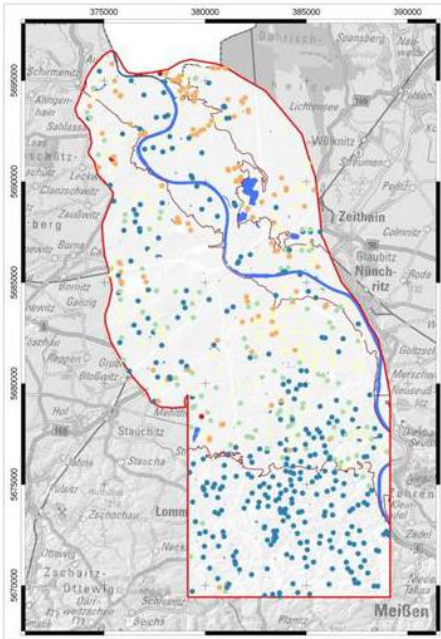
Abbildung 43: Prognose des K_B-Faktors des Oberbodens (rechts 1. Schicht) im Vergleich mit den GLB-Aufschlüssen (links)

8.4.4.3 Prognoseergebnisse und Modellgütemaße für den Bodenparameter Nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes (nFKWe)

Abbildung 44 und Abbildung 45 zeigen zunächst verschiedene Prognosevarianten, welche anhand der FIS- und GLB-Aufschlüsse für das erweiterte Testgebiet Mittelsachsen durchgeführt wurden. Als Vergleichsgrundlage dienen die nFKWe-Werte der FIS- bzw. GLB-Aufschlüsse, jeweils Teilabbildung (1). In Teilabbildung (3) ist das Prognoseergebnis der über das Gesamtprofil modellierten nFKWe dargestellt. Teilabbildung (4) zeigt die Prognoseergebnisse der im Projektverlauf priorisierten schichtweise vorgenommenen Modellierung der nFKWe. Ergänzend gegenübergestellt sind jeweils in Teilabbildung (2) die Ergebnisse der entsprechend der Vorgehensweise des Bodenbewertungsinstrumentes Sachsen (LFULG 2009) vorgenommenen Bestimmung der nFKWe anhand der modellierten (Prognose-)Parameter Bodenart, Humusgehalt, Skelettgehalt und Lagerungsdichte.

**(2) Prognose FIS-Aufschlüsse
(schichtweise Ableitung nach
Bodenbewertungsinstrument SN)**

(1) FIS-Aufschlüsse



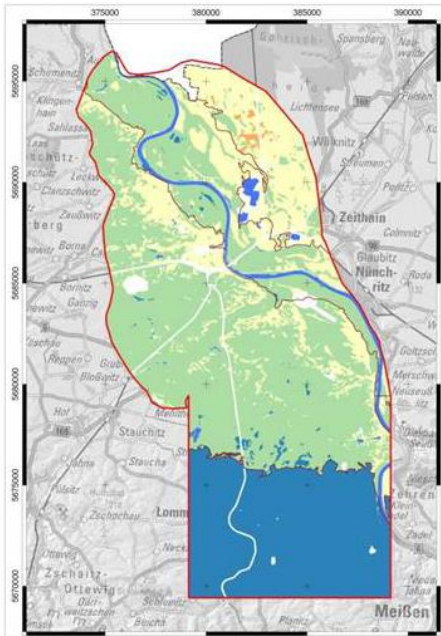
Legende

Nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes (nFKWe)

- 0 - < 50 mm - sehr gering
- 50 - < 90 mm - gering
- 90 - < 140 mm - mittel
- 140 - < 200 mm - hoch
- ≥ 200 mm - sehr hoch

- Grenze Untersuchungsgebiet
- Bodenlandschaften
- Anthropogene Nutzung
- Gewässer

**(3) Prognose FIS-Aufschlüsse
(Modellierung über Gesamtprofil)**



**(4) Prognose FIS-Aufschlüsse
(Modellierung schichtbezogen)**

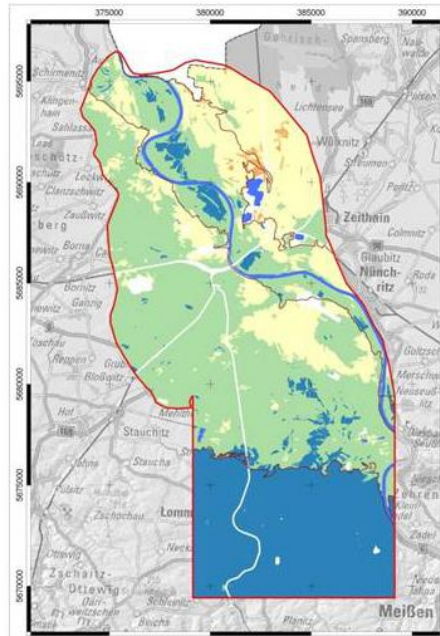
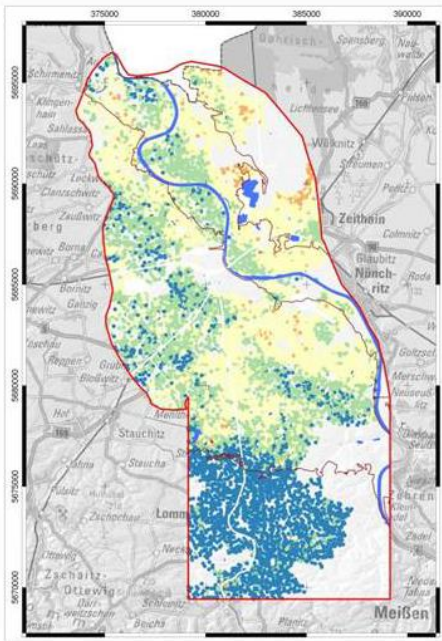
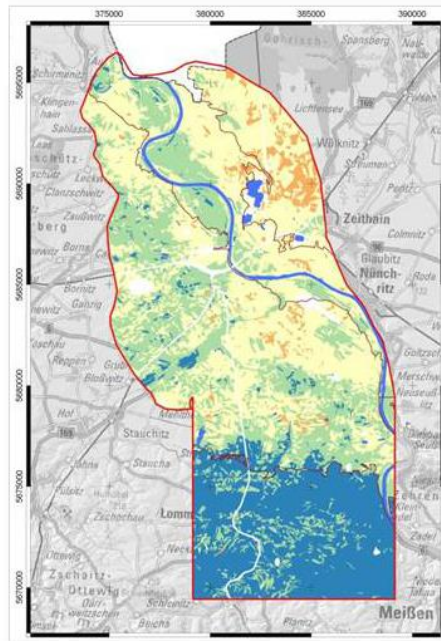


Abbildung 44: Vergleich der nFKWe-Klassen der Aufschlusssdaten (FIS) mit Prognosevarianten und aus der Bodenart abgeleiteten Werten

(1) GLB-Aufschlüsse



**(2) Prognose FIS-Aufschlüsse
(schichtweise Ableitung nach
Bodenbewertungsinstrument SN)**

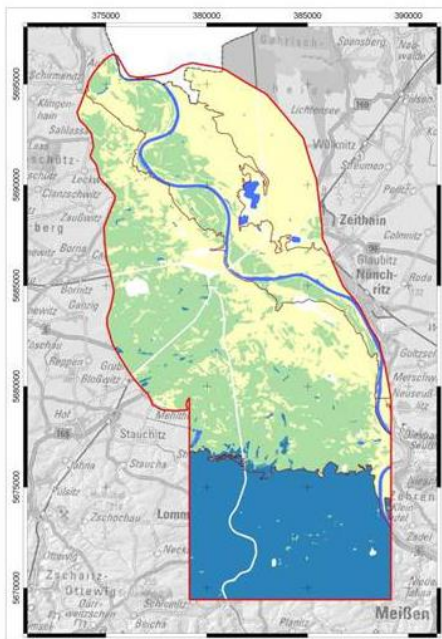


Legende

Nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes (nFKWe)



**(3) Prognose GLB-Aufschlüsse
(Modellierung über Gesamtprofil)**



**(4) Prognose GLB-Aufschlüsse
(Modellierung schichtbezogen)**

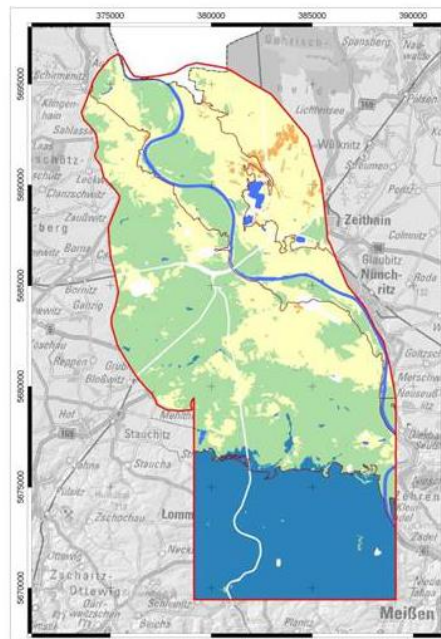


Abbildung 45: Vergleich der nFKWe-Klassen der Aufschlusssdaten (GLB) mit Prognosevarianten und aus der Bodenart abgeleiteten Werten

Abbildung 46 dokumentiert die Übereinstimmung zwischen Prognosedaten der schichtweisen Modellierung und Aufschlusssdaten der FIS- und GLB-Datensätze anhand der statistischen Kennwerte R^2 und RMSE (Streuungsmaß). Entsprechend der Ergebnisse für die Bodenart zeigen die Prognoseergebnisse für die Bodenschätzungsdaten aufgrund der deutlich größeren Datendichte höhere Gütemaße gegenüber den FIS-Daten. Bezogen auf die entsprechend des Bodenbewertungsinstrumentes Sachsen (LFULG 2009) vorgenommene Klassifizierung der Da-

ten wird anhand Abbildung 47 deutlich, dass 54 % der FIS-Prognosedaten und 78 % der GLB-Prognosedaten mit den Klassen der Aufschlussdaten übereinstimmen, was in Hinblick auf die praxisorientierte Nutzung der Prognoseergebnisse (Bodenbewertung) ein gutes Ergebnis darstellt. Weitere 42 % (FIS) bzw. 21 % (GLB) weisen Klassenabweichungen von ± 1 auf. Nur bei 4 % der FIS-Prognoseflächen bzw. 1 % der GLB-Prognoseflächen weichen die Klassen um ± 2 gegenüber den nFKWe-Klassen der Aufschlüsse ab.

