



Scopus Indexed Journal

Waldökologie, Landschaftsforschung und Naturschutz – *Forest Ecology, Landscape Research and Nature Conservation*

www.afsv.de/index.php/waldoekologie-landschaftsforschung-und-naturschutz


Nährstoffstatus naturnaher Böden in Europa

Soil nutrient status of natural soils in Europe

Eckart Kolb, Karl Heinz Mellert & Axel Göttlein

Abstract

So far, a map summarizing the nutrient availability of natural soils in Europe is not available. Such a map is required e.g. for the prediction of vegetation changes due to anthropogenic depositions and climate change. In this project the soil map 1 : 1.000.000 of the European Soil Data Center (ESDAC) of the European Commission was used. For each soil mapping unit (SMU), the dominating FAO soil type was attributed to a ten-part nutrient classification system. In this expert-based classification, the soil types are ranked by the nutrient supply of the soil, in which the maximum plant growth is to be expected in the middle range (code number 4) where the nutrient supply is well balanced. In addition to the expected composition of the nutrient supply, the intensity of nutrient supply and typical deficiencies are the decisive criteria for the classification of soils. Thus, potential nutrient limits on carbonatic soils (code number 5 and 6) are separated from those on acid soils (code number 1 and 2). Another four classes were required to characterize soil types which are strongly dominated by one specific cation (code number 7), which are water-saturated (code numbers 8 and 9) or which are unrecognizable due to coverage by glaciers, waters, or cities. Since the nutrient supply of some soil types varies in a wide range, the classification of soils is not always clear. In such cases additional information on geology was used. For rendzinoid soils in mountains the altitude range derived from a DTM was used to distinguish between the more and less favorable subtypes. This map and the evaluation scheme presented was the basis for a macroecological study on the question of compensatory soil effects at the warm-dry distribution limit of European tree species (MELLERT et al. 2017).

Keywords

nutrient status of near natural soils, nutrient supply, european soil map, FAO soil classification, macroecology, ordinal predictor

Zusammenfassung

Bislang steht keine europaweite Karte zur Verfügung, die Hinweise auf den Nährstoffstatus von Böden gibt, wie sie unter anderem für die Prognose von Vegetationsveränderungen aufgrund von Stoffeinträgen und Klimaänderungen benötigt werden. Es wurde daher auf Grundlage der Bodenkarte 1 : 1.000.000 des European Soil Data Centre (ESDAC) der Europäischen Kommission der jeweils dominierende FAO-Bodentyp jeder soil map unit (SMU) mit einem zehnteiligen Klassifikationssystem bezüglich seiner Nährstoffausstattung eingewertet. Bei diesem Klassifizierungssystem werden die Bodentypen mit zunehmender Basen- bzw. Nährstoffversorgung nach Kennziffern gereiht, wobei das Maximum der pflanzlichen Wuchseistung aber im mittleren Bereich (Kennziffer 4) bei einem ausgewogenen Angebot von Nährstoffen zu erwarten ist. Neben der Zusammensetzung des Nährstoffangebots sind typische Nährelementmängel, sowie die Intensität der Nährstoffversorgung bzw. der Mängel die entscheidenden Kriterien. So sind potentielle Nährstoffengpässe auf carbonatischen Böden (Kennziffern 5 und 6) von denen auf sauren Böden (Kennziffern 1 und 2) getrennt. Weitere vier Klassen waren erforderlich, um Bodentypen zu charakterisieren, die sehr stark durch ein Kation (z.B. Salzböden) dominiert werden (Kennziffer 7), die wassergesättigt sind (z.B. Nieder- und Hochmoor) (Kennziffern 8 und 9) oder die nicht interpretierbar waren, da sie durch Gletscher, Gewässer oder Städte bedeckt sind. Da manche Bodentypen ein sehr weites Nährstoffspektrum umfassen und daher die Zuordnung zu den Kennziffern manchmal nicht eindeutig möglich war, wurden zusätzlich geologische Informationen herangezogen. Für die rendzinoiden Böden der Gebirge wurde zusätzlich ein DGM verwendet, um die beiden Nährstoffklassen 5 und 6 zu differenzieren, da Hochgebirgsböden in der Regel eine geringere Entwicklungsdauer und eine höhere Erosionsanfälligkeit aufweisen als Böden der Niederungen und Hügelländer. Die nach dem vorgestellten Bewertungsschema uminterpretierte europäische Bodenkarte wurde im Rahmen einer makroökologischen Studie zur Frage kompensatorischer Bodeneffekte an der warm-trockenen Verbreitungsgrenze europäischer Baumarten bereits erfolgreich eingesetzt (MELLERT et al. 2017).

Schlüsselwörter

Nährstoffstatus von naturnahen Böden, Nährstoffversorgung von Pflanzen, Europäische Bodenkarte, FAO-Bodenklassifizierung, Makroökologie, Ordinale Einflussgröße

