

# Über die systematische Einordnung podsolierter Böden in den ostbayerischen Mittelgebirgen (ein Vergleich zwischen WRB 2006 und KA5)

H. Förster, F. Ullrich und P. Schad

## On the classification of podzols of the eastern Bavarian mountain ranges (a comparison of WRB 2006 and KA5)

### 1 Einleitung

Im Rahmen länderübergreifender Arbeiten stellt sich die Frage, wie die auf nationaler Ebene erstellten bodenkundlichen Kartenwerke inhaltlich miteinander vergleichbar sind, wenn die jeweils zugrunde liegenden nationalen Bodenklassifikationen teilweise erheblich voneinander abweichen. Die Korrelierung und Harmonisierung von Bodenklassifikationen voranzutreiben, war einer der Gründe, weshalb ein Arbeitskreis der Internationalen Bodenkundlichen Union (IBU) in Zusammenarbeit mit der Food and

Agriculture Organization of the United Nations (FAO) und dem International Soil Reference and Information Centre (ISRIC) die World Reference Base for Soil Resources (WRB) entwickelt hat, deren zweite Auflage im englischen Original 2006 und auf Deutsch 2008 erschienen ist (IUSS WORKING GROUP WRB, 2008). Sie soll als Referenzsystem einen Vergleich zwischen den verschiedenen Klassifikationen erleichtern.

Innerhalb des von der EU geförderten grenzübergreifenden Projekts „Schaffung geologischer und hydrologischer Informationsgrundlagen“ war zu klären, inwieweit unsere

### Summary

The feasibility of correlation between the German Soil Systematics (AD-HOC-ARBEITSGRUPPE BODEN, 2005) and the WRB (IUSS WORKING GROUP WRB, 2008) was studied using podzolized soils of eastern Bavarian mountain ranges as an example. The result was that the “morphogenetic principle” of the German Soil Systematics is not suitable for allocating these soils. Although the process of podzolization is clearly established analytically, many eluvial and illuvial horizons do not show the characteristics required by AD-HOC-ARBEITSGRUPPE BODEN (2005). Such mismatches are avoided in the WRB classification because the WRB definitions use both morphological and analytical criteria. It is recommended to revise the definition of the Podzole horizons in the German classification accordingly.

**Key words:** Podzole, Podzols, WRB 2006, KA5, mountain ranges.

### Zusammenfassung

Am Beispiel podsolierter Böden aus den ostbayerischen Mittelgebirgen wurde überprüft, inwieweit die in der deutschen Kartieranleitung KA5 verwendete Bodensystematik (AD-HOC-ARBEITSGRUPPE BODEN, 2005) mit der internationalen Klassifikation der WRB (IUSS WORKING GROUP WRB, 2008) korrelierbar ist. Es zeigt sich, dass das „morphogenetische Prinzip“ der deutschen Systematik für die Ansprache ostbayerischer Mittelgebirgspodzole meist nicht geeignet ist, da deren Illuvial- und Eluvialhorizonte oft nicht die erforderlichen Merkmale (AD-HOC-ARBEITSGRUPPE BODEN, 2005) aufweisen, obwohl eine Podsol-Dynamik in diesen Böden analytisch klar belegt ist. Solche Diskrepanzen werden in der WRB-Klassifikation vermieden, weil sie neben morphologischen Kriterien verstärkt auch analytische Parameter zur Definition heranzieht. Es wird vorgeschlagen, in Anlehnung an die WRB die Definition der Podsol-Horizonte in der deutschen Bodensystematik zu überarbeiten.

**Schlagworte:** Podzole, Podzols, WRB 2006, KA5, Mittelgebirge.

nach der deutschen Kartieranleitung (AD-HOC-ARBEITSGRUPPE BODEN, 2005) formulierten Bodeneinheiten mit dieser WRB korrelierbar sind. Diese Frage wurde von uns am Beispiel podsolierter Böden des Bayerischen und des Oberpfälzer Waldes untersucht.

## 2 Das Untersuchungsgebiet

Bayerischer Wald und Oberpfälzer Wald bilden einen NW-SO verlaufenden Gebirgszug, der sich über rund 200 km erstreckt. Die höchsten Erhebungen entfallen auf den Bayerischen Wald (Großer Arber, 1456 m NN), während im nördlich anschließenden Oberpfälzer Wald Höhenlagen von 900 m NN kaum überschritten werden.

