Indikation des Zustandes und der Qualität von Auenböden

Jörg Rinklebe, Kathrin Heinrich, Christa Franke, Heinz-Ulrich Neue

1 Biotische und Abiotische Indikation

Indikatoren zeigen die langfristige Wirkung der Summe aller Umweltfaktoren an (Abb. 1). Gleichzeitig reagieren sie auf die plötzliche Änderung einer wichtigen Faktorenkombination und ermöglichen so die Überwachung eines Umwelt- bzw. Bodenzustandes.

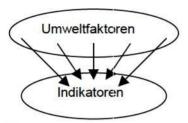


Abb. 1. Einfluss der Summe von Umweltfaktoren auf Indikatoren

Ein Ziel des vom BMBF geförderten Verbundprojektes "Übertragung und Weiterentwicklung eines robusten Indikationssystems für ökologische Veränderungen in Auen" (RIVA) war es, in einem interdisziplinären Forschungsansatz biotische und abiotische Parameter in einem ökosystemaren Ansatz zu verknüpfen und zu einem Indikationssystem zu integrieren. Abiotische Indikatoren zu filtern und ihre Auswahl mechanistisch zu begründen war eine wesentliche Aufgabe des Teilprojektes Abiotik (Bodenkunde und Hydrologie).

Biologische Indikatoren sind seit Jahrzehnten bekannt und wissenschaftlich etabliert. Die Bioindikation umfasst die Anzeige von Umweltzuständen in der Biosphäre (Flora und Fauna) sowie in der Anthroposphäre (z.B. soziale Indikatoren). Eine abiotische Indikation müsste die Atmos-, Hydros-, Lithos- und Pedosphäre umfassen.

Indikatororganismen sind Lebewesen, die bestimmte abiotische Umweltbedingungen anzeigen. Abiotische Indikatoren müssten folglich Parameter(gruppen) sein, die bestimmte biotische Umweltbedingungen anzeigen.

Eine Schwierigkeit, Indikatoren für den Bodenzustand zu finden, ist darin begründet, dass bodenkundliche Indikatoren abiotische und biotische Umweltbedingungen gleichzeitig anzeigen. Denn der Boden ist ein hochkomplexes System und Wirkungsergebnis sowie einwirkender Umweltfaktor zugleich.

Beispiel 1 und 2: Bodeneigenschaften zeigen abiotische Umweltbedingungen an

Die Bodenfarbe und der Hydromorphiegrad in Auenböden erlauben eine sehr exakte Bestimmung des mittleren Grundwasserstandes. Exemplarisch konnte anhand makromorphologischer Bodenprofiluntersuchungen gezeigt werden, dass die kontinuierlich gemessenen Grundwasserstände des langjährigen Mittels in Auenböden des Biosphärenreservates "Mittlere Elbe" mit den diagnostizierbaren Bodeneigenschaften Bodenfarbe und Hydromorphiegrad Übereinstimmungen in einer Genauigkeit von 2 cm erbrachten

Der pH-Wert zeigt den Säurezustand eines Bodens an. Aus ihm können Rückschlüsse auf die Bindungsformen, die Festlegung und Mobilisierung von Nähr- und Schadstoffen gezogen werden. Niedrige pH-Werte zeigen z.B. ein hohes Mobilitätsverhalten von Schwermetallen an.

Beispiel 3, 4 und 5: Bodeneigenschaften zeigen biotische Umweltbedingungen an

Die Aggregatstruktur in elbnahen Tschernitzen aus Auenschluff zeigt eine hohe biologische Aktivität an. Bodenlebewesen verändern den sie umgebenden Boden. So durchmischen Vertreter der Boden-

makrofauna den gesamten Boden (hohe Bioturbation), es bildet sich ein charakteristisches Wurmlosungsgefüge.

Offene Grünlandbereiche der Auen werden im Zuge der Nahrungssuche häufig von Wildschweinen (Sus scrofa) begangen. Diese wühlen im Boden und mischen ihn, so dass mitunter großflächig ein "Pflugeffekt" zu beobachten ist. In dieser Weise durchmischte Bodenbereiche können pedologisch diagnostiziert werden (Turbationen). Folglich zeigt die turbate Oberbodenstruktur die Auswirkung eines biotischen Umweltfaktors.

Die Vegetation produziert Streu (Laub, Wurzeln). Laub und Wurzeln besitzen eine artspezifische chemische Zusammensetzung, sie gelangen auf bzw. in den Boden und verändern somit seinen Zustand, insbesondere den Humusspiegel, die Qualität der organischen Substanz und die Bodenazidität (z.B. auch durch Wurzelexsudate). Von dem Gehalt an organischer Substanz und der Bodenazidität können Rückschlüsse auf die Vegetation erfolgen.