1 Einleitung

Trotz zunehmender Fortschritte in der Zusammenführung von Daten aus unterschiedlichen Ländern (PANAGOS 2006) gibt es zur Zeit keine großräumige Karte, die einen Überblick über den Status der Bodennährstoffverfügbarkeit für Wälder oder andere naturnahe terrestrische Ökosysteme in Europa gibt. Diese Übersicht sollte möglichst unabhängig vom Klima und anderen Faktoren, wie Kalkung, Düngung oder Drainage sein. Ferner soll die darzustellende Nährstoffgröße einen Bezug zur Wuchsleistung von naturnahen Pflanzenbeständen erwarten lassen. Beispiele für Nährstoffkennwerte mit nachgewiesenem Bezug zur Wuchsleistung von Wäldern sind z. B. der von KÖLLING et al. (1996) eingeführte Tiefengradient der Basenstättigung (TGBS), dessen Ableitung jedoch bodenchemische Eingangsparameter erfordert oder die Substratchemie nach KOLB (2011), die lediglich mit geologischen Eingangsinformationen auskommt (MELLERT & EWALD 2014a, 2014b). Eine solche großmaßstäbige Karte wäre jedoch von Vorteil, um beispielsweise Standorte über Ländergrenzen hinweg bezüglich ihrer jetzigen und zukünftigen Nährstoffausstattung einheitlich einzuschätzen, oder um auf dieser Basis länderübergreifende Modelle zu entwickeln. Bislang fehlt der Nährstoffstatus regelmäßig in ökologischen Nischenmodellen auf europäischer Ebene, wie sie z. B. im Bereich der Forstwirtschaft zur Klimawandelfolgeabschätzung eingesetzt werden (MELLERT et al. 2016, ZIMMERMANN ET AL. 2013). Falls Informationen über die Standortstrophie auf übernationaler oder nationaler Maßstabsebene überhaupt verwendet werden, gehen sie nur indirekt z. B. über den Bodentyp in derartige Modelle ein (z. B. DOLOS et al. 2015). Ursprüngliches Ziel der hier dargestellten Karte war es, bodenchemische Eingangsdaten für eine überregionale Fragestellung auf makroökologischer Ebene zu liefern. Im Rahmen dieser Fragestellung (MELLERT et al. 2017) wurde mithilfe von Baumartenverbreitungsmodellen untersucht, inwieweit ein günstiger Bodenwasser- und Nährstoffhaushalt die ungünstigen klimatischen Bedingungen an der warm-trockenen Verbreitungsgrenze europäischer Baumarten kompensieren kann, wie es schon WALTHER (1973) als Gesetz der relativen Standortkonstanz beschrieben hat. Mit dieser Datenpublikation machen wir die Karte zum Nährstoffstatus europäischer Böden auch anderen Wissenschaftlern zugänglich.

2 Datengrundlagen

Kartengrundlage ist die europäische Bodenkarte (ESDB) im Maßstab 1 : 1.000.000. Sie ist die derzeit beste Referenz für einheitliche Informationen zu den Böden in Europa.

Die ESDB wird vom European Soil Data Centre (ESDAC) der Europäischen Kommission zur Verfügung gestellt und steht auf der Webseite des Joint Research Centre (JRC) frei zum Download zur Verfügung (PANAGOS et al. 2011, PANAGOS, 2006). Sie beinhaltet zum einen Daten aus der Soil Geographical Database of Europe (SGDBE), und zum anderen aus einer aus Pedotransferregeln abgeleiteten Datenbank von

Bodeneigenschaften (DAROUSSIN & KING 1996, KING 1994, LAMBERT et al. 2002). Jedes Polygon der Karte wird durch eine soil map unit (SMU) charakterisiert. Diese setzt sich aus einer bis mehreren soil type units (STU) zusammen. Die Attribute werden jeweils nach der dominierenden STU vergeben. Hierbei wurden die Bodentypen jeweils nach der FAO-Systematik von 1974 und der WRB-Systematik von 2006 benannt. Weitere Informationen sind das dominierende und das zweitwichtigste Ausgangsgestein (parent material) in vier Hierarchiestufen, die dominierende und zweitwichtigste Hangneigungsklasse, die dominante und zweitwichtigste Texturklasse des Oberbodens bzw. des Unterbodens, die Tiefenstufe für einen Textursprung, die minimale und maximale Meereshöhe der jeweils dominierenden soil type unit. Zusätzlich werden die beiden wichtigsten Begrenzungen für eine landwirtschaftliche Nutzung beschrieben, das Vorhandensein von undurchdringlichen Schichten und die Tiefenstufe von Wurzelhindernissen. Die Codierung für die beiden wichtigsten Landnutzungsformen und Informationen zu Wassermanagementsystemen runden die Angaben ab. Jeder soil map unit der Karte können anhand von Pedotransferregeln abgeleitete Bodeneigenschaften zugeordnet werden.

3 Herleitung und Beschreibung der Nährstoffkarte

3.1 Grundidee

Jede Soil Mapping Unit (SMU), die durch einen dominierenden Bodentyp charakterisiert ist, wird bezüglich Art und Ausmaß der Unausgeglichenheit der Nährstoffversorgung bewertet. Dies ist möglich, da für die Klassifizierung der WRB- bzw. FAO-Bodentypen viele bodenchemische Eigenschaften, die auch für die Ernährung von Pflanzen wichtig sind verwendet werden, und damit die Expertise sowohl der das Bodenklassifizierungssystem aufstellenden Bodenkundler, als auch der kartierenden Bodenkundler in diesem Ansatz zum Tragen kommt. Ein bodentypbasierter Ansatz wurde auch von PYATT et al. (2001) im Rahmen einer ökologischen Standortklassifizierung der Wälder Großbritanniens angewendet. Es erfolgt also eine Interpretation der Bodentypen bezüglich ihres Nährstoffstatus nach einem klaren und nachvollziehbarem Regelwerk.

Diese Ansätze sind nicht für eine Beurteilung forstwirtschaftlicher Massnahmen ausreichend und müssen daher durch lokale Beobachtungen ergänzt werden (PYATT et al. 2001). Diese Karte kann daher keine Konkurrenz zu bestehenden Standortinformationssystemen der Forstverwaltung sein.

3.2 Datenaufbereitung

Es wurden gelegentlich Fehler bezüglich der Bodentypen (soil map unit) oder der Ausgangsgesteine (parent material) gefunden. Dort wo die Fehler zweifelsfrei auflösbar waren, wurden sie behoben. Beispielsweise wurden im Bregenzer Wald (Österreichische Alpen) die beiden Polygone mit den ID's 40.830 und 41.040 offensichtlich in ihrer Lage vertauscht. Das nördliche Polygon, welches im Flysch, liegt enthält in der Attributtabelle die Informationen, dass es sich um Kalkstein als Ausgangsgestein und Orthic Rendzinen als dominierendem Bodentyp handelt. Das südliche Polygon, welches im Kalkalpin liegt, ist mit Flyschgesteinen als Ausgangsgesteinen und Dystric Cambisols als dominierendem Bodentyp charakterisiert. Die offensichtlich vertauschten

Einträge in der Attributtabelle wurden in diesem Fall jeweils dem anderen Polygon zugeordnet. Ähnlich wurden weitere offensichtlich falsch zugeordnete Bodentypen korrigiert.

