

Bewertung der Bodenfunktionen landwirtschaftlicher Böden auf Basis der österreichischen Datengrundlagen

H.-P. Haslmayr und M.H. Gerzabek

Functions of arable soils – assessment based on datasets available for Austria

1 Einleitung

Der Mensch ist in all seinem Handeln von den Gütern und Leistungen abhängig, die durch die Natur und deren Kreisläufe bereitgestellt werden (BLUM, 2005). Böden erfüllen eine Reihe von Leistungen, die unter dem Begriff „Bodenfunktionen“ zusammengefasst werden (STAHR et al., 2008) und deren Schutz in den Bodenschutzgesetzen Österreichs festgeschrieben ist. Einerseits werden Böden durch unsachgemäße Nutzung in ihrer Funktionsfähigkeit beeinträchtigt (BLUM, 2010), andererseits ist der zunehmende Bodenverbrauch durch Versiegelung vor allem auch in Europa ein sehr ernst zu nehmendes Problem. Wie in vielen Regionen Mitteleuropas geht auch in Österreich, trotz der Aktivitäten des Bodenbündnisses und trotz des Bodenschutzprotokolls der Alpenkonvention sowie zahlreichen anderen gesetzlichen Festlegungen, der Bodenverbrauch unvermindert weiter. Dies betrifft vor allem die Ballungsräume, in denen am Stadtrand neue Satellitenstädte und großflächige Gewerbegebiete entstehen, die wiederum ein wachsendes Verkehrsaufkommen und somit den Ausbau des Straßennetzes induzieren. So werden zum Beispiel im Großraum Wien, im Süden und Osten der Stadt durch das Vorantreiben der peripheren Bautätigkeiten die frucht-

barsten Böden Österreichs in Anspruch genommen. Ähnliche Situationen stellen sich etwa entlang der großen Vor-alpenflüsse dar, wo die Siedlungstätigkeit und der Ausbau der Verkehrsinfrastruktur weite Teile der Talalluvionen beanspruchen. Da die Böden der Alluvionen als wesentliche Filter- und Transformationsmedien der regional bedeutsamen Grundwasservorkommen dieser Schotterkörper wirken, ist es notwendig, gerade solche Standorte vor einer Überbauung zu bewahren. Andere Bodenregionen hingegen können aufgrund ihrer Geringmächtigkeit, Korngrößenzusammensetzung oder des erhöhten Skelettanteils diese Aufgabe nicht in dem Ausmaß erfüllen, weshalb – selbstverständlich stets vor dem Hintergrund des generell sparsamen Bodenverbrauchs – die Realisierung anthropogener Nutzungsansprüche vorzugsweise auf diesen Standorten erfolgen sollte.

Da hierzulande kein Instrumentarium existiert, welches erlaubt, eine Bewertung der Leistungsfähigkeit von Böden vorzunehmen, also das Schutzgut Boden hinsichtlich seiner Funktionen differenziert zu betrachten, ist eine gezielte Steuerung der Flächennutzung nicht möglich. Dadurch werden Böden mit einer hohen Eignung als Filter und Transformator in Raumordnungsfragen nicht von solchen mit einem geringeren Filterpotenzial unterschieden. Frucht-

Summary

Soil is not only an ecosystem by itself, but also a medium in which several environmental processes occur. These processes provide services for humankind and the environment which can be divided into different groups of soil functions. The major goal of soil protection is to preserve these functions for future generations. Several methods for differentiated consideration of soil functions were developed in Germany. For example different soils are able to store water in variable extent as governed by their utilizable storage capacity. Therefore soils which are able to store a large volume of water need to be treated more sensitively than others which storage capacity isn't as high. This study is trying to implement some of the German methods by using Austrian data of soil information.

The results of the assessment within a study area (Wilhering, Upper Austria) are demonstrated as an example for two soil functions. The use of German methods is feasible for the Austrian data set, however the transformation of Austrian parameters into the German soil taxonomy nomenclature represents a source of error and needs careful consideration.

Key words: soil protection, soil functions, evaluation method, Wilhering.

Zusammenfassung

Böden stellen als Teil der belebten Umwelt zahlreiche Leistungen zur Verfügung, die sich unterschiedlichen Gruppen von Bodenfunktionen zuordnen lassen. Die Aufgabe des Bodenschutzes ist es, Böden mit ihren wichtigen Funktionen zukünftig möglichst zu erhalten. Um dieser Aufgabe gerecht zu werden und dem Bodenschutz auch ein praktikables Instrument zur differenzierten Betrachtung des Schutzgutes Boden zur Seite zu stellen, wurden, vor allem in der Bundesrepublik Deutschland, Verfahren für die Bewertung der Bodenfunktionen entwickelt. Ein Beispiel dafür ist die Wasserhaltekapazität von Böden, die Einfluss auf verschiedenste Bodenfunktionen nimmt. Die vorliegende Arbeit versucht nun, einige dieser Ansätze auch in Österreich auf der Grundlage österreichischer Daten anzuwenden.

Die Ergebnisse der Bewertung innerhalb eines Modelluntersuchungsgebietes (Gemeinde Wilhering in Oberösterreich) werden beispielhaft für zwei Bodenfunktionen dargestellt. Eine Übertragung der Verfahren auf den österreichischen Datenbestand ist grundsätzlich möglich. Fehlerquellen ergeben sich jedoch in erster Linie durch die Übersetzung der österreichischen Messgrößen in die deutsche Nomenklatur.

Schlagerworte: Bodenschutz, Bodenfunktionen, Bewertungsverfahren, Wilhering.

bare Böden werden zumeist nicht anders behandelt als Böden mit einem geringen Ertragspotenzial.

Weltweit wurde in den letzten beiden Jahrzehnten an der Erstellung von Bodenqualitätskriterien gearbeitet, die einen Vergleich der Qualität unterschiedlicher Böden erlauben (NORTCLIFF, 2002). Mit Hilfe von Pedotransferfunktionen (BOUMA, 1989) werden über einfach messbare Bodenmerkmale schwer zu eruiierende Bodeneigenschaften ermittelt (WÖSTEN et al., 2001). In der Bundesrepublik Deutschland wird bereits seit einiger Zeit eine Vielzahl an Methoden zur Bewertung der Bodenfunktionen angewandt, denen unterschiedliche Algorithmen und Verknüpfungsregeln zugrunde liegen (AD-HOC-AG BODEN, 2007).

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war es daher, ein Bewertungsverfahren für Bodenfunktionen auf Basis der in Österreich vorliegenden und zugänglichen Datenbestände zu entwickeln, das als Entscheidungshilfe in Raum- oder Infrastrukturplanungen verwendet werden kann. Da Pedotransferfunktionen nicht über geomorphologische Großeinheiten hinaus verwendet werden sollten (MCBRATNEY et al., 2002), wurden die deutschen Verfahren gegenüber anderen bevorzugt. Durch die Bewertung unterschiedlicher Bodenzustände wäre es erstmals möglich, die Nutzung der endlichen Ressource Boden in der Raumentwicklung in einer objektivierten Form zu optimieren.

2 Material und Methoden

Als Datengrundlage für das zu entwickelnde Bewertungsverfahren dienten die Informationen der Bodenschätzung

eines ausgewählten Untersuchungsgebietes (Quelle 1), die Landwirtschaftliche Bodenkartierung (Quelle 2), der Franziszeische Kataster, ein Waldbestandsplan und eigene Erhebungen zur Landnutzung und zur hydrogeologischen Situation. Da die Bodenschätzungsdaten die räumlich am besten aufgelösten Informationen über den Boden in Österreich enthalten, werden in erster Linie die Erhebungsparameter aus diesen Beständen herangezogen. Die Bodenschätzung scheidet in ihrem Kartierungsbereich Klassenflächen aus. Innerhalb einer Klassenfläche befindet sich ein Bodentyp, aus dessen einheitlichen Profileigenschaften gleiche Ertragsbedingungen resultieren. Für jede Klassenfläche existiert im Schätzungsbuch eine Beschreibung des Profils nach folgenden bodenkundlichen Merkmalen: Horizonte und deren Mächtigkeit, HUMUS, Bodenart, Lagerungsdichte, Grobanteile, Gefüge und Kalkgehalt sowie die Kulturart und die Acker- bzw. Grünlandzahl. Die Beschreibungen erfassen jeweils die Merkmale bis in eine Tiefe von einem Meter.

Die ausgewählten Verfahren und angewandten Pedotransferfunktionen orientieren sich an den Methoden folgender Autoren: UMWELTMINISTERIUM BADEN WÜRTTEMBERG (1995), GRÖNGRÖFT et al. (2001), BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT UND BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ (2003) und LEHMANN et al. (2008). Letzteres Verfahren wurde im Rahmen von TUSEC-IP, einem Interreg III B Projekt der EU-Initiative für den Alpenraum, für ganz Mitteleuropa entwickelt. Eine wesentliche Basis für die Bewertungsmethoden ist die Bodenkundliche Kartieranleitung (KA5), welche von der AD-HOC-AG BODEN (2005) als Grundlage zur Beschreibung von Böden verfasst

wurde und mit deren Hilfe es möglich ist, eine Vielzahl an bodenphysikalischen Parametern zu errechnen.

Die hier angewandten Wertstufen als Maß für die jeweilige Funktionserfüllung reichen von „sehr hoch“ (1) bis „sehr gering“ (5). Als Modellregion wurde die Gemeinde Wilhering in Oberösterreich ausgewählt, da diese heterogene geologische Verhältnisse und dadurch auch eine pedologische Vielfalt aufweist. Darüber hinaus unterliegt sie durch ihre Nähe zur Stadt Linz einem enormen Nutzungsdruck.

