

Hydrologische und hydropedologische Kenndaten Raabgebiet und Region Südoststeiermark

Klaus Klebinder, Bernadette Sotier, Veronika Lechner, Peter Strauss

Innsbruck, Juli 2017



Bundesforschungszentrum für Wald

Institut für Naturgefahren
Abt. Hydrologie und Wildbachprozesse
Rennweg 1
6020 Innsbruck
0043 (0) 512 / 57 39 33 – 0



Bundesamt für Wasserwirtschaft

Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt
Pollnbergstraße 1
3252 Petzenkirchen
0043 (0) 7416 / 52 108 - 0

Inhalt

1	Allgemeines	1
1.1	Aufgabenstellung und Auftrag	1
1.2	Projektgebiet	2
1.3	Auftragnehmer und Projektpartner	2
2	Datengrundlagen.....	3
2.1	Digitale landwirtschaftliche Bodenkarte Österreichs (eBOD)	3
2.2	Bodenschutzprogramm der steiermärkischen Landesregierung (Bodenzustandsinventur BZI) 3	
2.3	Waldbodenzustandsinventur (WBZI)	3
2.4	Geologie.....	4
2.5	INVEKOS.....	4
2.6	Österreichische Waldkarte	5
3	Datenaufbereitung	6
3.1	Digitale landwirtschaftliche Bodenkarte Österreichs (eBOD)	6
3.2	Bodenzustandsinventur (BZI)	6
3.3	Waldbodenzustandsinventur (WZI)	7
3.4	Umrechnung in Tiefenstufen.....	7
4	Erstellung einer Landnutzungs-, Landbedeckungskarte.....	8
5	Erstellung einer Bodenkonzeptkarte	10
5.1	Raumgliederungsverfahren	10
5.2	Zuweisung bodenphysikalischer Kenngrößen	12
5.3	Bodenmächtigkeit	13
5.4	Validierung der Bodenkonzeptkarte	13
6	Ableitung hydrologischer Bodenkennwerte.....	16
6.1	Pedotransferfunktionen	16
6.2	Ableitung von Hauptwerten	17
6.3	Ableitung von Bandbreiten der bodenhydrologischen Kennwerte	17
6.4	Validierung	20
7	Ableitung von Abflusskennwerten	23
7.1	Modellbeschreibung.....	23
7.2	Szenarien	25
7.3	Ergebnisse.....	27
8	Resümee und Ausblick	28
9	Literatur	28
10	Datenbestand	30

Abbildungen

Abbildung 1: Projektgebiet.....	2
Abbildung 2: Übersicht zu den Bodeninformationen.....	3
Abbildung 3: Übersicht Geologie.....	4
Abbildung 4: Österreichische Waldkarte	5
Abbildung 5: Aufbereitung der eBod-Flächendaten	6
Abbildung 6: BZI Analysedaten (links) und Profilbeschreibung (rechts)	7
Abbildung 7: Schematische Darstellung der Datenaufbereitung (aus Sotier et al., 2010).....	8
Abbildung 8: Landnutzungskarte Raabgebiet	9
Abbildung 9: Vergleich CORINE-Datensatzes (links) und des neu generierten Landnutzungsayers (rechts)	9
Abbildung 10: Konzept zur Ableitung hydropedologischer Kennwerte in Bereichen außerhalb der eBOD.....	10
Abbildung 11: Raumgliederung nach Geologie	11
Abbildung 12: Raumgliederung nach Hangcatena	11
Abbildung 13: Raumgliederung nach Landnutzung	12
Abbildung 14: Finale Raumgliederung	12
Abbildung 15: Mittelwerte von Sand% (blau, dunkel), Schluff% (gelb, dunkel) und Ton% (grün, dunkel) für die Einheiten Tertiär 1 (steir. Becken grobkörnig) und Tertiär 2 (steir. Becken feinkörnig) in Abhängigkeit der Hanglage. Die helleren Balken zeigen die Standardabweichung, die weißen Balken die Anzahl an Profilen. TS1:0-20cm, TS2:>20-50cm, TS3:>50cm.	13
Abbildung 16: Regionalisierung des Schluffgehaltes (U%) für die TS2.....	13
Abbildung 17: Validierung von regionalisiertem Sand-(S _{reg}), Schluff-(U _{reg}) und Tongehalt (T _{reg}) an Profilen der Waldbodenzustandsinventur für die Tiefenstufe 2.....	14
Abbildung 18: Validierung von regionalisiertem Sand-(S _{reg}), Schluff-(U _{reg}) und Tongehalt (T _{reg}) an Profilen der Bodenzustandsinventur für TS1, TS2 und TS3 (von oben)	14
Abbildung 19: Validierung des regionalisierten Humusgehaltes (C _{orgreg}) an Profilen der WBZI für die TS1 (links) und TS2 (rechts)	15
Abbildung 20: Porenverteilung im Boden	16
Abbildung 21: Konzept zur Ableitung hydropedologischer Kennwerte in Bereichen der eBOD	17
Abbildung 22: Gegenüberstellung des deutschen (schwarz) und des österreichischen (rot) Texturdreiecks und mögliche Texturklassen gem. deutschem System für die österr. Bodenarten sandiger Lehm und Lehm	18
Abbildung 23: Auswahl deutscher Texturklassen im Bereich regionalisierter Bodeninformation (Bereich der Bodenkonzeptkarte)	19
Abbildung 24: Nutzbare Feldkapazität TS1, links Minimum, Mitte Hauptwerte, rechts Maximum, oben Korridor eng, Mitte Korridor mittel, unten Korridor weit	20
Abbildung 25: Validierung der hydropedologischen Kennwerte der modellierten Bodenkarte an den Punkten der WBZI.....	21
Abbildung 26: Validierung der hydropedologischen Kennwerte der modellierten Bodenkarte an den Punkten der BZI	21
Abbildung 27: Validierung der hydropedologischen Kennwerte der eBOD an den Punkten der BZI ...	22
Abbildung 28: Struktur des HYDROBOD Modell	24
Abbildung 29: Zwischenabflussbeiwerte für die Geologieschicht	25
Abbildung 30: Räumliche Verteilung der Bodenfeuchte	25
Abbildung 31: Definition der vertikalen Verteilung der Bodenvorfeuchte-Zustände.....	26
Abbildung 32: Zeitlicher Verlauf des Abflussbeiwertes	27

Abbildung 33: Oberflächenabflussbeiwerte (Ψ_{konst}) bei unterschiedlichen N-Ereignissen mit 50 jährlicher Wiederkehrperiode, feuchtem und verschlammtem Vorzustand 27

Tabellen

Tabelle 1: Flächenanteile der deutschen an den österreichischen Texturklassen..... 18

Tabelle 2: Definition der Bandbreitenkorridore 19

Tabelle 3: Speicherverfügbarkeit bei unterschiedlichen Hangneigungsklassen 24

Tabelle 4: Befestigungsgrad im Siedlungsgebiet nach der Landnutzung 25

Tabelle 5: Neigungsabhängige Abflussbeiwerte der Befestigungsklassen 50 und 100% (nach Lechner et al. (2001) 25

Tabelle 6: Niederschlagssumme für die einzelnen Szenarien (mm) 26

Tabelle 7: Definition der Feuchtezustände 26

Tabelle 8: Verschlammungsneigung unterschiedlicher Bodenarten 27

1 Allgemeines

1.1 Aufgabenstellung und Auftrag

Die Abflussbildung wird, neben meteorologischen Rahmenbedingungen, wesentlich durch die naturräumliche Ausstattung des hydrologischen Einzugsgebietes beeinflusst. Infolge weitreichender Forschungsarbeiten zu hydrologischen Prozessen im Untergrund sowie der rasch steigenden Leistung von EDV-Systemen sind moderne Niederschlag-/Abflussmodelle in der Lage, komplexe Wasserhaushaltsgleichungen sowohl in hoher zeitlicher wie auch räumlicher Detailliertheit numerisch zu lösen. Neben der räumlichen Verteilung von Vegetation/Landnutzung und (hydro)geologischen Einheiten stellt der Boden eine maßgebliche Steuerungsgröße im hydrologischen Ablauf dar. Insbesondere hydrologische Bodenkenndaten, wie beispielsweise die nutzbare Feldkapazität oder die gesättigte hydraulische Leitfähigkeit, stellen dabei wichtige Eingangsparameter der Modelle dar. Diese Werte sind jedoch kaum in flächenhaften Datengrundlagen verfügbar, sondern müssen aus vorliegenden Bodendaten abgeleitet werden oder überhaupt erst flächenhaft modelliert werden. Sogenannte Pedotransferfunktionen dienen dabei als „Übersetzer“ um Bodenart, Grobstoffgehalt, Humusgehalt oder Lagerungsdichte in hydrologische Werte umzuwandeln. Für das Einzugsgebiet der Raab sowie die Region SO-Steiermark sollten im vorliegenden Projekt hydrogedologische Parameter für eine Fläche von rund 2600 km² erarbeitet werden. Dem Amt der steiermärkischen Landesregierung dienen diese Daten, um Hochwasserprognosemodelle besser parametrisieren zu können bzw. um Auswirkungen von Flächenversiegelung objektiver bewerten zu können. Das Wegener Center der Universität Graz nutzt die Daten, um zukünftige hydrologische Auswirkungen des Klimawandels modellieren zu können.

Das Projekt umfasst die flächenhafte Ableitung folgender Daten im Rasterformat mit einer Auflösung von 100*100 Meter:

- 1) Gesättigte hydraulische Leitfähigkeit $ksat$
- 2) Gesamtporenvolumen GPV
- 3) Luftkapazität $LK = \text{Porenanteil} < pF 1,8$
- 4) Totwasseranteil $TW = \text{Porenanteil} > pF 4,2$
- 5) Nutzbare Feldkapazität $nFK = pF 1,8 < nFK < pF 4,2$
- 6) Korngrößenverteilung (Anteil Sand, Schluff, Ton)
- 7) Wertepaare der Mualem/van Genuchten Gleichung $\alpha, n, \theta_s, \theta_r$
- 8) Oberflächenabflussbeiwerte Ψ_{konst}, Ψ_{vol}

Die Zuweisung und Regionalisierung erfolgt in drei Tiefenstufen:

- 1) 0 bis 20 cm
- 2) 20 bis 50 cm
- 3) 50 bis 100 cm

Das Projekt bezieht sich auf die Beauftragung durch das Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Abteilung 14, vom 19.12.2016 (GZ:ABT1416OW4-2016/898).

1.2 Projektgebiet

Das Projektgebiet (Abbildung 1) umfasst das gesamte österreichische hydrologische Einzugsgebiet der Raab (Raab Gebiet) sowie einen quadratisch abgegrenzten Projektraum für die Region SO-Steiermark (SES Region). Insgesamt beträgt die Fläche des Projektgebietes rd. 2600 km². Innerhalb des Projektgebietes wurde im Raum Feldbach eine weitere Region abgegrenzt, in der das Wegener Center der Universität Graz intensive Forschungen betreibt (FBR Region). Für das Raab Gebiet sowie die darüberhinausgehenden Bereiche der FBR Region wurde auftragsgemäß eine Landnutzungskarte mit hoher Detailliertheit erarbeitet.

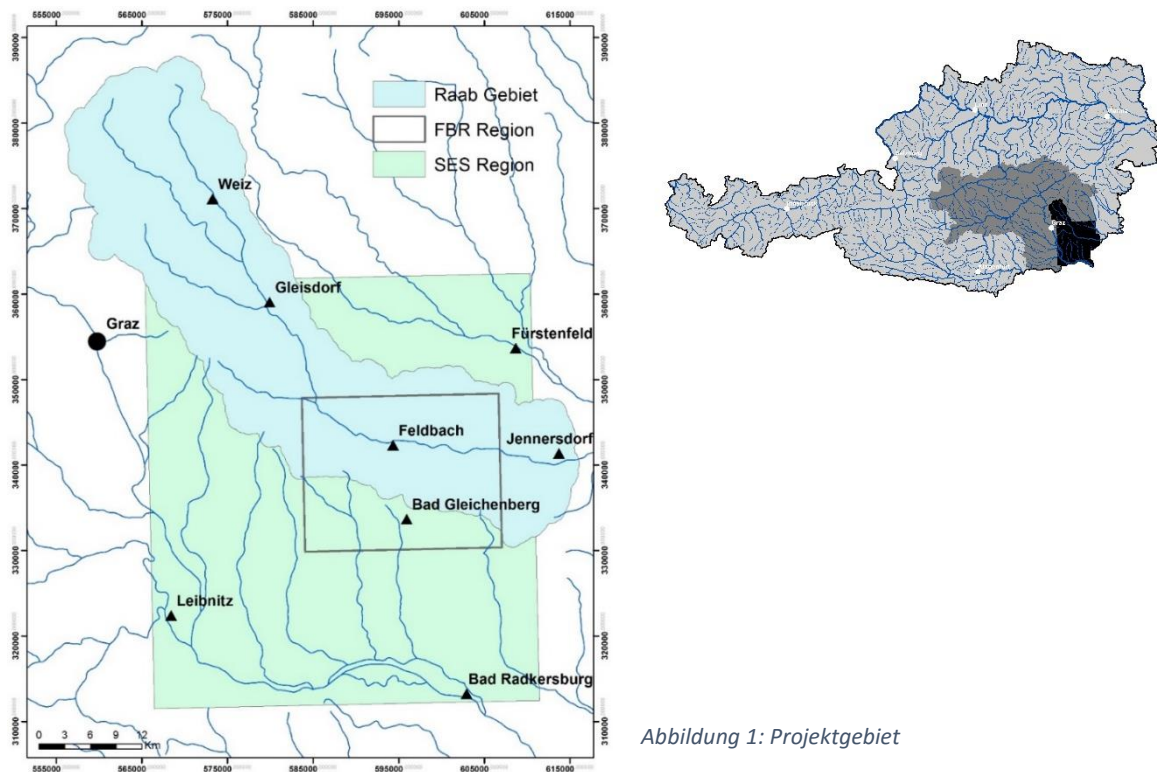


Abbildung 1: Projektgebiet

1.3 Auftragnehmer und Projektpartner

Das Projekt wurde unter der Leitung des Bundesforschungszentrums für Wald (BFW), Institut für Naturgefahren, in enger Kooperation mit dem Institut für Kulturtechnik (IKT) des Bundesamtes für Wasserwirtschaft (BAW) durchgeführt. Dem IKT oblag die Bearbeitung der Landnutzungskarte für das Raabgebiet sowie die FBR Region. Auf Basis umfangreicher gemeinsamer Vorprojekte in Niederösterreich (Projekt Hydrologische Bodenkenndaten NÖ) konnten gemeinsam durch das IKT und das BFW erarbeitete Datengrundlagen und Methoden genutzt werden. Das Institut für Waldökologie und Boden des BFW stellte Datengrundlagen zum Waldboden in aufbereiteter Form zur Verfügung.

2 Datengrundlagen

Für das Projektgebiet wurden sowohl allgemein verfügbare als auch spezielle Datengrundlagen zum Boden und zu bodenbildenden Einflussgrößen gesammelt und standardisiert aufbereitet. Daten zum Boden (Abbildung 2) liegen in Österreich aus unterschiedlichen Aufnahmesystemen vor (Schwarz et al. 2001), der Datenbestand differenziert dabei stark zwischen landwirtschaftlich genutzten Einheiten und Wald bzw. waldfreien Hochlagen. Als bodenbildende Einflussfaktoren standen flächendeckend Karten zur Geologie, Vegetation/Landbedeckung sowie Sekundärdaten zum Relief, abgeleitet aus einem digitalen Geländemodell mit 10*10 Meter Auflösung zur Verfügung.