3.3 Grundregeln – Bewertung nur über die Bodentypen

Die Kennzeichnung des Nährstoffstatus soll v.a. zwei Aspekte der Pflanzenernährung charakterisieren, die von der Idee her klar zu differenzieren sind, in der Umsetzung aber nicht unabhängig voneinander sind. Zum einen soll das **Ausmaß der Nährstoffverfügbarkeit** der Makronährstoffe Ca, Mg, K, N, P, S bewertet werden, als Maß für die potentielle pflanzliche Wachstumsleistung. Zum anderen sollen dort, wo das Wachstum aufgrund von Nährstoffmängeln begrenzt ist, die in Frage kommenden **limitierenden Nährelemente bzw.**

Standortsfaktoren weiter spezifiziert werden. Oft handelt es sich weniger um allgemeine Nährstoffengpässe, sondern vielmehr um Ungleichgewichte der Nährstoffversorgung, für deren Charakterisierung wir zusätzlich den pH-Wert der Böden heranziehen. Die Nährstoffverfügbarkeit wird mit einer Farbcodierung wie folgt in zehn Klassen differenziert (vgl. Tab. 1 und Tab. 2):

- Böden mit relativ **ausgeglichener Nährstoffversorgung** sind in der Legende in gelb und grün dargestellt.
- Böden bei niedrigen pH-Werten, mit freiem Aluminium in der Bodenlösung und mit **tendenziellen bis deutlichen Nährstoffmängeln an Ca, Mg und P** haben die Farben orange und rot.
- Böden bei neutralem oder schwach basischen

Tab. 1: Charakterisierung der Nährstoffstatusklassen: Kennzeichnung des Nährstoffstatus bezüglich des Bodenchemismus, der Bodenreaktion, der Humusbildung und typischer Nährstoffmängel wenig angepasster Pflanzenarten. Die ersten drei Gruppen sind flächenmäßig die bedeutendsten und wurden jeweils in eine ausgeprägtere und eine weniger ausgeprägte Stufe unterteilt (s. a. Tab. 2). Dunkelblau kennzeichnet die Fortsetzung der Böden bei extrem einseitiger Ernährung und hohen pH-Werten, die aber deutlich ungünstiger und heterogener in der Nährstoffversorgung sind. Türkis und Hellviolett sind die Böden, deren Nährstoffversorgung v. a. durch hohe Wassersättigung im Boden eingeschränkt sind.

Tab. 1: *Characterization of the soil nutrient status classes: labeling of the nutrient status with regard to its soil chemistry, soil reaction, humus formation and typical nutrient deficiencies of little adapted plant species. The first three groups are by far the most frequent and have been subdivided into a more pronounced and a less pronounced stage (see Tab. 2). Dark blue represents the continuation of soils with an extreme one-sided nutritional status and high pH values, which, however, are much more unfavorable and heterogeneous in nutrient supply. Turquoise and light violet are the soils with limited nutrient supply mainly due to high water saturation in the soil.*

Farbe	Kurzcharakteristik der die Ernährung bestimmenden Faktoren	Bodenreaktion	Basensättigung Ionenstärke	Humusbildung	typische Nährstoffmängel v.a. nicht angepasster Pflanzen
gelb/grün	ausgeglichene Ernährung, ohne dass ein Kation oder Anion die Bodenlösung dominiert oder zu induzierten Nährstoffmängeln führt	schwach sauer bis neutral	mittel bis hoch	Humusanreicherung mittel, bei tiefgründig lehmigen Böden auch stark, dann aber in den Mineralboden eingearbeitet (Mullartiger Moder bis Mull)	kaum
rot/orange	einseitige Ernährung und freies Aluminium	mittel bis sehr stark sauer	gering	Humusanreicherung meist stark unter Auflagehumusbildung (Moder bis Rohhumus) ^{2) 3)}	P, Ca, Mg, z.T. N
mittelblau/hellblau	einseitige Ernährung und freies Carbonat	sehr schwach sauer (pH > 6,3) bis sehr schwach basisch	hoch	Humusanreicherung meist stark unter Auflagehumusbildung (Kalkmoder bis Tangelhumus) ⁴⁾	P, K, Fe, Mn, z.T. N
dunkelblau	einseitige Ernährung bei starker Dominanz von Carbonat, Sulfat oder Chlorid, teilweise auch von Calcium oder Natrium.	neutral bis sehr stark basisch	sehr hoch	geringe Humusanreicherung bzw. Auflagehumusbildung ⁵⁾	N, P, Fe, Mn, Zn (Calcic Xerosol); N, P, K, Mg (Gypsic Xerosol); induzierte Nährstoffmängel der meisten Nährstoffe (Solonez, Solonchak)
türkis	schwach eingeschränkte Ernährung bei hoher Wassersättigung ¹⁾	(sauer) bis neutral	mittel bis hoch	starke Humusanreicherung (per Definition) und Auflagehumusbildung (Niedermoor)	kaum
hellviolett	einseitige Ernährung bei hoher Wassersättigung	stark bis äußerst sauer	gering	starke Humusanreicherung (per Definition) und Auflagehumusbildung (Hochmoor)	N, P, K, Ca, Mg; trotz niedrigem pH geringe Al-Toxizität

1) nur schwache Einschränkung der Ernährung, aber Einschränkung des Wachstums aufgrund von Sauerstoffmangel für nicht angepasste Pflanzen (trifft für viele Baumarten zu).

2) Ausnahmen sind Acrisole und Arenosole bei mäßiger Humusanreicherung.

3) starker Humusabbau bei Freilage; natürliche Freilegung wie Sturm, Brand, Schädlingsbefall, aber auch Ackerbau und Kahlschlag führen zu Humus- und

4) starker Humusabbau bei Freilage; da selten in borealer Zone meist negativ zu bewerten; häufig Feishumusböden mit Tangelhumus (mittelblau),

5) geringmächtige Humusanreicherung im Solonez möglich.

pH-Werten, mit freiem Carbonat in der Bodenlösung und mit **tendenziellen bis deutlichen Nährstoffmängeln bei P, K, Fe und Mn** sind in hellblau und mittelblau gehalten.