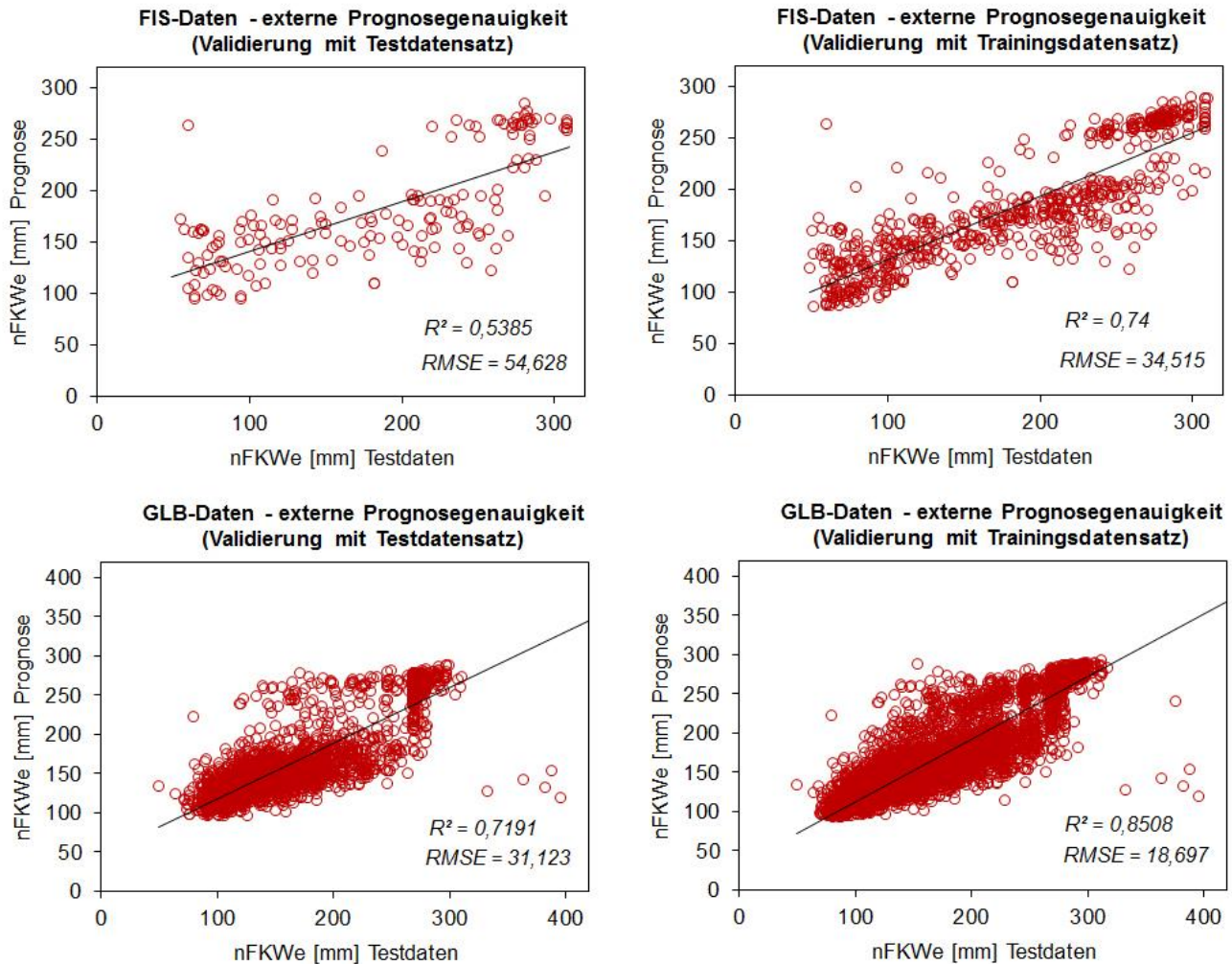


Abbildung 46: Statistische Kennwerte zur Übereinstimmung zwischen Prognosedaten und Aufschlüssen für Parameter nFKWe (Test- und Trainingsdaten)

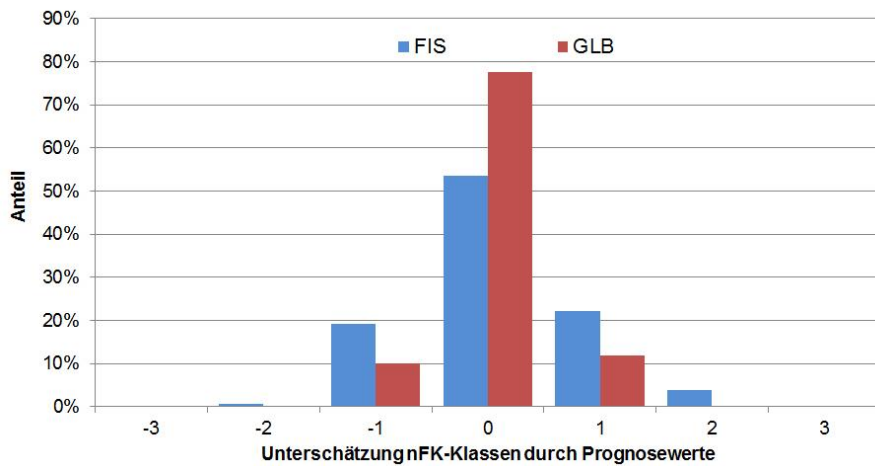


Abbildung 47: Abweichung der nFKWe-Klassen der Prognosewerte von den Klassen der Aufschlussdaten

Nachfolgende Abbildungen zeigen für das erweiterte Testgebiet Mittelsachsen die schichtbezogenen erzeugten Prognoseergebnisse für die nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes (nFKWe) – abgeleitet aus den FIS-Aufschlüssen der Bodenkundlichen Landesaufnahme sowie den Grablochbeschrieben. Den Ergebnissen gegenübergestellt sind die originären Aufschlussparameter. Vergleichskarten, welche die Prognoseergebnisse den abgeleiteten nFKWe-Werten der digitalen Bodenkarte 1:50.000 (digBK50) gegenüberstellen, sind dem Anhang (Karte 5) zu entnehmen.

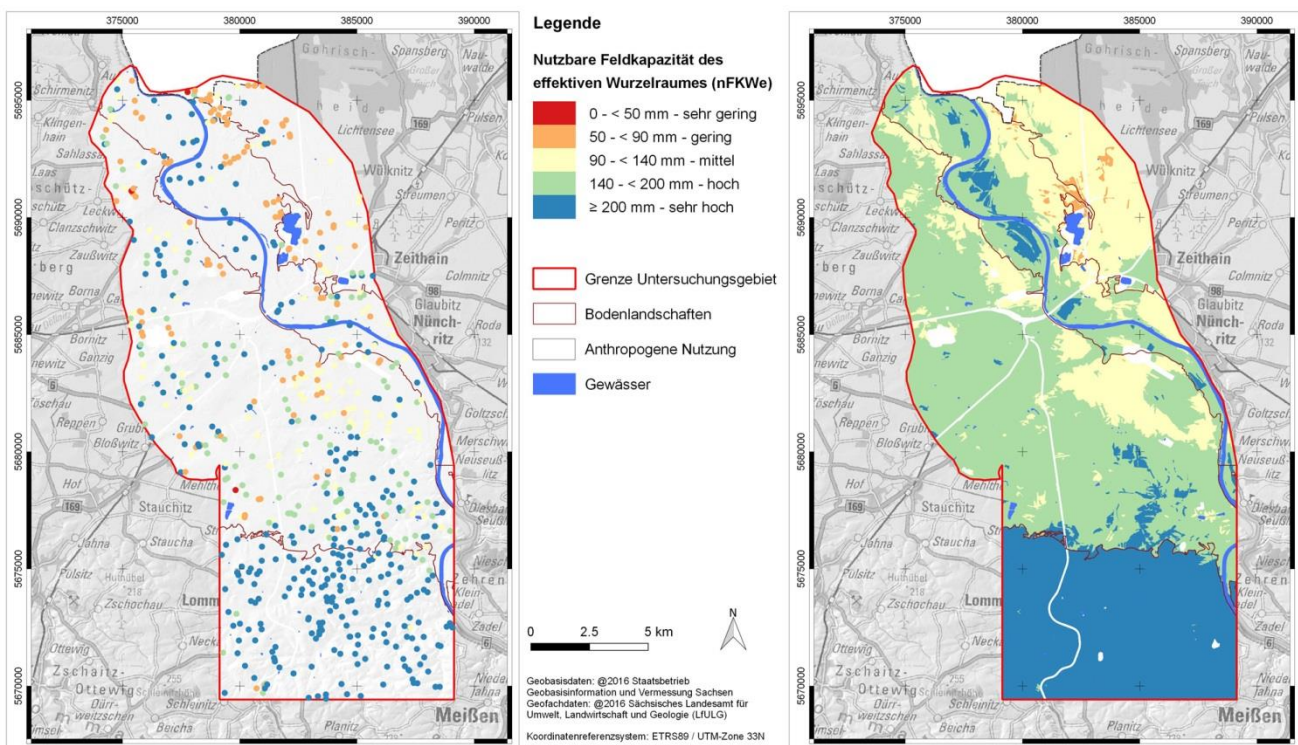


Abbildung 48: Prognose des nFKWe (rechts) im Vergleich mit den FIS-Aufschlüssen (links)

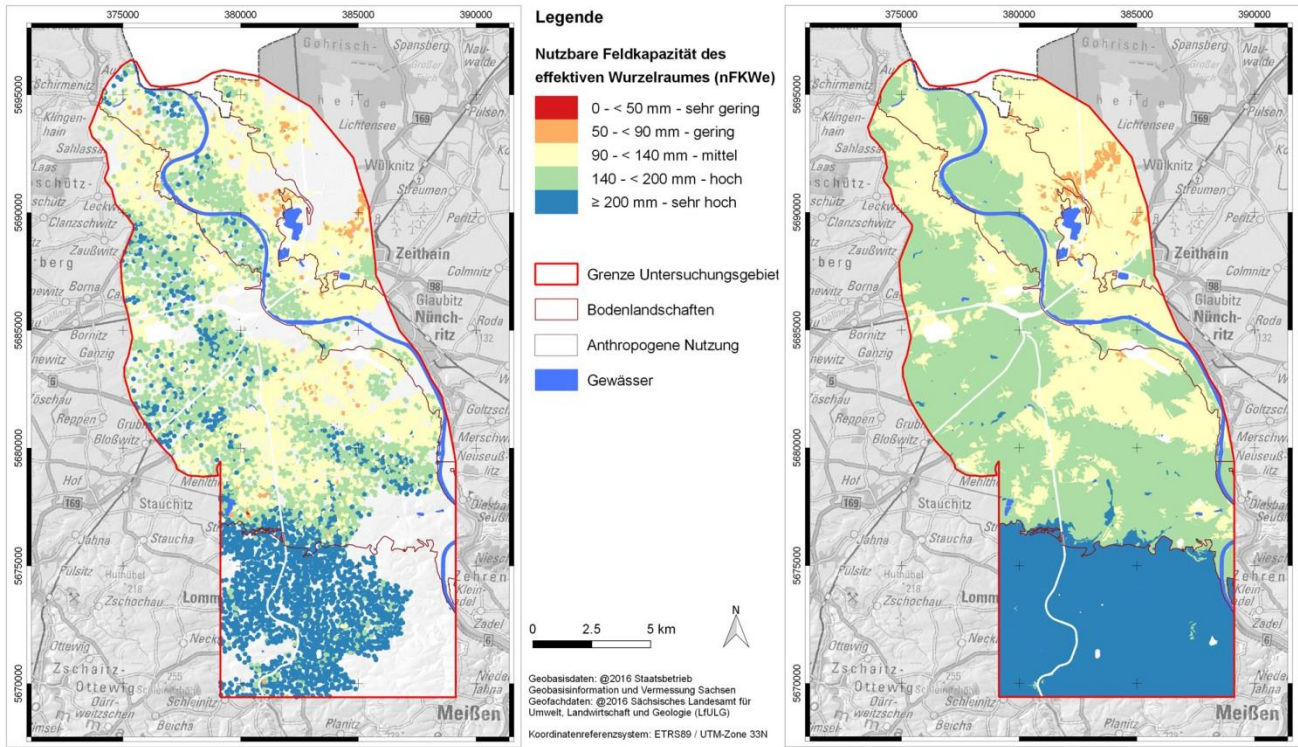


Abbildung 49: Prognose des nFKWe (rechts) im Vergleich mit den GLB-Aufschlüssen (links)

9 Ableitung der nutzbaren Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes (nFKWe) aus den Klassenzeichen der Bodenschätzung

9.1 Methodik

Um für die bodengeschätzten landwirtschaftlichen Flächen Sachsens aus den momentan verfügbaren digitalen Bodenschätzungsdaten des Liegenschaftskatasters zeitnah hochauflösende, großmaßstäbige Bodenfunktionskarten bereitstellen zu können, wurde ein Modellansatz aus Hessen in die Projektarbeiten mit einbezogen. Dabei werden die Sachdaten (Klassenzeichen) der Schätzungsflächen genutzt.