Das insgesamt kontinentale Klima weist bereits deutlich ozeanische Züge auf mit kühlen, regenreichen Sommern und zahlreichen Nebeltagen, v. a. in den höheren Mittelgebirgslagen. Aufgrund der schneereichen und kalten Winter bleiben in den Kammlagen (oberhalb ca. 1200 m NN) Alt-schneereste oft bis in den Frühsommer hinein liegen (BAYERISCHER KLIMAFORSCHUNGSVERBUND, 1996).

Der Waldanteil dieses Mittelgebirges fällt mit ca. 50 % relativ hoch aus, wobei die geschlossenen Waldgebiete vorwiegend oberhalb ca. 700 m NN einsetzen. Unterhalb ca. 1200 m NN dominieren Bergmischwälder mit hohem Buchenanteil, während in den Kammlagen artenarme, lichte Fichtenwälder mit dichtem Zwergstrauch- und Grasunterwuchs (*Callamagrostis villosa*-Piceetum nach WALEN-TOWSKI und GULDER, 2001) dominieren.

## 3 Ausgangsgestein und Böden

Als Ausgangsgestein liegen meist Granite und Gneise wechselnder Ausprägung vor. Die daraus hervorgegangenen Verwitterungsdecken sind lehmig-sandiger Ausprägung und sehr skelettreich. Auffällig ist ein mit der Höhenlage zunehmender Blockanteil, der an der Geländeoberfläche als Blockstreu kenntlich ist. Die Substrate sind eiszeitlich durch solifluidale und kryoturrate Prozesse überprägt worden, mit einem lockeren oberen Schichtglied (sog. Hauptlage) über einem dichteren Untergrund (sog. Basislage). Besonders markant ist diese Abfolge oberhalb ca. 1200 m NN ausgebildet, wo unter einer locker gelagerten, humusreichen Hauptlage eine betonartig verfestigte Basislage mit fahlgelblichbrauner Färbung und einem hangparallel orientierten Lamellengefüge einsetzt (ELLING et al., 1987).

Die holozäne Bodenbildung erfolgte vorwiegend in der lockeren Hauptlage.

Die bodenkundliche Übersichtskartierung des Bayerischen Landesamts für Umwelt ergab eine klare Höhenzonierung der Böden. In Abhängigkeit von Klima, Relief und Waldgesellschaften haben sich auf diesen basenarmen, stark sauren Substraten vorwiegend Braunerden (darunter auch Lockerbraunerden) und Podsole entwickelt (PELISEK, 1969). Podsole zeichnen sich aus durch eine relativ mächtige, biologisch inaktive organische Auflage unter Wald, eine Auswaschung (v. a. von Eisen, Aluminium und Humus) im Oberboden und eine entsprechende Anreicherung im Unterboden (SAUER et al., 2007). Im Bereich der ostbayerischen Mittelgebirge dominieren sie in den Kammbereichen oberhalb ca. 1200 m NN, sind aber noch bis ca. 900 m NN hinab verbreitet. Unterhalb ca. 900 m NN sind podsolier-te Böden nur kleinräumig anzutreffen.

## 4 Methodik

Aus den Datenbeständen des Bayerischen Landesamtes für Umwelt wurden repräsentative Böden des Bayerischen und des Oberpfälzer Waldes ausgewählt, welche aus Granit- oder/und Gneissubstraten hervorgegangen sind, keinen erkennbaren Grund- oder Staunäseeinfluss aufweisen und über einen spodic horizon gemäß WRB verfügen. Es handelt sich damit um die Reference Soil Group der Podzols (IUSS WORKING GROUP WRB, 2008).

Die Farbansprachen an den ausgewählten Pedons erfolgten unmittelbar an der Profilwand anhand von MUNSSELL-Farbtafeln. Oxalatlösliches Eisen ( $\text{Fe}_{\text{ox}}$ ) und Aluminium ( $\text{Al}_{\text{ox}}$ ) extrahierte man nach SCHWERTMANN (1964) bzw. MEHRA und JACKSON (1960), um es anschließend mittels ICP-AES zu messen. Die Gehalte an organischem Kohlenstoff wurden nach Trockenveraschung und gaschromatographischer Trennung bestimmt. Für eine Reihe von Bodenprofilen wurde ferner im Na-Pyrophosphat-Extrakt Kohlenstoff ( $\text{C}_p$ ) und Eisen ( $\text{Fe}_p$ ) erfasst (STAHR, 1979).