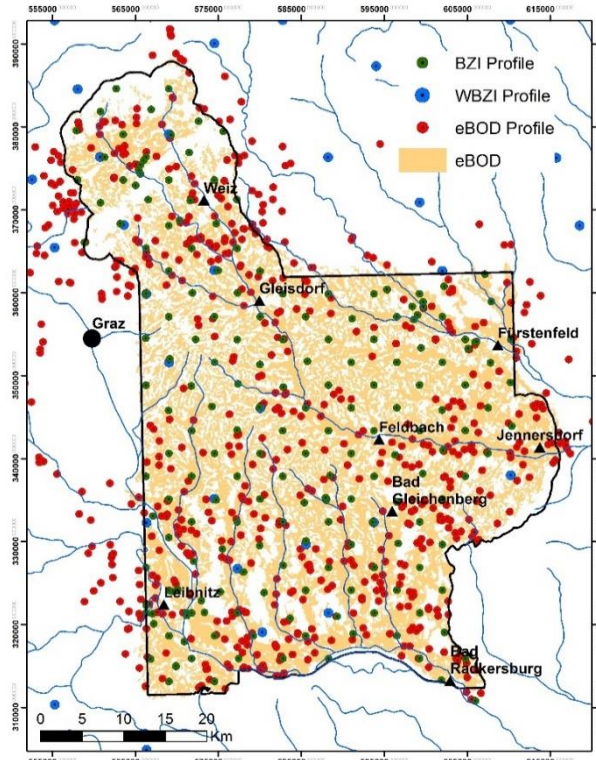


Abbildung 2: Übersicht zu den Bodeninformationen

2.1 Digitale landwirtschaftliche Bodenkarte Österreichs (eBOD)

Für die landwirtschaftlich genutzten Einheiten wurde die digitale Bodenkarte (eBOD) herangezogen. Die digitale Bodenkarte basiert auf der Geometrie der bestehenden, seit 1958 durchgeführten Bodenkartierung, die in einen GIS-Datensatz überführt wurde. Dieser enthält neben der räumlichen Abgrenzung der Bodenformfläche auch ausführliche textliche Beschreibungen mit Angaben zu Bandbreiten und Besonderheiten der jeweiligen Bodenform. Zu einer Bodenform werden Kartiereinheiten zusammengefasst, deren Eigenschaften innerhalb einer definierten Schwankungsbreite übereinstimmen. Jeder Bodenform (= Polygonfläche der eBod) ist zudem ein entsprechendes repräsentatives Leitprofil zugeordnet, für welches sowohl eine standardisierte Profilbeschreibung als auch

Analysedaten für die bodengenethischen Horizonte vorliegen (BFW, 2010; Schneider et al., 2001). Bei der Nutzung der digitalen Bodenkarte zur hydrologischen Bewertung muss beachtet werden, dass der Datenstand der Bodenkartierung großteils auf Geländeaufnahmen der 1960er Jahre beruht. Seither hat der Boden zahlreiche natürliche, vorwiegend jedoch anthropogene Veränderungen, vor allem in den siedlungsnahen Bereichen, erfahren. Die kartierte Fläche innerhalb des Projektgebietes beträgt 1490 km², dies entspricht einem Flächenanteil von rd. 57%. Es wurden 835 Bodenprofile der eBOD berücksichtigt.

2.2 Bodenschutzprogramm der steiermärkischen Landesregierung (Bodenzustandsinventur BZI)

Ebenfalls für den landwirtschaftlich genutzten Bereich liegen Bodenprofile der Bodenzustandsinventur (BZI) vor (Amt der Steiermärkischen Landesregierung, 2016). Diese, im Rahmen des Bodenschutzprogrammes der steiermärkischen Landesregierung erhobenen Daten liegen in einem regelmäßigen Raster mit 4*4 km Abstand vor. Insgesamt standen 197 Profile für die Bearbeitung zur Verfügung.

2.3 Waldbodenzustandsinventur (WBZI)

Die Waldboden-Zustandsinventur (WBZI) erfasst als Teil des Waldschadens-Beobachtungssystems in einem regelmäßigen Raster Bodendaten in den fixen Tiefenstufen 0 – 10 cm, 10 – 20 cm, 20 – 30 cm,

30–50 cm und 50–80 cm (Forstliche Bundesversuchsanstalt, 1992). Für das Projekt wurden insgesamt 72 Probenpunkte verwendet, welche sich über den gesamten Bereich der Oststeiermark verteilen. Innerhalb des Projektgebietes lagen lediglich 14 Profilstandorte.

2.4 Geologie

Die Geologie (Abbildung 3) stellt einen der wichtigsten bodenbildenden Einflussfaktor dar. Für das Projektgebiet stand eine Geologische Karte im Maßstab 1:50.000 zur Verfügung, der Bereich des Raabgebietes im Burgenland wurde aus den Geofastkarten 192 (Feldbach) und 193 (Jennersdorf) der Geologischen Bundesanstalt (2016) übernommen.

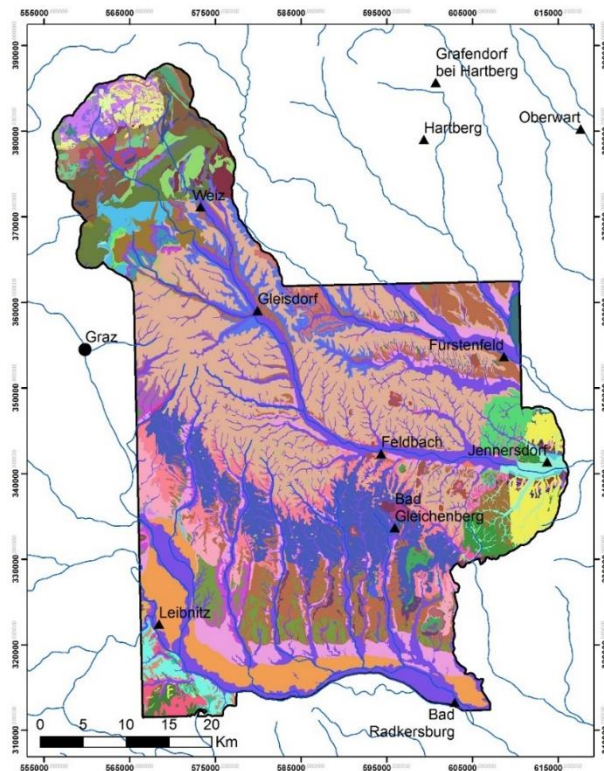


Abbildung 3: Übersicht Geologie

Insgesamt wird das Projektgebiet durch 125 unterschiedliche geologisch/lithologische Einheiten abgedeckt, wobei der größte Anteil durch tertiäre und quartäre Einheiten geprägt ist. Lediglich das oberste Einzugsgebiet der Raab wird durch ostalpines Paläozoikum bzw. ostalpines Kristallin aufgebaut. Entsprechend der geologischen Situation stehen für die tertiären und quartären Einheiten meist Informationen zum Lockermaterial zur Verfügung, die ostalpinen Einheiten sind vorwiegend durch lithologische Einheiten beschrieben, welche keine direkte Information zum Lockermaterial enthält.

2.5 INVEKOS

In den INVEKOS-Daten (INtegriertes VERwaltungs- und KONtrollSystem der EU, BGBl. II Nr. 338/2009) sind alle landwirtschaftlich genutzten Flächen jener Betriebe enthalten, die an Förderungsmaßnahmen des Bundes, respektive der EU teilnehmen. Auf Feldstückebene werden 13 verschiedene Nutzungsarten ausgewiesen: Acker, Grünland, Spezialkulturen, Weingartenflächen, terrassierte Weingartenflächen, geschützter Anbau, Teichflächen, Alm, Gemeinschaftsweide, mitbestoßene Alm, mitbestoßene Gemeinschaftsweide, Forst und sonstige auszuweisende Nutzungsarten. Mit Hilfe der INVEKOS-Daten kann die aktuelle Nutzung von Agrarflächen räumlich differenziert angesprochen werden.

2.6 Österreichische Waldkarte

Die Österreichische Waldkarte (ÖWK, Abbildung 4) ist eine bundesweit flächendeckende Waldkarte auf Basis von LANDSAT-Aufnahmen (30 m-Raster), die unter Einbeziehung von Daten aus der Österreichischen Waldinventur (ÖWI) erstellt wurde. Sie unterscheidet fünf Waldtypen: Laubwald, Mischwald mit dominantem Laubanteil, Mischwald mit dominantem Nadelanteil, Nadelwald und Schlagflächen (Bauerhansl et al., 2007).

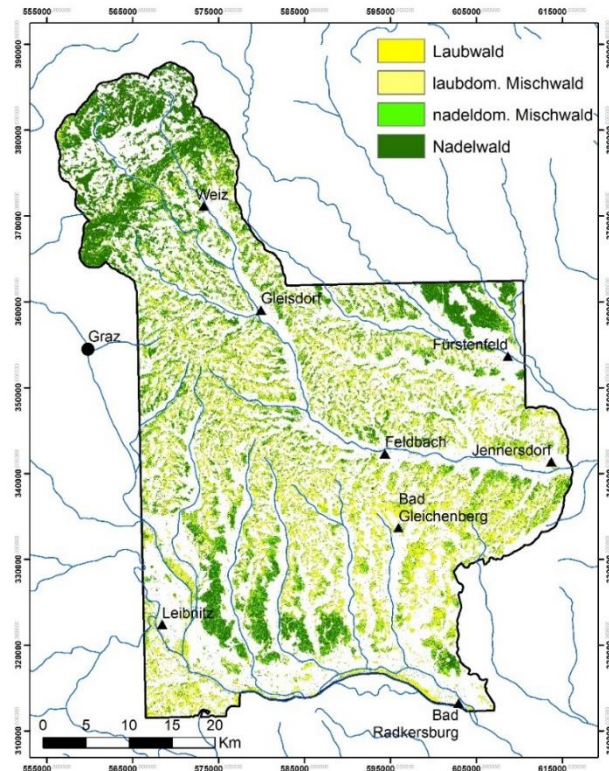


Abbildung 4: Österreichische Waldkarte

3 Datenaufbereitung

3.1 Digitale landwirtschaftliche Bodenkarte Österreichs (eBOD)

Jedem Bodenprofil sind Bodenformen zugeordnet, die aus einem oder mehreren Polygonen (=Bodenformen) bestehen können. Die qualitative Beschreibung der Bodenform musste in einem ersten Schritt in eine standardisierte Form gebracht werden. Die Bodenformen enthalten, im Gegensatz zu den Profilbeschreibungen, Angaben zur Bandbreite der bodenphysikalischen Eigenschaften innerhalb einer Bodenform. So wird beispielsweise im Profil die Bodenart IU (lehmiger Schluff) ausgewiesen, in der dem Profil zugeordneten Fläche werden jedoch auch die Texturklassen L (Lehm) und sL (sandiger Lehm) kartiert. Aus der oftmals nicht standardisierten Beschreibung wurden horizontweise die relevanten Begriffe zu Bodenart, Grobanteil und Humusklasse extrahiert (Abbildung 5). Information zur Lagerungsdichte ist in den Flächenbeschreibungen nicht enthalten, diese musste den zugeordneten Profilen entnommen werden. Für die weitere Verarbeitung mussten die im österreichischen Klassenschema angesprochenen Texturklassen in die feiner aufgelöste Texturklassifikation der KA5 übersetzt werden (AG Boden 2005, siehe dazu auch Abschnitt 6.3).

H1	H2	H3	Tex1	Tex2	Tex3	Grobanteil,...	Material
A	Bv Cv	Cn	IS	IS	No Data	mäßigem bis hohem Grobanteil	Steine und Grus
Atp	A2	D	S,sU,s L	S,sU,s L	No Data	geringem bis mäßigem Grobanteil	Schotter und Kies
Ap	Bv	C	L,sL	L,IT,I U	sL,IU,L	geringem Grobanteil	Schotter und Kies

Abbildung 5: Aufbereitung der eBod-Flächendaten

Die horizontweise vorliegenden Analysedaten zu Ton-, Schluff- und Sandgehalt sowie der Anteil an organischer Substanz wurden entsprechend der Vorgaben der Bodenkundlichen Kartieranleitung (AG Boden, 2005) klassifiziert. Die Lagerungsdichteklasse wurde nach Eisenhut (1990) aus der Strukturansprache (Gefüge, Porosität und Zerdrückbarkeit) ermittelt.

Die Bodenmächtigkeit wird als Eingangsgröße für die Berechnung des Bodenspeichers benötigt. Für die landwirtschaftlichen Böden ist sie leicht aus der eBod ableitbar und auf die Polygonflächen übertragbar. Die Bodenmächtigkeit wurde definiert als die Mächtigkeit des Solums bis zum Ausgangsgestein und wurde auf maximal 100 cm begrenzt, da größere Tiefen für schnelle Abflussprozesse nicht mehr relevant sind. Der Cv-Horizont wurde noch zum Solum dazugerechnet, sofern verwertbare Bodendaten für diesen Horizont vorliegen.

3.2 Bodenzustandsinventur (BZI)

Die Aufbereitung der BZI-Profildaten erfolgte entsprechend den eBod-Profildaten. Die Eingangsparameter Ton-, Schluff-, Sandgehalt und Humusanteil liegen als Analysewerte tiefenstufenweise vor und konnten einfach in die benötigten Klassen umgerechnet werden (Abbildung 6, links). Der Parameter Lagerungsdichte LD wurde analog zu den Profilen der eBod aus der Strukturansprache abgeleitet. Da sich die Strukturmerkmale nicht an Tiefenstufen orientieren, sondern in bodengenetischen Horizonten angesprochen werden, mussten die LD-Klassen über eine Horizont-Gewichtung in die entsprechenden Tiefenstufen umgerechnet werden (Abbildung 6, rechts).

Tiefenstufen in cm	0-20	20-50	50-70
Allgemeine Bodenparameter			
Sandanteil in %	36	34	32
Schluffanteil in %	43	43	43
Tonanteil in %	21	23	25
Humusanteil in %	2	1,3	0,7
pH-Wert (Säuregrad)	5,53	5,83	6,17
Kalk (CaCO ₃) in %			

A 0-25 cm: Sandiger Lehm, humos-Mull, kalkfrei, undeutlich mittelkrümelig, feinporös, leicht zerdrückbar, sehr dunkles graubraun (10 YR 3/3), mehrere undeutliche kleine Rostflecken, wenig durchwurzelt, mäßig belebt, absetzend;
 Grel 25-60 cm: Sandiger Lehm, kalkfrei, deutlich grobblockig-scharfkantig strukturiert, feinporös, leicht zerdrückbar, grau (10 YR 5/1), viele deutliche mittlere Rostflecken (7,5 YR 4/4), wenig durchwurzelt, gering belebt, übergehend;
 GrelS ab 60 cm: Sandiger Lehm, kalkfrei, deutlich grobblockig-scharfkantig strukturiert, feinporös, schwer zerdrückbar, dunkelgrau (2,5 Y 4/0), viele deutliche mittlere Rostflecken (7,5 YR 4/2), einzelne Eisenkonkretionen bis 1 mm, nicht belebt und durchwurzelt.

Abbildung 6: BZI Analysedaten (links) und Profilbeschreibung (rechts)

3.3 Waldbodenzustandsinventur (WZI)

Die Profile der WBZI werden in einem einheitlichen Tiefenstufenschema beprobt, die Profilbeschreibung wird nach bodengenethischen Horizonten durchgeführt. Der Humusanteil liegt für alle Tiefenstufen vor, die Bodenart wird nur in der Tiefe 30 bis 50cm analysiert. Die Texturklasse der fehlenden Tiefenstufen wurde mit Hilfe der Profilbeschreibungen hergeleitet. Wie bei den eBod-Profilen wird die Textur im österreichischen Klassensystem angesprochen und musste zuerst in die Texturklassen der KA5 übersetzt werden. Des Weiteren werden bei der WBZI keine Angaben zur Lagerungsdichte erhoben. Aus den Profilbeschreibungen und unter Berücksichtigung eigener Labormessungen wurde die Lagerungsdichteklasse der restlichen Waldbodenprofile geschätzt. Als Bewertungsgrundlage für die Landnutzungseinheit Wald wurden 87 Waldbodenprofile aus der BFW-Profildatenbank hinsichtlich ihrer Lagerungsdichte ausgewertet. Diese Profilstandorte sind über den gesamten österreichischen Alpenraum verteilt und repräsentieren daher eine große Bandbreite an Standorttypen (Baumartenzusammensetzung, Höhenlage und Substrat). Es zeigte sich, dass in der obersten Tiefenstufe in mehr als 90 % aller Profile LD 1 bzw. 2 nicht überschritten werden.