In der Folge werden die Methoden der oben angeführten Autoren, gegliedert nach den einzelnen Bodenteilfunktionen, vorgestellt. Im Kapitel 3.1 folgen dann die Beschreibungen der erforderlichen Adaptionen der österreichischen Daten für die Anwendung dieser Evaluierungsverfahren.

2.1 Bodenfunktion: Lebensraumfunktion

2.1.1 Teilfunktion: Lebensraum für Pflanzen, Tiere und Bodenorganismen

Durch die intensive landwirtschaftliche Tätigkeit des Menschen kam es in den letzten Jahrhunderten zum Zurückdrängen oder auch zur Förderung verschiedener Pflanzengesellschaften. Besonders betroffen waren bzw. sind Pflanzengesellschaften von Standorten mit extremen Verhältnissen den Wasser- und Nährstoffhaushalt betreffend. Als Evaluierungskriterien dieser Teilfunktion werden daher bei den meisten existierenden Bewertungsverfahren das Standortpotenzial für natürliche Pflanzengesellschaften (Extremstandorte) und die Naturnähe der Böden herangezogen. Das jüngst veröffentlichte Verfahren zur Ableitung von Extremstandorten aus bodenkundlichen Daten be-

nutzt als Bewertungsgrößen die nutzbare Feldkapazität (nFK), hydromorphe Merkmale des Profils sowie den pH-Wert und die elektrische Leitfähigkeit (LEHMANN et al., 2008). Erreicht zumindest eine dieser Größen ein extremes Ausmaß, so ist das Potenzial eines Standorts für die Ausbildung eines naturschutzfachlich wertvollen Lebensraumes (Trockenrasen etc.) gegeben.

Die nFK ist als bedeutendste Wasserhaushaltsgröße in erster Linie von der Bodenart und der Trockenrohddichte abhängig und kann durch Kombination dieser beiden Eigenschaften einer statistisch ermittelten Matrix der KA5 (Tabelle 70) entnommen werden. Da auch der Humus eine hohe Wasserspeicherkapazität besitzt, wird der nFK-Wert der Bodenmatrix noch um einen Zuschlag für die organische Substanz nach Tabelle 72 der KA5 korrigiert. Hingegen verringert vorhandenes Festgesteinmaterial das wirksame Volumen des Porenraumes, wodurch steinhaltige Böden einen prozentualen Abzug entsprechend ihres Skelettanteils erfahren. Nach Aufsummierung mit den anderen horizontbezogenen Feldkapazitätswerten des Profils ergibt sich der Gesamtwert der nFK des Bodens eines konkreten Standorts.

Die Hydromorphie gibt Auskunft über den Grundwasserstand bzw. den Tagwassereinfluss. Für die Bewertung des Bodens hinsichtlich seines Potenzials als Extremstandort ist nun die Höhe dieses Grund- und Stauwassereinflusses entscheidend. Hohe Wasserspiegellagen werden hoch bewertet, mit zunehmendem Flurabstand verringert sich die Wertstufe (Tabelle 1). Alle untersuchten Böden werden anhand der Tabelle 1 bewertet. Bei der Zuordnung eines Bodens nach der Tabelle wird jene Bewertung verwendet, die nach Einschätzung der beiden Parameter (nFK und Flurab-

Tabelle 1: Verknüpfung der nFK und des Flurabstandes des höchsten Grund- oder Stauwasserspiegels zu einer Gesamtbewertung des Kriteriums Extremstandorte (LEHMANN et al., 2008)

Table 1: Utilizable storage capacity and distance of the groundwater to the surface as basis of an overall estimation of the criteria "site of extreme conditions" (LEHMANN et al., 2008)

Nutzbare Feldkapazität [mm/dm] des Gesamtprofils und Jahresniederschlag	Flurabstand Höchster Wasserspiegel über einen mehrmonatigen Zeitraum [m]	Bewertung Standortpotenzial für natürliche Pflanzengesellschaften
< 25 bei unter 1.000 mm Niederschlag	< 0,2	1
25 bis < 50 bei unter 1.000 mm Niederschlag	0,2 bis < 0,4	2
50 bis < 75 bei unter 1.000 mm Niederschlag	0,4 bis < 0,8	3
75 bis < 100 bei unter 1.000 mm Niederschlag		4
≥ 100		5

stand) der niedrigeren Wertstufe zugeordnet werden kann. Beträgt zum Beispiel bei einem Gley, mit einem Gr-Horizont in 70 cm Tiefe, die nutzbare Feldkapazität 95 mm/dm, so wird dieser Boden der Wertstufe 3 zugeordnet.

Die Naturnähe als zweites Lebensraumfunktionskriterium wird bei LEHMANN et al. (2008) über Charakteristika der Bodenprofile und über Landnutzungstypen abgeschätzt. So erhalten zum Beispiel natürlich erhaltene Bodenprofile ohne sichtbare anthropogene Veränderungen, wie etwa unter Trockenrasen oder Nasswiesen die Wertzahl 1. Böden, die in der Vergangenheit bis in eine Tiefe von höchstens 30 cm bearbeitet wurden, aktuell jedoch nicht mehr bearbeitet werden, erhalten die Wertzahl 2. Alle anderen Böden werden nicht berücksichtigt. Für diese zählt dann die bereits im vorigen Schritt durchgeführte Bewertung der Extremstandorte.

2.2 Bodenfunktion: Funktion als Bestandteil des Naturhaushaltes

2.2.1 Teilfunktion: Funktion des Bodens im Wasserhaushalt

Der Boden nimmt im Wasserkreislauf eine zentrale Stellung ein, da er in der Lage ist Niederschlagswasser aufzunehmen, zu speichern und mit einer zeitlichen Verzögerung wieder an die Atmosphäre, die Vegetation, den Vorfluter oder das Grundwasser abzugeben.

Die das Retentionsvermögen determinierenden Parameter sind die gesättigte Wasserleitfähigkeit (kf-Wert) und die nutzbare Feldkapazität, welche einen Hinweis darauf geben, wie viel Niederschlagswasser ein trockener Boden aufnehmen kann, bevor ein Oberflächenabfluss entsteht. Die Methode erlaubt lediglich eine grobe Abschätzung der Infiltrations-

kapazität, da diese auch wesentlich von der Nutzungsart, der Ausbildung des Porensystems (besonders der Makroporen), einem eventuellen Texturwechsel innerhalb des Profils etc. abhängen und diese nicht in die Berechnung miteinbezogen werden.

Die Abschätzung der gesättigten Wasserleitfähigkeit erfolgt über die Eingangsgrößen Bodenart und Trockenrohdichte und wird nach der Tabelle 76 der Bodenkundlichen Kartieranleitung (KA5) ermittelt. Da jedoch neben der Bodenart auch das Bodengefüge für das Ausmaß der Infiltration eine Rolle spielt, nehmen LEHMANN et al. (2008) an, dass jeder Horizont mit krümeliger oder subpolyedrischer Struktur bei einer Lagerungsdichte von kleiner als 1,5 g/cm³ eine hohe gesättigte Wasserleitfähigkeit aufweist. Für die weiteren Berechnungen wird für diese Horizonte ein kf-Wert von 100 cm/d angenommen.

Der mittlere kf-Wert für das gesamte Profil errechnet sich nach folgender Formel BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT UND BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ (2003):

$$(1) \quad kfp = \frac{\sum_{i=1}^n Mi}{\sum_{i=1}^n \frac{Mi}{kfi}}$$

- kfp = gesättigte Wasserleitfähigkeit des Profils [cm/d]
- kfi = gesättigte Wasserleitfähigkeit je Horizont [cm/d]
- Mi = Mächtigkeit je Horizont [cm]
- n = Anzahl der Horizonte im Profil

Tabelle 2: Bewertung des Retentionsvermögens des Bodens durch Verknüpfung des Wasserspeichervermögens mit dem kf-Wert. Das Wasserspeichervermögen wird von der nFK gebildet beziehungsweise für Böden in abflusträger Lage (< 9 % Geländeneigung) von der Summe der nFK und der Luftkapazität (BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT UND BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ, 2003)

Table 2: Evaluation of the water storage in soil by linking the storage capacity with the soil permeability. The storage capacity consists of the utilizable storage capacity. In case of soils of plain sites (slope < 9 %) the sum of utilizable storage capacity and air capacity, respectively, are considered (BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT UND BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ, 2003)

kf [cm/d]	Wasserspeichervermögen (nFK) bzw. (nFK + LK) [mm/dm]				
	< 50	50 bis < 90	90 bis < 140	140 bis < 200	≥ 200
≤ 7	4	4	4	3–4	3
> 7 bis 15	4	3–4	3	3	1–2
> 15 bis 30	4	4	2–3	1–2	1
> 30	4	4	2	1	1

Die nutzbare Feldkapazität ist der zweite Parameter für die Bewertung der Fähigkeit des Bodens zur Wasseraufnahme. Sie ist ein Maß für das Wasserspeichervermögen, welches in abflussträger Lage (< 9 % Geländeneigung) noch um die Luftkapazität (LK) des Profils erhöht wird (BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT UND BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ (2003)). Die Errechnung der nFK wird im Kapitel 3.1.1.1 erläutert, die Ableitung der Luftkapazität erfolgt horizontweise über die Tabelle 70 der KA5. Der daraus ausgelesene Wert wird entsprechend der Tabelle 72 der KA5 noch um einen Zu- oder Abschlag für den Gehalt an organischer Substanz korrigiert und über das gesamte Profil aufsummiert. Durch Klassenbildung der beiden Parameter kf-Wert und Wasserspeichervermögen sowie deren Verknüpfung, ergeben sich die einzelnen Wertstufen (Tabelle 2).