- Böden bei neutralem bis basischen pH-Werten, die aber im Gegensatz zur vorigen Gruppe **sehr viel stärker durch ein dominierendes Anion oder Kation geprägt** sind und nur eine geringe Humusakkumulation zeigen sind dunkelblau.
- Eutric Histosols (~Niedermoore) erhalten die Farbe türkis (als Mischfarbe aus grün für fruchtbare Böden und blau für Wasser) sowie die Dystric Histosols (~Hochmoore) die Farbe hellviolett (als Mischfarbe aus rot für Nährstoffimbilanzen im sauren Bereich und blau für Wasser). Zwar beinhalten Histosols per Definition auch mächtige terrestrische Humusauflagen, beispielsweise Tangelhumus in den Kalkalpen, aufgrund des Maßstabs können aber nur großflächige Histosols dargestellt werden. Gemeinsames begrenzendes Merkmal dieser beiden Bodengruppen ist ein **Mangel an Sauerstoff im Oberboden** aufgrund von Wasserüberschuss und der damit gehemmte Humusum- und abbau.
- Weiß steht für Städte, Gewässer und Gletscherflächen (in der Schweiz auch Felsflächen).

Die ersten drei dargestellten Gruppen – ausgeglichene Ernährung bei mittleren pH-Werten, beziehungsweise einseitige Ernährung bei niedrigen oder hohen pH-Werten – sind flächenmäßig am bedeutendsten und wurden daher jeweils in zwei Gruppen aufgeteilt (Tab. 2). Bei den Böden mit ausgeglichener Ernährung stellt grün die günstigere Variante dar, während gelb zwar ebenfalls eine relativ ausgeglichene Ernährung aufweisen, aber die Nährstofffreisetzung erfolgt auf einem insgesamt niedrigeren Niveau. Bei den Böden mit Nährstoffungleichgewichten wird die Farbdifferenzierung benutzt, um das Ausmaß der möglichen Nährstoffmängel darzustellen, was sich ebenfalls in unterschiedlich stark

gehemmtem Wachstum äußert. So werden mit rot deutlicher ausgeprägte Mängel in saurem Milieu als bei orange, und bei mittelblau deutlich stärkere Mängel bei hohen pH-Werten als bei hellblau dargestellt.

Dunkelblau stellt teilweise – mit den Calcic Xerosolen – eine Fortsetzung der vorigen Gruppe unter warm-trockenen Bedingungen dar. Trotz der Unterschiedlichkeit der Böden dieser Gruppe erfolgt keine weitere Differenzierung, da sie nicht so verbreitet sind und die Karte eine einfache Übersicht bieten soll.

Wenn man die Moore, Gewässer- und Stadtböden als Sonderstandorte ausklammert, kann man die Kennziffern 1–7 des Nährstoffstatus als ordinale Variable für terrestrische Böden z. B. in statistischen Modellen einsetzen. Dabei nimmt die Basenverfügbarkeit mit steigender Kennziffer zu, wobei das Maximum der Wuchleistung aber im mittleren Bereich (Kennziffer 4) bei einer ausgewogenen Ernährung zu erwarten ist (vgl. MELLERT & EWALD 2014a, 2014b).

3.4 Sonderregeln, wenn Bodentypen nicht eindeutig einer Nährstoffklasse zugeordnet werden können

Häufig konnten Soil Map Units nicht eindeutig einer Nährstoffklasse zugeordnet werden, da die ökologische Standortsamplitude des dahinter stehenden dominierenden Bodentyps zu groß war. In diesen Fällen wurden weitere Informationen herangezogen. Zum einen wurden die Ausgangsgesteine der Bodenbildung aus der European Soil Data Base herangezogen. Damit wird nicht nur ein Bodentyp, sondern eine Bodenform bewertet.

Zum anderen wurde die Meereshöhe einbezogen. Diese wurde für die Differenzierung innerhalb der Rendzinen und Calcaric Inceptisols benutzt.

Tab. 2: Kennzeichnung des Nährstoffstatus: Kennziffern und Legendenbezeichnungen, sowie die Zuordnung der Bodentypen zu den Kennziffern.

Tab. 2: Labeling of the nutrient status: Indices and legend descriptions, as well as , the assignment of the soil types to the indices.

Kennziffer	Arbeitsbegriff - deutsch	Arbeitsbegriff - englisch	Bodentypen (FAO)
1	sauer nährstoffarm	oligotrophic	Dystric Cambisol, Dystric Lithosol, Humic Podzol, Leptic Podzol, Orthic Podzol, Placic Podzol, Dystric Ranker, Dystric Regosol
2	sauer mäßig nährstoffarm	meso-oligotrophic	Gleyic Acrisol, Orthic Acrisol, Albic Arenosol, Cambic Arenosol, Haplic Arenosol, Dystric Cambisol, Eutric Cambisol, Gleyic Cambisol, Dystric Gleysol, Ferric Gleysol, Lithosol, Dystric Lithosol, Eutric Lithosol, Orthic Lithosol, Dystric Luvisol, Ferric Luvisol, Dystric Podsoluvisol, Eutric Podsoluvisol, Gleyic Podsoluvisol, Ranker, Gelic Regosol
3	mäßig nährstoffreich	mesotrophic	Luvic Arenosol, Haplic Cambisol, Luvic Chernozem, Dystric Fluvisol, Dystric Gleysol, Eutric Gleysol, Gelic Gleysol, Humic Gleysol, Orthic Greyzem, Albic Luvisol, Planosol, Dystric Planosol, Eutric Planosol, Mollic Planosol, Gleyic Podzol, Eutric Regosol
4	nährstoffreich	eutrophic	Haplic Andosol, Ochric Andosol, Albic Cambisol, Eutric Cambisol, Vertic Cambisol, Humic Chernozem, Calcaric Fluvisol, Eutric Fluvisol, Mollic Fluvisol, Thionic Fluvisol, Calcaric Gleysol, Luvic Gleysol, Mollic Gleysol, Thionic Gleysol, Gleyic Luvisol, Orthic Luvisol, Vertic Luvisol, Calcaric Phaeozem, Gleyic Phaeozem, Haplic Phaeozem, Luvic Phaeozem, Ochric Phaeozem, Chromic Vertisol, Gleyic Vertisol, Pellic Vertisol
5	carbonathaltig mäßig nährstoffreich	calcareous meso-oligotrophic	Calcic Cambisol, Chromic Cambisol, Eutric Cambisol, Calcic Chernozem, Calcic Kastanozem, Haplic Kastanozem, Luvic Kastanozem, Calcaric Lithosol, Calcic Luvisol, Chromic Luvisol, Calcaric Regosol, Rendzina, Cambic Rendzina, Orthic Rendzina
6	carbonatreich nährstoffarm	calcareous oligotrophic	Calcaric Lithosol, Rendzina, Cambic Rendzina, Orthic Rendzina
7	kalk-, gips-, natrium- oder salzanreicher nährstoffarm	calcic-, gypsic, sodic-, saline-oligotrophic	Gleyic Solonchak, Orthic Solonchak, Gleyic Solonetz, Mollic Solonetz, Orthic Solonetz, Calcic Xerosol, Gypsic Xerosol
8	niedermoorig	eutrophic peat	Eutric Histosol
9	hochmoorig	dystrophic peat	Dystric Histosol
10	Städte, Gewässer, Gletscher	Cities, Water, Glaciers	