3.4 Umrechnung in Tiefenstufen

Die Profil-Daten liegen abhängig von der jeweiligen Fragestellung in unterschiedlichen Tiefengliederungen vor (bodengenethische Horizonte, verschiedene Tiefenstufen der Beprobung etc.) und mussten vor der Weiterverrechnung homogenisiert, d. h. auf einheitliche Tiefenstufen (TS) umgerechnet werden. Folgende drei Tiefenstufen wurden definiert:

- TS 1: 0 bis 20 cm
- TS 2: 20 bis 50 cm
- TS 3: 50 bis 100 cm

Die Umrechnung der Bodenhorizonte auf die Tiefenstufen erfolgte über ein der Horizontmächtigkeit entsprechendes gewichtetes Mittel.

4 Erstellung einer Landnutzungs-, Landbedeckungskarte

Die Landnutzung stellt den dynamischsten Faktor in der hydrologischen Modellierung dar. Vor allem im Bereich landwirtschaftlicher Nutzflächen treten hohe saisonale (z. B. Abfolge von Ackerfrüchten) aber auch periodische (z. B. Fruchtfolge, wirtschaftliche Attraktivität unterschiedlicher Früchte) Schwankungen auf. Mittel- bis langfristige Änderungen infolge geänderter klimatischer Rahmenbedingungen sind hingegen an Standorten im Wald sowie in waldfreien Hochlagen zu erwarten. Durch Flächenversiegelung infolge des zunehmenden Bedarfes an Verkehrs-, Gewerbe-, Freizeit- und Wohnfläche werden verstärkt gering wasserdurchlässige Standorte geschaffen, welche sich durch ihre Summenwirkung auf das gesamte hydrologische System auswirken (Klebinder et al., 2007).

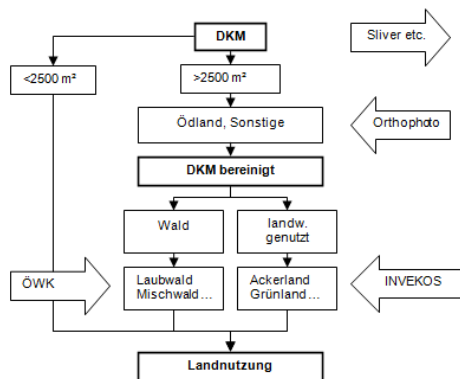


Abbildung 7: Schematische Darstellung der Datenaufbereitung (aus Sotier et al., 2010)

Die technische Bearbeitung entspricht der Vorgehensweise nach Sotier et al. 2010, bearbeitet wurde das Raab Gebiet und die FBR Region. Als Basis für die Abgrenzung der Landnutzungseinheiten diente die Digitale Katastermappe Österreichs (DKM), in welcher Nutzungsarten bereits parzellenscharf (Maßstabsbereich 1:500 bis 1:5000, BEV 2009) und inhaltlich detailliert ausgewiesen sind. Es existierten jedoch einige Sammelklassen, z. B. „landwirtschaftlich genutzt“ oder „Wald“, die im Hinblick auf eine hydrologische Bewertung weiter differenziert werden mussten. Zu diesem Zweck konnten die Österreichische Waldkarte und die INVEKOS Daten herangezogen werden. Als eine weitere Informationsebene standen für das gesamte Untersuchungsgebiet Orthofotos mit einer Auflösung von 1m zur Verfügung.

Hydrologische und hydropedologische Kenndaten Raabgebiet und Region Südoststeiermark

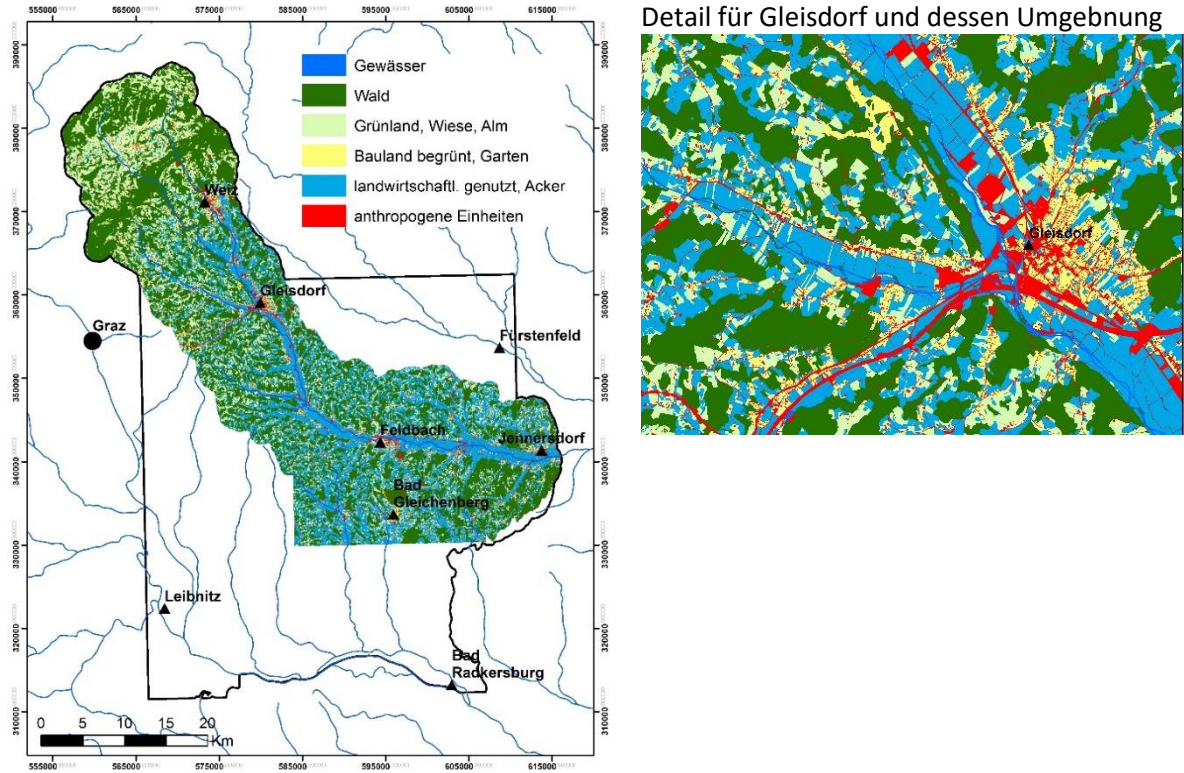


Abbildung 8: Landnutzungskarte Raabgebiet

Der Vergleich zum allgemein verfügbaren CORINE-Datensatz (EEA 2000, Umweltbundesamt 1998 Abbildung 9) zeigt ein sowohl geometrisch als auch inhaltlich deutlich detaillierteres Abbild der Landnutzung (Abb. 6). Vor allem durch die Einbeziehung der Daten aus dem INVEKOS konnte im landwirtschaftlich genutzten Bereich ein Höchstmaß an Information und Aktualität erreicht werden.

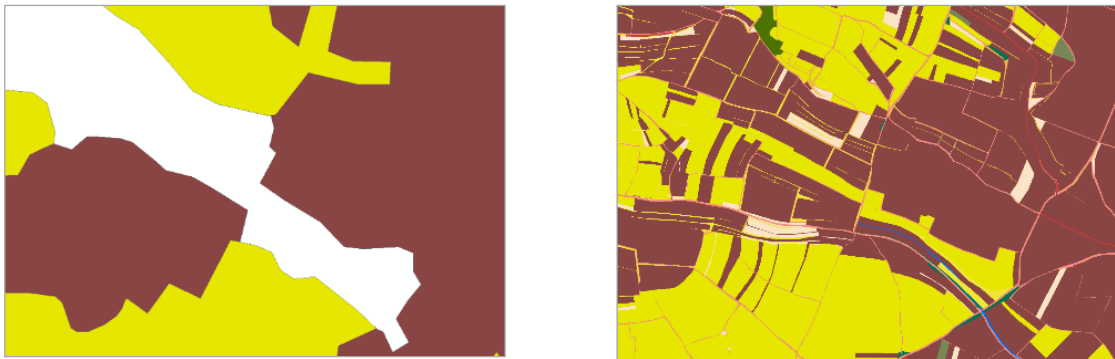


Abbildung 9: Vergleich CORINE-Datensatzes (links) und des neu generierten Landnutzungslayers (rechts)

5 Erstellung einer Bodenkonzeptkarte

Im Bereich der eBOD liegen für jedes Flächenelement hydrologisch interpretierbare bodenphysikalische Kennwerte vor. Dabei werden kartierte Homogenbereiche repräsentativen Bodenprofilen zugewiesen, deren physikalische Kennwerte detailliert (im Labor) analysiert werden. Über Pedotransferfunktionen (PTF, siehe Abschnitt 6.1) können somit hydropedologische Kennwerte direkt den kartierten Flächen zugewiesen werden. Für rund 43% des Projektgebietes sind jedoch keine flächenhaften Bodeninformationen vorhanden. Für diese meist bewaldeten Flächen mussten zuerst Informationen zur Bodenart (Sand,- Schluff- und Tongehalt), Humusgehalt sowie zur Lagerungsdichte erstellt werden (Abbildung 10). Das Resultat dieser Modellierung wird als Bodenkonzeptkarte bezeichnet, der Arbeitsvorgang kann in i) ein Raumgliederungsverfahren und ii) eine Zuweisung bodenphysikalischer Kennwerte unterteilt werden. Im Anschluss können, analog zu kartierten Bereichen, über PTF hydropedologische Kennwerte abgeleitet werden.

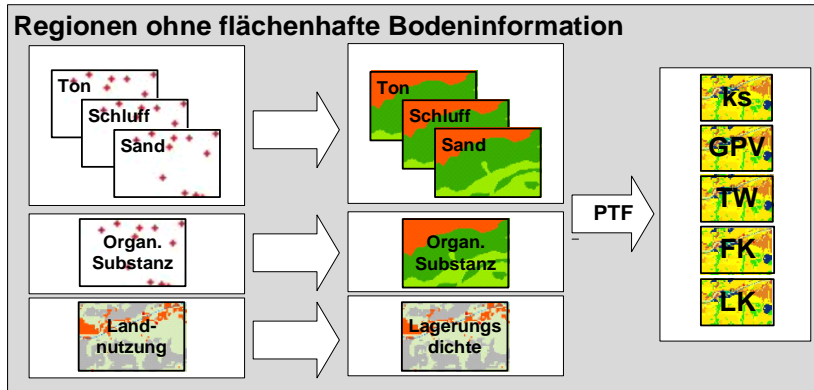


Abbildung 10: Konzept zur Ableitung hydropedologischer Kennwerte in Bereichen außerhalb der eBOD

5.1 Raumgliederungsverfahren

Im Gegensatz zum Projekt HYDROBOD-NÖ, wo ein geostatistischer Ansatz gewählt wurde (Sotier et al. 2012), wurde im vorliegenden Projekt ein konzeptioneller Ansatz verfolgt. Die Raumgliederung erfolgte - unter geopedologischem Aspekt - über aggregierte Einheiten der Geologischen Karte sowie über ein Reliefgliederungsverfahren. Der Humusgehalt des Bodens wurde ergänzend durch die Vegetation/Landnutzung beschrieben. Die Anzahl der Einheiten der Raumgliederung wurde so groß als möglich gehalten, um eine bestmögliche räumliche Differenzierung zu erhalten. Als Eingangsdaten für die Analyse der Bodeneigenschaften dienten alle Profile der eBOD sowie die Profile der WBZI außerhalb des Projektgebietes (Die WBZI Punkte innerhalb des Projektgebietes wurden als Validierungsinformation verwendet). Die Anzahl der Einheiten des Raumgliederungsverfahrens wurde durch die Anzahl und Verteilung der verfügbaren Bodenprofile limitiert.

Hydrologische und hydropedologische Kenndaten Raabgebiet und Region Südoststeiermark

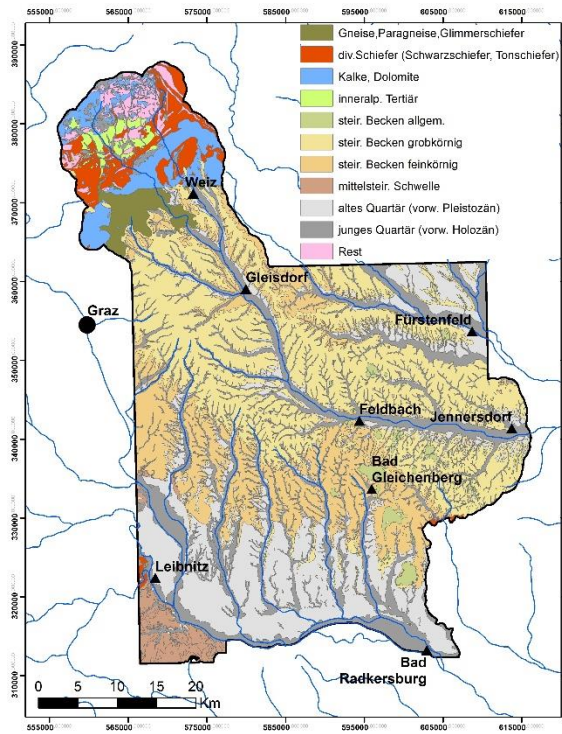


Abbildung 11: Raumgliederung nach Geologie

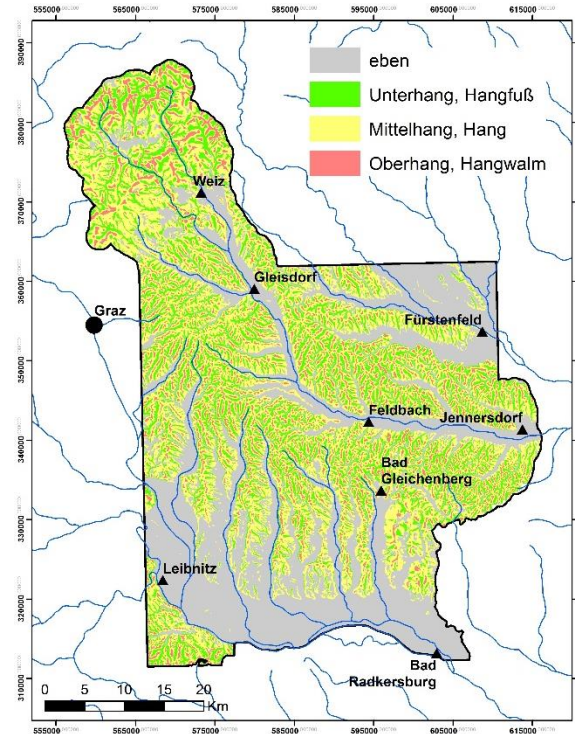


Abbildung 12: Raumgliederung nach Hangcatena

Die 125 Einheiten der geologischen Karte wurden auf Basis von Substratbeschreibungen, welche die einzelnen Einheiten der Karte charakterisieren sowie durch Literaturbeschreibungen hierarchisch aggregiert. In der finalen Gliederung wurden elf Klassen (Homogenbereiche) gebildet (Abbildung 11).