Zur direkten Ableitung von Boden Kennwerten aus Unterlagen der Bodenschätzung legten VORDERBRÜGGE u. a. (2004) einen Ansatz vor, der insbesondere für Bodenfunktionsbetrachtungen im Rahmen der Bauleitplanung in einigen Bundesländern zur Anwendung kommt.

Der Ansatz basiert darauf, dass ausgehend von Felduntersuchungen und Auswertungen von Grablochbeschrieben Multiplikatoren für die jeweiligen Bodenzahlen der Klassenzeichen entwickelt wurden, die es ermöglichen, u. a. die nFKWe in mm durch Multiplikation der Bodenzahl mit dem für die Bodenart ausgewiesenen Multiplikator zu ermitteln. Exemplarisch sind die so errechneten Ergebnisse für den vereinfachten Ackerschätzrahmen in Tabelle 25 dargestellt. Abweichend von der im Internet publizierten Methodenvorschrift (HLUG 2008) wurde für die Berechnung der Sande nicht der Wert 2,1039, sondern der in der Literatur (VORDERBRÜGGE u. a. 2004) ausgewiesene Wert von 2,425 genutzt. Die Verwendung dieses Wertes wurde durch VORDERBRÜGGE u. a. (2004) im Rahmen eines für Sachsen-Anhalt bearbeiteten Projektes empfohlen und kam auch für das vorliegende Projekt zur Anwendung.

Da die Unterlagen der Bodenschätzung flächendeckend vorliegen, ermöglicht diese Methode eine großmaßstäbige Ausweisung von bodenphysikalischen Kennwerten. Diese Ausweisung kann durch reine Bodenkarten, die für die meisten Bundesländer im mittelmaßstäbigen Bereich vorliegen, bis dato nicht erfolgen. Deshalb kommt dieser Ansatz für großmaßstäbige Bodenfunktionsbetrachtungen häufig zum Einsatz und wurde durch andere Autoren für die jeweiligen Bundesländer angepasst (siehe HARTMANN und DEHNER 2007).

Die Ausweisung der nFKWe erfolgte für das erweiterte Testgebiet Mittelsachsen durch Multiplikation der im ALKIS-Layer „Bodenschätzung“ ausgewiesenen Bodenzahlen mit den bodenartenspezifischen Multiplikatoren. Im Ergebnis entstand für die landwirtschaftlich genutzten Flächen eine großmaßstäbige flächendeckende Karte der nFKWe. Für das vorliegende Projekt ist zu beachten, dass für die Erarbeitung der Multiplikatoren in der Hessischen Methode die KA4 zugrunde liegt, während für die aktuellen Projektarbeiten bereits die entsprechenden bodenphysikalischen Werte der in Diskussion befindlichen KA6 genutzt wurden. Somit kann es für einzelne Bodenarten vorkommen, dass unterschiedliche nFKWe-Werte vorliegen. Der direkte Vergleich der Absolutwerte ist daher nicht in vollem Umfang statistisch gesichert.

Tabelle 25: Ergebnisbeispiele für die nFKWe nach hessischem Modellansatz für den vereinfachten Acker-schätzungsrahmen

Bodenart	Entstehung	Zustandsstufe							Multiplikator
		1	2	3	4	5	6	7	
S	D		90,9	72,8	57,0	43,7	32,7	21,8	2,425
	Al		98,2	80,0	64,3	50,9	38,8	26,7	2,425
	V		90,9	72,8	57,0	43,7	32,7	21,8	2,425
Sl	D		138,6	113,5	91,4	72,2	56,0	39,8	2,949
	Al		146,0	122,4	100,3	79,6	61,9	45,7	2,949
	V		135,7	115,0	94,4	75,2	59,0	42,8	2,949
IS	D	181,1	155,7	133,0	113,2	93,4	73,6	53,8	2,830
	Lö	189,6	164,1	140,1	118,9	99,1	79,2	59,4	2,830
	Al	189,6	164,1	140,1	118,9	99,1	79,2	59,4	2,830
	V		152,8	133,0	113,2	93,4	75,0	56,5	2,830
	Vg			124,5	104,7	84,9	65,1	43,9	2,830
SL	D	208,1	184,8	161,5	139,7	119,3	98,9	77,1	2,909
	Lö	224,0	197,8	171,7	146,9	125,1	104,7	82,9	2,909
	Al	221,1	194,9	170,2	146,9	125,1	104,7	82,9	2,909
	V	208,0	184,7	161,5	138,2	116,4	96,0	74,2	2,909
	Vg			149,8	126,6	103,3	80,0	56,7	2,909
sL	D	217,8	194,6	172,9	152,4	133,4	114,3	92,6	2,722
	Lö	238,2	212,3	187,8	163,3	140,2	119,8	98,0	2,722
	Al	232,8	206,9	183,8	162,0	140,2	119,8	98,0	2,722
	V	220,5	196,0	171,5	148,4	127,9	107,5	84,4	2,722
	Vg			162,0	134,8	108,9	84,4	59,9	2,722
L	D	248,8	224,2	201,1	177,9	154,8	133,1	109,9	2,893
	Lö	277,7	251,7	225,7	199,6	173,6	146,1	117,2	2,893
	Al	274,9	244,5	217,0	190,9	166,4	141,8	114,3	2,893
	V	251,7	225,7	199,6	175,0	147,6	123	98,4	2,893
	Vg			189,5	160,6	131,6	101,3	69,4	2,893
LT	D	196,8	175,4	155,3	136,3	117,4	98,4	77,1	2,371
	Al	206,3	184,9	163,6	143,4	124,5	104,3	80,6	2,371
	V	196,8	175,4	154,1	132,8	111,4	90,1	67,6	2,371
	Vg			148,2	124,5	100,8	77,1	52,2	2,371
T	D		150,4	132,6	114,7	96,9	76,9	52,4	2,228
	Al		155,9	137,0	119,2	100,3	79,1	53,5	2,228
	V		149,3	129,2	109,2	89,1	67,9	43,4	2,228
	Vg			122,5	102,5	82,4	62,4	41,2	2,228

9.2 Prognoseergebnisse und Modellgütemaße

Anhand des hessischen Modellansatzes wurden die Bodenzahl des Oberbodens und die nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes für die Klassenflächen der Bodenschätzung abgeleitet. Abbildung 50 dokumentiert die räumliche Verteilung der klassifizierten Ergebnisse. In Abbildung 51 sind die Ergebnisse der nFKWe-Ableitung vergleichend den FIS- und GLB-Aufschlusswerten sowie der aus der digBK50 abgeleiteten nFKWe gegenübergestellt.

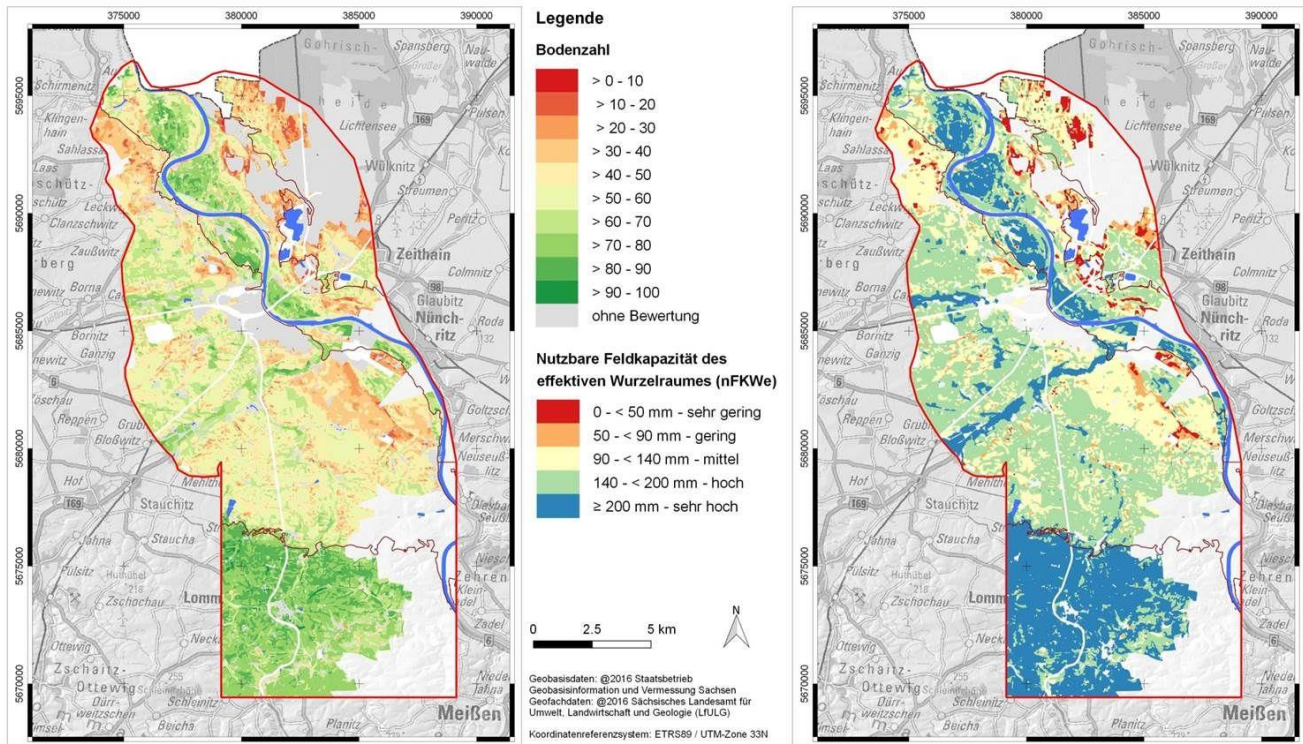
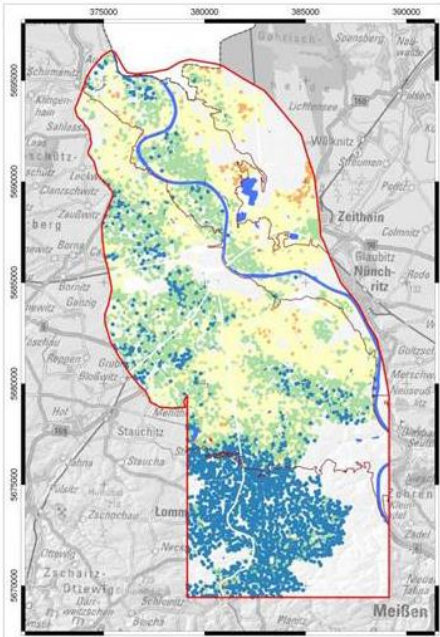
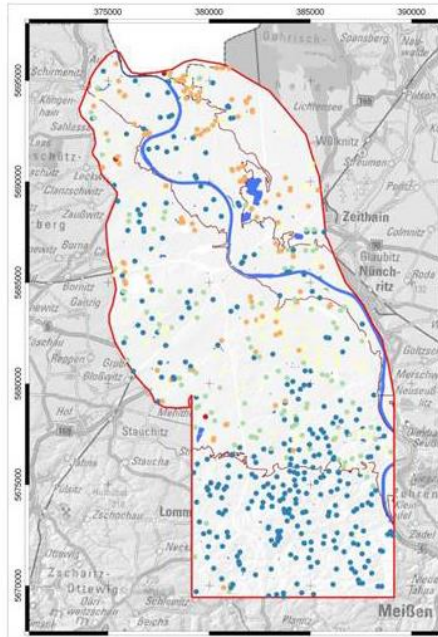