Tab. 3: Substratnamen der verwendeten Substrattypen (KOLB 2011, 2012).

Tab. 3: Labelling of the used substrate types (KOLB 2011, 2012).

Substrattyp	Substratname
102	Magmatite oder Metamorphite, mäßig rückstandsreich
111	Saure, quarzreiche Magmatite oder Metamorphite, rückstandsarm
121	Intermediäre, carbonatfreie Magmatite oder Metamorphite, rückstandsarm
122	Intermediäre, carbonatfreie Magmatite oder Metamorphite, mäßig rückstandsreich
123	Intermediäre, carbonatfreie Magmatite oder Metamorphite, rückstandsreich
131	Basenreiche Magmatite oder Metamorphite, rückstandsarm
132	Basenreiche Magmatite oder Metamorphite, mäßig rückstandsreich
180	carbonathaltige Magmatite oder Metamorphite
201	Festsedimente, rückstandsarm
202	Siliziklaste, mäßig rückstandsreich
211	Saure, quarzreiche Festsedimente, rückstandsarm
222	Intermediäre, carbonatfreie Siliziklaste, mäßig rückstandsreich
223	Intermediäre, carbonatfreie Siliziklaste, rückstandsreich
243	Tongesteine, leicht verwitterbar
262	Sandmergel, mäßig rückstandsreich
272	Mergel, mäßig rückstandsreich
273	Mergel, raschverwitterbar
281	Kalke, langsam verwitterbar
282	Kalke, mäßig rückstandsreich
292	Dolomite, mäßig rückstandsreich
303	Moränen, rückstandsreich
503	Rutschungen, rückstandsreich
523	lehmige Rutschungen, rückstandsreich
553	Tonig-mergelige Rutschungen, rückstandsreich
573	Mergelige Rutschungen, rückstandsreich
602	Flusssedimente, mäßig rückstandsreich
603	Flusssedimente, rückstandsreich
623	Intermediäre, carbonatfreie siliziklastische Flusssedimente, rückstandsreich
703	Seesedimente, rückstandsreich
753	Tonig-mergelige Seesedimente, rückstandsreich
763	Sandig-mergelige Seesedimente, rückstandsreich
803	Staubsedimente, rückstandsreich, meist sandig
853	Tonig-mergelige Staubsedimente, rückstandsreich
873	Mergelige Staubsedimente, rückstandsreich
903	Moore