Das Relief wurde auf Basis des digitalen Geländemodells mit einer Auflösung von 10 Metern gegliedert. Dabei wurde auf ein einfaches Verfahren zurückgegriffen, das die Höhenlage einer einzelnen Zelle zu dessen Nachbarzellen in einem definierten Suchbereich vergleicht. Mit Hilfe dieses „Topographic Position Index“ (Weiss, 2001) kann eine robuste Hangcatena mit einer Gliederung in Oberhang, Mittelhang und Unterhang erfolgen. Als Suchradius wurde ein Kreis mit 50 Zellen definiert. Flache Bereiche wurden mit 12% festgelegt, dieser Wert wurde an die Abgrenzung der geologischen Einheiten des Quartärs angepasst. In der finalen Version wurden vier Reliefeinheiten gebildet (Abbildung 12), eine weitere Gliederung konnte auf Grund einer zu geringen Anzahl an Bodenprofilen nicht erfolgen.

Als weitere Untergliederung wurde die Vegetation/Landnutzung herangezogen. Dabei wurde die geometrische Abgrenzung des CORINE Datensatz verwendet, die Waldinformation der österreichischen Waldkarte wurde als Majority Wert auf die Polygone übertragen. Somit ergaben sich inkl. der Klasse „Nichtwald“ sechs Klassen (Abbildung 13). Die in Kapitel 4 beschriebene Landnutzungskarte konnte im Raumgliederungsverfahren nicht verwendet werden, da sie nicht für das gesamte Bearbeitungsgebiet erstellt wurde.

Alle Elemente des Raumgliederungsverfahrens wurden miteinander kombiniert und ggf. wieder zusammengefasst, falls die Anzahl der Bodenprofile fünf unterschritt. In der finalen Version konnten 118 Homogenbereiche ausgewiesen werden (Abbildung 14).

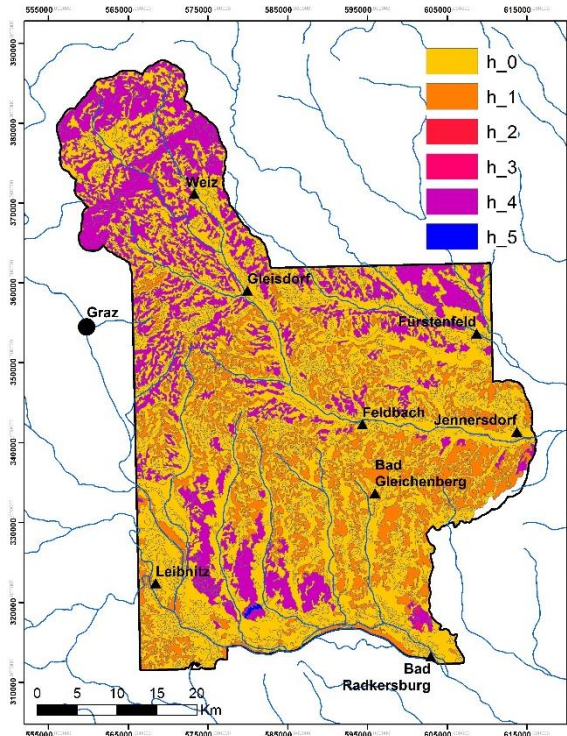


Abbildung 13: Raumgliederung nach Landnutzung

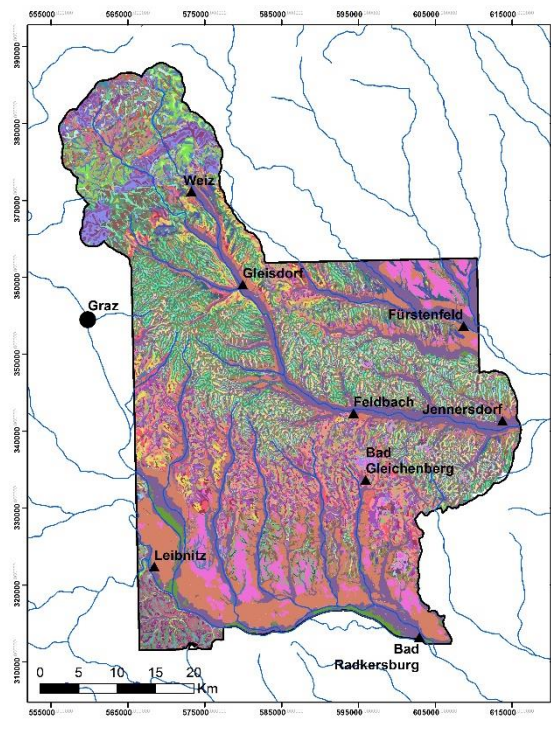


Abbildung 14: Finale Raumgliederung

5.2 Zuweisung bodenphysikalischer Kenngrößen

Um den einzelnen Einheiten der Bodenkonzeptkarte Kennwerte zur Textur (Bodenart), zum Anteil an organischer Substanz bzw. dem Grobstoffgehalt sowie zur Lagerungsdichte zuzuweisen, wurden die Kennwerte der Bodenprofile aus eBOD und WBZI für jede Einheit statistisch analysiert. Dabei wurde der Mittelwert und die Standardabweichung für Ton (T), Schluff (U) und Sand (S) sowie die organische Substanz (C_{org}) ausgegeben. Die Lagerungsdichte (LD) und der Grobstoffgehalt wurde über die Häufigkeitsverteilung zugewiesen, wobei jene Klasse gewählt wurde, welche den höchsten prozentuellen Anteil an der jeweiligen Einheit hatte. Da die Auswertung der LD auf Waldflächen durchwegs zu hohe Werte ergab, was durch den hohen Anteil an Bodenprofilen aus der eBOD erklärbar ist, wurde die LD aller Waldeinheiten auf die Klasse LD1 korrigiert. Diese Vorgehensweise kann durch die Auswertung von Waldprofildaten des BFW begründet werden, siehe auch Abschnitt 3.3. Für den Grobstoffgehalt ergab sich keine Differenzierung zwischen den Einheiten, dadurch wurde auf eine weitere Berücksichtigung des Faktors Grobstoff verzichtet und es wurde global die Klasse GKLO definiert.

Abbildung 15 zeigt den Anteil an Sand, Schluff und Ton sowie die jeweilige Standardabweichung für zwei unterschiedliche geologische Klassen des steirischen Beckens. Daraus wird deutlich, dass vom Unterhang (Hangfuß) gegen den Oberhang (Hangwalm) hin der Anteil an Sand zunimmt, Schluff- und Tongehalt hingegen sinken. Beide dargestellten Einheiten unterscheiden sich deutlich bezüglich ihrer Bodentextur.

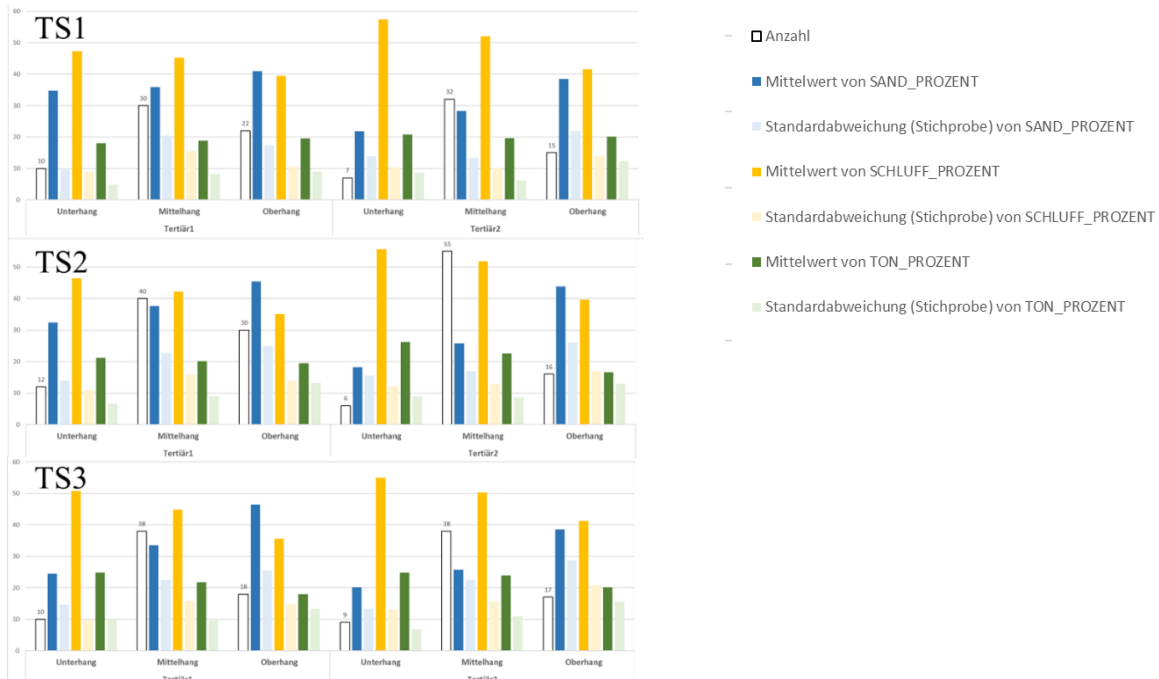


Abbildung 15: Mittelwerte von Sand% (blau, dunkel), Schluff% (gelb, dunkel) und Ton% (grün, dunkel) für die Einheiten Tertiär 1 (steir. Becken grobkörnig) und Tertiär 2 (steir. Becken feinkörnig) in Abhängigkeit der Hanglage. Die helleren Balken zeigen die Standardabweichung, die weißen Balken die Anzahl an Profilen. TS1:0-20cm, TS2:>20-50cm, TS3:>50cm.

Abbildung 16 zeigt am Beispiel des Schluffgehaltes für die Tiefenstufe 2 (20-50 cm) das Ergebnis der flächigen Modellierung. Sowohl der Einfluss des geologischen Ausgangssubstrates als auch der Hangcatena lässt sich im Kartenergebnis deutlich erkennen.

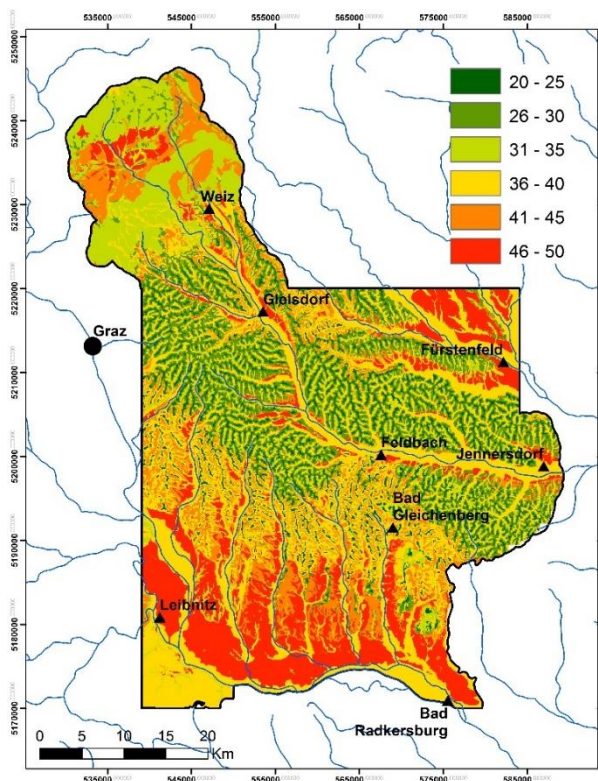


Abbildung 16: Regionalisierung des Schluffgehaltes (U%) für die TS2

Sowohl der Einfluss des geologischen Ausgangssubstrates als auch der Hangcatena lässt sich im Kartenergebnis deutlich erkennen.

5.3 Bodenmächtigkeit

Die Bodenmächtigkeit, auf welcher letztendlich die Umrechnung in volumetrischen Bodenspeicher beruht, wurde in Abhängigkeit von der geologischen Klassifizierung modelliert. Bei den tertiären Einheiten wurde angenommen, dass die darauf entwickelten Böden immer eine Mindestmächtigkeit von einem Meter erreichen. Für die alpinen Einheiten im Norden des Untersuchungsgebietes wurde eine neigungsabhängige Bodenmächtigkeit modelliert. Da die wenigen vorhandenen Waldbodenprofile nicht zu einer robusten Regression auswertbar waren, wurde die Regressionsgleichung aus dem Projekt HYDROBOD NÖ (Sotier et al., 2012) herangezogen.

5.4 Validierung der Bodenkonzeptkarte

Abbildung 17 stellt die Qualität der regionalisierten Korngrößenfraktionen an 14 Profilen der WBZI innerhalb des Projektgebiets für die Tiefenstufe 2 dar (20 – 50cm, nur für diese TS liegen Messwerte

im WBZI Datensatz vor). Dabei zeigt sich, dass durch die Zusammenfassung von Einheiten auf größere Homogenbereiche eine deutlich zu flache Verteilung der Kennwerte eintritt. Durch die Mittelung der Kennwerte wird die natürliche Bandbreite reduziert, höhere Werte werden unterschätzt und niedrige Werte werden überschätzt. Diese Problematik war bereits aus vorhergehenden Studien (Eder et al., 2012) bekannt und wurde somit auch für andere Landschaftsbereiche Österreichs bestätigt. Abbildung 18 zeigt die Qualität der regionalisierten Korngrößenfraktionen an den Profilen der BZI. Hier wird deutlich, dass das Bodenkonzeptmodell im Bereich landwirtschaftlich genutzter Einheiten keine Übereinstimmung mit den gemessenen Werten aufweist.

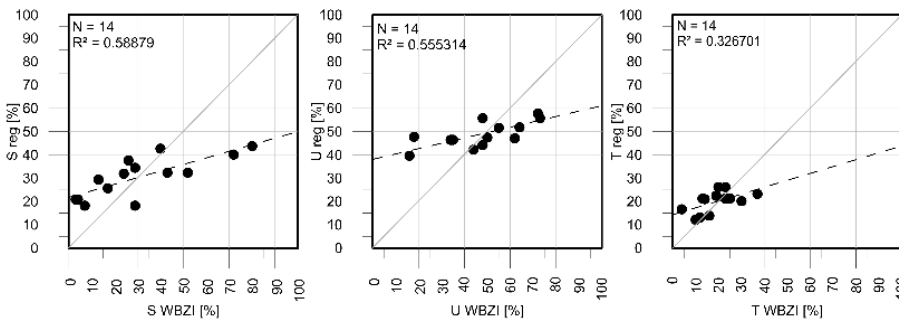


Abbildung 17: Validierung von regionalisiertem Sand- (S_{reg}), Schluff- (U_{reg}) und Tongehalt (T_{reg}) an Profilen der Waldbodenzustandsinventur für die Tiefenstufe 2