2.2.2 Teilfunktion: Funktion des Bodens im Nährstoffhaushalt

Das Vermögen, die gespeicherten Nährstoffe an die Pflanzen abzugeben, hängt wesentlich von der Menge an Feinbodenmaterial und Humus, der Bindungskapazität für austauschbare Ionen und vom Bodengefüge, also von der Aggregatoberfläche, die von den Pflanzenwurzeln erschlossen werden kann, ab. Der für die Abschätzung des Kriteriums „Nährstoffversorgung“ errechnete Parameter ist die effektive Kationenaustauschkapazität (KAK_{eff}).

Ganz allgemein hängt die KAK von der Art und der Menge der Tonminerale und Huminstoffe ab. Während die KAK der Tonminerale ständig vorhanden ist (permanente Ladung), ist sie bei den Huminstoffen im direkten Verhältnis pH abhängig (variable Ladung). Als potentielle Kationenaustauschkapazität (KAK_{pot}) wird diejenige KAK bezeichnet, die bei einem definierten pH-Wert vorliegt. Unter der effektiven Kationenaustauschkapazität versteht man hingegen diejenige KAK, die in einem Boden beim jeweiligen pH wirksam ist (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL, 2002).

Zu Beginn wird unter Zuhilfenahme der Tabelle 93 der Bodenkundlichen Kartieranleitung (KA5) aus der Boden-

art auf die KAK_{pot} der mineralischen Bodenbestandteile jedes Horizontes geschlossen. Dasselbe erfolgt dann mit Hilfe der Tabelle 94 der KA5 für die organische Substanz. Um aus der KAK_{pot} die KAK_{eff} zu erhalten, ist es notwendig, die KAK_{pot} des Humusanteiles mit einem pH-abhängigen Faktor zu multiplizieren (Tabelle 95).

Die KAK des mineralischen Bestandteiles, ist wie bereits erwähnt, pH unabhängig, weshalb die KAK_{pot} und die KAK_{eff} weitgehend ident sind. Durch aufsummieren der KAK_{pot} des mineralischen und der KAK_{eff} des organischen Anteils ergibt sich die effektive Kationenaustauschkapazität für den gesamten Horizont. Die Summe aller Horizonte repräsentiert letztendlich die Menge an austauschbar gebundenen Kationen in mol/m² für das gesamte Profil.

2.3 Bodenfunktion: Filter-, Puffer- und Stoffumwandlungsfunktion

2.3.1 Teilfunktion: Filter und Puffer für Schwermetalle

Der Boden ist in der Lage, Schwermetalle zu adsorbieren und verhindert dadurch eine Verlagerung in Grund- und Oberflächenwasser sowie eine Aufnahme zu hoher Konzentrationen durch die Pflanzenwurzel, die in der Nahrungskette letztendlich bei den Endgliedern durch Akkumulation zu Gesundheitsgefährdungen führen können.

Die Mobilität der Schwermetalle im Boden hängt wesentlich vom pH-Wert ab. Je tiefer der pH, desto mobiler werden die meisten Schwermetalle, die bei höheren Werten gebunden wären. Die Sorption erfolgt in erster Linie an Tonmineralen und Humusbestandteilen, weshalb deren Gehalt eine wichtige Rolle für den Bewertungsvorgang spielt.

Nach LEHMANN et al. (2008) wird zunächst über den Tongehalt und die Bodenstruktur ein Tonwert ermittelt. Der Tongehalt lässt sich aus dem deutschen Texturdreieck für jede Bodenartenklasse ableiten, wobei für die jeweils geltende Bandbreite des Tongehaltes das gerundete arithmetische Mittel herangezogen wurde. Das Gefüge geht

Tabelle 3: Bewertungsschema der effektiven Kationenaustauschkapazität (LEHMANN et al., 2008)

Table 3: Evaluation of the effective cation exchange capacity (LEHMANN et al., 2008)

	Menge an austauschbar gebundenen Kationen [mol/m ²]				
	< 25	25 bis 50	51 bis 100	101 bis 200	> 200
Bewertungsstufe	5	4	3	2	1

Tabelle 4: Ermittlung des Strukturfaktors (LEHMANN et al., 2008)
 Table 4: Determination of the factor for soil structure (LEHMANN et al., 2008)

Bodengefüge	Strukturfaktor
plattiges, prismatisches oder Säulengefüge	0,25
polyedrisches Gefüge	0,25
alle anderen	1

über einen Strukturfaktor in die Berechnung ein, wobei krümelige oder subpolyedrische Aggregatformen und somit große Oberflächen hoch bewertet werden. Säulengefüge und plattige Strukturen bedingen dagegen bevorzugte Versickerungspfade, die eine Verringerung der Verweilzeit des Wassers im Boden zur Folge haben. Bei Zutreffen solcher Gefügestrukturen ist die Perkolationsrate so groß, dass zu wenig Zeit verbleibt, um die Schwermetallfracht ausreichend zu adsorbieren. Deshalb erhält der Strukturfaktor bei solchen Gefügestrukturen eine geringere Wertigkeit (Tabelle 4).

Der pH-Faktor wird über die Tabelle 5 ermittelt.

Unter Berücksichtigung der Mächtigkeit, des Skelettanteils, des Tongehaltes, des Strukturfaktors und des pH-Faktors jedes einzelnen Horizontes wird der Tonwert des gesamten Profils nach folgender Formel errechnet.

(2)

$$TWp = \sum_{i=1}^n Mi \cdot \left(1 - \frac{SKi}{100}\right) \cdot (GTi \cdot 0,01 \cdot SFi) \cdot FpHi$$

gesamtenTWp = Tonwert des Profils

Mi = Mächtigkeit je Horizont [in dm]

SKi = Skelettgehalt je Horizont [in Vol.-%]

GTi = Tongehalt je Horizont [in Vol.-%]

SFi = Strukturfaktor je Horizont

FpHi = pH-Faktor

n = Anzahl der Horizonte

Die Klassifizierung und Bewertung des Tonwertes erfolgt nach Tabelle 6.

Tabelle 5: Ermittlung des pH-Faktors (LEHMANN et al., 2008)
 Table 5: Determination of the factor for soil acidity (pH) (LEHMANN et al., 2008)

pH	pH-Faktor
≥ 6,5	1
5,5 bis < 6,5	0,8
5,0 bis < 5,5	0,5
4,0 bis < 5,0	0,3
< 4	0,1

Tabelle 6: Klassifizierung und Bewertung des Tonwertes (LEHMANN et al., 2008)
 Table 6: Classification and evaluation of the factor for clay content (LEHMANN et al., 2008)

Tonwert	pH-Faktor
≥ 2,5	1
2 bis < 2,5	2
1,5 bis < 2	3
1 bis < 1,5	4
< 1	5

Tabelle 7: Klassifizierung und Bewertung des Humuswertes (LEHMANN et al., 2008)

Table 7: Classification and evaluation of the factor for soil organic matter content (LEHMANN et al., 2008)

Humuswert	Bewertung
≥ 3	1
2 bis < 3	2
1 bis < 2	3
0,5 bis < 1	4
< 0,5	5

Als zweiter Schritt wird aus der Mächtigkeit, dem Skelettanteil, dem Humusgehalt und dem pH-Faktor jedes einzelnen Horizontes der Humuswert für das gesamte Profil nach folgender Formel ermittelt.

$$(3) \quad HWp = \sum_{i=1}^n Mi \cdot \left(1 - \frac{SKi}{100}\right) \cdot (GHi \cdot 0,01) \cdot FpHi$$

HWp = Humuswert des Profils

Mi = Mächtigkeit je Horizont [in dm]

SKi = Skelettgehalt je Horizont [in Vol.-%]

GHi = Humusgehalt je Horizont [in Vol.-%]

SFi = Strukturfaktor je Horizont

FpHi = pH-Faktor

n = Anzahl der Horizonte

Die Klassifizierung und Bewertung des Humuswertes erfolgt nach der Tabelle 7.

Für die Endbewertung der Funktion des Bodens als Filter und Puffer für Schwermetalle werden Ton- und Humuswert miteinander verglichen, wobei stets jener mit dem geringeren Wert für die endgültige Einschätzung herangezogen wird. Wurde zum Beispiel der Tonwert mit der Wertstufe 3 bewertet und der Humuswert der Stufe 4 zugeordnet, gilt für die Endbewertung die Wertstufe 3.

2.3.2 Teilfunktion: Puffer für versauernd wirkende Einträge

Aufgrund des Verlustes an basisch wirkenden Kationen und Carbonaten durch Auswaschung oder durch Säureproduktion im Boden (Pflanzenwurzeln) sinkt in Böden im Zuge der Pedogenese der pH-Wert ab. Dieser natürliche Prozess schreitet ob deren enormer Pufferkapazität langsam voran, wobei diese Kapazität auch imstande ist, atmogene Depositionen aus menschlichen Immissionen aufzufangen und auszugleichen. Auf sauren Standorten mit basenarmen Gesteinen, auf denen etwa noch durch historische Nutzungen mit anhaltendem Biomasseentzug (Streurechen, Nie-

derwaldnutzung) ohnehin die Versauerung vorangetrieben wurde, kann es dadurch zu sehr niedrigen pH-Werten und damit einhergehend über die Tonzerstörung, Nährstoffverarmung und Freisetzung phytotoxischer Stoffe zur Gewässerversauerung und zu neuartigen Waldschäden kommen.