Abbildung 50: Aus den Klassenzeichen der Bodenschätzung abgeleitete Werte für die Bodenzahl und die nFKWe nach hessischem Modellansatz

(1) GLB-Aufschlüsse

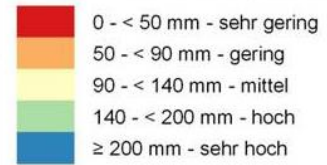


(2) FIS-Aufschlüsse



Legende

Nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes (nFKWe)



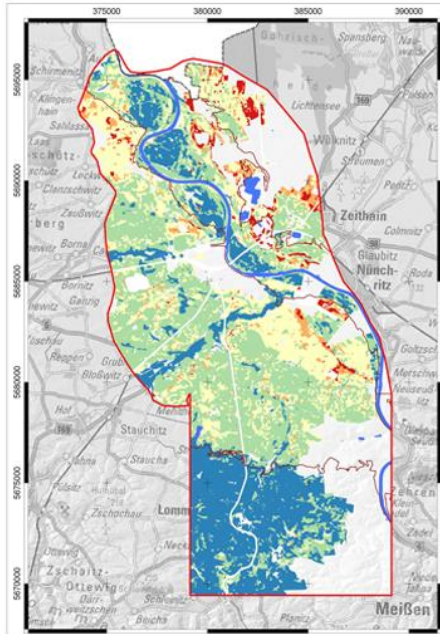
Red outline: Grenze Untersuchungsgebiet

White outline: Bodenlandschaften

White outline: Anthropogene Nutzung

Blue outline: Gewässer

(3) Ableitung Modellansatz Hessen



(4) digBK50

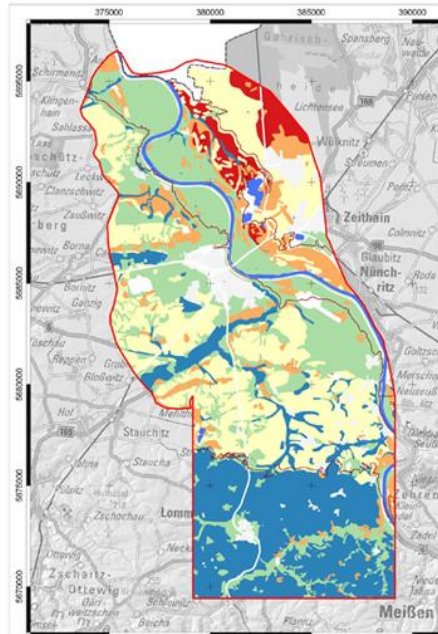


Abbildung 51: Vergleichskarte der nFKWe-Klassen der Aufschlussesdaten mit Ergebnissen nach hessischem Modellansatz und digBK50

Abbildung 52 zeigt die statistische Güte der Übereinstimmung der nach hessischem Modellansatz abgeleiteten Werte für die nFKWe mit den Werten der FIS-Aufschlüsse.

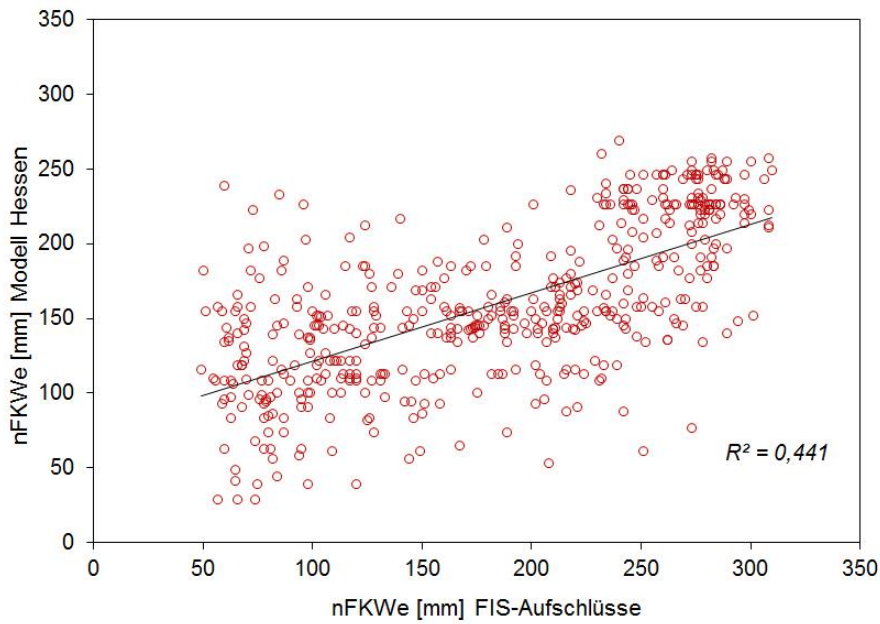


Abbildung 52: Statistische Güte der Übereinstimmung der nach hessischem Modellansatz abgeleiteten nFKWe mit den nFKWe-Werten der FIS-Aufschlüsse

10 Handlungsempfehlungen für die landesweite Übertragung

10.1 Zusammenfassung

Im vorliegenden Projekt ist eine räumliche Prognose von punkthaften bodenkundlichen Primär- und Sekundärparametern der bodenkundlichen Landesaufnahme, sowie der Bodenschätzung auf der Grundlage von Reliefparametern vorgenommen worden. (Kap. 5 und 6)

Die mittels Data-Mining-Modellen generierten Prognoseergebnisse sind durch statistische Genauigkeitsmaße charakterisiert. (Kap. 8.4). Für die Bodenarten wurde das beste Prognoseergebnis erzielt.

Die Daten der Bodenkundlichen Landesaufnahme aus dem FIS-Boden-Datensatz verfügen über eine hohe Parameterqualität, jedoch beträgt die Raumdichte durchschnittlich nur 2,9 Punkte je km². Auf der Grundlage dieser Punktdichte konnte keine valide großmaßstäbige Bodenkarte generiert werden.

Für die Daten der Bodenschätzung liegt die Einschränkung der Datennutzung auf einem anderen Gebiet. Mit 32,5 Punkten je km² (landwirtschaftliche Nutzfläche) liegt eine gute Raumdichte für eine großmaßstäbige Auswertung vor.

Nachteil der Bodenschätzungsdaten sind der eingeschränkte Parameterumfang und das Alter der Daten (Datenaktualität). Die Datendichte der Bodenschätzung ist geeignet für großmaßstäbige Karten im Maßstab 1:10.000.

Die beiden Datenbestände FIS Boden und Bodenschätzung sollten getrennt voneinander ausgewertet werden. Bei einer Mischung der Datenbestände verlieren die qualitativ hochwertigen FIS Boden Daten an Bedeutung.

Das Testgebiet Mittelsachsen umfasste vorwiegend löss- und sandlössgeprägte Böden. Die angewendeten Methoden sollten auch in weiteren Testgebieten mit Böden aus Verwitterungsgesteinen getestet werden. Für Waldböden sind ebenfalls Daten aus der Forstlichen Standortkartierung heranzuziehen, da für die Waldgebiete keine Bodenschätzungsdaten vorliegen.

Ausgehend von den Ergebnissen des Projektes und den oben getroffenen Kernaussagen wurde ein Prozessablauf erarbeitet, der, unter Berücksichtigung der erforderlichen Datengrundlagen, einen Vorschlag für einen methodischen Ablauf zur großmaßstäbigen flächendeckenden Ausweisung von Bodenfunktionen und -kennwerten enthält.

10.2 Prozessablauf zur Ableitung großmaßstäbiger Bodenkarten

Ausgehend von den Ergebnissen des Projektes und den oben getroffenen Aussagen wurde der Prozessablauf erarbeitet, der, unter Berücksichtigung der erforderlichen Datengrundlagen, einen Vorschlag für einen methodischen Ablauf zur großmaßstäbigen flächendeckenden Ausweisung von Bodenfunktionen und -kennwerten enthält (Abbildung 53).