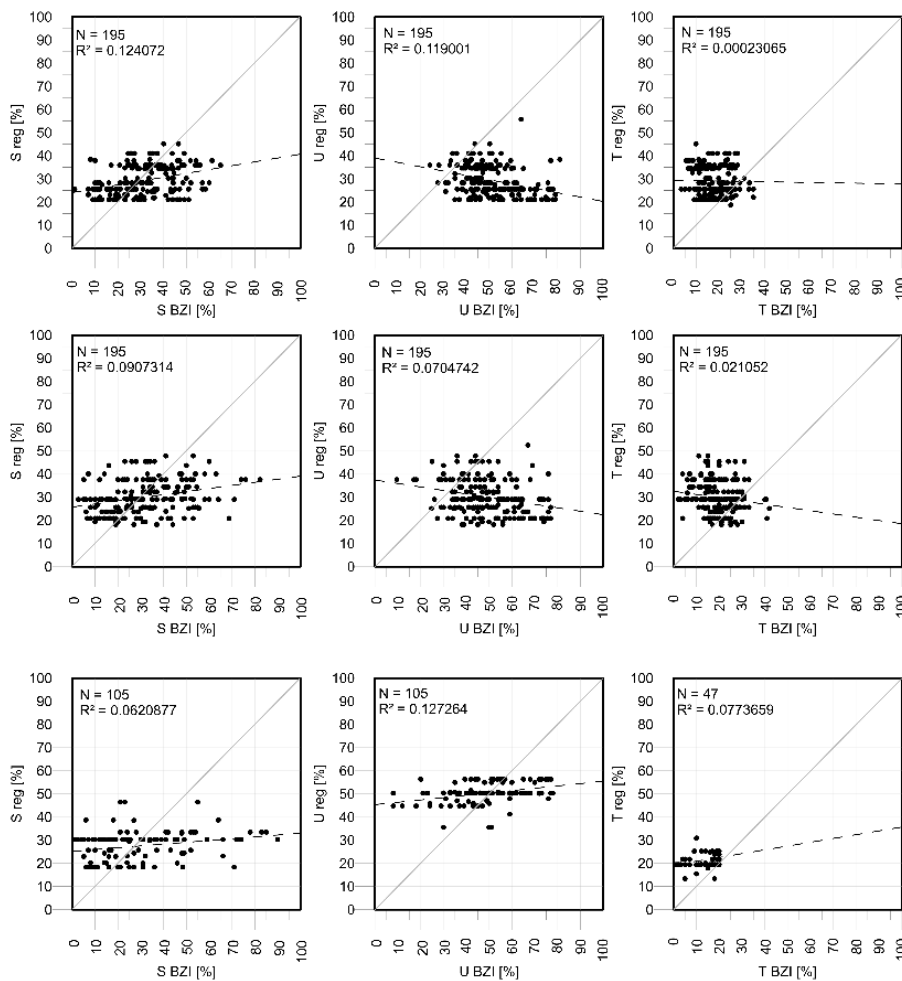


Abbildung 18: Validierung von regionalisiertem Sand- (S_{reg}), Schluff- (U_{reg}) und Tongehalt (T_{reg}) an Profilen der Bodenzustandsinventur für TS1, TS2 und TS3 (von oben)

Noch problematischer als die Regionalisierung der Korngrößenfraktionen ist die Modellierung des Humusgehaltes im Boden (Abbildung 19). In der obersten Tiefenstufe tritt dabei eine systematische

Unterschätzung des Humusgehaltes (Abweichung um Faktor ca. 8) auf. Diese Abweichung ist durch die Einbeziehung der Profile aus der eBOD erklärbar, da landwirtschaftlich genutzte Einheiten einen (im Regelfall) deutlich niedrigeren Humusgehalt aufweisen. Während für die TS1 die Abweichung korrigiert werden könnte, zeigt sich in tieferen Bodenschichten der abnehmende Einfluss der Landnutzung und der Fehler durch die Regionalisierung kommt deutlich zum Vorschein. Für die weitere hydrologische Bewertung wurden die abgeleiteten Humusklassen in bewaldeten Einheiten daher nach oben hin verschoben. Die letztendlich festgelegten Klassen decken sich nun mit Erkenntnissen aus zahlreichen Waldbodenanalysen des BFW innerhalb Österreichs. Diese Vorgehensweise wurde auch bei der Festlegung der Lagerungsdichteklassen gewählt.

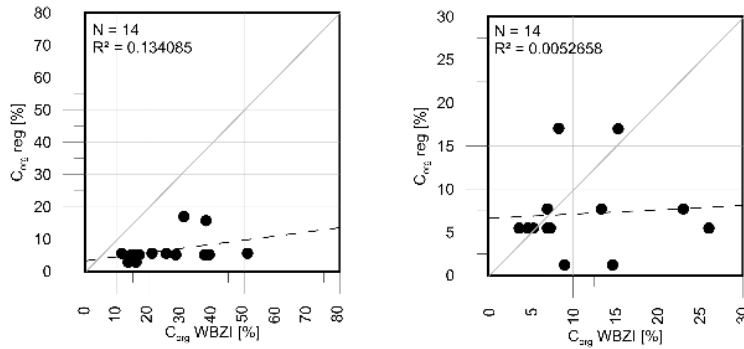


Abbildung 19: Validierung des regionalisierten Humusgehaltes ($C_{org,reg}$) an Profilen der WBZI für die TS1 (links) und TS2 (rechts)

6 Ableitung hydrologischer Bodenkennwerte

6.1 Pedotransferfunktionen

Pedotransferfunktionen (PTF) sind Rechenmodelle für die Abschätzung hydropedologischer Parameter aus bodenphysikalischen Eingangsgrößen, welche in der Regel leichter bestimmt werden können. Es existiert eine Reihe solcher PTFs, die in den meisten Fällen für landwirtschaftliche Böden entwickelt wurden (Schramm et al., 2006). Sie unterscheiden sich v. a. darin, wie die Retentionskurve (pF-Kurve) abgebildet wird – kontinuierlich über van Genuchten-Parameter oder diskontinuierlich über einzelne Stützpunkte der pF-Kurve – und ob die Eingangsgrößen in klassifizierter oder nichtklassifizierter Form verwendet werden.

Die in der vorliegenden Studie verwendete PTF wurde am IKT ursprünglich für das Simulationsmodell SIMWASSER (Stenitzer, 1988), einem numerischen Modell zur Simulation des Bodenwasserhaushaltes und des Pflanzenertrages eines Standortes entwickelt. Die Erweiterung um das Stofftransportmodell STOTRASIM wurde von Feichtinger (1998) entwickelt. Beide Entwickler verwenden Standardkurven, die auf Korngrößen- und Porenvolumenanalysen des Instituts für Kulturtechnik (IKT) sowie auf Ergänzungen aus der Literatur basieren. Eingangsparameter für die Berechnung der Zielgrößen sind in klassifizierter Form:

- Bodenart, Textur
- Humusstufe
- Lagerungsdichte
- Grobanteil

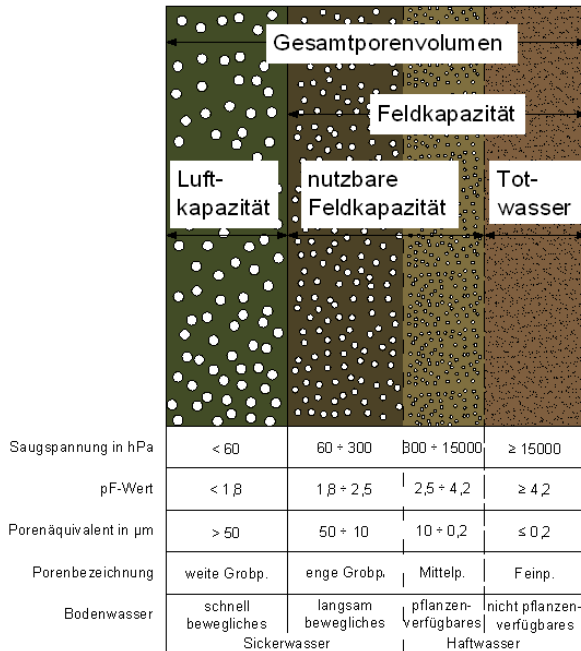


Abbildung 20: Porenverteilung im Boden

Zielgrößen der PTF sind u.a. (Abbildung 20):

- Gesättigte vertikale Leitfähigkeit $ksat$
- Gesamtporenvolumen GPV
- Luftkapazität LK
- Totwasseranteil TW
- Nutzbare Feldkapazität nFK

Die Ausweisung der Porenvolumina erfolgt in % des Gesamtvolumens, über die Mächtigkeit der Tiefenstufe können die volumetrischen Porenvolumina berechnet werden.

Ebenfalls auf Basis der klassifizierten bodenphysikalischen Parameter erfolgte die Berechnung der Kennwerte für die Mualem-Van Genuchten Gleichung (MvG; Van Genuchten, 1980). Die MvG-Gleichung beschreibt den Zusammenhang zwischen dem Wassergehalt bei ungesättigten Bedingungen und der hydraulischen Leitfähigkeit und ist über folgende Größen definiert:

- θ_r (residualer Wassergehalt)
- θ_s (Wassergehalt bei Sättigung des Bodens)
- α, n (Konstanten, empirische Parameter)

Als Eingangsgrößen diente die Bodenart (insbesondere der Sand- und Tongehalt, der Anteil der organischen Substanz sowie die Trockenrohdichte (TRD)). Für die Herleitung der Trockenrohdichte in Abhängigkeit von der Bodenart existiert eine verbesserte Schätzmethode, die in Renger et al. (2009) veröffentlicht ist (Formel 1). Die Beziehung von effektiver Lagerungsdichte (LD), die als Klasse im Gelände angesprochen wird und Trockenrohdichte kann über die Berücksichtigung des Ton- und Schluffanteiles dargestellt werden.

$$TRD[g/cm^3] = Ld[g/cm^3] - 0,005 \left[\frac{g/cm^3}{\%Ton} \right] \cdot \%Ton - 0,001 \left[\frac{g/cm^3}{\%Schluff} \right] \cdot \%Schluff \quad \text{Formel 1}$$

Für die Lagerungsdichteklassen 1 bis 5 und Humusgehalte < 1% existiert die entsprechende Wertetabelle. Für höhere Humusgehalte mussten die Trockenrohdichten korrigiert werden, für Humusgehalte von 1 bis 6% um -0,04 g/cm³ je % Humus, für Humusgehalte von mehr als 6% um -0,03 g/cm³ je % Humus (Renger et al. 2009). Die Berechnung der MvG-Parameter erfolgte gemäß Vereecken et al. (1989), das entspricht einer durch die Ad-hoc-AG Boden vorgeschlagenen Vorgehensweise (Verknüpfungsregel 1.18, Formel 2 bis Formel 5).

$$\theta_r = 0,015 + 0,005 \cdot \%Ton + 0,014 \cdot \%Corg \quad \text{Formel 2}$$

$$\theta_s = 0,81 + 0,283 \cdot TRD + 0,001 \cdot \%Ton \quad \text{Formel 3}$$

$$\log(\alpha) = -2,486 + 0,025 \cdot \%Sand - 0,351 \cdot \%Corg - 2,617 \cdot TRD - 0,023 \cdot \%Ton \quad \text{Formel 4}$$

$$\log(n) = 0,053 + 0,009 \cdot \%Sand - 0,013 \cdot \%Ton + 0,00015 \cdot \%Sand^2 \quad \text{Formel 5}$$

6.2 Ableitung von Hauptwerten

Für eBOD Flächen (Abbildung 21) wurden die Hauptwerte zuerst für die einzelnen Tiefenstufen des Leitprofils berechnet. Die Tabellen der PTF können dabei einfach über die Codierung aus Bodenart, Grobstoffklasse, Humusklasse und Lagerungsdichteklasse verbunden werden. Anschließend wurden die einzelnen hydropedologischen Kennwerte den Polygonflächen der Bodenformen zugewiesen.

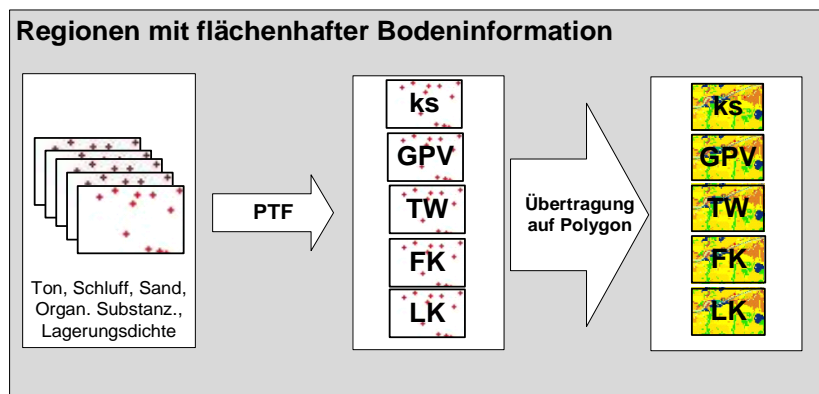


Abbildung 21: Konzept zur Ableitung hydropedologischer Kennwerte in Bereichen der eBOD

Anders ist die Vorgehensweise in den Bereichen der Bodenkonzeptkarte (Abbildung 10), hier mussten zuerst flächig die Codes für die PTF generiert werden, jeder Homogeneinheit der Bodenkonzeptkarte wurden anschließend die Kennwerte zugewiesen.

6.3 Ableitung von Bandbreiten der bodenhydrologischen Kennwerte

Wie in Kapitel 3.1 beschrieben, werden für die Bodenformen der eBOD neben den direkt über die Profile zugewiesenen Werten auch Abschätzungen des Bodenkartierers zu den Eigenschaften der Flächen aufgenommen. Der Kartierer bestimmt dabei mit einfachen Feldmethoden die Bodeneigenschaften der Fläche und versucht die Parameter den entsprechenden Klassen (Textur, Humus, Grobstoff) zuzuweisen. Das verwendete Bodenmaterial wird dabei mittels Bohrstockstichen in

Aus der geometrischen Abgrenzung der beiden Klassifizierungssysteme können jedoch Flächenanteile der deutschen Texturklasse an der österreichischen Texturklasse ausgewiesen werden (Tabelle 1). Somit kann eine „Wahrscheinlichkeit“ definiert werden, zu welcher eine deutsche Klasse eine österreichische Klasse repräsentiert. Die gleiche Vorgehensweise kann bei der Humusklassifizierung angewandt werden wobei zu beachten ist, dass die Klassengrenzen bei Wald und Landwirtschaft unterschiedlich sind.

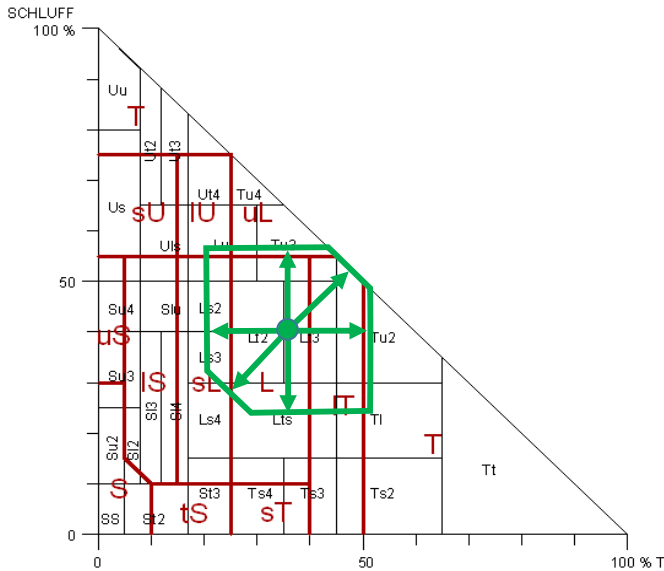


Abbildung 23: Auswahl deutscher Texturklassen im Bereich regionalisierter Bodeninformation (Bereich der Bodenkonzeptkarte)

Bei den Flächen außerhalb des eBOD Bereiches (Bereich der Bodenkonzeptkarte, Abschnitt 5) konnte eine ähnliche Vorgehensweise angewandt werden, wobei die Flächenanteile erst berechnet werden mussten. Ausgehend vom definierten Mittelwert für den Schluff- und Tonanteil wird jeweils \pm dem Suchbereich gerechnet, begrenzt wird der Bereich durch den unteren Grenzwert 0 und den oberen Grenzwert 1 sowie durch den maximalen und minimalen Sandanteil. Die Flächenanteile werden berechnet, indem ein regelmäßiger Raster mit dem Abstand von 0,1% Schritten darübergelegt wird.

Alle möglichen Bodenarten (D-Texturklassen) können mit möglichen Humusklassen (D-Humusklassen) und Lagerungsdichteklassen (D-Lagerungsdichteklassen) kombiniert werden. Dadurch ergeben sich für eine Flächeneinheit zahlreiche (oftmals >100) mögliche Kombinationen. Um die Bandbreiten der hydropedologischen Parameter in realistischen Grenzen zu halten, wurden die möglichen Kombinationen eingeschränkt, indem:

- Für den Bereich der eBOD die „Wahrscheinlichkeit“ einer Kombination (Produkt aus „Wahrscheinlichkeit Texturklasse“ * „Wahrscheinlichkeit Humusklasse“) berechnet wurde und eine Sortierung nach absteigender Wahrscheinlichkeit erfolgte. Die Wahrscheinlichkeiten wurden aufsummiert und ab einer definierten Summe wurden die Kombinationen verworfen.
- Für den Bereich der Bodenkonzeptkarte der Suchbereich definiert wurde.