2 Indikation der Qualität von Auenböden

Die Indikation der Qualität von Auenböden erfordert im ersten Schritt essentielle Datengrundlagen zu schaffen (Abb. 2). Kenntnisse über das Bodeninventar und seine stabilen Bodeneigenschaften sind Grundvoraussetzungen für eine Indikation in Auenböden (RINKLEBE ET AL. 2000A). Auenböden werden regelmäßig überflutet, unterliegen einer hohen Dynamik des Wasser-, Klima-, Nähr- und Schadstoffhaushaltes und bodenphysikalischer Eigenschaften, welche es gilt zu quantifizieren (RINKLEBE ET AL. 2001A).

Bodenformen integrieren einen Komplex bodenökologischer Eigenschaften. Kenntnisse über die Grundzüge der Verbreitung von Auenböden (also ihrer Bodenformen) ermöglichen eine Übertragbarkeit von Bodeneigenschaften auf Auenböden anderer Standorte. (FRANKE ET AL. 1999, 2000; RINKLEBE ET AL. 2000B,C).

Die Auenökosysteme und -böden verändernden Prozesse und ihre Ursachen sind zu erkennen, zu quantifizieren und in ihren Wirkungen zu prognostizieren (Abb. 2).

Die Auswirkungen auf die Eigenschaften und die Qualität von Auenböden veranschaulicht Abb. 2. Wenn sich z.B. die Überflutungsdauer ändert, so ändert dies den Bodenwasserhaushalt, also die Bodenfeuchte, das Matrixpotenzial, die Durchlässigkeit, das Wasserspeichervermögen u.v.a.m. (RINKLEBE ET AL. 2001A). Dies hat eine Veränderung der Bodenstruktur und weiterer bodenphysikalischer Eigenschaften zur Folge. So sinkt mit zunehmender Bodenfeuchte der Eindringwiderstand signifikant (HELBACH ET AL. 2000). Eine Indikation der Bodenfeuchte ist mittels Eindringwiderstand über Bodenform und Bodenart hinweg möglich, und der wissenschaftlichen Praxis steht ein in seiner Zeigerfunktion sensibler und in seiner Anwendung robuster Indikator der Bodenfeuchte in Auenböden zur Verfügung (HELBACH ET AL. 2001).

Variierende Wasserstände führen zu wechselnden anaeroben/aeroben Bedingungen, welche das Redoxpotenzial und die Bodenazidität verändern. Diese wiederum sind wesentliche Steuergrößen für den Nähr- und Schadstoffhaushalt, indem sie einen signifikanten Einfluss auf die Stoffmobilität und - bindungsformen ausüben. Redoxpotenzialänderungen sind wesentlich an das Vorhandensein der organischen Bodensubstanz gebunden (Scheffer 1998). Der verfügbare (labile) Anteil der organischen Bodensubstanz ist dabei der bestimmende Faktor für Redoxpotenzialänderungen (HEINRICH ET AL. 1999, 2000), wobei Redoxpotenzialänderungen durch bodenmikrobielle Prozesse induziert werden (GISI ET AL. 1990) und zu großen Teilen bodenenzymatisch gesteuert sind (HEINRICH ET AL. 1999; RINKLEBE ET AL. 2001B). Kenntnisse dieser Bodenprozesse ermöglichen eine Prognose von Redoxpotenzialänderungen in Auenböden (HEINRICH ET AL. 2001). Der verfügbare Teil der organischen Bodensubstanz kann als Indikator für die bodenmikrobielle Aktivität dienen (RINKLEBE ET AL. 2001c).