Weil nur die in 0,01 M  $\text{CaCl}_2$ -Lösung gemessenen pH-Werte vorlagen, ließ sich nicht direkt prüfen, ob das für einen spodic horizon erforderliche pH-Kriterium (in  $\text{H}_2\text{O}$  gemessen < 5,9) erfüllt wird (IUSS WORKING GROUP WRB, 2008). Da aber in  $\text{CaCl}_2$  gemessene pH-Werte regelmäßig ca. 0,5–1,0 Einheiten unter den in  $\text{H}_2\text{O}$  gemessenen liegen (AD-HOC-ARBEITSGRUPPE BODEN, 2005), sollten alle Horizonte mit  $\text{pH}(\text{CaCl}_2)$ -Werten < 4,9 das pH-Kriterium eines spodic horizon erfüllen.

## 5 Ergebnisse

### 5.1 Bodensystematische Zuordnung nach WRB

Die Reference Soil Group (RSG) der Podzols wird gemäß WRB durch den spodic horizon als diagnostischen Horizont definiert. Werden die dafür erforderlichen Kriterien innerhalb von 200 cm unter der Mineralbodenoberfläche erfüllt, so ist das betreffende Pedon als Podsol einzustufen, sofern es nicht gemäß Bestimmungsschlüssel der WRB schon vorher ausgegliedert wird. Zusätzlich können solche Böden einen gebleichten Verarmungshorizont (bei starker Ausprägung: albic horizon) aufweisen, der aber für einen Podsol nicht zwingend erforderlich ist.

Ansprachekriterien für einen solchen spodic horizon sind bodenchemische Parameter sowie verschiedene morphologische Merkmale (IUSS WORKING GROUP WRB, 2008). Von den ermittelten 23 spodic horizons werden diese Anforderungen wie folgt erfüllt (vgl. IUSS WORKING GROUP WRB, 2008):

1.  $\text{pH}(\text{CaCl}_2) < 4,9$  (s. o.),
2.  $C_{\text{org}}$ -Gehalt mindestens 0,5 M.-%,
3. ein albic horizon nach WRB liegt unmittelbar darüber, und die gemäß WRB erforderlichen Hue-, Value- und Chromawerte werden erreicht,  
**oder**  
 ein albic horizon fehlt,  
 und  
 Gehalt  $(\text{Al}_{\text{ox}} + \frac{1}{2} \text{Fe}_{\text{ox}}) \geq 0,5 \%$  und gleichzeitig Gehalt  $(\text{Al}_{\text{ox}} + \frac{1}{2} \text{Fe}_{\text{ox}})$  mindestens doppelt so hoch wie in einem darüber gelegenen Mineralbodenhorizont,  
 und  
 die nach WRB erforderlichen Hue-, Value- und Chromawerte werden erreicht,
4. ist nicht Teil eines natric horizons,
5. Horizontmächtigkeit wenigstens 2,5 cm.

Den zugehörigen 23 Podzols ist gemäß WRB meist der Präfix-Qualifier Entic oder Albic und der Suffix-Qualifier (Skeletal) zuzuordnen. Sie dominieren in den durch Nadelwälder bestockten, kühlfeuchten Kammlagen des Bayerischen Waldes. Charakteristisch sind große Auflagenmächtigkeiten, die jedoch 10 cm selten überschreiten (was dann zum Präfix-Qualifier Follic führen würde). Deutlich messbare Humusgehalte finden sich bei diesen Böden regelmäßig noch bis in den C-Horizont hinein (FÖRSTER, 1988).

Ein albic horizon nach WRB liegt bei der Mehrzahl dieser Pedons nicht vor, weil der Grauwert (Value) des Eluvialbereichs zu dunkel ausfällt. Dies ändert aber nichts an ihrer Zuordnung zur RSG der Podzols.

### 5.2 Bodensystematische Zuordnung nach KA5

Nach den Vorstellungen der deutschen Bodensystematik sollten Verarmungs- bzw. Akkumulationsprozesse bei Podzolen stets zu einer charakteristischen Ausprägung des zugehörigen Horizonts führen. Aus der Morphe eines Horizonts sollten also eindeutige Rückschlüsse auf abgelaufene bzw. noch ablaufende Prozesse möglich sein (sogenanntes morphogenetisches Prinzip).