Das Verfahren schätzt diese Säureneutralisationskapazität ab. Die Pufferung, in der die H⁺-Ionen in eine undissoziierte Form übergeführt werden, läuft in einem komplexen System über mehrere parallele Reaktionen ab. Zur Vereinfachung wird angenommen, dass sich bei den im Boden üblichen pH-Werten die kurzfristige Pufferkapazität aus dem Vorrat an austauschbaren Basen und der Pufferkapazität durch Carbonate zusammensetzt. Da die Humusaufgaben keine großen Mengen an basisch wirkenden Kationen enthalten und auf den bewerteten Böden, die allesamt einer landwirtschaftlichen Nutzung unterliegen, kein nennenswerter Auflagehumus existiert, bleibt der Humus als Basenquelle unberücksichtigt.

Nach der Methode des BAYERISCHEN GEOLOGISCHEN LANDESAMT UND BAYERISCHEN LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ (2003) setzt sich das Vermögen der Säureneutralisation des Bodens aus der Carbonatpufferkapazität und dem Vorrat austauschbar gebundener Basen zusammen. Der Feinbodenanteil im Mineralboden spielt für die Säureneutralisationskapazität insofern eine Rolle, als in diesem Anteil der Vorrat an austauschbaren Basen enthalten und von ihm auch die wirksame Carbonatmenge abhängig ist. Die Bestimmung der Feinbodenmenge erfolgt nach folgender Formel.

$$(4) \quad FBi = TRDi \cdot Mi \cdot \frac{(100 - SKi)}{100}$$

FBi = Feinbodenmenge je Horizont [kg/m²]

TRDi = Trockenrohdichte je Horizont [g/cm³]

Mi = Mächtigkeit je Horizont [cm]

SKi = Skelettgehalt je Horizont [Vol.-%]

Tabelle 8: Bewertung der Pufferkapazität für versauernd wirkende Einträge (BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT UND BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ, 2003)

Table 8: Evaluation of the puffer capacity for acid atmospheric deposition (BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT UND BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ, 2003)

Pufferkapazität [molc/m ²]	< 10	10 bis < 30	30 bis < 100	100 bis < 300	≥ 300
Bewertung der Pufferkapazität	sehr gering	gering	mäßig	hoch	sehr hoch
Wertstufe	5	4	3	2	1

Über die Carbonatmenge wird die Carbonat-Pufferkapazität ermittelt.

$$(5) \quad CM_i = FB_i \cdot \frac{CG_i}{100}$$

CM_i = Carbonatmenge je Horizont [kg/m²]

FB_i = Feinboden je Horizont [kg/m²]

CG_i = Carbonatgehalt je Horizont [Masse-%]

$$(6) \quad SN_{ci} = CM_i \cdot 20 \quad [\text{mol H}^+/\text{kg CaCO}_3]$$

SN_{ci} = Säureneutralisation über die Carbonatpufferkapazität je Horizont [mol H⁺/m²]

Neben der Carbonatpufferkapazität trägt auch der Vorrat austauschbar gebundener Basen zur Säureneutralisation bei, die durch folgende Formel abgeschätzt wird. Die Basensättigung hängt wesentlich vom pH-Wert ab und wird über die Tabelle 96 der KA5 ermittelt.

$$(7) \quad SN_{bi} = \frac{KAK_{poti}}{100} \cdot \frac{BS_{poti}}{100} \cdot FB_i$$

SN_{bi} = Säureneutralisation über den Vorrat austauschbar gebundener Basen je Horizont [molc/m²]

KAK_{poti} = potentielle Kationenaustauschkapazität je Horizont [cmolc/kg]

BS_{poti} = Basensättigung bezogen auf die KAK_{pot} je Horizont [%]

FB_i = Feinbodenmenge je Horizont [kg/m²]

Tabelle 9: Bewertung der Acker- und Grünlandzahlen der Bodenschätzung als Maß für die Ertragsfähigkeit von Böden (UMWELTMINISTERIUM BADEN WÜRTTEMBERG, 1995)

Table 9: Classification of the crop- and grassland numbers used for the Austrian land taxation according to different degrees of soil productivity. (UMWELTMINISTERIUM BADEN WÜRTTEMBERG, 1995)

Acker- und Grünlandzahl	< 28	28 bis 40	41 bis 60	61 bis 75	> 75
Bewertung der Ertragsfähigkeit	sehr gering	gering	mäßig	hoch	sehr hoch
Wertstufe	5	4	3	2	1

Die gesamte Säureneutralisationskapazität je Horizont erhält man durch Aufsummieren der beiden Komponenten (SN_{ci} + SN_{bi}). Für jene des vollständigen Profils gilt dann die Summe der Pufferkapazität aller Horizonte. Bei höher anstehendem Grundwasser endet die Bewertungstiefe beim Grundwasserspiegel bzw. beim Gr-Horizont. Die Bewertung der Pufferkapazität des gesamten Profils erfolgt nach Tabelle 8.

2.4 Bodenfunktion: Standort für die land- und forstwirtschaftliche Nutzung

2.4.1 Teilfunktion: Standort für die landwirtschaftliche Nutzung

Ein Verfahren des UMWELTMINISTERIUMS BADEN WÜRTTEMBERG (1995) zieht für die Bewertung der Böden als Standort für die landwirtschaftliche Nutzung die Acker- und Grünlandzahlen der Bodenschätzung heran, die nach Tabelle 9 den einzelnen Wertstufen zugeordnet werden.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Adaption für die Anwendung der Methoden auf Basis der österreichischen Daten

In diesem Kapitel werden alle notwendigen Adaptionen der österreichischen Daten vorgestellt, die notwendig sind, um die vorgängig vorgestellten Verfahren auch für österreichische Böden durchführen zu können.

3.1.1 Bodenfunktion: Lebensraumfunktion

Teilfunktion: Lebensraum für Pflanzen, Tiere und Bodenorganismen.

Für die Ableitung von Extremstandorten kann sich für den Großteil Österreichs die Einschätzung auf die Kriterien nFK und hydromorphe Merkmale beschränken, da es lediglich im burgenländischen Seewinkel Salzböden gibt, deren pH-Werte über pH8 liegen und die sehr hohe Leitfähigkeitswerte erreichen.

Die nFK wird aus den Eingangsgrößen Bodenart und Trockenrohdichte mit Hilfe der Bodenkundlichen Kartieranleitung ermittelt. Da der KA5, der Bodenschätzung und der landwirtschaftlichen Bodenkartierung jedoch unterschiedliche Texturdreiecke zu Grunde liegen, ist eine Übersetzung der acht Bodenartenklassen der Bodenschätzung in die 31 Bodenartenklassen der KA5 erforderlich. Für diese Übersetzung wurde das Texturdreieck der Bodenschätzung in seiner Geometrie an die des Dreiecks der KA5 angepasst und beide miteinander zur Deckung gebracht (vgl. Abbildung 1). Aufgrund der weiten Korngrößenbandbreite innerhalb jeder der acht Bodenartenklassen entspricht eine Klasse der Bodenschätzung mehreren Klassen der KA5 Textur. So hat etwa die Klasse sL (sandiger Lehm) der Schätzung Anteil an elf Bodenartenklassen am deutschen Texturdreieck. Um diese Bandbreite einzuschränken, wurden zusätzlich die Daten der Landwirtschaftlichen Bodenkartierung herangezogen, die für jede ausgewiesene Bodenform laboranalytisch die Zusammensetzung des Feinbodens beinhalten. Durch Verschneidung der räumlichen Bodenschätzungskarten mit den Karten der Landwirtschaftlichen Bodenkartierung mit Hilfe des Software-Pakets ArcGIS 9.2 von ESRI konnten die Analyseergebnisse auf die Bodenschätzungsdaten übertragen werden. So wurden allen Klassenflächen innerhalb einer Bodenform deren

ermittelte Sand-, Schluff- und Tonanteile der Landwirtschaftlichen Bodenkartierung als Ausgangsbasis zu Grunde gelegt und in Kombination mit der Bodenart aus der Bodenschätzung in die entsprechende Bodenartenklasse des deutschen Texturdreiecks transformiert.

Die Trockenrohdichte, der zweite Parameter zur Ableitung der nFK neben der Bodenart, wurde ermittelt, indem in einem ersten Schritt aus der Lagerungsbezeichnung der Bodenschätzung die effektive Lagerungsdichte (Ld-Stufe) abgeleitet wurde (siehe Tabelle 10).