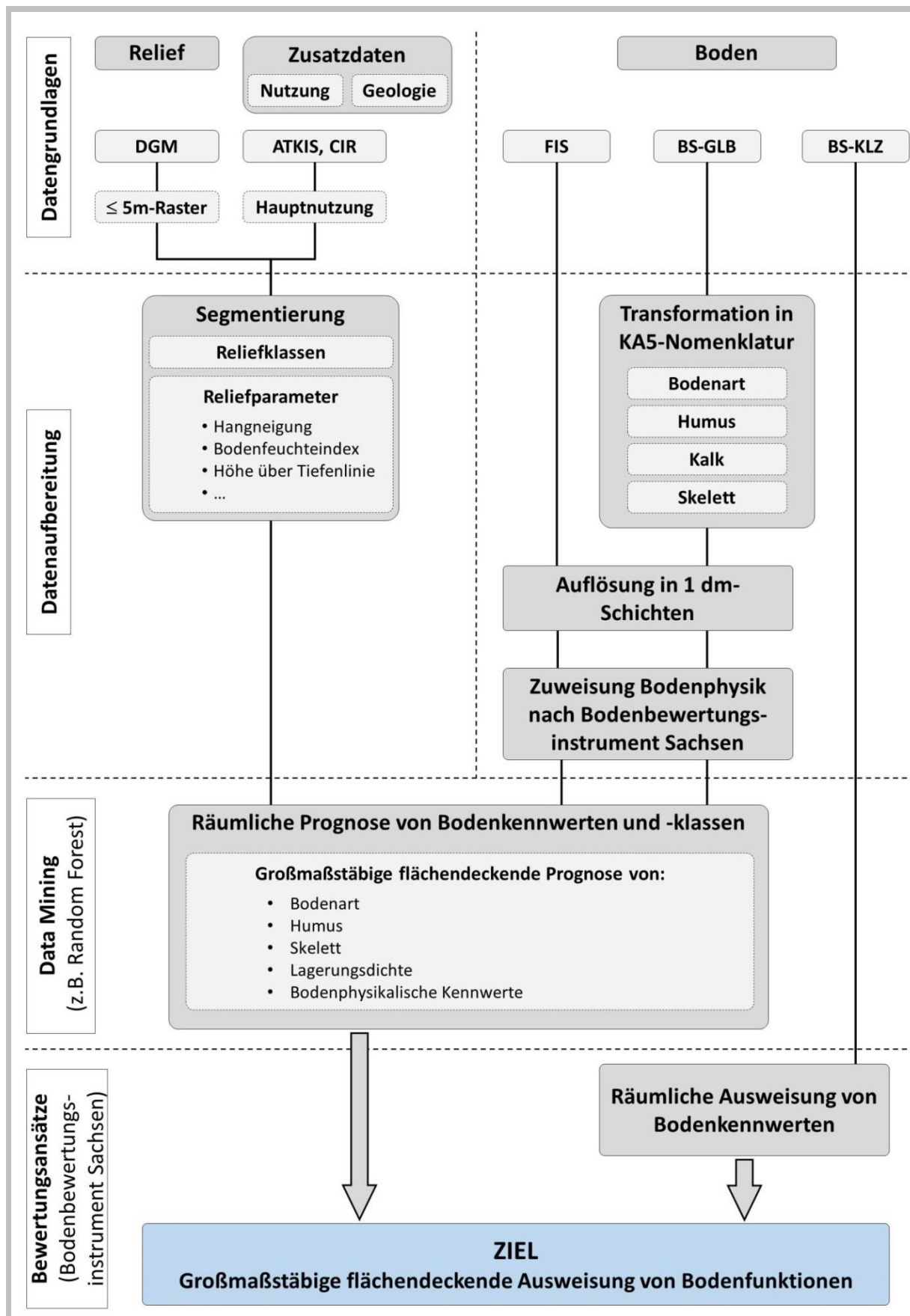


Abbildung 53: Prozessablauf zur großmaßstäbigen Ausweisung von Bodenfunktionen

10.3 Aufschlusssdaten der Bodenkundlichen Landesaufnahme aus dem FIS-Boden-Datensatz

Analog zur manuellen Ausgrenzung von großmaßstäbigen Kartierungseinheiten ist auch bei den geostatistischen Verfahren eine reliefsspezifische Verdichtung des FIS-Datensatzes durch Neuaufnahme von Aufschlüssen notwendig. In einem ersten Schritt sind hierzu die Ansatzpunkte für die Aufschlüsse durch eine Auswertung der vorhandenen Aufschlüsse in Bezug zu den Bodeneinheiten und den Reliefklassen (siehe hierzu Kap. 6) festzulegen. Hierbei handelt es sich um Geländeformationen, die durch die vorhandenen Aufschlüsse nicht oder unterrepräsentiert werden. Der Bedarf für Neukartierung ist, wie die Untersuchungen zur räumlichen Repräsentativität (Kap. 7) zeigen, innerhalb von Sachsen sehr unterschiedlich anzusetzen. Aussagen hierzu liefert die BK50, für die in einigen Teilbereichen (Kartenblättern) eine sehr detaillierte Ausgrenzung der Kartierungseinheiten auf Basis eines dichten Netzes von Aufschlüssen vorgenommen wurde. In anderen Bereichen, wie auch im Testgebiet, entspricht die Raumdichte der Aufschlüsse sowie die Größe der auskartierten Bodeneinheiten den Vorgaben zur Erstellung einer BK 50.

Es wird daher empfohlen, kartenblatt- und bodenlandschaftsabhängig eine Analyse der Verteilung der vorhandenen Aufschlüsse in Bezug auf Bodenform und wesentliche Reliefklassen vorzunehmen. Auf Grundlage der so ermittelten Verteilung der im FIS-Boden vorhandenen Aufschlüsse ist das Bohr-/Aufschlussprogramm zur Verdichtung der unterrepräsentierten Positionen festzulegen. Bei den vorhandenen FIS-Aufschlüssen muss eine Beschränkung auf die bodenkundliche Landesaufnahme und die Aufschlüsse der Bodendauerbeobachtungsflächen erfolgen. Diese Ansprachen wurden einheitlich gemäß Vorgaben und Umfang der KA5 vorgenommen und sind somit bodenkundlich vergleich- und auswertbar.

Die Kartierungsarbeiten sind durch Kartierer durchzuführen, die über umfangreiche Kenntnisse und praktische Geländeerfahrung im Umgang mit der KA5, insbesondere bei der Substratansprache verfügen.

Des Weiteren wird empfohlen, im Zuge der laufenden Nachschätzungsarbeiten der Bodenschätzung die neu anzulegen bzw. neu aufgenommenen Vergleichsstücke parallel durch den amtlichen Bodenschätzer und einen bodenkundlichen Kartierer anzusprechen. Durch diese Arbeiten ist es neben der Verdichtung der FIS-Aufschlüsse möglich, den Transformationsschlüssel Bodenschätzung-KA5 und den „Hessischen Modellansatz“ laufend zu qualifizieren.

■ Zeitschiene: mittelfristig

■ Kosten: hoch

10.4 Unterlagen Punktdaten Bodenschätzung

Da die Unterlagen der Bodenschätzung flächendeckend für die landwirtschaftliche Nutzfläche vorliegen, nach einer einheitlichen Vorschrift aufgenommen wurden und die Grablöcher eine hohe Raumdichte aufweisen, kann und sollte auf diese Informationen bei der Erstellung von großmaßstäbigen Bodenfunktionskarten nicht verzichtet werden.

In verschiedenen Bundesländern Deutschlands laufen bzw. liefen Arbeiten zur Transformation der Unterlagen der Bodenschätzung in die Nomenklatur der KA 5 (u. a. in Niedersachsen, Brandenburg und Sachsen-Anhalt). Sie zeigen, dass es grundsätzlich möglich ist, Transformationen der Bodenarten sowohl auf dem Bodenartengruppen-

als auch dem Bodenartenniveau mit hohen Gütemaßen zu erreichen, wobei in vielen Fällen eine Streuung der Ergebnisse unvermeidbar ist. Voraussetzung hierfür sind jedoch standortspezifisch erarbeitete bzw. angepasste Transformationsschlüssel. Entsprechende Arbeiten hierzu wurden auch in Sachsen begonnen, sind bis dato jedoch noch nicht abgeschlossen. Wie die Ergebnisse des vorliegenden Projektes verdeutlichen, ist dies jedoch unbedingt für eine qualitativ hochwertige Transformation notwendig, da die Verwendung von Schlüsseln aus anderen Regionen Deutschlands zu Fehlaussagen und einer sehr großen Streuung führt.

Erfahrungsgemäß verwendeten die früheren Bodenschätzer meist mehrere Nebenbodenarten und spezielle Ergänzungen, um die Bodenart eindeutig auszuweisen. Vorteilhaft bei der Erarbeitung des Transformationsschlüssels ist es deshalb, diesen nicht nur auf eine Nebenbodenart zu beschränken sowie wesentliche Ergänzungen aufzunehmen.

Für die Interpretation und eindeutige Festlegung der Transformationsergebnisse hat sich die Hinzuziehung weiterer bodenkundlicher Informationen wie die digBK50, die MMK oder die bodenkundliche Auswertung der GK25 als vorteilhaft erwiesen. In Sachsen-Anhalt wird gegenwärtig hierfür ein GIS-Tool entwickelt, welches die Plausibilität der Transformation durch den Vergleich und die Ausweisung der Übereinstimmung mit anderen Standortdaten aufzeigt (MÖLLER u. a. 2017).

■ Zeitschiene: Transformationsschlüssel – kurzfristig; Datenverfügbarkeit – mittelfristig

■ Kosten: mittel

10.5 Modellansatz Flächendaten Bodenschätzung

Für die Beschreibung und Bewertung natürlicher Bodenfunktionen liegt für den Freistaat Sachsen das „Bodenbewertungsinstrument Sachsen“ (LFULG 2009) vor. Es enthält Methodenvorschläge und Bewertungskriterien auf Basis bodenkundlicher Kennwerte für die Anwendung in der Fachplanung. So lässt sich unter anderem die qualitative Stufe des Wasserspeichervermögens der Böden aus der Bodenzahl der Bodenschätzung sowie KA5-konformen Angaben ableiten.

VORDERBRÜGGE u.a. (2004) gingen einen anderen Weg zur Nutzung der Unterlagen der Bodenschätzung bei der Ableitung von Bodenfunktionskennwerten. Anstelle einer Transformation der Bodenschätzungsinformationen in die KA5 und anschließender Ableitung von Parametern wurde ein Ansatz entwickelt, indem für verschiedene Bodenfunktionskennwerte Multiplikatoren abgeleitet wurden und der jeweilige (quantitative) Kennwert durch Multiplikation mit der klassenzeichenbestimmten Bodenzahl errechnet wird. Somit können auf direktem Weg großmaßstäbige Bodenfunktionskarten erstellt werden. Dieser Ansatz kommt in Deutschland insbesondere in der Bauleitplanung häufig zur Anwendung. Zwei Einschränkungen müssen jedoch beachtet werden: Das Verfahren ist nur für landwirtschaftlich genutzte Flächen anwendbar, da diese dem Geltungsbereich der Bodenschätzung entsprechen. Zudem basiert es auf bodenphysikalischen Tabellenwerten der KA4, sodass Abweichungen zu den aktuell in der Diskussion befindlichen Werten der geplanten KA6 (vgl. Gleichung DEHNER u. a. 2015; HENNINGS u. a. 2013) auftreten.

Da es ein einfach zu handhabendes Verfahren ist und die benötigten Flächendaten der Bodenschätzung zumindest analog und schrittweise auch digital flächendeckend vorliegen, kann die Nutzung für Zwecke der Bauleitplanung auf landwirtschaftlich genutzten Flächen auch für den Freistaat Sachsen nach Anpassungsarbeiten empfohlen werden.

Die Multiplikatoren sind entsprechend der Vorgehensweise von VORDERBRÜGGE u. a. (2004) unter Nutzung der Muster- und Vergleichstücke (siehe hierzu auch Empfehlung in Kap.10.2) sowie in Klassenflächen mit unmittelba-

rer Nachbarschaft von BLA-Aufschlüssen und Grablöchern zu überprüfen. Gegebenenfalls sind diese entsprechend der KA6-Tabellenwerte zu korrigieren.

Die Übertragung in die Fläche zur Ableitung von großmaßstäbigen Bodenfunktionskarten muss nicht zwingend über die Klassenfläche erfolgen, da diese häufig unter Berücksichtigung der Liegenschaftsstruktur festgelegt und Einflüsse des Reliefs nur bedingt berücksichtigt wurden.

Unter Anwendung der im vorliegenden Projekt gewonnenen Erkenntnisse und erstellten Prozessketten ist die Ableitung der Parameter für die Grablöcher, sowohl bestimmende als auch nicht bestimmende, zu empfehlen und die Werte in einem sich daran anschließenden Schritt mittels Data Mining in die Fläche zu übertragen. Der Vorteil dieses Verfahrens liegt darin, dass dadurch die Reliefpositionen und -klassen als bodenprägende Standortfaktoren sowie weitere Zusatzinformationen in die flächenhafte Ausweisung und Ausgrenzung einfließen können.

■ Zeitschiene: Anpassung Modellansatz – kurzfristig; Datenverfügbarkeit – mittelfristig