Podzole der deutschen Bodensystematik müssen stets über einen Eluvialbereich (Ae) verfügen. Die konkreten Anforderungen für diesen Auswaschungshorizont werden allerdings in der KA5 nicht eindeutig formuliert bzw. durch ein vorangestelltes „meist“ relativiert (AD-HOC-ARBEITSGRUPPE BODEN, 2005). Für dessen Ansprache bleibt dem Bearbeiter daher ein breiter Ermessensspielraum, womit der Verarmungshorizont einen fakultativen Charakter erhält.

Erforderlich für den Bodentyp Podsol der KA5 ist stets eine Illuvialzone in Form eines B(s)h- und eines B(h)s-Horizonts. Weil im Bs-Horizont die einwaschungsbedingte Anreicherung von Sesquioxiden (insbesondere von rot färbenden Eisenoxiden) abläuft, muss der zugehörige Farbwert (Hue) gemäß KA5 wenigstens eine Stufe stärker rot ausfallen als im darüber und im darunter folgenden Horizont (AD-HOC-ARBEITSGRUPPE BODEN, 2005). Außerdem muss der  $C_p/\text{Fe}_p$ -Quotient kleiner als 3 sein.

Dem typischen Humus-Anreicherungs-horizont Bh fehlt eine farblich hervortretende Sesquioxidanreicherung. Stattdessen zeichnet er sich aus durch eine Humuszunahme, die allerdings in der KA5 nicht näher definiert wird (AD-HOC-ARBEITSGRUPPE BODEN, 2005). Analog zur Sesquioxidansprache bei Bs-Horizonten und in Anlehnung an die Humusschätzung nach KA5, wurde diese Anforderung für unsere Zwecke wie folgt präzisiert: Der Grauton (Value) eines Bh-Horizonts muss wenigstens um eine Stufe dunkler ausfallen als im darüber und im darunter liegenden Horizont. Zusätzlich verlangt die KA5 für den Bh-Horizont einen  $C_p/\text{Fe}_p$ -Wert  $> 10$ .

Bsh- und Bhs-Übergangshorizonte unterscheiden sich morphologisch kaum voneinander, da gemäß KA5 in beiden Fällen sowohl eine Sesquioxid- wie auch eine Humusanreicherung erkennbar sein muss und der  $C_p/\text{Fe}_p$ -Wert

zwischen 3 und 10 variieren muss (AD-HOC-ARBEITSGRUPPE BODEN, 2005).

Von den 23 spodic horizons erfüllen 10 die Hue- bzw. Value-Kriterien eines Bs-, Bh-, Bsh- bzw. Bhs-Horizonts nach KA5 (Tab. 1). Davon verfügen wiederum vier über den für einen Bs-Horizont verlangten  $C_p/Fe_p$ -Quotienten  $< 3$ , doch nur ein einziger dieser vier zeigt die für einen Bs-Horizont geforderte morphologisch erkennbare Sesquioxidanreicherung bei gleichzeitiger Abwesenheit einer morphologisch erkennbaren Humusanreicherung an. Bei zwei weiteren Horizonten liegt der Quotient zwar in der für einen Bsh- bzw. Bhs-Horizont geforderten Spanne (3–10), jedoch ist in beiden Fällen nur die Sesquioxidanreicherung morphologisch erkennbar, während eine entsprechende Humusanreicherung fehlt. Für die verbliebenen vier spodic horizons wurde der Quotient nicht bestimmt. Im günstigsten Fall erfüllt also lediglich ein knappes Viertel der 23 spodic horizons auch alle Anforderungen für einen der Illuvialhorizonte gemäß KA5 (Abb. 1).