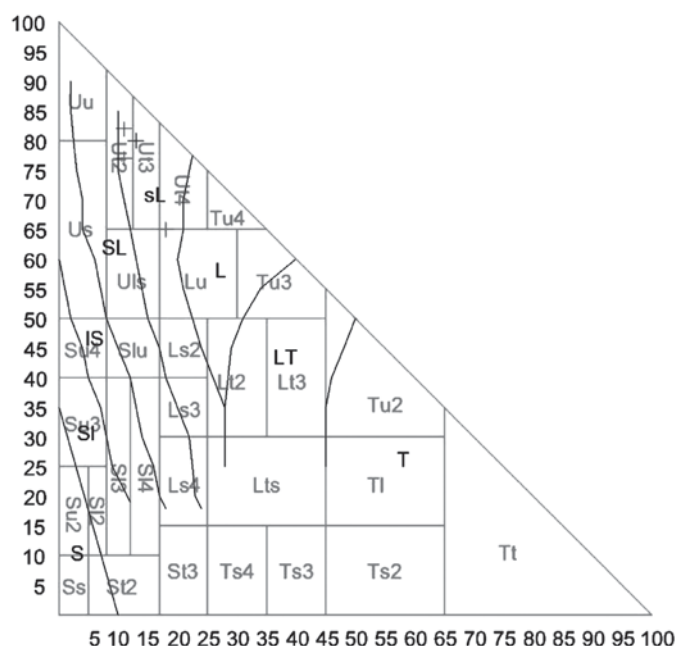


Abbildung 1: Bewertung der Pufferkapazität für versauernd wirkende Einträge (BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT UND BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ, 2003)
 Figure 1: Evaluation of the puffer capacity for acid atmospheric deposition (BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT UND BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ, 2003)

Tabelle 10: Übersetzungstabelle der Lagerungsbezeichnung der Bodenschätzung in die effektive Lagerungsdichte der KA5 (WPA, 2000)
 Table 10: Transformation of Austrian soil bulk density data into the German nomenclature (WPA, 2000)

Bodenschätzung		Bodenkundliche Kartieranleitung (KA5)	
Bezeichnung	Kürzel	eff. Lagerungsdichte (Ld-Stufe)	g/cm ³
lose	lo	1-2	< 1,4
locker	lock		1,4-1,6
normal	norm	3	1,6-1,8
schwach dicht	d'	4-5	1,8-2,0
dicht	d		> 2,0

Tabelle 11: Einstufung und Überführung der organischen Substanzgehalte in die Humusstufen der KA5 (WPA, 2000)

Table 11: Classification and transformation of soil organic matter contents into German categories (WPA, 2000)

Bodenschätzung		Bodenkundliche Kartieranleitung (KA5)	
Bezeichnung	Kürzel	% org. Substanz	Humusstufe
sehr schwach humos	h''	< 1	h1
schwach humos	h'	1 bis < 2	h2
humos	h	2 bis < 4	h3
stark humos	h ⁺	4 bis < 8	h4
sehr stark humos	h ⁺⁺	≥ 8	h5

In einem zweiten Schritt konnte anhand der KA5 (Tabelle 71) aus der Verknüpfung der Bodenart mit der effektiven Lagerungsdichte die Trockenrohdichte ermittelt werden.

Letztendlich lässt sich mit Hilfe der KA5 (Tabelle 70) aus der Bodenart und der Trockenrohdichte die nutzbare Feldkapazität (Volumen-%) für jeden Horizont ableiten, die noch um einen Zuschlag für die organische Substanz korrigiert wird. Dafür wurden die Humusangaben der Schätzungsbeschreibungen, wie in Tabelle 11 dargestellt, in die Humusstufen der KA5 übergeführt.

Je nach Bodenart werden für die einzelnen Humusstufen Zuschläge bei der nFK hinzuaddiert (KA5: Tabelle 72).

Da der Skelettgehalt im Profil den Porenraum und somit die nFK verringert, wird auch dieser Anteil noch berücksichtigt und von den horizontbezogenen nFK-Werten abgezogen. Die Abschätzung des Skelettanteils anhand der Kürzel in der Beschreibung der Profile der Schätzung erfolgt nach Tabelle 12.

Bei zusätzlichen verbalen Angaben der Profilbeschreibungen wurden dann noch die Grobanteil-Abschläge in Einzelfällen modifiziert.

Nach all den Korrekturen des ursprünglich aus der Tabelle 70 ausgelesenen Wertes für die nutzbare Feldkapazität erfolgt abschließend die Aufsummierung der nFK-Werte der einzelnen Horizonte zu einem Gesamtwert des vollständigen Profils.

Aus den Beschreibungen der Horizontabfolge der Bodenschätzung wurde die Tiefe des höchsten Grund- oder Stauwasserspiegels über einen mehrmonatigen Zeitraum aller hydromorpher Böden abgeleitet.

Eine Kombination beider Eingangsgrößen, die nutzbare Feldkapazität und der Flurabstand, bestimmt die Zuteilung der Wertstufen für das Kriterium des Standortpotenzials der natürlichen Pflanzengesellschaften (siehe Tabelle 1).

Als Eingangsinformation für die Bewertung der Naturnähe der Böden des Untersuchungsgebietes dienten Datenbestände zur aktuellen und historischen Landnutzung sowie Angaben zu anthropogenen Profilveränderungen in den Beschreibungen des Schätzungsbuches. Darüber hinaus wurden aus Unterlagen von Entwässerungsgenossenschaften, die in der Vergangenheit großflächige Drainagierungen der Ackerflächen durchführten, Informationen über die Veränderung des Wasserhaushaltes gesammelt und in die Bewertung miteinbezogen.

Als Grundlage der aktuellen Landnutzung diente eine Nutzungskarte der Oberösterreichischen Landesregierung, die für jede Parzelle eine Nutzungsart aufweist.

Die Wertziffernzuweisung der Landnutzungsformen orientierte sich an der Intensitätsunterteilung nach GRÖN-GRÖFT et al. (2001), die eine Zuordnung der Nutzungsform in fünf Skalierungsklassen durchführen und dabei, abhän-

Tabelle 12: Reduktion der nFK um den Grobanteil (WPA, 2000)

Table 12: Reduction of utilizable storage capacity due to the portion of soil skeleton (WPA, 2000)

Bezeichnung	Kürzel	% Skelettanteil	% Abschlag
schwach grusig/schottrig	gru'/scho'	< 10	5
grusig/schottrig	gru/scho	10 bis < 20	15
stark grusig/schottrig	gru ⁺ /scho ⁺	20 bis < 40	30
sehr stark grusig/schottrig	gru ⁺⁺ /scho ⁺⁺	40 bis < 80	60

gig von der Nutzungsintensität, von der Klasse 1 mit höchstens extensiven Nutzungsformen (Wiesen mit maximal einer Mahd/Jahr) bis zur Klasse 5 (versiegelte Böden) unterscheiden. Die Bewertung der historischen Landnutzungsformen erfolgte nach identischen Prinzipien, wobei die Nutzungen dem Franziszeischen Kataster entnommen wurden. Je nach Bewirtschaftungsintensität erhielten die jeweiligen Flächen Wertzahlen, beginnend mit der Zuordnung der naturnahen Flächen des Ödlandes und der Sümpfe in die Klasse 1, bis zu den verbauten Flächen, die in der Klasse 5 zusammengefasst wurden.

Die iterative Gesamteinschätzung der Naturnähe (Abbildung 2) erfolgte zuerst über eine Kombination der Wertziffern (1–5) der historischen und der aktuellen Landnutzung nach folgendem Schema.

Im nächsten Schritt wurden Hinweise auf anthropogene Bodenveränderungen aus den Schätzungsbüchern in der Bewertung berücksichtigt. Bei der zuvor durchgeführten Evaluierung der aktuellen Landnutzung erhielten die landwirtschaftlichen Nutzflächen aufgrund der auf ihnen stattfindenden Bewirtschaftungsmaßnahmen und des dadurch bedingten Eingriffes in die natürliche Bodenentwicklung grundsätzlich die Wertziffer 3. Nun wurden jene landwirtschaftlichen Nutzflächen, die bereits aufgrund ihres Terminus bzw. seiner Adjektive in den Schätzungsbüchern eine

anthropogene Beeinflussung vermuten lassen (z.B. Planieböden), um eine Wertziffer hinaufgestuft, also von 3 auf 4.

Eine weitere Korrektur der im Zuge der aktuellen Landnutzungsbewertung zugeteilten Wertstufen hinsichtlich der Naturnähe erfolgte beim nun folgenden, letzten Schritt. Für alle drainagierten Böden wurde ebenfalls die Bewertung um eine Stufe angehoben, sofern sie ohnehin nicht bereits durch den vorhergehenden Schritt die Wertstufe 4 besaßen.

Die Bewertung des Kriteriums Extremstandorte (nFK und geringster Flurabstand) und jene des Kriteriums Naturnähe werden am Ende in der Form zu einer Gesamtbewertung der Bodenfunktion Lebensgrundlage und Lebensraum für Pflanzen, Tiere und Bodenorganismen miteinander kombiniert, dass die Bewertungsstufen 1 und 2 des Standortpotenzials für natürliche Pflanzengesellschaften (Tabelle 1) die höchste Gewichtung zwischen den beiden Kriteriumsebenen erhalten und unabhängig von deren Naturnähe wertbestimmend bleiben. Das heißt: Böden, denen bei der Bewertung des Kriteriums Extremstandorte die Wertstufen 1 oder 2 aus der Tabelle 1 zugewiesen wurden, behalten ihren Wert auch für die Endbewertung der gesamten Bodenfunktion bei. Alle anderen Stufen der Tabelle 1 (3–5) werden von den Werten der Einstufung der Naturnähe überdeckt und behalten die aus der Hemerobie abgeleiteten Werte.