■ Kosten: gering

Literaturverzeichnis

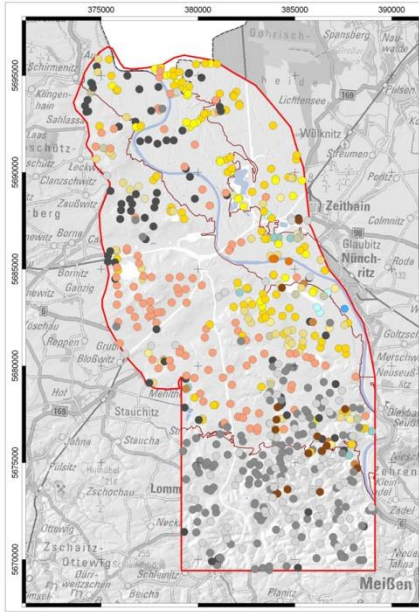
- ABRAHAM, J. (2016): Finanzverwaltung Sachsen-Anhalt Magdeburg. Mündliche Mitteilung. 11.08.2016.
- AD-HOC-AG BODEN (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung (KA 5).- 5. Auflage, Hannover
- ALTERMANN, M., STEININGER, M. UND O. ROSCHE (2004): Zur Ableitung der Bodenausbildung (Substrataufbau, Bodentyp) aus den Unterlagen der Bodenschätzung (digitalisierte Grablochbeschriebe einschließlich räumlicher Zuordnung) für das Land Sachsen-Anhalt. – Abschlussbericht, LAU Sachsen-Anhalt, unveröffentlicht
- ATTERBERG, K. (1905): Die rationale Klassifikation der Sande und Kiese. Chemikerzeitung, 29, 195-198
- BEVEN, K. AND M. KIRKBY (1979): A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. Hydrological Sciences Bulletin, 24(1), 43–69
- BLASCH, G., SPENGLER, D., HOHMANN, CH., NEUMANN, C., ITZEROTT, S. UND H. KAUFMANN (2015): Multitemporal soil pattern analysis with multispectral remote sensing data at the field-scale, Computers and Electronics in Agriculture 113, 1-13
- BOCK, M., BOEHNER, J., CONRAD, O., KOETHE, R., AND A. RINGELER (2007): Methods for creating Functional Soil Databases and applying Digital Soil Mapping with SAGA GIS. - T. HENGL, P. PANAGOS, A. JONES AND G. TOTH (Eds.): Status and prospect of soil information in south-eastern Europe: soil databases, projects and applications, number EUR 22646 EN. - Scientific and Technical Research series (pp. 149-162). Luxemburg: Office for Official Publications of the European Communities
- BOEHNER, J. AND T. SELIGE (2006): Spatial prediction of soil attributes using terrain analysis and climate regionalisation. - BOEHNER, J., MCCLOY, K. AND J. STROBL (Eds.): SAGA – Analysis and Modelling Applications, volume 115 of Göttinger Geographische Abhandlungen, 13–28). Göttingen, Germany: University of Göttingen.
- BREIMAN, L. (2001): Random Forests. Machine Learning, 45, 5-32
- BRENNING, A. (2008): Statistical geocomputing combining R and SAGA: The example of landslide susceptibility analysis with generalized additive models. - BOEHNER, J. AND T. BLASCHKE (Ed.): SAGA – Seconds Out, volume 19 of Hamburger Beiträge zur Physischen Geographie und Landschaftsökologie, 23-32)
- CONRAD, O., BECHTEL, B., BOCK, M., DIETRICH, H., FISCHER, E., GERLITZ, L., WEHBERG, J., WICHMANN, V., AND J. BÖHNER (2015): System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4. Geoscientific Model Development, 8(7), 1991-2007
- DEHNER, U., RENGER, M., BRÄUNIG, A., LAMPARTER, A., BAURIEGEL, A., BURBAUM, B., HARTMANN, K.-J., HENNINGS, V., IDLER, F., KRONE, F., MARTIN, W., MEYER, K. UND F. WALDMANN (2015): Neue Kennwerte für die Wasserbindung in Böden - Ergebnisse der Abstimmung zwischen dem Personenkreis Wasserhaushaltstabellen der Ad-hoc-AG Boden und dem DWA. - Tagungsbeitrag zur Jahrestagung der DBG vom 5.-10. September 2015, München
- FOODY, G. (2002): Status of land cover classification accuracy assessment. Remote Sensing of Environment, 80(1), 185-201
- FRIEDRICH, K. (1996). Digitale Reliefgliederungsverfahren zur Ableitung bodenkundlich relevanter Flächeneinheiten. Frankfurter Geowissenschaftliche Arbeiten, Bd. D 21. Frankfurt
- FUCHS, M. (2002): Methoden zur objektiven Ableitung von Bodenkarten im Folgemaßstab - Unterstützung der geometrisch-begrifflichen Generalisierung von Bodenkarten durch erweiterte Werkzeuge in einem Geoinformationssystem, Dissertation, Freie Universität Berlin
- GALLANT, J. C. AND T.I. DOWLING (2003): A multiresolution index of valley bottom flatness for mapping depositional areas. Water Resources Research, 39(12), 1347-1359

- GUISAN, A., WEISS, S. B., AND A.D. WEISS (1999): GLM versus CCA spatial modeling of plant species distribution. *Plant Ecology*, 143(1), 107-122
- HÄRING, T., DIETZ, E., OSENSTETTER, S., KOSCHITZKI, T. AND B. SCHRÖDER (2012): Spatial disaggregation of complex soil map units: A decision-tree based approach in bavarian forest soils. - *Geoderma*, 185/186, 37-47
- HARTMANN, K.-J. UND U. DEHNER (2007): Entwicklung von Standardprofilen für Klassenzeichen der Bodenschätzung. *Zeitschrift für Bodenschutz*, Heft 2, S. 44-48
- HENGL, T. AND H. REUTER [Eds.] (2009): *Geomorphometry: Concepts, Software, Applications*, volume 33. Amsterdam: Elsevier
- HENNINGS, V., BRÄUNIG, A., BAURIEGEL, A., BURBAUM, B., DEHNER, U., HARTMANN, K.-J., IDLER, F., MARTIN, W., MÜLLER, U., SCHREY, H.P. UND F. WALDMANN (2013): Die Bodenphysikdatenbank der Staatlichen Geologischen Dienste: Aufbau, Auswertungen, Perspektiven. Tagungsbeitrag zur Jahrestagung der DBG vom 7.-12. September 2013, Rostock
- HIEMSTRA, P., PEBESMA, E., TWENHÖFEL, C. AND G. HEUVELINK (2008): Real-time automatic interpolation of ambient gamma dose rates from the Dutch Radioactivity Monitoring Network. *Computers & Geosciences*.
- HLUG (2008): Bodenfunktionsbezogene Auswertung von Bodenschätzungsdaten. Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie. <https://www.hlnug.de/static/medien/boden/fisbo/bs/index.html#methoden/hierarchie> (Stand 26.10.2012)
- KÖTHE, R. UND F. LEHMEIER (1996): SARA – System zur Automatischen Reliefanalyse. User Manual. Technical report, Department of Geography, University of Göttingen, Germany
- KÜHN, D. UND H. MÜLLER (2009): Probleme der Interpretation der Bodenschätzung bei der Kartierung in Brandenburg. Tagungsbeitrag zu: Jahrestagung der DBG im September 2009, Bonn.
- KUHN, M., WING, J., WESTON, S., WILLIAMS, A., KEEFER, C., ENGELHARDT, A., COOPER, T. AND Z. MAYER (2014): caret: Classification and Regression Training. R package version 6.0-24
- LANDIS, J. AND G. KOCH (1977): The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33, 159-174
- LFULG [Hrsg.] (2009): *Bodenbewertungsinstrument Sachsen*. Schriftenreihe des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
- MACMILLAN, R., JONES, R., & McNABB, D. (2004). Defining a hierarchy of spatial entities for environmental analysis and modeling using digital elevation models (DGMs). *Computers, Environment and Urban Systems*, 28, 175-200
- MOEYS, J. (2016): Soiltexture: Functions for Soil Texture Plot, Classification and Transformation. R package version 1.4.1.
- MÖLLER, M., STEININGER, M., THÜRKOW, F., KAINZ, W. UND H. HELBIG (2017): ProBoSA - Pilotstudie "Entwicklung eines Expertensystems zur Prognose hoch- und grundwasserbeeinflusster Böden in Sachsen-Anhalt". Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Abschlussbericht, unveröffentlicht
- MÖLLER, M., KOSCHITZKI, T., HARTMANN, K.-J. AND R. JAHN (2012): Plausibility test of conceptual soil maps using relief parameters. *CATENA*, 88(1), 57–67
- MÖLLER, M. AND M. VOLK (2015): Effective map scales for soil transport processes and related process domains – Statistical and spatial characterization of their scale-specific inaccuracies. *Geoderma*, 247/248, 151–160.
- MÖLLER, M., WURBS, D., ROSCHE, O. UND M. STEININGER (2009): Qualifizierung von Daten der Bodenschätzung als Grundlage für großmaßstäbige Bodenfunktionsbewertungen. Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt (LLG), Abschlussbericht, unveröffentlicht

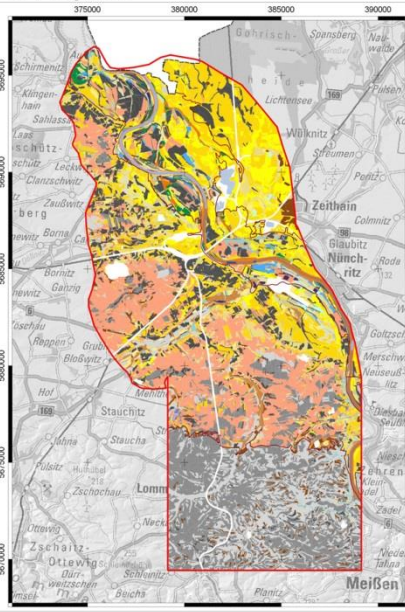
- MÖLLER, M., VOLK, M., FRIEDRICH, K., AND L. LYMBURNER (2008): Placing soil-genesis and transport processes into a landscape context: A multiscale terrain-analysis approach. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 171(3), 419-430
- MÜCKENHAUSEN E. (1985): Die Bodenkunde und ihre geologischen, geomorphologischen und petrologischen Grundlagen. DLG-Verlag, Frankfurt/Main
- R CORE TEAM (2015): R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria
- ROGGE, D., BAUER, A. ZEIDLER, J., MUELLER, A. ESCH, T. UND U. HEIDEN (2018): Building an exposed soil composite processor (SCMaP) for mapping spatial and temporal characteristics of soils with Landsat imagery (1984-2014), *Remote Sensing of Environment* 205, 1-17
- ROSENFELD, G. (1986): A coefficient of agreement as a measure of thematic classification accuracy. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 52(2), 223-227
- SPATIALREFERENCE (2016): Catalogs of Spatial Reference Systems
- STEHMAN, S. (1997): Selecting and interpreting measures of thematic classification accuracy. *Remote Sensing of Environment*, 62(1), 77-89
- STEIN, M. (1999): Interpolation of Spatial Data: Some Theory for Kriging. Springer Series in Statistics. Springer New York
- STEINHARDT, U. UND M. VOLK (2002): An investigation of water and matter balance on the meso-landscape scale: A hierarchical approach for landscape research. *Landscape Ecology* 17 (1), 1-12
- WILSON, J. & GALLANT, J. (2000): *Terrain Analysis – Principles and Applications*. New York: John Wiley & Sons.
- YOKOYAMA, R., SHIRASAWA, M. AND R. PIKE (2002): Visualizing topography by openness: A new application of image processing to digital elevation models. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 68(3), 251–266
- VORDERBRÜGGE, T., MILLER, RICARDA, PETER, M. UND S. SAUER (2004): Ableitung der nutzbaren Feldkapazität aus den Klassenzeichen der Bodenschätzung. *DBG-Mitteilungen* 2004, Bd.104, S. 33-34
- ZEVENBERGEN, L.W. AND C. R. THORNE (1987): Quantitative analysis of land surface topography. *Earth Surface Processes and Landforms*, 12(1)

Anhang (Karten)