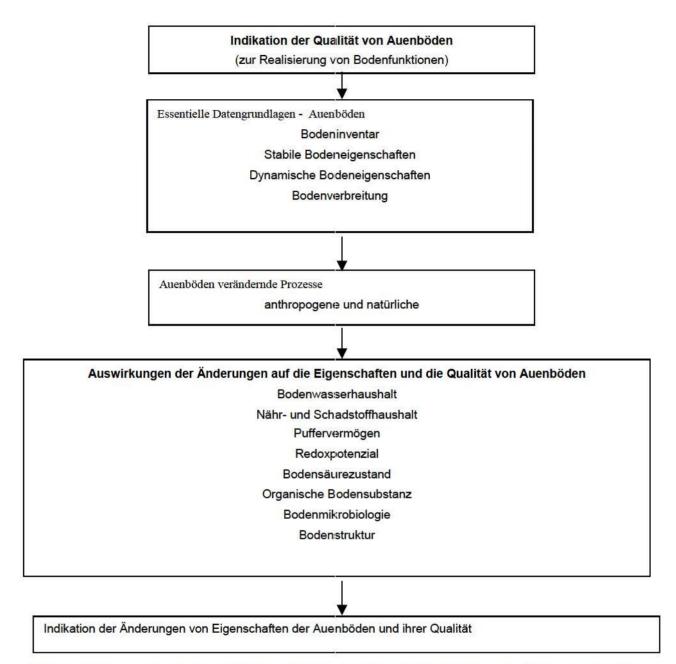


Abb. 2. Grundlagen der Indikation der Qualität von Auenböden (in Anlehnung an Piorr ET AL. 2000; stark verändert)

3 Bodenkundliches Indikationssystem

Dem Indikationssystem liegt ein Dreistufenmodell zu Grunde (Abb. 3). Von der ersten zur dritten Stufen nimmt der Erfassungs- und analytische Aufwand und damit die Genauigkeit der Messungen, Aussagen und Prognosen zu. Die Robustheit des Indikationssystems hingegen ist in der ersten Stufe am höchsten und in der dritten am geringsten (siehe Pfeile rechts in Abb. 3).

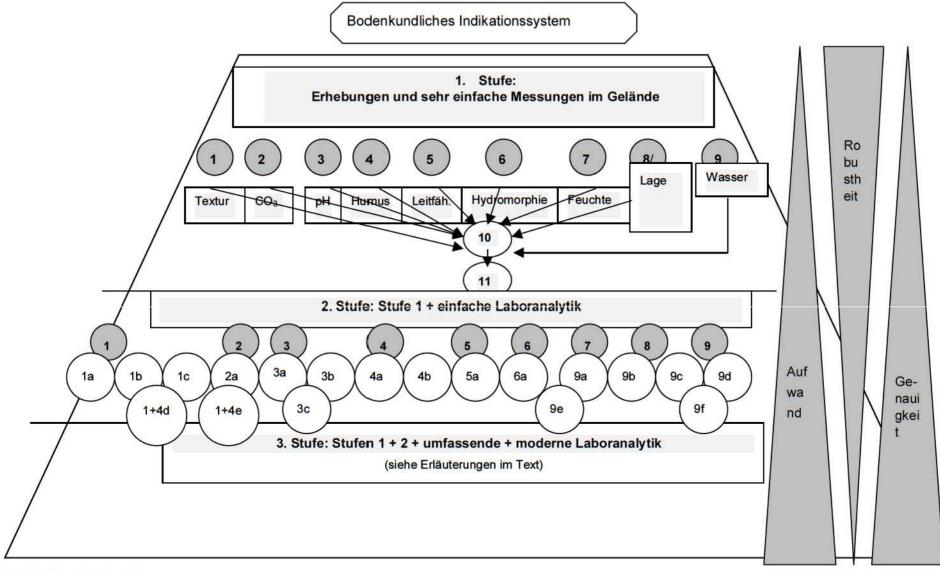


Abb. 3. Dreistufenmodell

In der *ersten Stufe* werden Erhebungen und sehr einfache Messungen im Gelände vorgenommen (Abb. 3). Die Indikatoren im Boden und Wasser werden gemessen bzw. per Expertenwissen geschätzt. Der Erfassungsaufwand ist hierfür gering, die Robustheit sehr hoch. Notwendig sind bodenkundliche und hydrologische Fachkenntnisse sowie standortkundliche Erfahrung. Der zu erfassende und zu bewertende Mindestparametersatz (Indikationssystem, Stufe 1) beinhaltet nachfolgende 9 Punkte:

1. Textur (Bodenart) (Expertenwissen, Fingerprobe nach KA 4)

2. Carbonat (Salzsäuretest, KA 4)

pH-Wert (Messung in Bodensuspension; pH-Elektrode)
Humusgehalt (Expertenwissen, Schätzg, nach KA 4 und/oder

MUNSELL 1994)

elektrische Leitfähigkeit
Hydromorphie
Bodenfeuchte
Lage im Relief
(Messung in Bodensuspension; Lf-Elektrode)
(Expertenwissen, Schätzung nach KA 4)
(Expertenwissen, Schätzung nach KA 4)
(Expertenwissen, Erfahrungsschätzung)

9. Fluss- u. Oberflächenwasserstand (Expertenwissen, Erfahrungsschätzung) (ev. Niederschlag) sowie pH-Wert

und elektr. Leitfähigkeit der Wässer (Messung mittels Elektroden)

Die Indikatoren erlauben die Bodenform zu bestimmen und grundlegende ökologische Eigenschaften der Böden und Wässer zu erfassen, weitere Eigenschaften abzuleiten und diese zu bewerten. Die Bodenform stellt das wichtigste Instrumentarium zur Übertragbarkeit von bodenökologischen Eigenschaften dar. Sie beeinflusst signifikant die Ausbildung von Pflanzengesellschaften (AMARELL UND KLOTZ 2001).