Als nächster Schritt wurden drei Korridore (Tabelle 2) definiert, welche eine unterschiedliche Bandbreite der Werte aufweisen.

Tabelle 2: Definition der Bandbreitenkorridore

Korridor	Aufsummierte Wahrscheinlichkeit (eBOD)	Suchbereich (Bodenkonzeptkarte)
Eng	30%	\pm halbe Standardabweichung
Mittel	50%	\pm eine Standardabweichung
Weit	90%	\pm doppelte Standardabweichung

Allen Kombinationen innerhalb des jeweiligen Korridors wurden über die PTF die bodenhydrologischen Kenngrößen zugewiesen und anschließend die jeweiligen Minimum- und Maximum-Werte ausgegeben (Abbildung 24). Da die Kombination der MvG Parameter nicht beliebig zueinander

erfolgen kann, wurden für jeden Korridorbereich bis maximal zehn Parameterkombinationen ausgegeben.

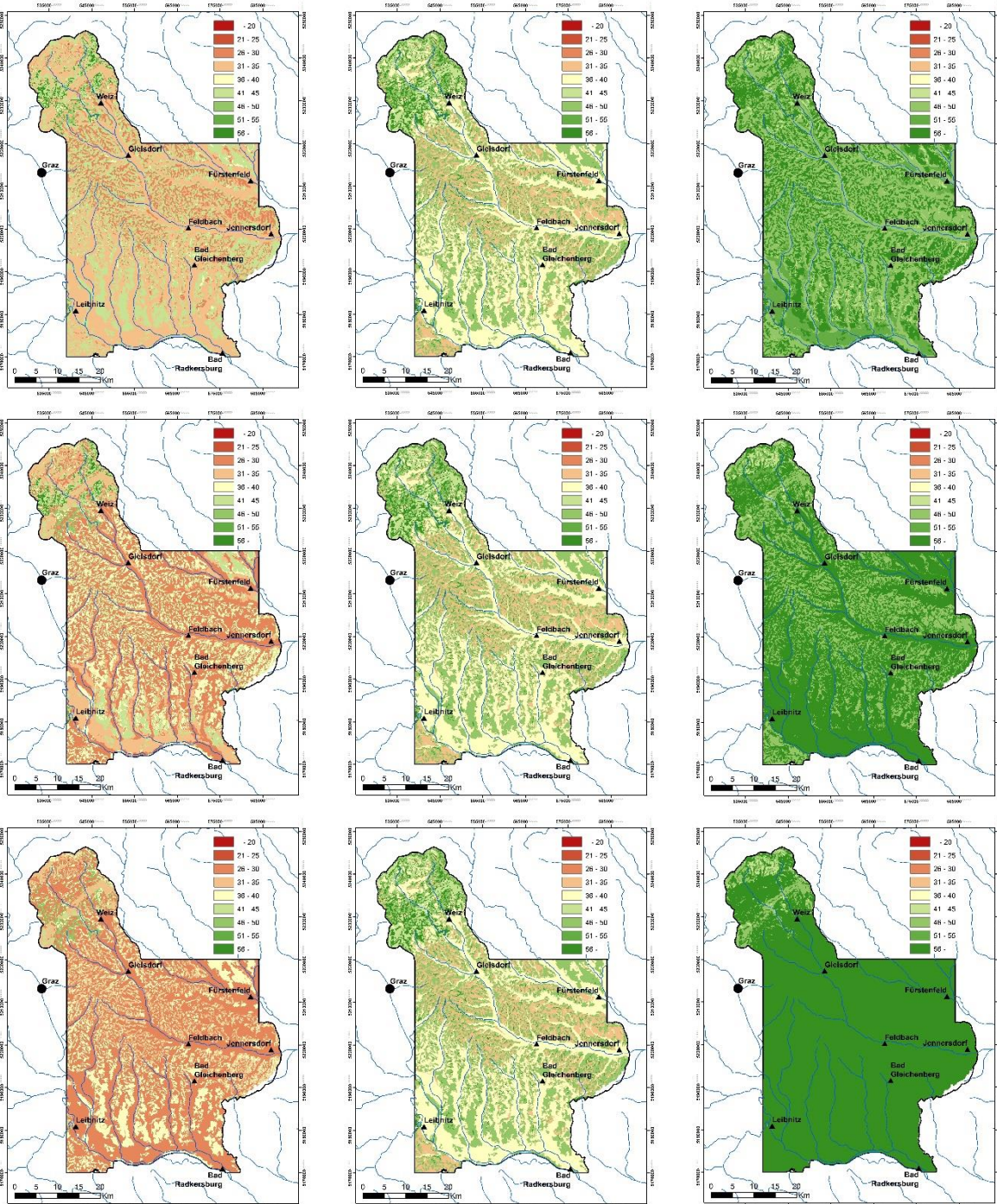


Abbildung 24: Nutzbare Feldkapazität TS1, links Minimum, Mitte Hauptwerte, rechts Maximum, oben Korridor eng, Mitte Korridor mittel, unten Korridor weit

6.4 Validierung

Die Validierung der abgeleiteten bodenhydrologischen Kennwerte erfolgte wiederum an den Profilen der BZI sowie an den WBZI Punkten innerhalb des Projektgebietes. Sowohl die abgeleiteten hydropedologischen Daten als auch die Validierungsdaten wurden mit derselben PTF erarbeitet, die Ergebnisse der Validierung sind somit aussagekräftig. Keine Aussage kann hingegen über die Qualität der PTF gemacht werden, da keine unabhängigen Messdaten zu den Zielgrößen zur Verfügung standen.

Für die 14 WBZI-Punkte innerhalb des Projektgebietes zeigt sich eine zufriedenstellende Übereinstimmung mit den modellierten Bodenkenwerten (Bodenkonzeptkarte) bei den Kennwerten nFK und FK sowie beim GPV. Weniger bis nicht zufriedenstellend ist hingegen die Abbildung des TW-Porenanteils und vor allem der LK. Insbesondere die Grob- und Gröbstporen beeinflussen in hohem Maße die gesättigte hydraulische Leitfähigkeit, ein Faktum das sich auch bei der Abbildung des ks-Wertes widerspiegelt (Abbildung 25). Die dargestellte Korridorbandbreite „mittel“ deckt bei den Parametern nFK, FK und GPV einen plausiblen Bereich ab, TW und LK streuen deutlich weiter. Dies spiegelt indirekt auch die Sensitivität der PTF bei den einzelnen Parametern wieder. Beim ks-Wert werden Bandbreiten von über 1000 mm/Tag erzielt.

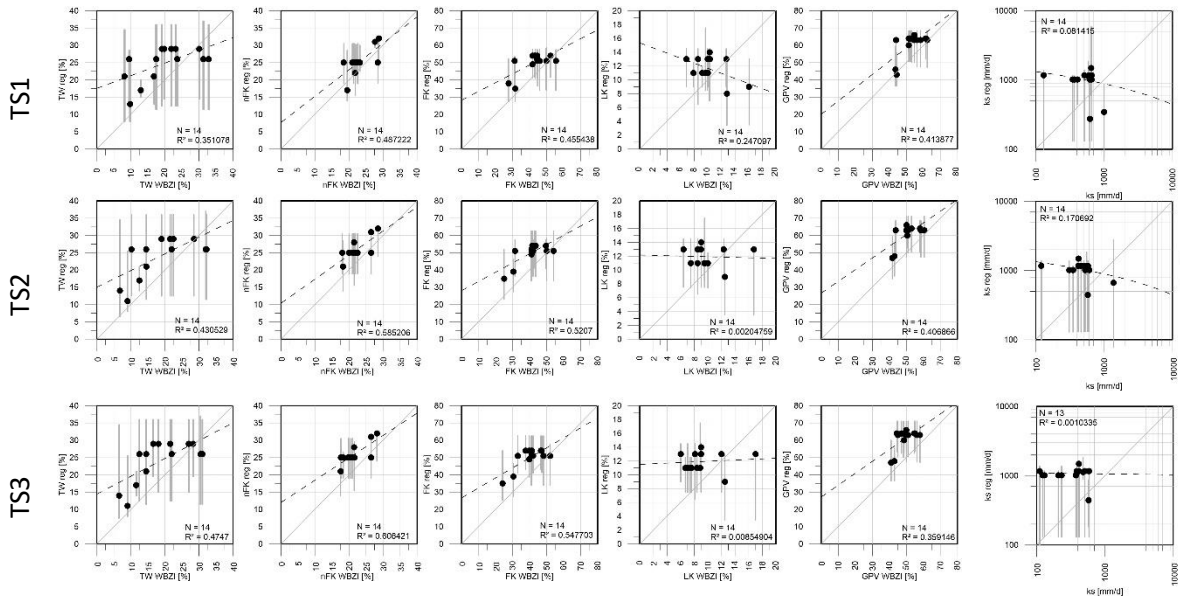


Abbildung 25: Validierung der hypopedologischen Kennwerte der modellierten Bodenkarte an den Punkten der WBZI

Wie bereits durch die Ergebnisse der Validierung der Bodenkonzeptkarte zu erwarten war, zeigt sich zwischen den Ergebnissen der Bodenkonzeptkarte und der BZI eine unbefriedigend schlechte Übereinstimmung (Abbildung 26). Deutlich sichtbar ist hier wiederum das Problem der flachen Verteilung, was mit der Zusammenführung unterschiedlicher Einheiten zu größeren Homogenbereichen erklärbar ist.

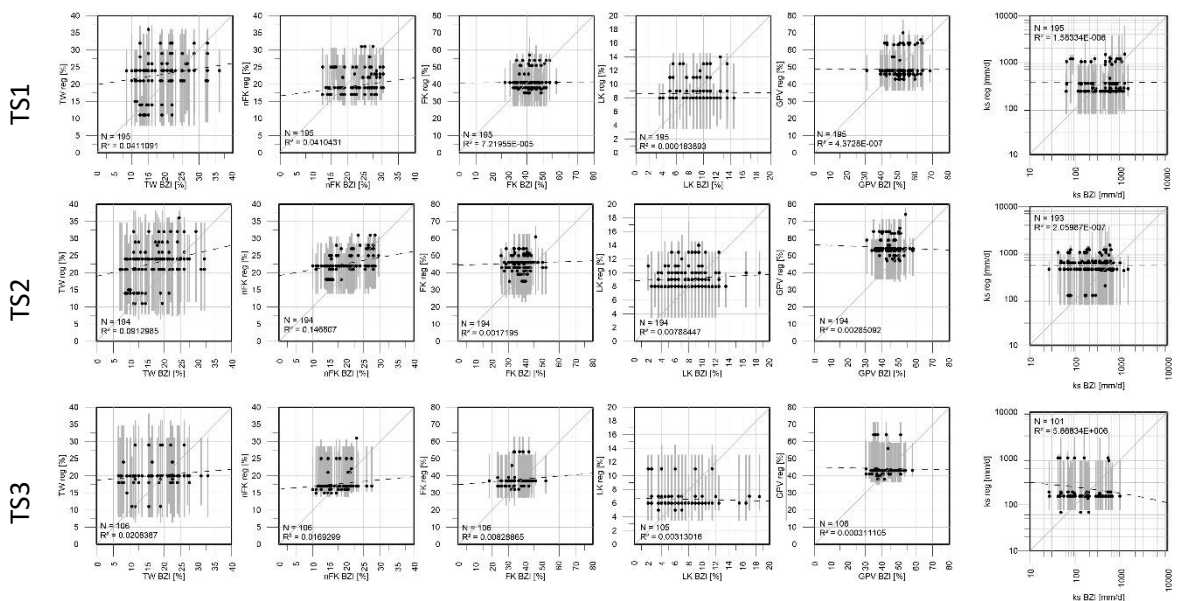


Abbildung 26: Validierung der hypopedologischen Kennwerte der modellierten Bodenkarte an den Punkten der BZI

Erstaunlich ist hingegen, dass auch die Übereinstimmung zwischen den Ergebnissen der eBOD Bewertung und der BZI Bewertung nicht wesentlich besser ist (Abbildung 27). Die beiden landwirtschaftlichen Datensätze zeigen beim Kennwert nFK zufriedenstellende Übereinstimmung, alle anderen Kennwerte streuen deutlich. Auffallend ist weiters, dass die Bandbreiten beim Korridor „mittel“ teilweise sehr groß sind. Dies ist damit erklärbar, dass die Angaben des Bodenkartierers oftmals sehr weitgefasst sind und die „Übersetzung“ in die deutsche Klassifizierung den Wertebereich nochmals deutlich erhöhen. Ein letzter auffallender Punkt ist, dass in einigen Fällen der Hauptwert, als jener Wert der aus den Profilen übertragen wurde, außerhalb der Bandbreite des Korridors liegt. Das bedeutet, dass das zugrundeliegende Leitprofil eine unwahrscheinliche oder abweichende Parameterkonstellation aufweist, als die vom Bodenkartierer im Gelände angesprochenen Eigenschaften.

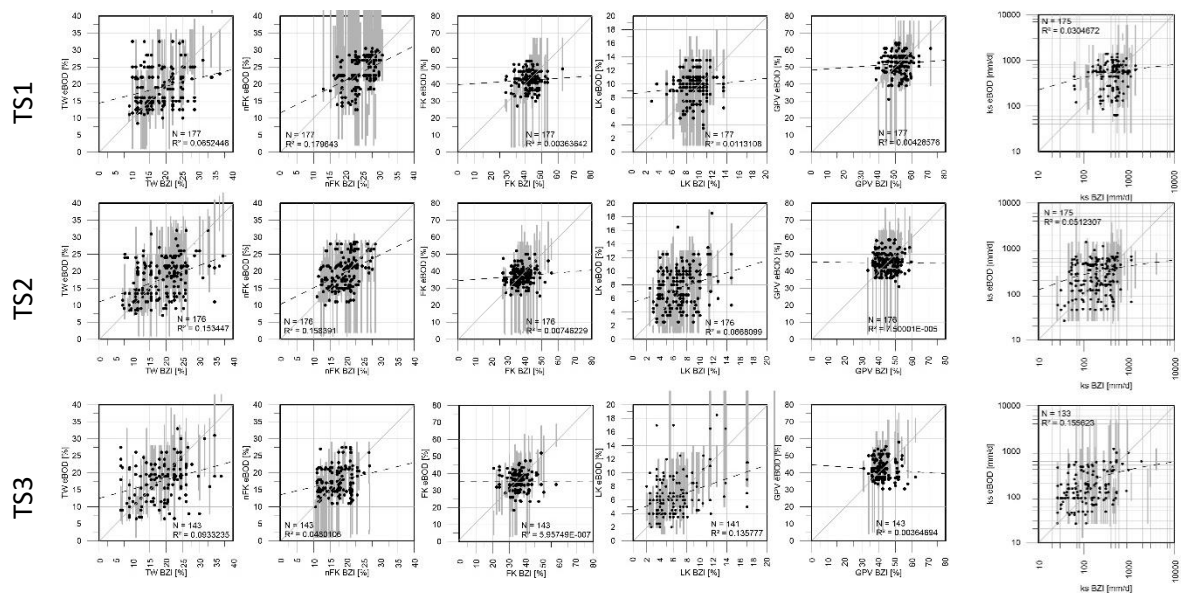


Abbildung 27: Validierung der hydropedologischen Kennwerte der eBOD an den Punkten der BZI

7 Ableitung von Abflusskennwerten

Die Ableitung von Oberflächenabflussbeiwerten wurde mit dem im Rahmen des Projektes Hydrologische Bodenkenndaten Niederösterreich (Eder et al., 2012, Sotier et al., 2015, Sotier et al., 2017, Krammer et al., 2017) entwickelten Niederschlag/Abflussmodell berechnet. Dabei wurden die flächig generierten hydropedologischen Kennwerte (Porenvolumen der Luftkapazität und der nutzbaren Feldkapazität sowie die gesättigte hydraulische Leitfähigkeit) berücksichtigt, des Weiteren mussten einige zusätzliche Kennwerte (siehe Abschnitt 7.1) abgeleitet werden. Die Modellierung erfolgte flächenaufgelöst auf Rasterbasis (100 Meter Zellauflösung) für eine Reihe von Niederschlagszenarien, welche mit dem Auftraggeber festgelegt wurden. Ausgegeben wurde sowohl der volumetrische Abflussbeiwert, der sich aus dem Quotienten aus Abflussvolumen/Niederschlagsvolumen errechnet, als auch der Abflussbeiwert am Ende des Niederschlagsereignisses.