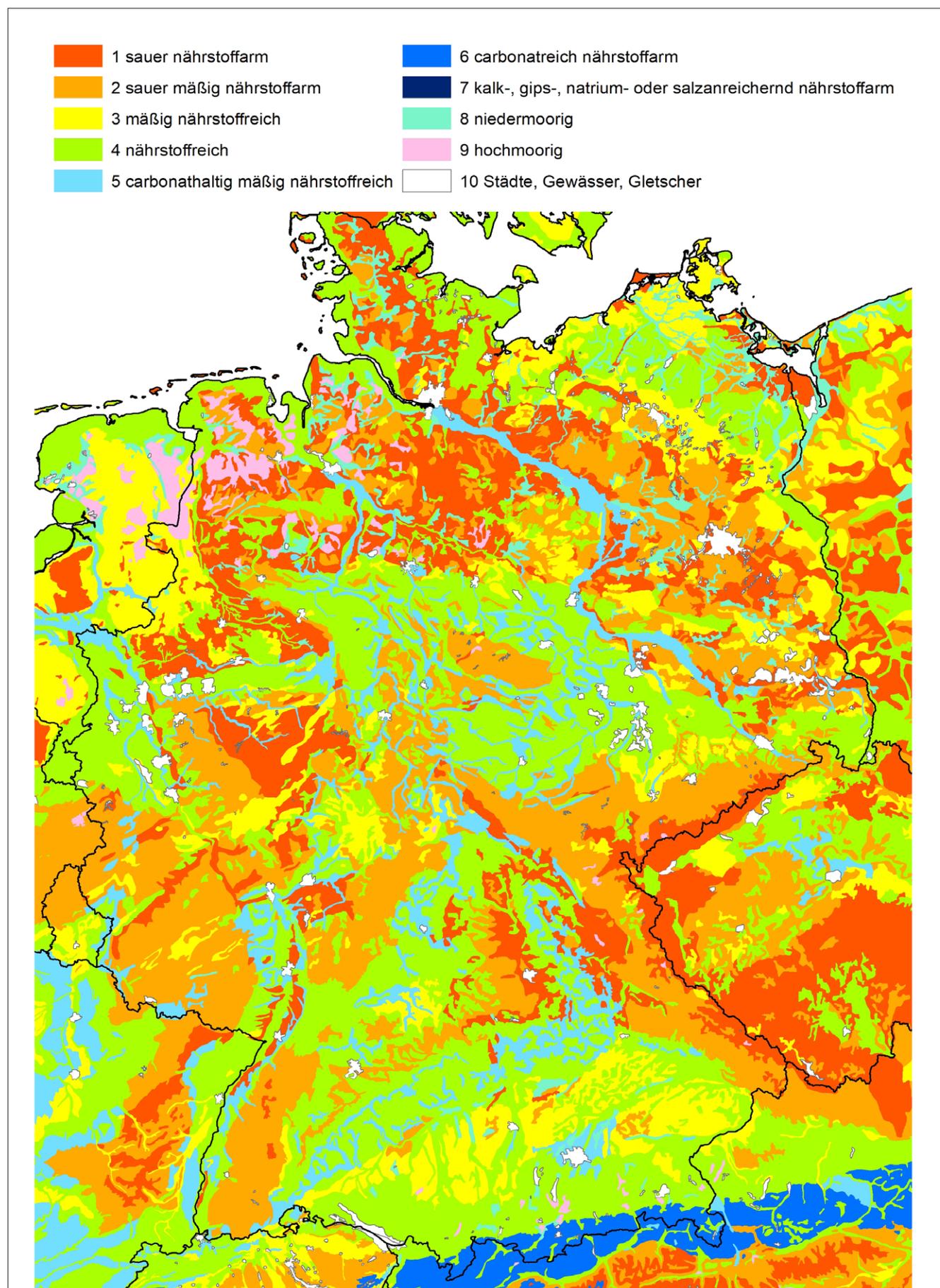


Abb. 1: Verteilung des Nährstoffstatus der Böden in Deutschland.

Fig. 1: Distribution of soil nutrient status in Germany. For legend in English see Tab.2 or Fig. 2.

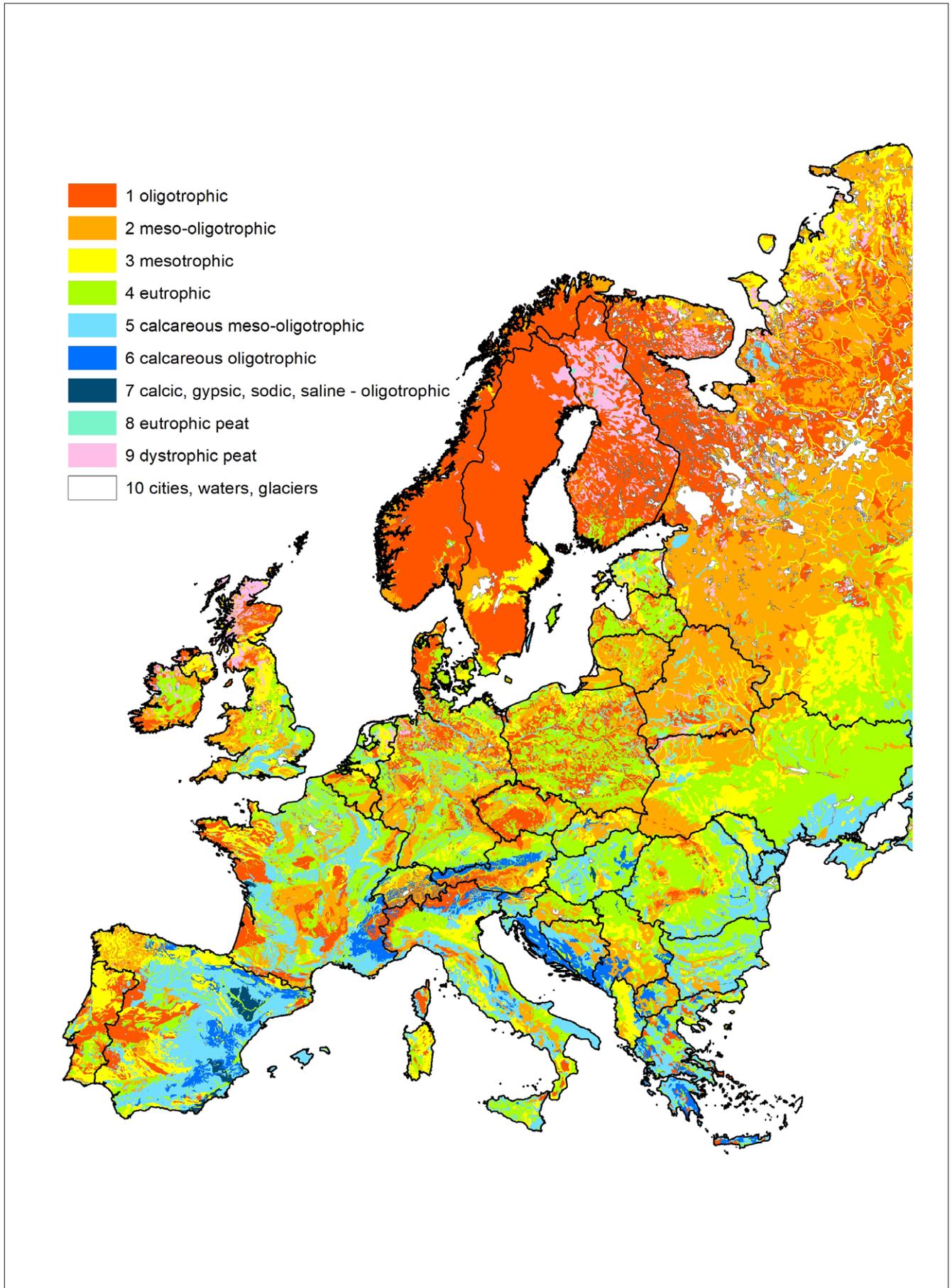


Abb. 2: Verteilung des Nährstoffstatus der Böden in Europa. Legende s. Tab. 2 oder Abb. 1.