- (1) Die Korngrößenverteilung (Bodenart) ist eine der wichtigsten bodenökologischen Eigenschaften. Sie bestimmt den Wasser- und Nährstoffhaushalt sowie das Pflanzenwachstum der Böden entscheidend. Aus der Bodenart kann die Wasserleitfähigkeit (kf-Wert) (1c) sowie aus der Bodenart und dem Humusgehalt die potenzielle Kationenaustauschkapazität (KAK_{pot}) (1+4d) abgeleitet werden, die effektive Kationenaustauschkapazität (KAK_{eff}) (1+4e), wenn der pH-Wert hinzugezogen wird. Weiterhin ist der Basensättigungsgrad (3c) aus dem pH-Wert ableitbar (ARBEITSGRUPPE BODEN 1994 (KA 4), ARBEITSKREIS FÜR BODENSYSTEMATIK DER DEUTSCHEN BODENKUNDLICHEN GESELLSCHAFT 1998).
- (2) Carbonate bestimmen die protolytischen und hydrolytischen Fähigkeiten des Bodens, sie beeinflussen Bindungsformen von Nähr- und Schadstoffen sowie die Aggregatstabilität.
- (3) Der aktuelle pH-Wert ist die H⁺-Ionenaktivität der Bodenlösung, der potenzielle pH-Wert die an den Austauschern sorbierten H⁺-Ionen. Er bestimmt das chemische Reaktionsmilieu des Bodens sowie bodenbiologische und -physikalische Eigenschaften und das Pflanzenwachstum direkt oder indirekt. Der pH-Wert wirkt sich auf die Nähr- und Schadstoffverfügbarkeit, auf das Bodengefüge, auf die Humifizierung, auf die Mineralneubildung, auf den Wasser- und Lufthaushalt sowie auf die Milieubedingungen des Bodenlebens aus. Das Redoxpotenzial ist pH-abhängig.
- (4) Der Humus oder die organische Bodensubstanz (OBS) beeinflusst wesentlich die Wasserspeicherkapazität, die Bindungsformen, die Festlegung und Mobilisierung von Nähr- und Schadstoffen sowie das Pflanzenwachstum. Die OBS begünstigt die Bildung und Stabilität eines grobporigen Aggregatgefüges. Die verfügbare OBS dient den Bodenmikroorganismen als Nährstoff- und Energiequelle, diese beeinflussen die Redoxprozesse im Boden. Auenböden können sehr hohe Humusgehalte aufweisen, deren chemische Zusammensetzung sich vielfältig entsprechend ihrer Herkunft aus dem gesamten Einzugsgebiet und ihrer zahlreichen Bindungs- und Lösungsmechanismen zusammensetzt.
- (5) Die elektrische Leitfähigkeit (Lf) zeigt den Versallzungsgrad (Gehalt an löslichen Salzen) eines Bodens an. Sie ist abhängig vom Salzgehalt, von der Bodenart (Substratwechsel) und vom Humusgehalt. Meist weist sie im Bodenprofil eine den Schwermetallen (SM) sehr ähnliche Tiefenfunktion auf (FRANKE ET AL. 1999). Neben dem Gehalt an löslichen Salzen ist der Na-Gehalt am Austauscher für die Gefügebildung entscheidend. Pflanzen reagieren unterschiedlich empfindlich auf Salzgehalte in der Bodenlösung.
- (6) Der Hydromorphiegrad in Auenböden erlaubt eine sehr exakte Bestimmung des mittleren Grundwasserstandes. Seine Aussagegenauigkeit kann mittels der Bodenfarbe verbessert werden (SCHEINOST UND SCHWERTMANN 1999). Redoximorphe Merkmale: Zeiger oxidativer Bodenzonen: Rost-

flecken, Eisenoxidsäume, Eisenhydroxidverbindungen wie Ferrihydrit, Goethit, Lepidokrokit und deren Mischverbindungen. Eisenoxid-Konkretionen, Manganoxidkonkretionen. Zeiger reduktiver Bodenzonen: Bodenmatrix gebleicht, grau bis schwarz, nach Luftkontakt bläuliche Färbung: Vivianit (Fe₃(PO₄) x 8H₂O. Nach Schwefelwasserstoff stinkend. Eisensulfide (FeS oder Fe₃S₄) und Pyritbildung FeS₂ (RINKLEBE ET AL. 2001C).