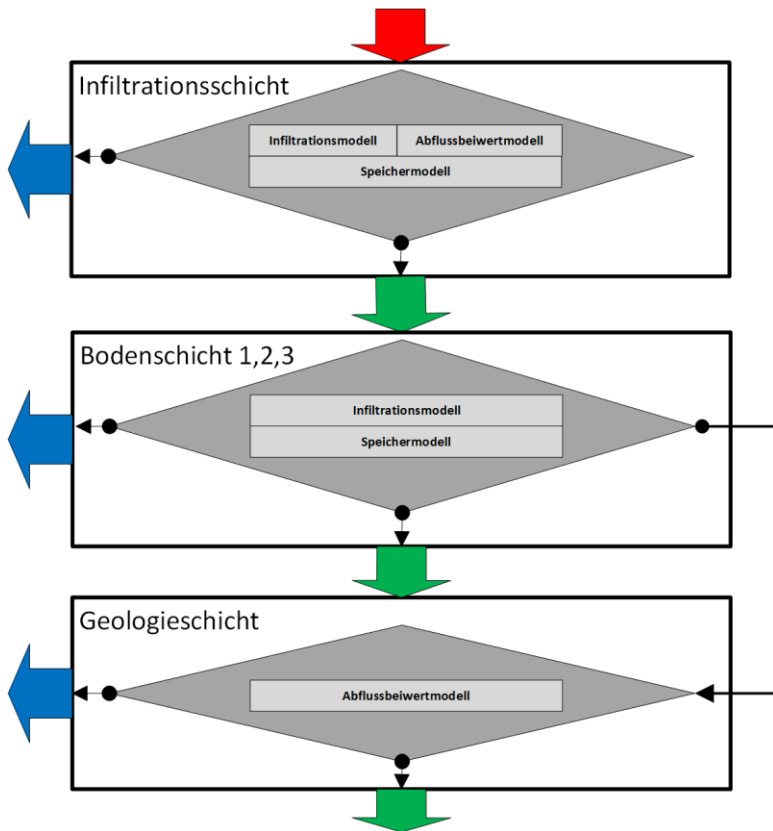
7.1 Modellbeschreibung

Das HYDROBOD-N/A - Modell ist ein konzeptionelles Ereignismodell zur szenarienbasierten Berechnung von Abflussfrachten, Oberflächenabflussbeiwerten und dominanten Abflussprozesseinheiten. Die Abflussbildungsprozesse werden in einer stark vereinfachten Form abgebildet, indem für jedes Element der Modell-Bodensäule eine hydrologische Bilanz erstellt wird. Als wesentliche Steuerungsgrößen der Abflussbildung dienen die verfügbaren Speicher (Interzeption, Luftkapazität (LK), nFK, Oberflächen- bzw. Muldenspeicher) sowie die ungesättigte vertikale Leitfähigkeit k_u .

Das Modell unterliegt folgenden Rahmenbedingungen:

- Es erfolgt keine direkte Interaktion benachbarter Zellen zueinander, die Abflussreaktion des Gesamtgebietes wird somit als Summe aller Einzelreaktionen betrachtet;
- Die Modellschichten werden von oben nach unten durchlaufen. Die Zeit, die das Wasser für das Durchdringen einer Bodenschicht braucht, wird nicht berücksichtigt. Somit laufen die Prozesse zeitgleich in allen Schichten ab;
- Das Modell berücksichtigt nur eine Füllung der Speicher. Eine Speicherentleerung ist nicht vorgesehen, die Ereignisdauer entspricht somit der Dauer des Niederschlages;
- Der Niederschlag tritt als Blockregen (=konstante Niederschlagsintensität über das gesamte Ereignis) und homogen verteilt über das gesamte Bearbeitungsgebiet auf.

Das Modell ist vertikal in fünf Schichten gegliedert (Abbildung 28) – eine Infiltrationsschicht, drei Bodenschichten und eine Schicht für den tieferen (geologischen) Untergrund. Aus jeder Bodenschicht kann, wenn die Bodenmächtigkeit die jeweilige Schicht ausschließt, in das Modell für den geologischen Untergrund gewechselt werden.



Roter Pfeil: Niederschlag
Grüne Pfeile: Perkolationsrichtung
Blaue Pfeile: Abfluss

Der Abfluss wird bei geringer Geländeneigung ($\leq 2\%$) ggf. durch freien Oberflächen – bzw. Muldenspeicher reduziert.

Abbildung 28: Struktur des HYDROBOD Modells

Die hydrologische Reaktion der Infiltrations- bzw. Bodenschicht(en) wird über die Kombination eines Infiltrationsmodells mit einem Speichermodell berechnet. Dabei wird die ungesättigte Infiltrationsleistung nach dem Ansatz von Smith und Perlange (1978) abgebildet. Somit ist die Definition von Vorfeuchtezuständen möglich, die Wassersättigung am Ereignisbeginn kann sowohl flächig als auch vertikal festgelegt werden (Abbildung 31, Tabelle 7). In Abhängigkeit von der Niederschlagsintensität und der Landnutzung wird die Infiltrations-/Perkolationsleistung modifiziert, die Verfügbarkeit von Boden- und Oberflächen- bzw. Muldenspeichervolumen ist an die Hangneigung gekoppelt (Tabelle 3).

Tabelle 3: Speicherverfügbarkeit bei unterschiedlichen Hangneigungsklassen

Geländeneigung	$\leq 2\%$	$>2\%$ bis $\leq 10\%$	$>10\%$
Boden: Nutzbare Feldkapazität (nFK)	X	X	X
Boden: Luftkapazität (LK)	X	X	
Vegetation: Interzeption	X	X	X
Geländeoberfläche: Muldenspeicher	X (max. 50 mm)		

Für versiegelte und teilversiegelte Flächen wird der Oberflächenabfluss über definierte Abflussbeiwerte berechnet. Dazu wurde für das Projektgebiet ein neigungsabhängiger Abflussbeiwert (Ψ – Wert) nach Lechner et al. (2001) berechnet. Der Befestigungsgrad wurde in Abhängigkeit von der Landnutzung in die beiden Befestigungs-Klassen 50% und 100% unterschieden (Tabelle 4), für vier Neigungsklassen wurde der mittlere Abflussbeiwert für Regenspenden zwischen 100 und 225 l/s*ha in den beiden Befestigungsklassen berechnet (Tabelle 5).

Tabelle 4: Befestigungsgrad im Siedlungsgebiet nach der Landnutzung

Landnutzung	Befestigungsgrad
Gebäude, Baufläche befestigt, Straßenanlage, Flugverkehrsanlage, Hafenanlage, Werksgelände, Technische Ver- und Entsorgungsanlage, Deponie	100%
Bahnanlage, Lagerplatz, Abbaufäche	50%

Tabelle 5: Neigungsabhängige Abflussbeiwerte der Befestigungsklassen 50 und 100% (nach Lechner et al., 2001)

Befestigungsgrad	Neigungsklasse 1 (< 1%)	Neigungsklasse 2 (1 - 4%)	Neigungsklasse 3 (4 - 10%)	Neigungsklasse 4 (>10%)
50%	0,52	0,61	0,66	0,71
100%	0,94	0,96	0,96	0,97

Der tiefgründige Zwischenabfluss wird im Modell über den Anteil des Perkolationswassers beschrieben. Diese hydrogeologische Charakterisierung des Gebietes wurde im Rahmen dieses Projektes sehr marginal abgehandelt, da der Fokus der Modellierung auf oberflächlichen und oberflächennahen Abflussprozessen lag. Abbildung 29 zeigt die Annahmen für den Zwischenabflussbeiwert. Die räumliche Verteilung der Vorfeuchte wird im Modell über Zu- bzw. Abschläge zur verfügbaren nutzbaren Feldkapazität abgebildet. Die Modellierung der Feuchteverteilung erfolgte für das Projektgebiet analog der Vorgehensweise in Niederösterreich (Sotier et al., 2015, 2017), Abbildung 30 zeigt das Ergebnis der Modellierung eines modifizierten Topindexverfahrens.

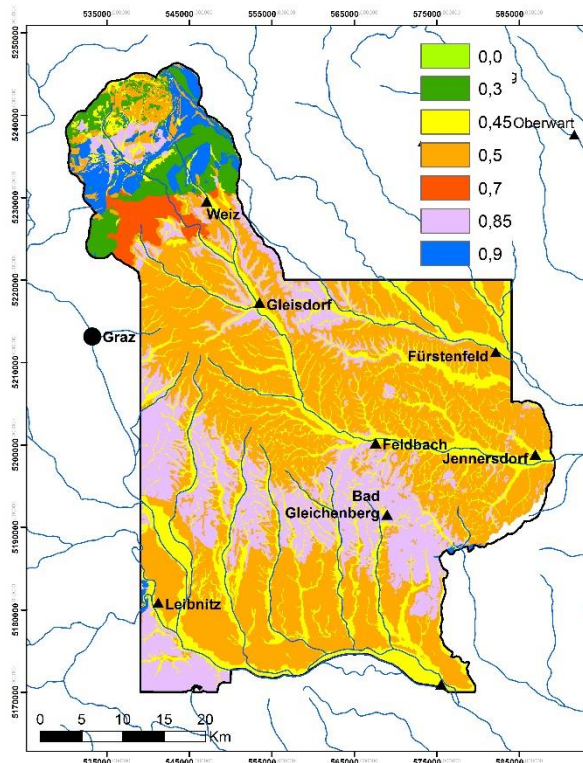


Abbildung 29: Zwischenabflussbeiwerte für die Geologieschicht

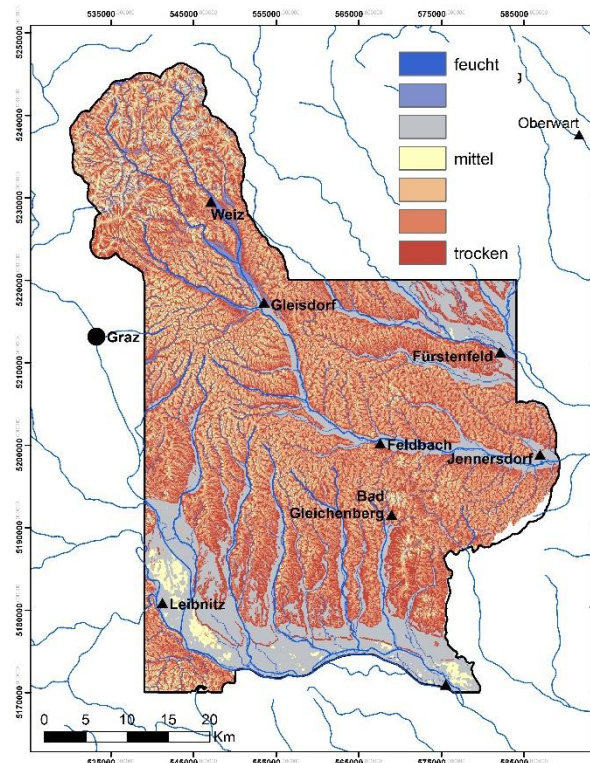


Abbildung 30: Räumliche Verteilung der Bodenfeuchte

7.2 Szenarien

In Absprache mit dem Auftraggeber wurden unterschiedliche Niederschlags- und Systemzustandsszenarien definiert, die alle miteinander kombiniert wurden. Insgesamt konnten 200 Szenarien zur Verfügung gestellt werden (25 Niederschlagswertepaare für die Wiederkehrperioden

2,5,10,50 und 100 Jahre und die Dauerstufen ½,1,6,12 und 24 Stunden; 8 Systemzustandskombinationen aus Vorfeuchte und Verschlammungszustand). Die Niederschlagsszenarien wurden aus dem eHYD Portal des Lebensministeriums entnommen (www.ehyd.gv.at) wobei für das Bearbeitungsgebiet ein Mittelwert aus allen betroffenen Rasterpunkten (75 Zellwerte) berechnet wurde. Die Niederschlagssumme der jeweiligen Dauerstufe und Jährlichkeit (Tabelle 6) bezieht sich auf das Datenmodell „Bemessung“, der Niederschlag wird im Modell als zeitlich konstant (=Blockniederschlag) definiert.

Tabelle 6: Niederschlagssumme für die einzelnen Szenarien (mm)

		Dauer (Stunden)				
		0.5	1	6	12	24
Jährlichkeit (Jahre)	2	23	29	46	57	71
	5	31	39	60	74	92
	10	37	46	70	86	106
	50	51	64	94	114	137
	100	57	72	105	126	151

Der Systemzustand für die jeweilige Fläche wurde über eine definierte Vorfeuchte am Beginn des Ereignisses (vier Stufen: trocken, mittel, feucht und gesättigt) sowie über den Verschlammungszustand bei Ackerflächen definiert (zwei Stufen: verschlammte, nicht verschlammte). Analog zur Definition des Feuchtezustandes in Niederösterreich (Sotier et al., 2012) wurden die Feuchteklassen wie in Tabelle 7 dargestellt über eine Vorfüllung des Bodenspeichers (=der nutzbaren Feldkapazität, nFK) beschrieben. Die vertikale Feuchteverteilung (Abbildung 31) entspricht ebenfalls der Definition aus Niederösterreich.

Tabelle 7: Definition der Feuchtezustände

gesättigt	0 % der nFK frei / 100 % besetzt
feucht	12 % der nFK frei / 88 % besetzt
mittel	27 % der nFK frei / 73 % besetzt
trocken	56 % der nFK frei / 44 % besetzt



Abbildung 31: Definition der vertikalen Verteilung der Bodenvorfeuchte-Zustände

Ein wesentlicher Punkt bei Starkniederschlagsereignissen ist die Verschlammung von Oberflächen, die die Infiltrationsleistung stark herabsetzen kann. Die Verschlammung steht in direkter Abhängigkeit zur Landnutzung und beschränkt sich auf Ackerflächen, da auf Grünland und Waldstandorten eine permanente schützende Pflanzendecke vorhanden ist. Die Verschlammungsneigung kann in Zusammenhang zur Bodenart gebracht werden, im N/A Modell wird die Infiltrationsleistung des Untergrundes entsprechend Tabelle 8 reduziert.