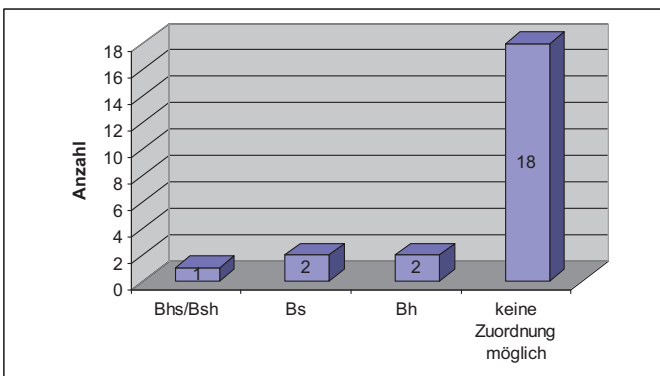


Abbildung 1: Zuordnung der 23 spodic horizons zu Illuvialhorizonten der KA5

Figure 1: Translation of the 23 spodic horizons into the German Soil Systematics (KA5)

## 6 Diskussion

Von der WRB wird der spodic horizon definiert durch die Kombination von analytischen und morphologischen Kriterien. Diese Einbeziehung analytischer Kennwerte ermöglicht es, im Gelände erfolgte morphologische Ansprachen durch standardisierte Messverfahren abzusichern. Unbefriedigend ist die Regelung der WRB bei Pedons, deren Unterbodenhorizont die Anforderungen eines spodic horizon nur knapp verfehlt. Für diesen Fall ist kein geeigneter Qualifier (z. B. Hypospodic) vorgesehen. Es gibt lediglich die Möglichkeit, eine beginnende Bleichung des A-Horizonts

mit dem Suffix-Qualifier (Greyic) und den niedrigen Basenstatus mit dem Suffix-Qualifier (Dystric) zu benennen (IUSS WORKING GROUP WRB, 2008). Aus diesem Grund müssen ostbayerische Mittelgebirgsböden oft als Haplic Cambisol (Dystric, Greyic) angesprochen werden, obwohl Podsolierungsprozesse deutlich analytisch nachweisbar sind.

Unsere Resultate verdeutlichen, dass die Anwendung des „morphogenetischen Prinzips“ für podsolierte Böden ostbayerischer Mittelgebirge oft zu unbefriedigenden Resultaten führt.

Ein Podsol-Verarmungshorizont ist bei diesen Böden morphologisch meist nur schwach ausgebildet bzw. fehlt (Tab. 1), obwohl Analysenergebnisse eine markante Sesquioxidabfuhr ergeben. Farbkriterien sind demnach in dieser Bodenlandschaft zur Ansprache von Eluvialhorizonten wenig geeignet. Die Ursache dafür ist in den hohen Humusgehalten zu sehen, welche den Verarmungsbereich dieser Böden farblich überdecken (FÖRSTER und ULLRICH, 2007). Auch die Anreicherungshorizonte zeigen oft nicht die nach KA5 geforderten Farbunterschiede gegenüber den darüber oder darunter liegenden Horizonten, obwohl Sesquioxid- bzw. Humus-Peaks analytisch klar belegt sind. Hier ist darauf hinzuweisen, dass Farbansprachen generell mit erheblicher Unsicherheit bzw. Subjektivität behaftet sind (BLUME et al., 2010). Der Einsatz elektronischer Farbanalysegeräte könnte dieser Subjektivität abhelfen, die Verwendung normierter Farbtafeln jedoch nur teilweise. Die vorwiegend morphologisch bzw. an Farbunterschieden orientierte Horizontansprache der KA5 ist daher mit erheblicher Unsicherheit behaftet und nur mit Einschränkungen geeignet. Hinzu kommt, dass die beiden Parameter, die bei der Definition der einzelnen Parameter verwendet werden, nämlich Farbunterschied und  $C_p/Fe_p$ -Quotient, in der Realität nicht immer so kombiniert sind, wie von der Definition vorgesehen: Für Bs-Horizonte wird ein Quotient  $< 3$ , eine erkennbare Sesquioxidanreicherung und das Fehlen einer erkennbaren Humusanreicherung verlangt. Für Bsh- und Bhs-Horizonte muss dagegen der Quotient zwischen 3 und 10 liegen, und eine Anreicherung beider Stoffgruppen muss sichtbar sein. Für Bh-Horizonte schließlich ist ein Quotient  $> 10$  erforderlich sowie eine erkennbare Humusanreicherung, doch darf keine Sesquioxidanreicherung wahrnehmbar sein. Wie Tab. 1 zeigt, sind diese von der Definition geforderten Kombinationen in der Regel nicht gegeben.