Tabelle 13: Kombination der beiden Landnutzungen zu einem Gesamtwert der Nutzung (alle angeführten Kombinationen haben sich im Untersuchungsgebiet tatsächlich ergeben)

Table 13: Combination of both types of landuse, the historical and the current, to one aggregated value (all listed combinations could be found in the investigation)

Landnutzung 1	Landnutzung 2	Gesamtwert der Nutzung
1	1	1
2	1	1
2	2	1
3	1	2
3	2	2
3	3	3
4	1	3
4	2	3
4	3	4
4	4	4
Jede Kombination mit 5		5

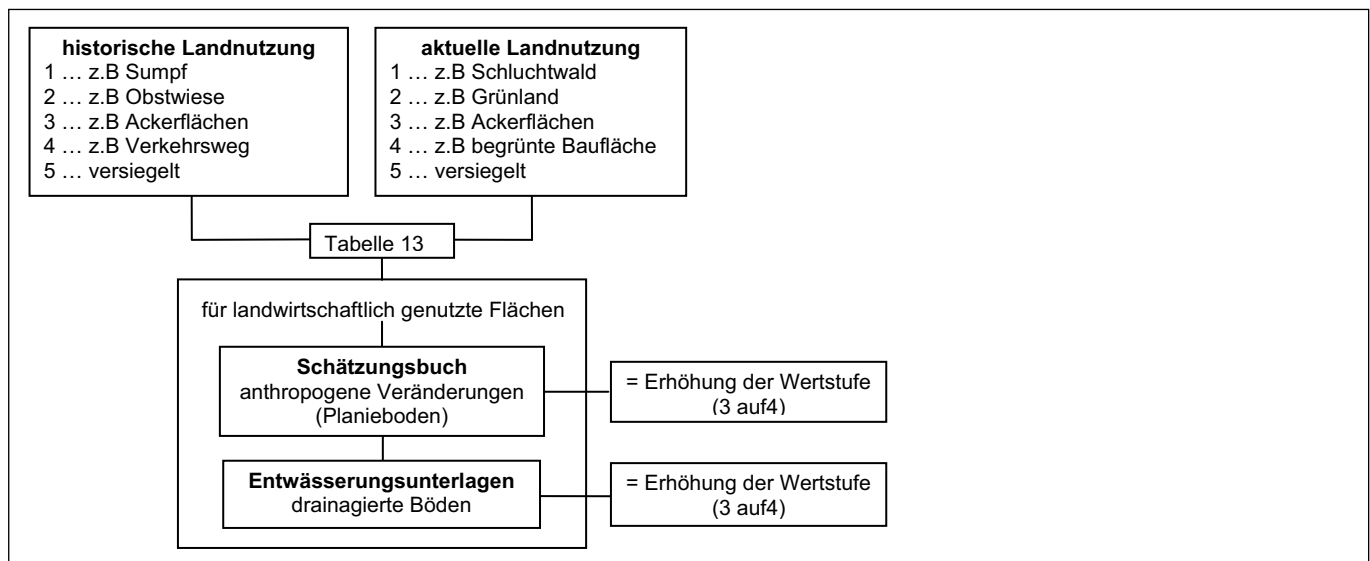


Abbildung 2: Schemaskizze für die Ableitung der Naturnähe von Böden
 Figure 2: Diagram to derive the naturalness of soils

3.1.2 Bodenfunktion: Funktion als Bestandteil des Naturhaushaltes

Teilfunktion: Funktion des Bodens im Wasserhaushalt

Die Ermittlung der gesättigten Wasserleitfähigkeit erfolgte über die Eingangsgrößen Bodenart und Trockenrohdichte nach der Bodenkundlichen Kartieranleitung (KA5). Wie bei der Ermittlung der nutzbaren Feldkapazität bereits erläutert, wurden sowohl die Texturklassen der österreichischen Bodenschätzung in die deutschen Bodenartenklassen als auch die Lagerungsbezeichnungen der Profilbeschreibungen in die deutsche Nomenklatur der Trockenrohdichte übersetzt und somit eine Ermittlung der gesättigten Wasserleitfähigkeit für jeden Horizont nach Tabelle 76 der KA5 ermöglicht.

Um zu berücksichtigen, dass auch das Bodengefüge die Infiltration beeinflusst und um der Annahme gerecht zu werden, dass Horizonte mit krümeliger oder subpolyedrischer Struktur bei einer Lagerungsdichte von kleiner als $1,5 \text{ g/cm}^3$ große Durchlässigkeiten bewirken, war eine Übersetzung des Strukturbegriffes „subpolyedrisch“ in den entsprechenden Terminus der Bodenschätzung („blockig-kantengerundet“) mit Hilfe des Datenschlüssels des UMWELTBUNDESAMTES (1999) erforderlich. Der Lagerungsdichte kleiner $1,5 \text{ g/cm}^3$ entsprechen alle Horizonte mit dem Bodenschätzungskürzel „lo“ und „lock“ (Tabelle 10). All jene Böden, deren Gefüge im Schätzungsbuch als „blockig-kantengerundet“ bei gleichzeitigem Zutreffen einer losen oder lockeren Lagerung bezeichnet wurde, erhielten einen k_f -Wert von 100 cm/d . Der mittlere k_f -Wert errechnete sich

entsprechend der Formel (1).

Die nutzbare Feldkapazität als zweite Determinante des Wasserspeichervermögens sowie die Luftkapazität wurden entsprechend den Erläuterungen ermittelt.

Teilfunktion: Funktion des Bodens im Nährstoffhaushalt

Die Ermittlung der KAK_{pot} der mineralischen Bodenmatrix erfolgt nach der KA5 über die Bodenart sowie für jene der organischen Substanz über den Humusgehalt. Auf welchem Wege die Übersetzung dieser beiden Eingangsparameter aus der Bodenschätzung in die deutsche Nomenklatur erfolgte, wurde bereits im Kapitel 3.1.1 erläutert.

Aus der KAK_{pot} errechnet sich durch Multiplikation mit einem pH-abhängigen Faktor die KAK_{eff} . Da jedoch in der Bodenschätzung keine Angaben zum pH enthalten sind, wurden die Daten der landwirtschaftlichen Bodenkartierung herangezogen, die für jede Bodenform Analysedaten, inklusive den pH-Wert, enthalten. Mithilfe der GIS-Software ArcGIS 9.2 wurden die Datensätze der Bodenschätzung mit jenen der Landwirtschaftlichen Kartierung verschnitten und so auf alle Profile der Schätzungsdaten die entsprechenden pH-Werte aus der Kartierung übertragen. Dies wurde insofern erleichtert, als die Werte der A-Horizonte, die für die KAK relevant sind, unabhängig vom Bodentyp innerhalb eines engen Bereiches ($6,5$ bis $7,5$) schwanken.

Da die KAK_{eff} des Mineralbodens aufgrund der permanenten Ladung der Schichtsilikate gleich der KAK_{pot} ist, ergibt sich die effektive Austauschkapazität für den gesamten Horizont aus der Summe der KAK_{pot} des Mineralbodens

Tabelle 14: Bestimmung des Strukturfaktors inkl. der Übersetzung der Gefügebezeichnung in die österreichische Nomenklatur
 Table 14: Determination of the factor for soil structure and conversion into Austrian nomenclature

Bodengefüge		Strukturfaktor
Deutsche Nomenklatur	Österreichische Bodenschätzung	
plattiges, prismatisches oder Säulengefüge	plattig, prismatisch-scharfkantig oder prismatisch-kantengerundet	0,25
polyedrisches Gefüge	blockig-scharfkantig	0,5
alle anderen	alle anderen	1

und der der KAK_{eff} des Humusanteils. Die horizontbezogenen Werte zusammengezählt, ergeben den Gesamtwert für das vollständige Profil.

Der Einfluss des Bodengefüges wurde dadurch berücksichtigt, dass bei allen auf Basis der Bodenschätzung bewerteten Böden, für die in der Profilbeschreibung die Bodenart T (Ton) festgestellt und deren Gefüge als „blockig-kantengerundet“ bezeichnet wurde, eine Erhöhung der zuvor festgelegten Wertziffer um eine Stufe durchgeführt wird.

3.1.3 Bodenfunktion: Filter-, Puffer- und Stoffumwandlungsfunktion

Teilfunktion: Filter und Puffer für Schwermetalle

Das Bewertungsverfahren nach LEHMANN et al. (2008) lässt sich durch Konversion einiger Parameter, die in den vorangegangenen Erläuterungen bereits beschrieben wurden, auch auf Basis der österreichischen Datengrundlagen anwenden. Die Errechnung des Tonwertes nach der Formel (2) erfordert für die Eingangsparameter Tongehalt und Bodengefüge eine Überführung der österreichischen Daten in die deutsche Nomenklatur.

Die Bodenart der Schätzungsdaten wird durch Überlagerung der Texturdreiecke in die deutschen Bodenartenklassen übersetzt (siehe Kapitel 3.1.1) und für jede dieser Klassen der Tongehalt bestimmt, indem dieser aus der Tonachse

des Dreiecks abgelesen wird. Die Ermittlung des Strukturfaktors kann erst nach Übersetzung der Gefügebezeichnung anhand der Tabelle 14 durchgeführt werden.

Die Bestimmung der pH-Werte erfolgt analog den Ausführungen des Kapitels 3.1.2, die dann anhand der Tabelle 5 bewertet werden.

Für die Errechnung des Humuswertes nach der Formel (3) ist es notwendig, den Humusgehalt je Horizont aus der Profilbeschreibung des Schätzungsbuches in den prozentualen Humusgehalt umzuwandeln. Dies erfolgt mit Hilfe der Tabelle 11.

Die weitere Evaluierungsvorgehensweise ist in Kapitel 2.3.1 bereits ausgeführt.