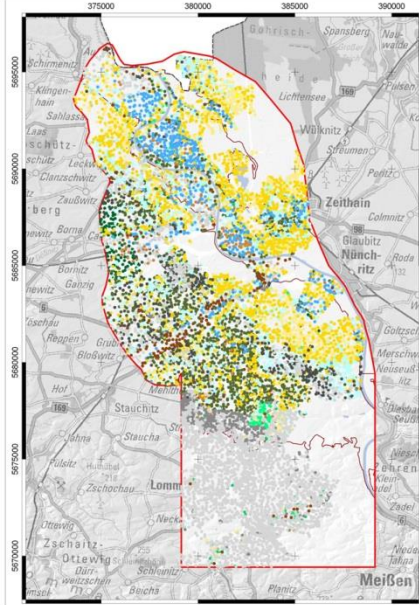
FIS-Aufschlüsse



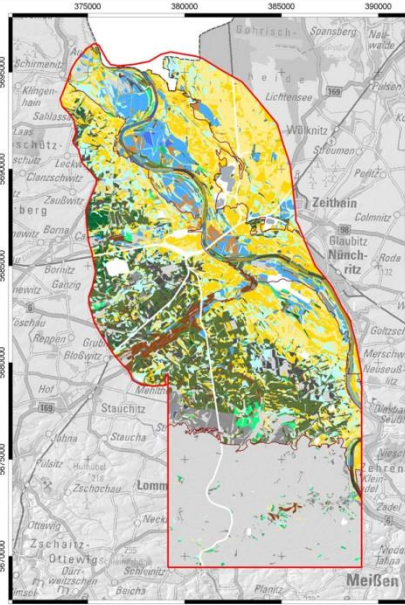
FIS-Prognose



GLB-Aufschlüsse



GLB-Aufschlüsse



digBK 50

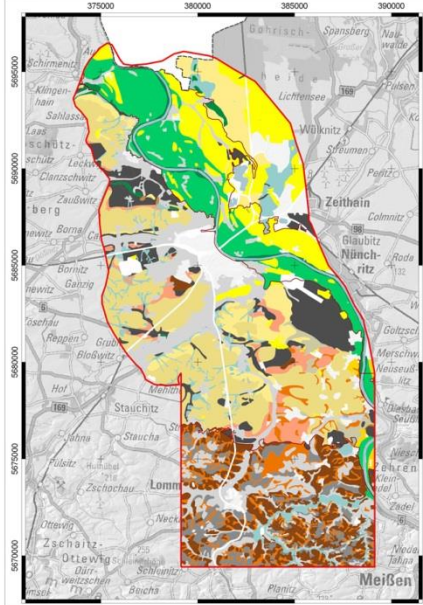
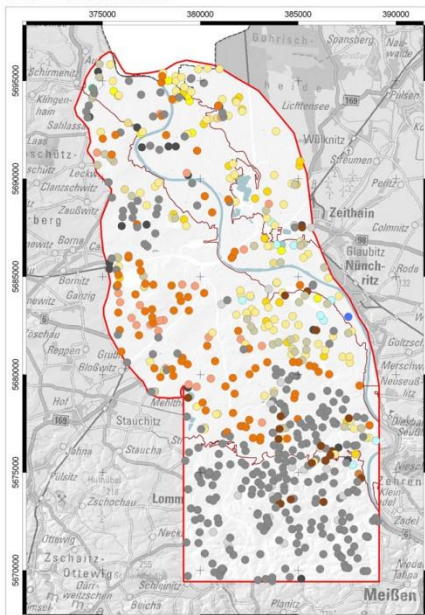
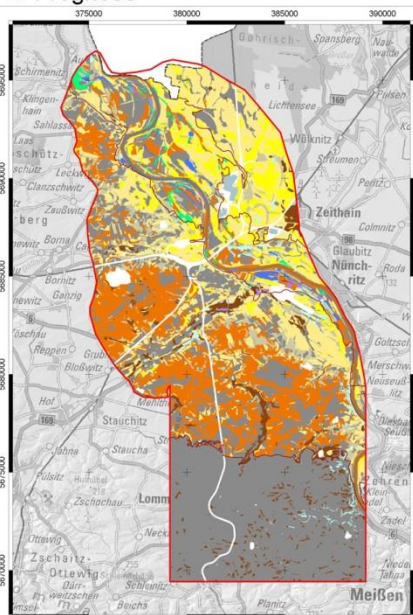


Abbildung 54: Anhang Karte 1 – Vergleichskarte (Oberboden) – Aufschlüsse und Prognosedaten FIS/GLB und digBK50

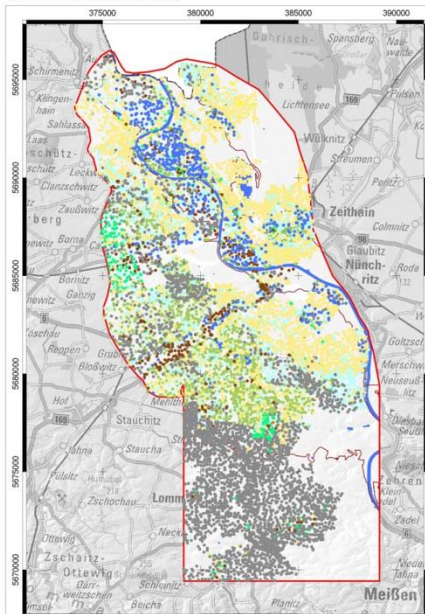
FIS-Aufschlüsse



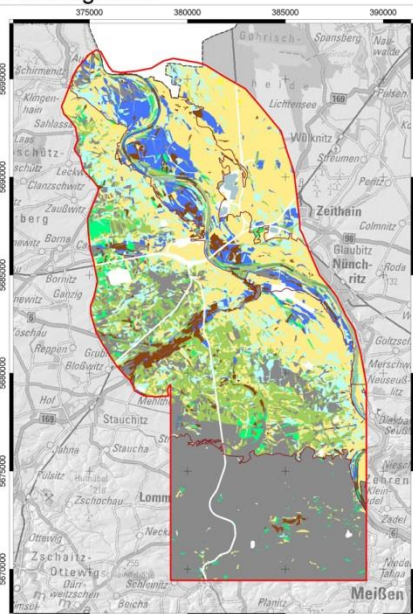
FIS-Prognose



GLB-Aufschlüsse



GLB-Prognose



digBK 50

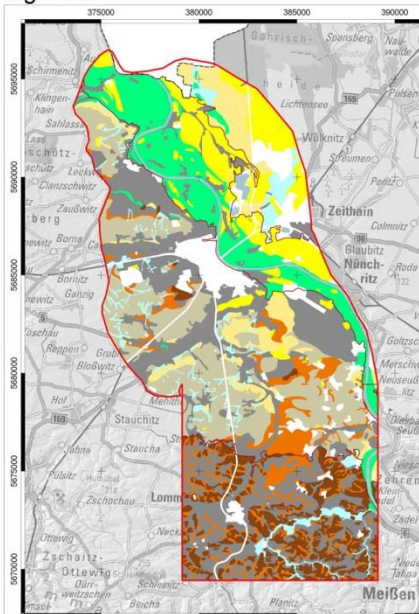
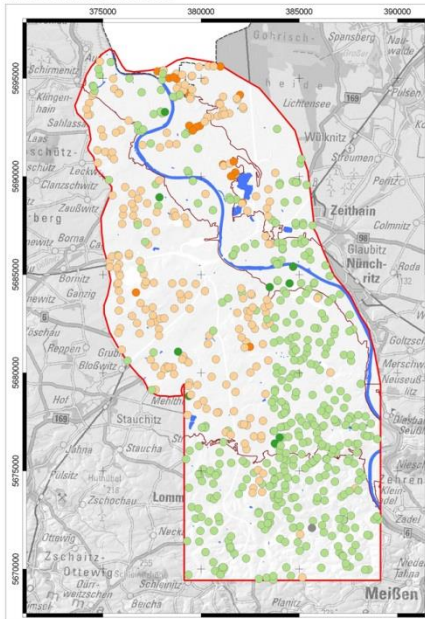
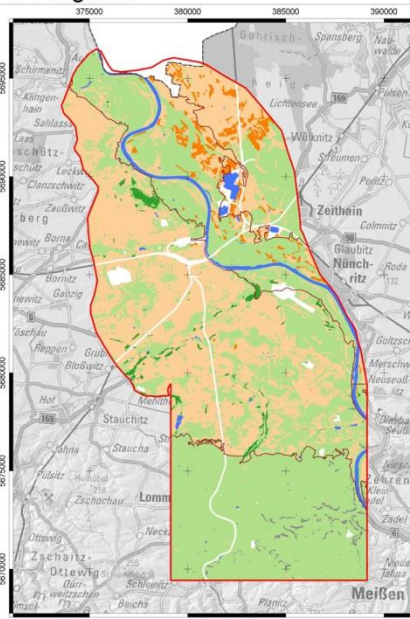


Abbildung 55: Anhang Karte 2 – Vergleichskarte Bodenartengruppe (Oberboden) – Aufschlüsse und Prognosedaten FIS/GLB und digBK50

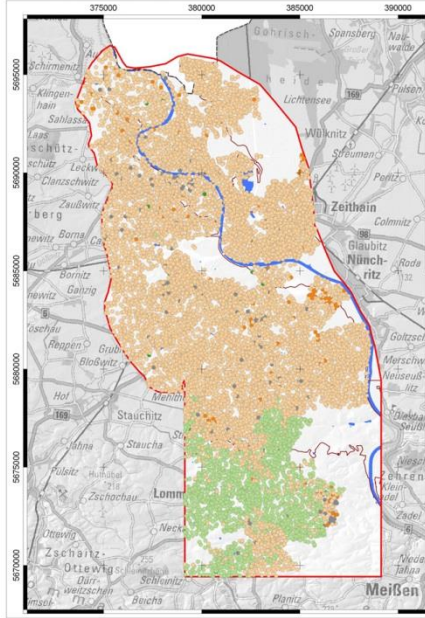
FIS-Aufschlüsse



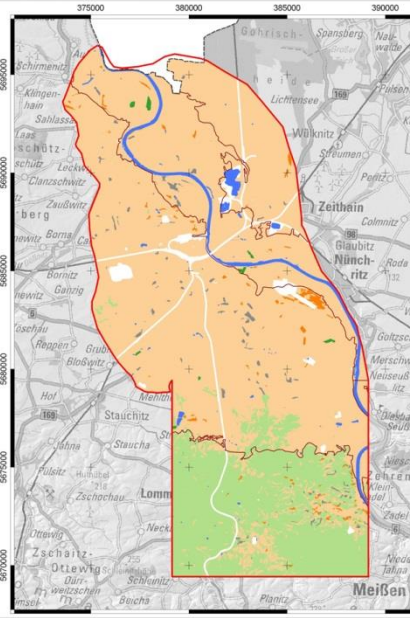
FIS-Prognose



GLB-Aufschlüsse



GLB-Prognose



digBK 50

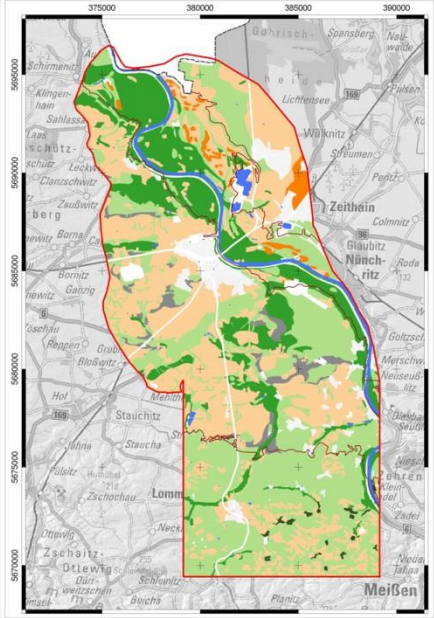
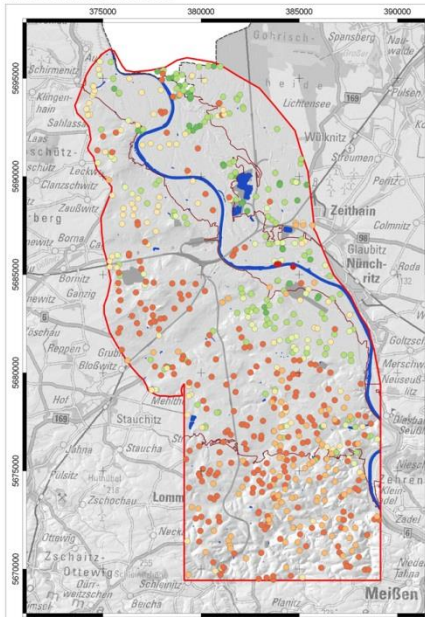
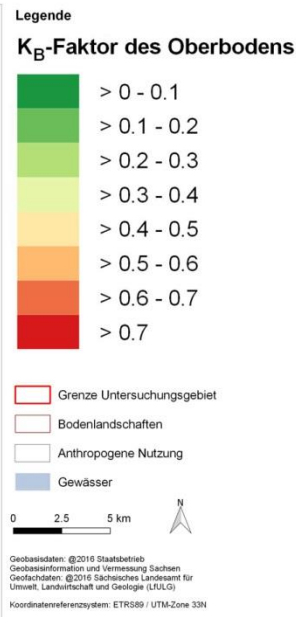
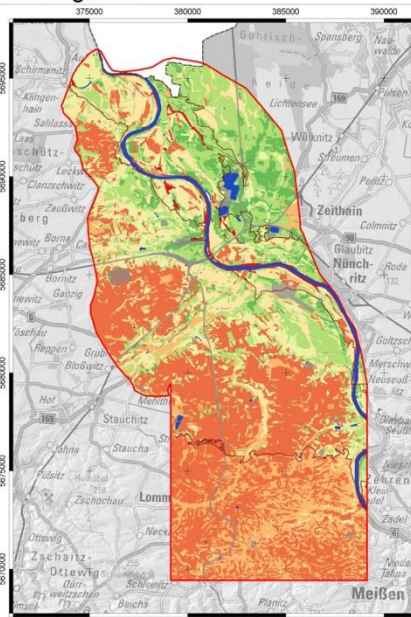