Weil die bundesdeutsche Kartieranleitung den Anspruch auf eine deutschlandweite Gültigkeit erhebt, sollten deren Kriterien auch zur Ansprache ostbayerischer Mittelgebirgs-

Podzole geeignet sein. Es wäre daher erforderlich, die Horizontdefinitionen der KA5 in Einklang zu bringen mit den morphologischen und analytischen Gegebenheiten dieser Böden. Zu diesem Zweck müssten die bisherigen Farbkriterien der KA5 modifiziert und durch aussagekräftige Analysenkennwerte abgesichert werden. Das bisher verwendete  $C_p/Fe_p$ -Kriterium dürfte dafür allerdings wenig geeignet sein, worauf die vorliegenden Ergebnisse hinweisen (Tab. 1).

Neben der Relativierung des „morphogenetischen Prinzips“ wäre aus unserer Sicht auch eine Präzisierung der Horizontdefinitionen notwendig, um so die Ansprache von Verarmungs- und Anreicherungshorizonten zu erleichtern. Gegenwärtig bleibt es dem jeweiligen Bearbeiter überlassen, wie er mit den vorhandenen Definitionsunschärfen bzw. Definitionslücken der KA5 (s. o.) umgeht.

Die vorgeschlagene Überarbeitung der Horizontdefinitionen sollte nach unserer Auffassung in Anlehnung an die WRB durchgeführt werden.


## Danksagung


Diese Arbeit wurde im Rahmen des vom Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit sowie von der EU geförderten Projekts „Schaffung geologischer und hydrologischer Informationsgrundlagen“ durchgeführt. Den Laborkräften des LfU danken wir für die sorgfältige Durchführung der zahlreichen Analysen.


Tabelle 1: Zuordnung der 23 spodic horizons zu Illuvialhorizonten der KA5

Table 1: Translation of the 23 spodic horizons into the German Soil Systematics (KA5)

| Podzols (WRB) Nr. | Eluvialbereich | HUE Spodic horizon | Liegendes | Eluvialbereich | VALUE Spodic horizon | Liegendes | Cp/Fep Illuvialbereich | Illuvialhorizont (KA5) |
|-------------------|----------------|--------------------|-----------|----------------|----------------------|-----------|------------------------|------------------------|
| 1                 | 7,5YR          | 5YR                | 10YR      | 2              | 4                    | 4         | n.b.                   |                        |
| 2                 | 5YR            | 5YR                | 10YR      | 3              | 3                    | 6         |                        |                        |
| 3                 | 10YR           | 7,5YR              | 10YR      | 5              | 4                    | 5         | 1,4                    |                        |
| 4                 | 7,5YR          | 7,5YR              | 2,5Y      | 4              | 4                    | 6         |                        |                        |
| 5                 | 7,5YR          | 7,5YR              | 10YR      | 3              | 4                    | 5         |                        |                        |
| 6                 | 5YR            | 7,5YR              | 10YR      | 2              | 4                    | 4         |                        |                        |
| 7                 | 5YR            | 5YR                | 7,5YR     | 2              | 4                    | 5         |                        |                        |
| 8                 | 7,5YR          | 7,5YR              | 10YR      | 3              | 4                    | 5         |                        |                        |
| 9                 | 5YR            | 7,5YR              | 7,5YR     | 2              | 3                    | 3         |                        |                        |
| 10                | 7,5YR          | 7,5YR              | 10YR      | 2              | 3                    | 4         |                        |                        |
| 11                | 5YR            | 5YR                | 10YR      | 2              | 3                    | 4         |                        |                        |
| 12                | 5YR            | 7,5YR              | 2,5Y      | 2              | 4                    | 4         |                        |                        |
| 13                | 10YR           | 5YR                | 2,5Y      | 4              | 4                    | 5         | 2,8                    | Bs                     |
| 14                | 7,5YR          | 5YR                | 10YR      | 6              | 3                    | 5         | 2                      |                        |
| 15                | 2,5Y           | 7,5YR              | 10YR      | 7              | 4                    | 5         | 2,1                    |                        |
| 16                | 5YR            | 5YR                | 10YR      | 5              | 3                    | 5         | 3,5                    |                        |
| 17                | 2,5Y           | 2,5YR              | 10YR      | 5              | 2                    | 6         | 6                      |                        |
| 18                | 7,5YR          | 5YR                | 10YR      | 5              | 3                    | 4         | n.b.                   |                        |
| 19                | 7,5YR          | 7,5YR              | 10YR      | 4              | 5                    | 6         |                        |                        |
| 20                | 5YR            | 5YR                | 10YR      | 3              | 3                    | 4         |                        |                        |
| 21                | 5YR            | 5YR                | 10YR      | 4              | 3                    | 5         | n.b.                   |                        |
| 22                | 7,5YR          | 7,5YR              | 10YR      | 3              | 3                    | 4         |                        |                        |
| 23                | 5YR            | 5YR                | 10YR      | 5              | 4                    | 6         | n.b.                   |                        |