Fig. 2: Distribution of soil nutrient status in Europe.

3.4.1 Regeln unter Einbeziehung der Geologie

In einigen Fällen fällt ein Bodentyp in zwei Ernährungsstufen. In diesen Fällen bewerten wir die Bodenform (Bodentyp plus Ausgangsgestein), die meist eindeutig in die Ernährungsklassen eingeordnet werden konnte.

Die Attributtabelle der Bodenkarte enthält Angaben zur Geologie in den Spalten zu „dominant parent material“. Diese wurden in Substrattypen nach KOLB (2011, 2012) zusammengefasst. Es handelt sich hier um ein dreiziffiges hierarchiefreies Klassifikationssystem, welches mit der ersten Ziffer die Geogenese des Ausgangsgesteins (Lage im Gelände, Fest- oder Lockergestein und wenn Lockergestein, wie die Sortierung ist), in der zweiten Ziffer die Chemie des Ausgangssubstrats (Hinweise zu Nährstoffen) und in der dritten Ziffer die potentielle physikalische Weiterentwicklung des Ausgangssubstrats (Hinweise zur Wasserhaltekapazität und Verwitterungsresistenz) beschreibt. Diese Substratzuordnung wurde dem beschriebenen Datensatz ebenfalls zur weiteren Verwendung angefügt (Tab. 3).

Beispielsweise umfassen die **Dystric Gleysole** (~nährstoffarme Grundwasserböden) Böden, die teilweise schon als einseitig nährstoffversorgt im sauren Bereich (orange) einzuordnen sind. Hierzu zählen z. B. viele Gleye in den Urstromtälern der norddeutschen karbonatarmlen Moränenlandschaften. Andere weisen eine recht ausgeglichene Nährstoffversorgung und mittlere pH-Werte bei mittlerer bis guter Wuchskraft (gelb) auf. Hierbei handelt es sich z. B. um Pseudogleye über Geschiebemergeln der carbonatreichen Jungmoränenlandschaft. Im beschriebenen Beispiel wurden daher alle Dystric Gleysole auf intermediären, rückstandsreichen Flusssedimenten (Substrattyp 623) mit „sauer, mäßig nährstoffarm“ (orange), alle auf Moränen-Sedimenten (Substrattyp 303) mit „mäßig nährstoffreich“ (gelb) bewertet.

Ein weiteres Beispiel stellen die **Eutric Cambisole** (~nährstoffreiche Braunerden) dar, welche ebenfalls einen weiten Nährstoffbereich umfassen. Sie wurden mit „mäßig nährstoffreich“ (gelb) bewertet, es sei denn, es handelt sich um rasch verwitterbare Festgesteinsmergel (Substrattyp 273), die mit „nährstoffreich“ (grün) bewertet, oder um mäßig rückstandsreiche Festgesteinskalke (Substrattyp 282), die mit „carbonathaltig, mäßig nährstoffreich“ (hellblau) bewertet wurden.

3.4.2 Regeln unter Einbeziehung eines Höhenmodells

Die rendzinoiden Böden – alle Rendzinen und Calcaric Lithosole – sind als „carbonathaltig, mäßig nährstoffreich“ (hellblau) eingewertet worden. In den höheren Gebirgen sind diese oft sehr flachgründig, was an der langsameren Boden-genese, der reliefbedingt stärkeren Erosion, wie auch an der geringeren Staubeinwehung liegen dürfte. Rendzinoide Böden der Gebirgslagen wurden daher als ungünstiger „carbonatreich, nährstoffarm“ (mittelblau) eingewertet.

Zur Berechnung der Höhen wurde ein 30-Sekunden-Höhenmodell aus dem Worldclim-Datensatz benutzt (HIJMANS et al. 2005).

In den Abbildungen 1 und 2 sind die Ergebnisse in Kartenform dargestellt. Zur Orientierung sind die Ländergrenzen, in Abbildung 1 zusätzlich die Bundesländergrenzen eingefügt.

Die Einwertung des Nährstoffstatus in Deutschland stimmt gut mit der Nährstoffnachhaltigkeitskarte von Deutschland überein (KOLB & GÖTTLEIN 2012). Neben einigen offensichtlichen Fehlern der verwendeten Karte, die wie in „Datenaufbereitung“ dargestellt, beseitigt wurden, konnten unzureichende Harmonisierungen an den Grenzen nicht behoben werden. Auffallend sind diese zum Beispiel zwischen Estland und Lettland zu Russland. In der Schweiz beruht der Unterschied vor allem auf der häufigeren Ausweisung von Gletscherflächen, verglichen mit ihren Nachbarländern.

4 Verwendung in der Praxis

Eine digitale Nährstoffkarte ist ein geeignetes Mittel für die Regionalisierung von Ergebnissen internationaler Monitoringprogramme zu Luftverschmutzungseffekten, wie ICP Forests, Level-I und Level-II (z. B. JOMARD et al. 2015). Weiterhin kann sie Grundlagen liefern, um Aussagen und Planungen zur nährstoffnachhaltigen Nutzung von Landschaften auf einer grobmaßstäbigen Skalenebene zu liefern (KOLB et al. 2017). Eine aktuelle Fragestellung hierzu wäre die regionale Planung zur Energiegewinnung durch Hackschnitzel. Hier soll die Nutzungsintensität dem Potential der Landschaft angepasst werden.

Weiterhin können Art und Intensität von Meliorations- und Düngemaßnahmen abgeschätzt werden, um eine Nutzungsintensität nachhaltig zu erhöhen.

Mit geringer Überarbeitung können auch die Böden in ihren Filter- und Pufferfunktionen für atmosphärische Einträge eingeschätzt werden.

Schließlich sei noch einmal auf die Anwendung des in der Einführung erwähnten Baumartenverbreitungsmodells hingewiesen, für welches diese Datenaufbereitung durchgeführt wurde und in dem sie mit Erfolg eingesetzt wurde (MELLERT et al. 2017).