Tabelle 8: Verschlammungsneigung unterschiedlicher Bodenarten

Bodenart	Verschlammungsneigung	Reduktion des ks-Wertes auf
Tl, Tt, Moor, Anmoor	sehr gering	100%
Ss, Ls2, Ls3, Ls4, St2, St3, Lt3, Lts, Tu2, Ts2, Ts3, Ts4	gering	70%
Sl2, Sl3, Sl4, Slu, Su2, Su3, Su4, Lt2, Tu3, Tu4	mittel	40%
Uu, Lu, Uls, Us, Ut2, Ut3, Ut4	hoch	10%

7.3 Ergebnisse

Als Ergebnis der hydrologischen Modellierung wurden für die einzelnen Szenarien Oberflächenabflussbeiwerte in unterschiedlicher Interpretation ausgegeben. Zum einen wurden volumetrische Abflussbeiwerte (Ψ_{vol}), die sich aus dem Verhältnis des Oberflächenabflusses zum

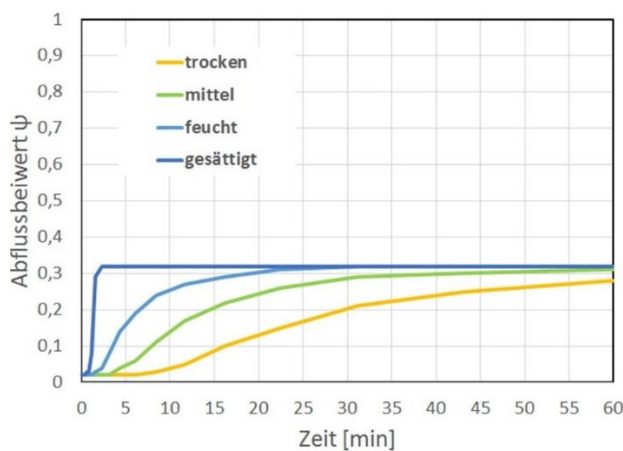
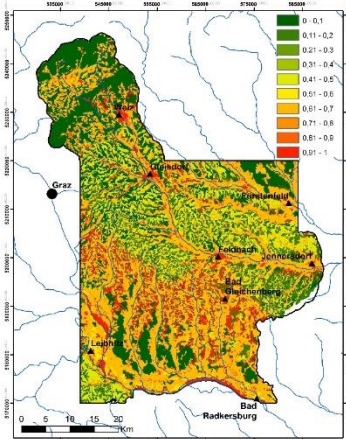


Abbildung 32: Zeitlicher Verlauf des Abflussbeiwertes

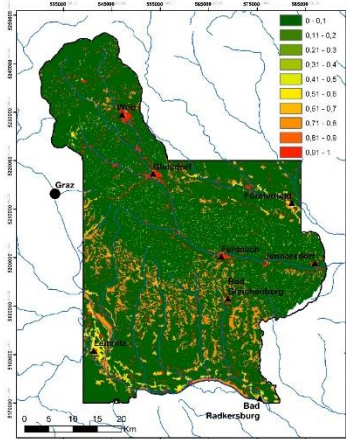
Niederschlag ergeben, berechnet, zum anderen wurde der Oberflächenabflussbeiwert am Ende des Niederschlagsereignisses berechnet, der die Abflussneigung bei gesättigten Verhältnissen (Ψ_{konst}) wiedergibt. Abbildung 32 zeigt, dass sich Ψ_{vol} in Abhängigkeit der gewählten Vorfeuchte stark ändert während sich der Endabflussbeiwert (in diesem Beispiel der Wert bei 60 min) zwischen den Szenarien kaum unterscheidet. Da bei der Berechnung von Ψ_{vol} die Füllung der Bodenspeicher und die höhere Infiltration bei ungesättigten Verhältnissen berücksichtigt wird, ist Ψ_{vol} kleiner als Ψ_{konst} .

Abbildung 33 zeigt, wie sich der Oberflächenabflussbeiwert Ψ_{konst} bei unterschiedlichen Niederschlagsereignissen ändert. Ausschlaggebend ist hier in erster Linie die Infiltrationsleistung des Bodens.

64 mm in einer Stunde
Intensität = 64 mmh⁻¹



94 mm in sechs Stunden
Intensität = 15,7 mmh⁻¹



114 mm in 12 Stunden
Intensität = 9,5 mmh⁻¹

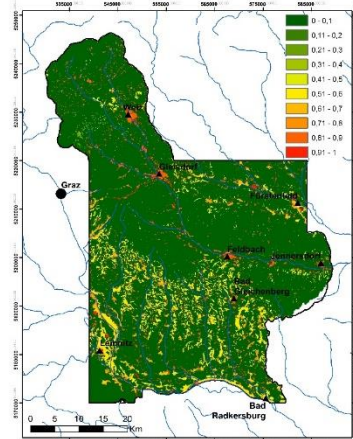


Abbildung 33: Oberflächenabflussbeiwerte (Ψ_{konst}) bei unterschiedlichen N-Ereignissen mit 50 jährlicher Wiederkehrperiode, feuchtem und verschlammtem Vorzustand

8 Resümee und Ausblick

Im gegenständlichen Projekt wurde versucht, für eine Region mit einer Fläche von 2.600 km² flächendeckende hydrologische Bodenkennwerte abzuleiten. In Ergänzung wurde auch versucht, plausible Bandbreiten der hydropedologischen Parameter darzustellen. Auf Basis der abgeleiteten Bodenkennwerte konnten Oberflächenabflussbeiwerte für zahlreiche Szenarien berechnet werden. Des Weiteren wurde für das Einzugsgebiet der Raab eine detaillierte Landnutzungskarte erstellt werden.

Die Abbildung der hydrologischen Prozesse innerhalb der Bodenschicht stellt bei der Modellierung des Wasserhaushaltes und Abfluss eine bedeutende Schwierigkeit dar, da i) die äußerst komplexen Vorgänge in gängigen Modellen nur sehr stark vereinfacht wiedergegeben werden und ii) die notwendigen Parameter meist nicht oder nicht in entsprechender Form verfügbar sind. Moderne Informatiksysteme mit hoher Rechenleistung erlauben es, über Autokalibrierungsverfahren die Modellierungsergebnisse bestmöglich an bekannte (=gemessene) Ereignisse anzupassen. Dabei wird aus einer Vielzahl an Parameterkombinationen jene gewählt, die dem gewählten Kriterium am besten entspricht. In der gängigen Praxis werden im Kalibrierungsverfahren gerne sehr weite Bandbreiten der hydrologischen Parameter gewährt, wodurch die Gefahr besteht, dass „richtige“ Ergebnisse mit unplausiblen Parametern erzielt werden. Durch die nachvollziehbare Zuweisung von Kennwerten und möglichen Bandbreiten von Parametern wurde im vorliegenden Projekt ein sinnvoller Schritt unternommen, objektivere Ergebnisse in der hydrologischen Modellierung zu erzielen.

Im Zuge der Bearbeitung traten zahlreiche Schwierigkeiten zutage, welche nur andeutungsweise im vorliegenden Bericht darstellbar waren. Ein generelles Problem stellt in Österreich die fehlende Bodeninformation für nicht landwirtschaftlich genutzte Flächeneinheiten dar. Die somit notwendige Modellierung der Pedosphäre ist mit großen Schwierigkeiten und Unsicherheiten verbunden, zumal auch punktuelle Standortaufnahmen in hoher Qualität nur in sehr geringer Anzahl vorhanden sind. Auf Basis eines deutlich dichteren Informationsrasters wären Verbesserungen im Bereich der (hydro)pedologischen Modellierung durchaus denkbar.

9 Literatur

AG BODEN (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung, 5. verbesserte und erweiterte Auflage, Hannover.

Amt der Steiermärkischen Landesregierung (2016): Das Steiermärkische landwirtschaftliche Bodenschutzprogramm. Bodenschutzbericht 2016.

http://www.umwelt.steiermark.at/cms/dokumente/10215574_2998692/0a4455b7/BSB%202016.pdf

Bauerhansl Ch., T. Koukal, K. Schadauer (2007): Erste österreichweite Waldkarte. Forstzeitung 12-2007, S.26f.

BFW – Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft Hrsg. (2010): eBod – digitale Bodenkarte. <http://bfw.ac.at/rz/bfwcms.web?dok=7066>

Geologische Bundesanstalt (2016): Geofast Blatt 192 (Feldbach), Geofast Blatt 193(Jennersdorf).

https://www.geologie.ac.at/produkte-shop/karten/geofast_karten/

Eder A., B. Sotier, K. Klebinder, R. Sturmlechner, J. Dorner, G. Markart, G. Schmid, P. Strauss (2012): Hydrologische Bodenkenndaten der Böden Niederösterreichs (HydroBodNÖ). Endbericht (unveröffentlicht).

Eisenhut M. (1990): Auswertung der österreichischen Bodenkarte 1: 25000 für die Ermittlung der nitratstragsgefährdung von Böden. Bericht 5, Bundesanstalt für Bodenkultur, Wien.

Feichtinger F. (1998): STOTRASIM – Ein Modell zur Simulation der Stickstoffdynamik in der ungesättigten Zone eines Ackerstandortes. Schriftenreihe des Bundesamtes für Wasserwirtschaft, Band 7, S. 14-41.

Forstliche Bundesversuchsanstalt Hrsg. (1992): Österreichische Waldboden-Zustandsinventur. Ergebnisse. Mitteilungen FBVA 168/I+II, 247 S.

- Klebinder K., W. Bitterlich, B. Kohl, M. Schiffer, H. Pirkl, G. Markart (2007): Wege zur Quantifizierung der Auswirkung von Versiegelungen auf den Abfluss bei konvektiven Starkregen für Siedlungsräume des oberösterreichischen Salzkammergutes. Wildbach- und Lawinenverbau – Zeitschrift für Wildbach-, Erosions- und Steinschlagschutz, Jg. 71, H. 156, S. 164 – 173.
- Krammer Ch., K. Klebinder, A. Eder, B. Sotier, P. Strauss, Th. Bauer (2017): HYDROBOD: obtaining a GIS-based hydrological soil database and a runoff coefficient calculator for Lower Austria. Forum geografic, Vol. XV, Supplementary Issue (December 2016), pp. 100-104,
- Lechner K., H.P. Lühr und U.C.E. Zanke (Hrsg.) (2001): Taschenbuch der Wasserwirtschaft. 8. völlig neu überarbeitete Auflage. Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin.
- Schneider W., P. Nelhiebel, G. Aust, M. Wandl, O.H. Dannerberg (2001): Die landwirtschaftliche Bodenkartierung in Österreich. In: Bodenaufnahme in Österreich, Mitteilungen der Österreichischen bodenkundlichen Gesellschaft, H. 62, S. 39-67.
- Schramm D., B. Schultze, J. Scherzer (2006): Validierung von Pedotransferfunktionen zur Berechnung von bodenhydrologischen Parametern als Grundlage für die Ermittlung von Kennwerten des Wasserhaushaltes im Rahmen der BZE II. Projektbericht im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV), Bonn.
- Schwarz S., M. Englisch, K. Aichberger, A. Baumgarten, W.E.H. Blum, O. Danneberg, G. Glatzel, S. Huber, W. Kilian, E. Klaghofer, O. Nestroy, A. Pehamberger, J. Wagner, M. Gerzabek (2001): Bodeninformationen in Österreich - Aktueller Stand und Ausblick. Mitt. d. Österr. Bodenkundl. Ges., H. 62.
- Sotier B., A. Eder, K. Klebinder, P. Strauss, G. Markart, J. Dorner (2010): Erstellung einer Landnutzungskarte als Grundlage hydrologischer Bewertung. In: Strobl/Blaschke/Griesebner(Hrsg.): Angewandte Geoinformatik 2010. Beiträge zum 22. AGITSymposium, 7.-9. Juli 2010, Salzburg: 316-324.
- Sotier B., K. Klebinder, A. Eder (2012): Hydrologische Bodenkenndaten für Niederösterreich. In: Strobl/Blaschke/Griesebner(Hrsg.): Angewandte Geoinformatik 2012, 4.-6. Juli 2012, Salzburg: 672-680.
- Sotier B., K. Klebinder, Th. Bauer, G. Markart, P. Strauss (2015): Hydrologische Bodenkenndaten Niederösterreich – HYDROBOD-NÖ, zweite Projektphase, Endbericht (unveröffentlicht).
- Sotier B., K. Klebinder, Th. Bauer, G. Markart, P. Strauss (2017): Hydrologische Bodenkenndaten Niederösterreich – HYDROBOD-NÖ, zweite Projektphase, Ergänzungsbericht (unveröffentlicht).
- Stenitzer E. (1988): SIMWASSER – Ein numerisches Modell zur Simulation des Bodenwasserhaushaltes und des Pflanzenertrages eines Standortes. Mitt. Aus der Bundesanstalt für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, Nr. 31, Petzenkirchen.
- Van Genuchten M. Th. (1980): A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil science society of America journal 44: 892-898.
- Vereecken H., J. Maess, J. Feyen, P. Darius (1989): Estimating the soil moisture retention characteristic from texture, bulk density and carbon content. Soil Science, 148, 389-403.
- Weiss A. (2001): Topographic position and landforms analysis. Poster presentation, ESRI user conference, San Diego, CA. Vol. 200. http://www.jennessent.com/downloads/TPI-poster-TNC_18x22.pdf

10 Datenbestand

Datenformat: Ascii Grid, NetCDF

Projektion: WS_1984_UTM_UTM_Zone_33N, False_Easting 500000, False_Northing 0, Central_Meridian 15, Scale_Factor 0,9996, Latitude_Of_Origin 0, Linear Unit Meter

10.1 Extent Gesamtgebiet

Verzeichnis: UTM33_gesamt, UTM33_gesamt_nc

Extent: ncols 594, nrows 764, xllcorner 529891.5, yllcorner 5169903.5, cellsize 100, NODATA_value -9999

10.2 Extent Wegener Center

Verzeichnis: UTM33_WC, UTM33_WC_nc

Extent: ncols 620, nrows 600, xllcorner 527991.5, yllcorner 5187003.5, cellsize 100, NODATA_value -9999

10.3 Bezeichnungen

10.3.1 Bodenphysikalische und hydrogedologische Kennwerte

Datencodierung 1: Parameter_Kennwert_Tiefenstufe_Bandbreitenkorridor

Beispiel 1: ks_min_1_eng = gesättigte hydraulische Leitfähigkeit, unterer Grenzwert für die erste Tiefenstufe, enger Datenkorridor

10.3.1.1 Parameter

TW	Totwasseranteil in mm
nFK	nutzbare Feldkapazität in mm
FK	Feldkapazität in mm
LK	Luftkapazität in mm
ks	gesättigte hydraulische Leitfähigkeit in mm/d
n	n-Wert der MVG Gleichung
alpha	alpha-Wert der MVG Gleichung
thetar	theta r -Wert der MVG Gleichung
thetas	theta s-Wert der MVG Gleichung
S	Sandgehalt in %
U	Schluffgehalt in %
T	Tongehalt in %

10.3.1.2 Kennung

main	Hauptwert
min	unterer Grenzwert
max	oberer Grenzwert
median	Median des Bandbreitenkorridors

10.3.1.3 Tiefenstufe

1	Tiefenstufe 1 (0-20cm)
2	Tiefenstufe 2 (20-50cm)
3	Tiefenstufe 3 (50-100cm)

10.3.1.4 Bandbreitenkorridor

Eng	Minimal- und Maximalwert der Parameter liegen innerhalb $\pm 0,5$ SD (Regionalisierung) und 30% Wahrscheinlichkeit (Bodenkarte)
Mittel innerhalb +/- 1 SD bzw. 50%
Weit innerhalb +/- 2SD bzw. 90%

Anmerkung: bei den MVG-Parametern n, alpha, thetar und thetas wurden bis maximal 10 Wertepaare generiert. Zusammengehörige Wertepaare sind durch fortlaufende Nummerierung nach der Parameterkennung gekennzeichnet. z.B. n5_1_eng....alpha5....thetar5...

10.3.2 Oberflächenabflussbeiwerte für unterschiedliche Szenarien

Jährlichkeit des Niederschlages: 2 (T2), 5 (T5), 10 (T10), 50 (T50), 100 (T100) Jahre

Datencodierung 2: Niederschlagsdauerinh_Niederschlagssummeinh_Vorfeuchtezustand_Verschlaemmungszustand_Parameter

Beispiel 2: 24.0h_71.0mm_trocken_ov_psvol = 71mm Niederschlag innerhalb 24h bei trockenem Vorzustand ohne Oberflächenverschlammung

10.3.2.1 Vorfeuchtezustand

trocken
mittel
feucht
gesättigt

10.3.2.2 Verschlammungszustand

ov ohne Verschlammung
mv mit Verschlammung

10.3.2.3 Parameter

psivol volumetrischer Oberflächen - Abflussbeiwert definiert über Abflusssumme / Niederschlagssumme
psiOA Oberflächenabfluss am Ende des Niederschlagsereignisses