Teilfunktion: Puffer für versauernd wirkende Einträge

Zur Bestimmung der Feinbodenmenge wird die Trockenrohichte nach der Tabelle 10 und der Tabelle 71 der KA5 ermittelt und in die Formel (4) eingefügt. Der Carbonatgehalt als Basis der Errechnung von dessen Pufferkapazität wird horizontweise aus den Profilbeschreibungen der Bodenschätzung entnommen. Mit Hilfe der Tabelle 15 werden die Bezeichnungen in prozentuelle Gehaltsangaben übergeführt und anhand der Formel (5) in die Carbonatmenge umgerechnet.

Neben der Carbonatpufferkapazität trägt auch der Vorrat austauschbar gebundener Basen zur Säureneutralisation bei. Da die potentielle Kationenaustauschkapazität, auf die

Tabelle 15: Interpretation des Carbonatgehaltes aus der Bezeichnung der Bodenschätzung
 Table 15: Interpretation of carbon content based on the terms used for the Austrian land taxation.

Bezeichnung der Bodenschätzung	Carbonatgehalt	Beschreibung
-	0 %	kalkfrei
ka'	< 1,5 %	schwach kalkhaltig
ka	1,5 bis 5,0 %	kalkhaltig
+ka	> 5,0 %	stark kalkhaltig

sich der Basensättigungsgrad bezieht, bereits im Zuge der Evaluierung der Funktion des Bodens im Nährstoffhaushalt bestimmt wurde, lässt sich die Basensättigung aus der Tabelle 96 der KA5 ablesen. Da der pH-Wert, der ganz wesentlich die Basensättigung beeinflusst, mit wenigen Ausnahmen in allen Böden des Untersuchungsraumes über 6,0 liegt, ergibt sich laut Tabelle 96 eine Basensättigung von durchschnittlich 90 %.

3.1.4 Bodenfunktion: Standort für die land- und forstwirtschaftliche Nutzung

Teilfunktion: Standort für die landwirtschaftliche Nutzung

Eine detaillierte Untersuchung der natürlichen Ertragsfähigkeit wird im Zuge der Bodenschätzung durchgeführt, bei der über die Ertragsbedingungen wie Bodenbeschaffenheit, Geländegestaltung, klimatische Verhältnisse und Wasserverhältnisse auf diese Ertragsfähigkeit geschlossen wird (WAGNER, 2001). Die Bodenschätzung liefert bereits exakte Abschätzungen des Ertragspotenzials, sodass direkt die Acker- und Grünlandzahlen für den Bewertungsvorgang herangezogen werden können (siehe Tabelle 9).

3.2 Fallstudie Wilhering

Die Gemeinde Wilhering gehört dem oberösterreichischen Zentralraum an und liegt an der Donau etwa 10 Kilometer westlich von Linz. Das oberösterreichische Alpen-

vorland besitzt ein Übergangsklima mit ozeanischem (kühle Sommer/warme Winter) und kontinentalem (heiße Sommer/kalte Winter) Einfluss. Im Gegensatz zum südlichen Alpenvorland unterliegt der nördliche Teil nicht mehr dem Einfluss des Nordstaus bei NW-Wetterlagen, die sehr feuchte Luftmassen vom Atlantik hereinführen. Dies zeigt sich in den für Oberösterreich relativ geringen, mittleren Jahresniederschlagsmengen von 749 mm (Quelle 3). Die jährliche Durchschnittstemperatur beträgt 8,5 °C. Das Gemeindegebiet Wilhering liegt im Grenzbereich zweier geologischer Einheiten. Der im Nordosten gelegene Kürnberger Wald gehört noch der Böhmisches Masse an, welche neben dem Sauwald auch hier noch jenseits der Donau nach Süden übertritt, bevor sie dann gegen das Alpenvorland hin unter die tertiären Sedimente abtaucht und die Basis des Molassetroges bildet. Die zweite Einheit ist eben die Molassezone, in der im Tertiär unter Meeresbedeckung jene Gesteinsformationen entstanden, die heute den westlichen Teil des Gemeindegebietes aufbauen.

Zur Veranschaulichung der Bewertungsergebnisse werden beispielhaft für die Bodenteilfunktionen „Funktion des Bodens im Wasserhaushalt“ und „Filter und Puffer für Schwermetalle“ die zugeordneten Wertstufen innerhalb des Untersuchungsgebietes, der oberösterreichischen Gemeinde Wilhering, räumlich aufgelöst dargestellt.

Das Wasserretentionsvermögen des Bodens ist im Wesentlichen von der Mächtigkeit seines Profils, der Bodenart,

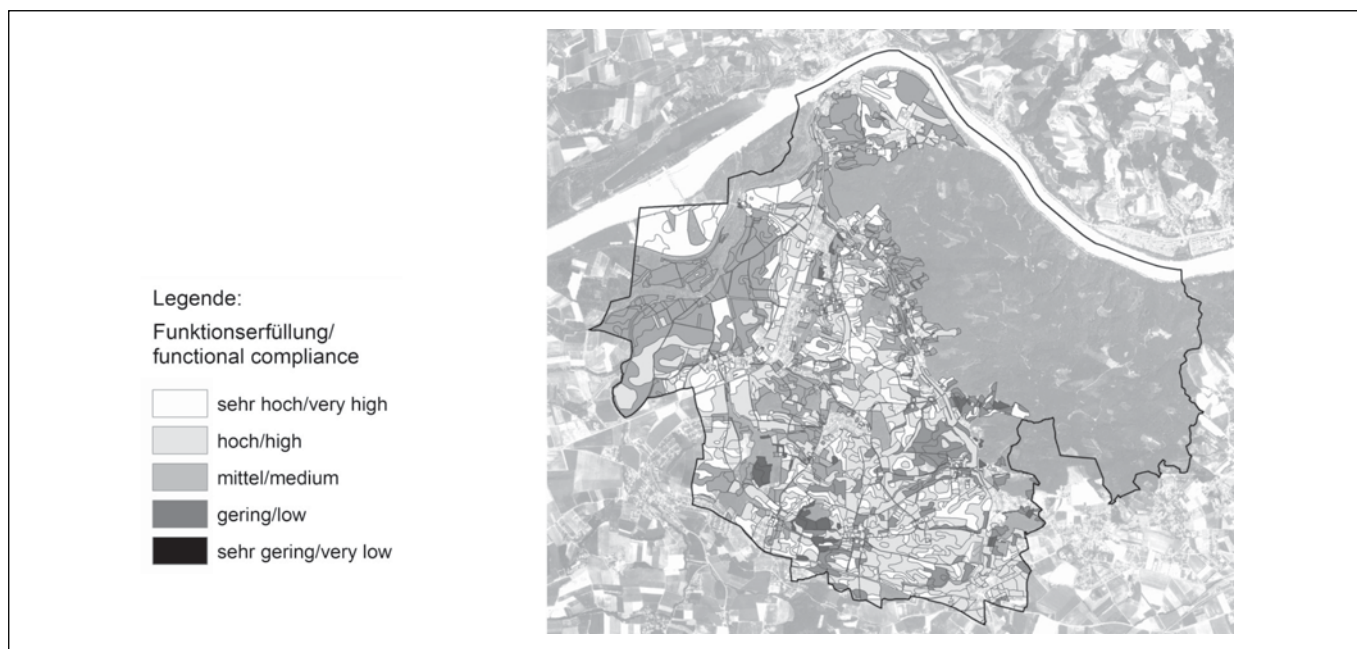


Abbildung 3: Darstellung der Funktion des Bodens als Bestandteil des Wasserhaushalts

Figure 3: Diagram of the soil function as a part of the water cycle

der Lagerungsdichte und dem Gefüge abhängig. So ist es auch nicht verwunderlich, dass Böden aus Verwitterungsmaterial mit vorwiegend sandigen oder tonigen Körnungsklassen diesbezüglich mit der geringsten Funktionserfüllung bewertet wurden. Es sind dies einerseits die Böden des Kristallins (die Verwitterungsprodukte der Perlgneise weisen eine sandige Textur auf) und seiner tertiären Küstensedimente (Phosphoritsande) (Abbildung 2: in der Bildmitte und im Norden) sowie andererseits jene auf den tertiären Tonmergeln (im Süden). In den übrigen Bereichen des Hügellandes wirkt sich die Lössüberlagerung positiv auf das Speichervermögen aus, da sich dieser vornehmlich aus schluffigen Bestandteilen zusammensetzt und dadurch eine günstige Porengrößenverteilung besitzt.

Die Eignung des Bodens als Filter und Puffer wird in erster Linie durch den Gehalt an Tonmineralen und an organischer Substanz determiniert, da die Schwermetalle an diese adsorbiert und dadurch einer weiteren Verlagerung entzogen werden können. Auch hier liegen die Böden mit der höchsten Funktionserfüllung im Bereich im Süden des Untersuchungsraumes (Abbildung 3) und die mit der geringsten Filter- und Pufferwirkung für Schwermetalle am kristallinen Grundgebirge und in den tiefsten Lagen der Donauniederung. Die Böden auf den Donauschottern der Hochflutfelder und der Niederterrasse (im Westen) sind aufgrund ihrer relativ höheren Humuswerte besser in der

Lage die Funktion als Puffer und Filter zu erfüllen als die Böden auf dem Löss des Hügellandes (im Süden).