Diese Karte wird von den Autoren auf der Webseite der AFSV als WebGIS und als Shapefile zur freien Verfügung gestellt - eine korrekte Zitierung wird bei Verwendung erwartet.

Literatur

- DAROUSSIN, J., KING, D. (1996): Pedotransfer Rules Database v.2.0 for Environmental Interpretations. Workshop Proceedings, Orleans, France, 10.–12. October 1996.
- DOLOS, K., BAUER, A., ALBRECHT, S. (2015): Site suitability for tree species. Is there a positive relation between a tree species' occurrence and its growth? *European Journal of Forest Research* **134** (4): 609-621.
- HIJMANS, R.J., CAMERON, S.E., PARRA, J.L., JONES, P.G., JARVIS, A. (2005): Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *Int. J. Climatology* Vol **25**: 1965-1978.
- JONARD, M., FÜRST, A., VERSTRAETEN, A., THIMONIER, A., TIMMERMANN, V., POTOCIC, N., WALDNER, P., BENHAM, S., HANSEN, K., MERILÄ, P., PONETTE, Q., CRUZ, A.C. DE LA, ROSKAMS, P., NICOLAS, M., CROISÉ, L., INGERSLEV, M., MATTEUCCI, G., DECINTI, B., BASCIETTO, M., RAUTIO, P. (2015): Tree mineral nutrition is deteriorating in Europe. *Global change biology*, **21** (1): 418-430.
- KING, D., DAROUSSIN, J., RAVERNIER, R. (1994): Development of a soil geographic database from the Soil Map of the European Communities. *Catena* **21**: 37-56.

- KÖLLING, C., HOFMANN, M., GULDER, H.-J. (1996): Bodenchemische Vertikalgradienten als charakteristische Zustandsgrößen von Waldökosystemen. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* Vol **159**: 69-77.
- KOLB, E. (2011): Eine hierarchiefreie Substratklassifizierung anhand der Geologischen Karte 1:200.000 am Beispiel der Bayerischen Alpen. *Freiburger Forstl. Forsch.* **88**: 53-62.
- KOLB, E. (2012): Interaktive Karte der Gesteinseigenschaften in den Alpen – Online unter: <http://arcgisserver.hswt.de/Winalp/index.swf>.
- KOLB, E., GÖTTLEIN, A. (2012): Nährstoffnachhaltige Nutzung von Waldlandschaften – Regionale Bewertung erntebedingter Nährstoffentzüge. *AFZ* **15/2102**: 4-7.
- KOLB, E., INSINNA, P., GÖTTLEIN, A. (2017): Nährstoffnachhaltigkeits-Karte für die Wälder Liechtensteins. *AFZ* **7/2017**: 50-53.
- LAMBERT, J.J., DAROUSSIN, J., EIMBERCK, M., LE BAS, C., JAMAGNE, M., KING, D., MONTANARELLA, L. (2002): Soil Geographical Database for Eurasia & The Mediterranean: Instructions Guide for Elaboration at Scale 1 : 1.000.000 Version 4.0. European Commission, Joint Research Centre.
- MELLERT, K.H., EWALD, J. (2014): Nutrient limitation and site-related growth potential of Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst) in the Bavarian Alps. *European journal of forest research*, **133** (3): 433-451.
- MELLERT, K.H., EWALD, J. (2014): Regionalizing nutrient values of vegetation to assess site fertility of mountain forests in the Bavarian Alps. *Folia Geobotanica*, **49** (3): 407-423.
- MELLERT, K.H., EWALD, J., HORNSTEIN, D., DORADO-LINAN, I., JANTSCH, M., TÄGER, S., ZANG, C., MENZEL, A., KÖLLING, C. (2016): Climatic marginality: a new metric for the susceptibility of tree species to warming exemplified by *Fagus sylvatica* (L.) and Ellenberg's quotient. *European journal of forest research*, **135** (1): 137-152.
- MELLERT, K.H., LENOIR, J., WINTER, S., KÖLLING, C., CARNI, A., DORADO-LINAN, I., GEGOUT, J.-C., GÖTTLEIN, A., HORNSTEIN, D., JANTSCH, M., JUVAN, N., KOLB, E., LOPEZ-SENESPLADA, E., MENZEL, A., STOJANOVIC, D., TÄGER, S., TSIRIPIDIS, I., WOHLGEMUTH, T., EWALD, J. (2017): Soil water storage appears to compensate for climatic aridity at the xeric margin of European tree species distribution. *Europ. J. For. Res.*; doi.org/10.1007/s10342-017-1092-x.
- PANAGOS, P., VAN LIEDEKERKE, M., JONES, A., MONTANARELLA, L. (2012): European Soil Data Centre: Response to European policy support and public data requirements. *Land Use Policy*, **29** (2): pp. 329-338.
- PANAGOS, P. (2006): The European soil database GEO: connexion, **5** (7): pp. 32-33.
- PYATT, G., DUNCAN, R., FLETSCHER, J. (2001): An Ecological Site Classification for Forestry in Great Britain. *Forestry Commission Bulletin* 124, Edinburgh.
- ZIMMERMANN, N.E., JANDL, R., HANEWINKEL, M., KUNSTLER, G., KÖLLING, C., GAPARINI, P., BREZNIKAR, A., MEIER, E.S., NORMAND, S., ULMER, U., GSCHWANDTNER, T., VEIT, H., NAUMANN, M., FALK, W., MELLERT, K.H., RIZZO, M., SKUDNIK, M., PSOMAS, A. (2013): Potential future ranges of tree species in the Alps. In: *Management Strategies to Adapt Alpine Space Forests to Climate Change Risks*; Cerbu, G.A., Hanewinkel, M., Gerosa, G., Jandl, R., Eds.: 37-48.

Autorenanschrift:

Dr. Eckart Kolb
 Dr. Karl H. Mellert
 Prof. Dr. Axel Göttlein
 Technische Universität München
 Fachgebiet Waldernährung und Wasserhaushalt
 Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 2
 85354 Freising
 E-Mail: kolb@wzw.tum.de

submitted: 09.01.2018
 reviewed: 14.02.2018
 accepted: 21.03.2018