 Hue für Bs bzw. Bsh/Bhs der KA5 erfüllt

 Value für Bh bzw. Bsh/Bhs der KA5 erfüllt

 Cp/Fep für Bs der KA5 erfüllt

## Literatur

- AD-HOC-ARBEITSGRUPPE BODEN (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. 5. Auflage, Schweitzerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- BAYERISCHER KLIMAFORSCHUNGSVERBUND (1996): Klimatlas von Bayern. München.
- BLUME, H.P., G.W. BRÜMMER, R. HORN, E. KANDELER, I. KÖGEL-KNABNER, R. KRETZSCHMAR, K. STAHR und B.M. WILKE (2010): Scheffer/Schachtschabel: Lehrbuch der Bodenkunde. 16. Auflage, Heidelberg.
- ELLING, W., E. BAUER, G. KLEMM und H. KOCH (1987): Klima und Böden. Nationalpark Bayerischer Wald (Schriftenreihe) 1, 2. Auflage.
- FÖRSTER, H. (1988): Bodenkundliche und hydrologisch-hydrochemische Untersuchungen in ausgewählten Hochlagegebieten des Inneren Bayerischen Waldes. Diss. Forstwiss. Fak., Univ. München.
- FÖRSTER, H. und F. ULLRICH (2007): Zur Humusausstattung ostbayerischer Mittelgebirgsböden. UWSF-Z. Umweltchem. Ökotox. 19, 234–239.
- IUSS WORKING GROUP WRB (2008): World reference base for soil resources 2006, World soil resources reports, 103, Rome. Erstes Update 2007, Deutsche Ausgabe, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover.
- MEHRA, O.P. und M.L. JACKSON (1960): Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. Clays Clay Min. 5, 317–327.
- PELISEK, J. (1969): Die vertikale Bodenzonalität im Gebiet des Böhmisches Massivs. Z. Pflanzenernaehr., Bodenk., 124, 148–156.
- SAUER, D., H. SPONAGEL, M. SOMMER, L. GIANI, R. JAHN und K. STAHR (2007): Podsol: Soil of the Year 2007. A review of its genesis, occurrence and functions. J. Plant Nutr. Soil Sci. 170, 581–597.
- SCHWERTMANN, U. (1964): Differenzierung der Eisenoxide des Bodens durch Extraktion mit Ammoniumoxalat-Lösung. Z. Pflanzenernaehr., Düng., Bodenk., 105, 194–202.
- STAHR, K. (1979): Die Bedeutung periglazialer Deckschichten für Bodenbildung und Standorteigenschaften im Südschwarzwald. Freiburger Bodenkundliche Abhandlungen 9, Freiburg i. Br.
- WALENTOWSKI, H. und H.J. GULDER (2001): Die acht landschaftsprägenden Waldgesellschaften Bayerns. LWF aktuell 31, 16-22.

## Anschrift der Autoren

**Dr. Helmwart Förster**, Bayerisches Landesamt für Umwelt, Dienststelle Marktredwitz, Leopoldstr. 30, D-95615 Marktredwitz, E-Mail: helmwart.foerster@lfu.bayern.de

**Frank Ullrich**, Bayerisches Landesamt für Umwelt, Dienststelle Hof, Hans-Högn-Str. 12, D-95030 Hof, E-Mail: frank.ullrich@lfu.bayern.de

**Dr. Peter Schad**, Lehrstuhl für Bodenkunde der TU München, Emil-Ramann-Str. 2, D-85354 Freising, E-Mail: schad@wzw.tum.de

Eingelangt am 24. Februar 2010

Angenommen am 5. Oktober 2011