Abbildung 56: Anhang Karte 3 – Vergleichskarte Humusgehaltsstufen (Oberboden) – Aufschlüsse und Prognosedaten FIS/GLB und digBK50

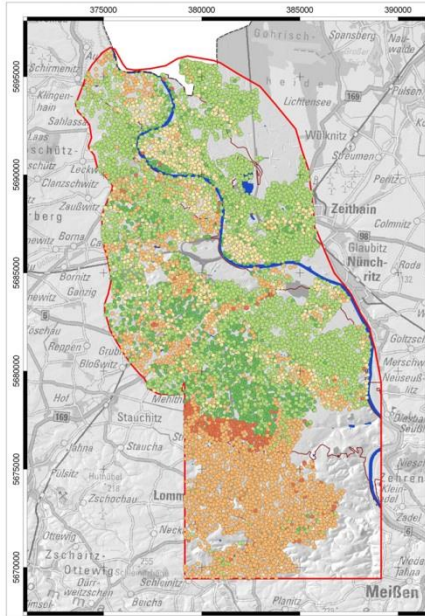
FIS-Aufschlüsse



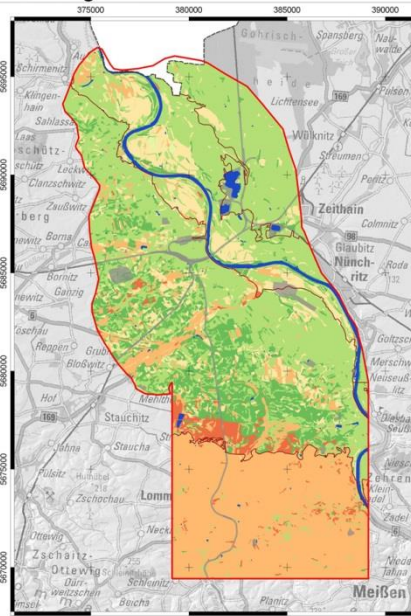
FIS-Prognose



GLB-Aufschlüsse



GLB-Prognose



digBK 50

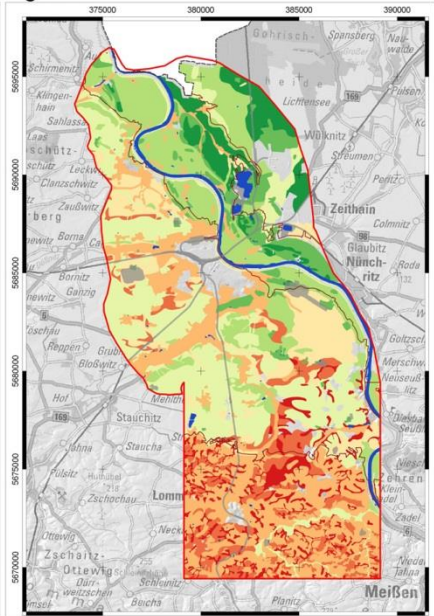
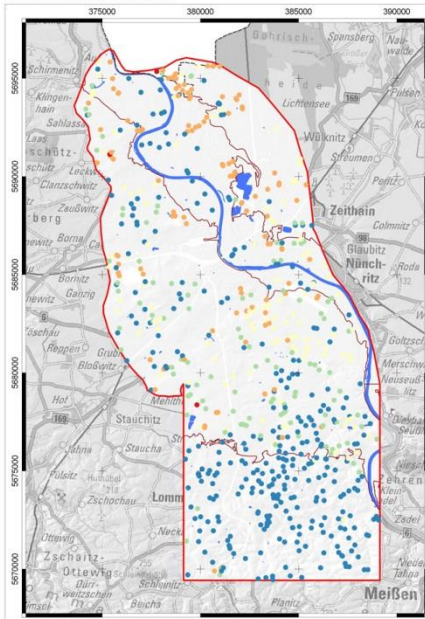
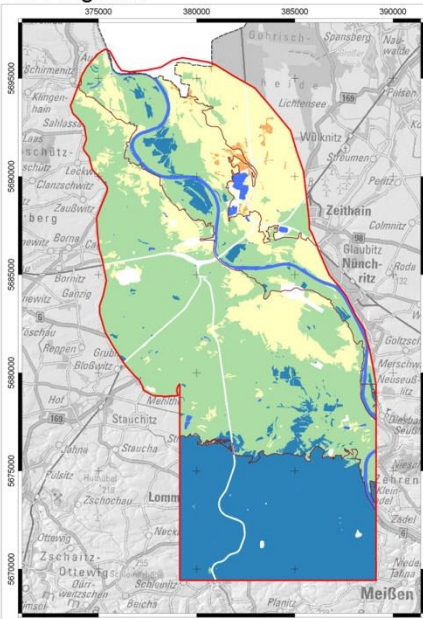


Abbildung 57: Anhang Karte 4 – Vergleichskarte KB-Faktor – Aufschlüsse und Prognosedaten FIS/GLB und digBK50

FIS-Aufschlüsse



FIS-Prognose



Legende
Nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes (nFKWe)

- 0 - < 50 mm - sehr gering
- 50 - < 90 mm - gering
- 90 - < 140 mm - mittel
- 140 - < 200 mm - hoch
- ≥ 200 mm - sehr hoch

Grenze Untersuchungsgebiet

Bodenlandschaften

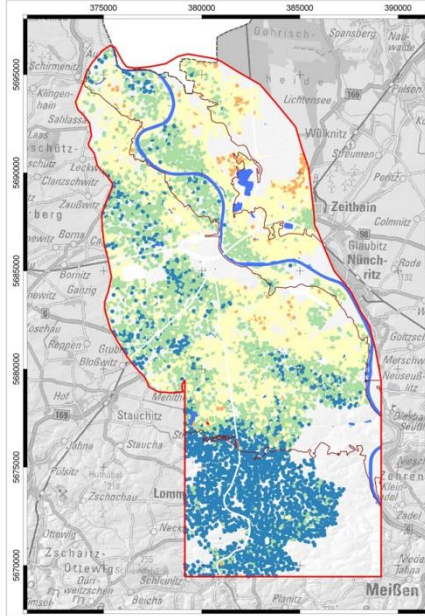
Anthropogene Nutzung

Gewässer

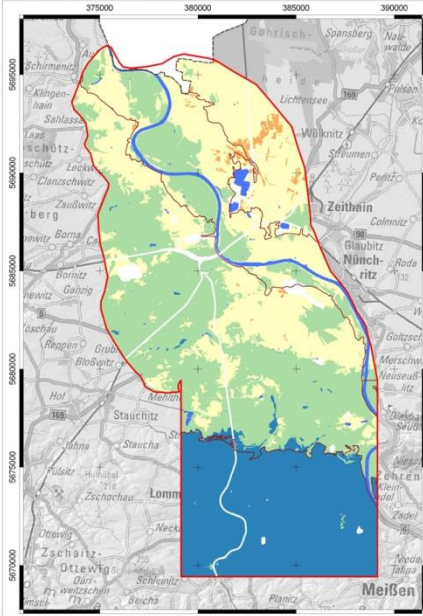


Geobasisdaten: ©2016 Staatsbetrieb
 Geobasisinformation und Vermessung Sachsen
 Geofachdaten: ©2016 Sächsisches Landesamt für
 Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG)
 Koordinatenreferenzsystem: ETRS89 / UTM-Zone 33N

GLB-Aufschlüsse



GLB-Prognose



digBK 50

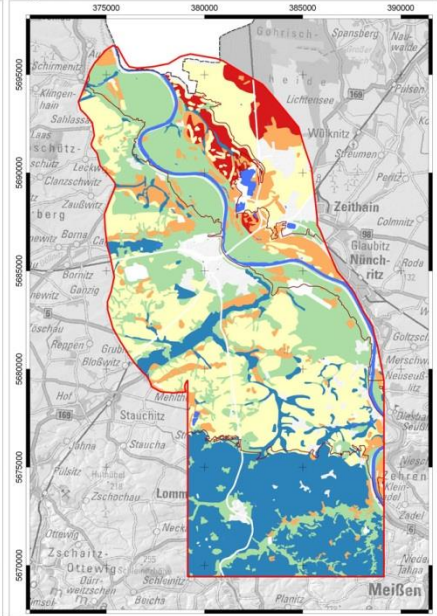


Abbildung 58: Anhang Karte 5 – Vergleichskarte nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes (nFKWe) – Aufschlüsse und Prognosedaten FIS/GLB und digBK50

Herausgeber:

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG)
Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden
Telefon: +49 351 2612-0
Telefax: +49 351 2612-1099
E-Mail: lfulg@smul.sachsen.de
www.lfulg.sachsen.de

Autoren:

Michael Steininger
Mitteldeutsches Institut für angewandte Standortkunde und Bodenschutz
Daniel Wurbs, Henning Gerstmann, Geoflux GbR
Markus Möller, terrasys.info
Mitteldeutsches Institut für angewandte Standortkunde und Bodenschutz
Paracelsusstr. 7 A, 06114 Halle (Saale)
Telefon: +49 345 5505764
E-Mail: m.steininger@bodensachverstaendige.de

Redaktion:

Ruth Hoffmann, Arnd Bräunig, Bernd Siemer
Abteilung 4/Referat Boden Altlasten
Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
Halsbrücker Straße 31a, 09599 Freiberg
Postanschrift: PF 540137, 01311 Dresden
Telefax: +49 3731 294-2099
E-Mail: arnd.braeunig@smul.sachsen.de

Redaktionsschluss:

22.01.2020

ISSN:

1867-2868

Hinweis:

Die Broschüre steht nicht als Printmedium zur Verfügung, kann aber als PDF-Datei unter <https://publikationen.sachsen.de/bdb/> heruntergeladen werden.

Verteilerhinweis

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Information der Öffentlichkeit herausgegeben.

Sie darf weder von Parteien noch von deren Kandidaten oder Helfern zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen. Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist auch die Weitergabe an Dritte zur Verwendung bei der Wahlwerbung.

*Täglich für
ein gutes Leben.*

www.lfulg.sachsen.de