Fehlerquellen ergeben sich allerdings bei der vorgestellten Methode durch die Übertragung der Messgrößen aus den Profilbeschreibungen der österreichischen Bodenschätzung in die jeweilige deutsche Klassifizierung. Dieser Schritt ist aber unumgänglich, da sämtliche brauchbare Bewertungsverfahren in der Bundesrepublik entwickelt wurden und diese sich zum Großteil für ihre Berechnungen der Bodenkundlichen Kartieranleitung bedienen. Zur Minimierung der Fehlerwahrscheinlichkeit wurden zusätzlich die Daten der Landwirtschaftlichen Bodenkartierung Österreichs für die Verifizierung der Schätzungsdaten herangezogen. Zusätzlich musste aufgrund der fehlenden pH-Wert-Bestimmung im Zuge der Bodenschätzung hier auf die Analysedaten der Landwirtschaftlichen Kartierung zurückgegriffen werden, die jedoch wegen deren kleinmaßstäbigerer Aufnahmemethode nicht die Exaktheit der Schätzungsdaten aufweisen. Eine andere Möglichkeit zur Herleitung des pH-Wertes stand aber nicht zur Verfügung.

Am Beispiel der Bodenart wird deutlich, welche Unschärfen sich bei der Übertragung von Datensätzen von einem System in das andere ergeben können. Die Abbildung 1 zeigt, dass bei der Übersetzung der acht Bodenartenklassen der österreichischen Bodenschätzung in die 31 Bodenartenklassen des deutschen Texturdreiecks trotz der Zuhilfenahme von Analysedaten der Landwirtschaftlichen Bodenkartie-

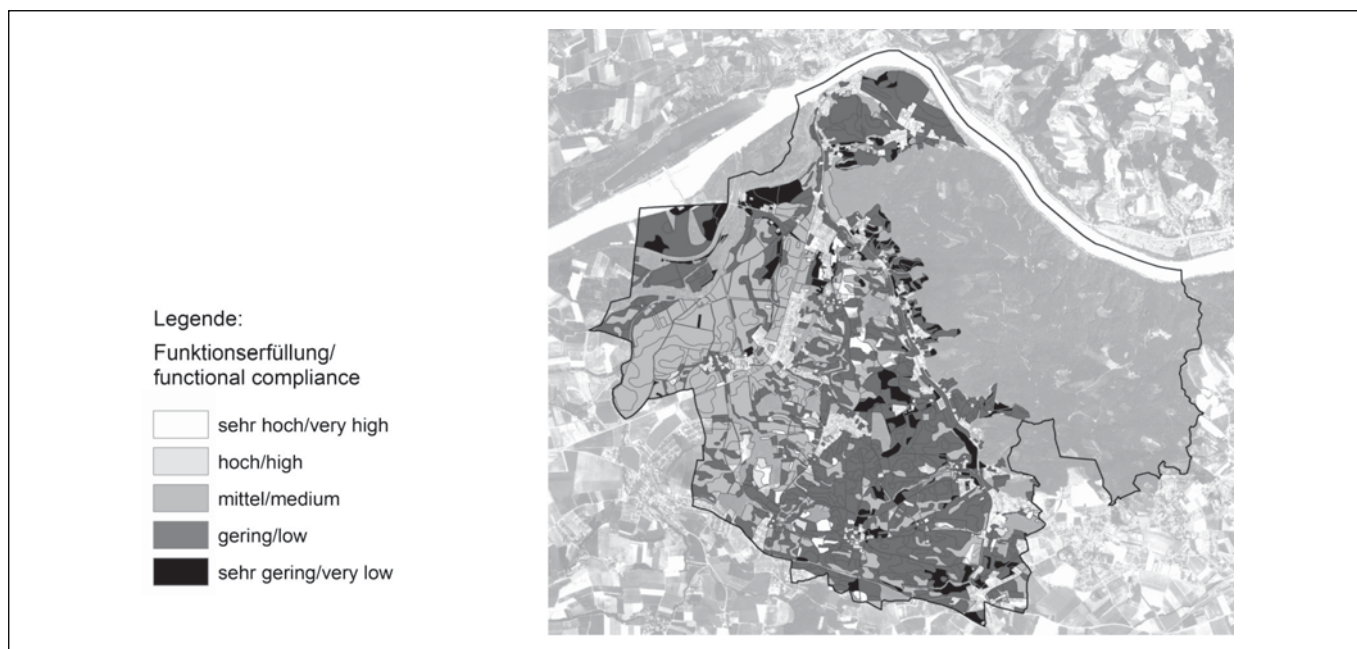


Abbildung 4: Darstellung der Filter- und Pufferfunktion für Schwermetalle

Figure 4: Diagram of the filter and buffer function of soils for heavy metals

rung ein großer Übertragungsspielraum bleibt. Ein sandiger Lehm (sL) der Bodenschätzung kann nun dem Lehmschluff Ut2 oder dem Tonschluff Lu zugeordnet werden (vgl. Abbildung 1). Auf die Interpretation der nutzbaren Feldkapazität wirkt sich das insofern aus, als bei sonst gleichen Voraussetzungen im ersten Fall die nFK 26 mm/dm bzw. im zweiten Fall 17 mm/dm betragen würde.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Anwendung der entwickelten Bewertungsverfahren für den österreichischen Datenbestand grundsätzlich möglich ist, die angeführten Fehlerquellen allerdings in der weitergehenden Verwendung der Bewertungen berücksichtigt werden müssen bzw. zusätzliche Felduntersuchungen notwendig sind.

Literatur

- AD-HOC-AG BODEN (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. 5. Auflage: Hannover.
- AD-HOC-AG BODEN (2007): Methodenkatalog zur Bewertung natürlicher Bodenfunktionen, der Archivfunktion des Bodens, der Nutzungsfunktion „Rohstofflagerstätte“ nach BBodSchG sowie der Empfindlichkeit des Bodens gegenüber Erosion und Verdichtung. 2., überarb. Auflage.
- BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT UND BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ (2003): Das Schutzgut Boden in der Planung – Bewertung natürlicher Bodenfunktionen und Umsetzung in Planungs- und Genehmigungsverfahren. Augsburg.
- BLUM, W.E.H. (2005): Functions of soil for society and the environment. *Reviews in Environment Science and Bio/Technology* 4, 75–79.
- BLUM, W.E.H. (2010): Die Sanduhr läuft. *Politische Ökologie* 119, 36–39.
- BOUMA, J. (1989): Using soil survey data for quantitative land evaluation. *Advances in Soil Science* 9, 177–213.
- GRÖNGRÖFT, A., B. HOCHFELD, G. MIEHLICH (2001): Funktionale Bewertung von Böden bei großmaßstäbigen Planungsprozessen. Universität Hamburg.
- LEHMANN, A., S. DAVID, K. STAHR (2008): TUSEC – Eine Methode zur Bewertung natürlicher und anthropogener Böden. In: Hohenheimer Bodenkundliche Hefte. Heft 86, Stuttgart.
- MCBRATNEY, A.B., B. MINASNY, S.R. CATTLE, R.W. VERVOORT (2002): From pedotransfer functions to soil inference systems. *Geoderma* 109, 41–73.
- NORTCLIFF, S. (2002): Standardisation of soil quality attributes. *Agric. Ecosyst. Environ.* 88, 161–168.

SCHEFFER, F. & P. SCHACHTSCHABEL (2002): Lehrbuch der Bodenkunde. 15. Auflage, Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg Berlin.

STAHR, K., E. KANDELER, L. HERMANN, T. STRECK (2008): Bodenkunde und Standortlehre. Eugen Ulmer, Stuttgart.

UMWELTBUNDESAMT (1999): Datenschlüssel Bodenkunde. Empfehlung zur einheitlichen Datenerfassung in Österreich. Wien.

UMWELTMINISTERIUM BADEN WÜRTTEMBERG (1995): Bewertung von Böden nach ihrer Leistungsfähigkeit – Leitfaden für Planungen und Gestattungsverfahren. Luft, Boden, Abfall, Heft 31.

WAGNER, J. (2001): Bodenschätzung in Österreich. *Mitt. d. Österr. Bodenkundl. Ges.* Heft 62, 69–104.

WÖSTEN, J.H.M., Y.A. PACHEPSKY, W.J. RAWLS (2001): Pedotransfer functions: bridging the gap between available basic soil data and missing soil hydraulic characteristics. *J. Hydrol.* 251, 123–150.

WPA BERATENDE INGENIEURE (2000): Überprüfung von drei in Österreich üblichen Modellansätzen zur Ermittlung der Nitrataustragsgefährdung. Endbericht.

Quellen

Quelle 1: STEUER- UND ZOLLKOORDINATION LINZ: Fachbereich für Gebühren und Verkehrssteuern, Bewertung. Bodenschätzung Oberösterreich.

Quelle 2: BUNDESAMT FÜR WALD: URL: <http://bfw.ac.at/rz/bfwcms.web?dok=7066>. Letzter Zugriff: 02.03.2010.

Quelle 3: ZENTRALANSTALT FÜR METEOROLOGIE UND GEODYNAMIK: Messstation Hörsching. URL: <http://www.zamg.ac.at/klima/klimadaten/klimanormalwerte/index.php>. Letzter Zugriff: 12.01.2010.

Anschrift der Autoren

Dipl.-Ing. Dr. Hans-Peter Haslmayr, Gstocket 60, 4072 Alkoven

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Martin H. Gerzabek, Universität für Bodenkultur, Department für Wald- und Bodenwissenschaften, Institut für Bodenforschung, Peter-Jordan-Straße 82, 1190 Wien

Eingelangt am 30. Oktober 2009

Angenommen am 28. September 2010