- (7) Die aktuelle Bodenfeuchte zeigt den verfügbaren Wassergehalt in Böden bei gegenwärtigen Umweltbedingungen. Sie ist schätzbar, gravimetrisch einmalig messbar, mittels aufwendiger Technik (TDR oder FDR-Sonden) kontinuierlich messbar oder mittels EDW, Bodenart, Trockenrohdichte und Humusgehalt prognostizierbar.
- (8) Die Lage im Relief (Geländehöhe) bestimmt wesentlich die Ausbildung von Bodenformen. Zwischen der Geländehöhe und dem aktuellen pH-Wert besteht eine hohe positive Korrelation in Auenböden (FRANKE UND RINKLEBE 2001). Nach AMARELL UND KLOTZ (2001) übt die Höhenlage einen signifikanten Einfluss auf das Vorkommen von Pflanzengesellschaften in Auen aus. AMARELL UND KLOTZ (2001) konnten mittels Korrespondenzanalyse Beziehungen zwischen Vegetationstypen und Bodenformen aufzeigen. Ihr bivariates logistisches Regressionsmodell verdeutlicht die Bindung an bestimmte Bodenformen. Weiterhin zeigten sie, dass das Vorkommen von Pflanzengesellschaften hochsignifikant (p < 0,001) durch die Bodenform bestimmt wird (Erklärungsanteil 35 % der Devianz), während die Geländehöhe einen zusätzlichen hochsignifikanten Einflussfaktor darstellt (zusätzlicher Erklärungsanteil 5 % der Devianz; p < 0,001). Das vegetationskundlich floristische Bioindikationsmodell ermöglicht eine Vorhersage der Vorkommenswahrscheinlichkeit der Pflanzengesellschaft in Abhängigkeit von Bodenform und Geländehöhe.
- (9) Die Kenntnis der Grund- und Oberflächenwasserstände und -schwankungen sind von essentieller Bedeutung für Auenökosysteme. Können sie nicht kontinuierlich gemessen, müssen sie abgeschätzt werden. Die gemessenen und abgeleiteten Eigenschaften ermöglichen mit Hilfe der Bodenform den standörtlichen Einfluss auf die Redoxbedingungen (10) abzuleiten sowie die Sorption, Transformation und die potenzielle Mobilität von Nähr- und Schadstoffen (11) abzuschätzen und auf andere Auenstandorte zu übertragen.

Der Gerätebedarf ist äußerst gering:

- Spaten.
- Pürckhauer Bohrstock 1 m,
- Fläschchen HCl.
- Bodenkundliche Kartieranleitung 4. Aufl. (KA 4),
- pH-Elektrode, Lf-Elektrode incl. tragbares Handmessgerät,
- ggf. Munsell-Farbtafel (MUNSELL 1994).

In der zweiten Stufe wird die Aussagegenauigkeit verbessert. Zusätzlich zu Stufe 1 werden einfache, standardisierte Laboranalysen vorgenommen (Abb. 3). Die Körnung (Bodenart oder Textur) wird analytisch bestimmt (1a). Der Carbonatgehalt (2a) und der pH-Wert (3a) werden analytisch ermittelt (SCHLICHTING ET AL. 1995). Bei Informationsbedarf über Austauschverhältnisse, variable Ladungen etc. sollte der pH-Wert außer in CaCl₂-Lösung auch in KCl-Lösung oder destilliertem Wasser gemessen werden (3b). Kleinräumige, aktuelle pH-Unterschiede sollten jedoch in situ vermessen werden (FRANKE UND RINKLEBE 2001).

Der Eindringungswiderstand (1b) des Bodens wird im Feld gemessen. Er kann gemeinsam mit den Grundinformationen Bodenart, Humusgehalt und Trockenrohdichte als Indikator für die aktuelle Bodenfeuchte dienen, und er erlaubt Rückschlüsse auf die physikalische Beschaffenheit (Eindringwiderstand <==> Lagerungsdichte) und die Quellungs- und Schrumpfungsdynamik von Auenböden (THOMAS ET AL. 2000).

Der Gesamtkohlenstoffgehalt (4a) wird mittels C/N/S-Analyser gemessen. Anschließend wird vom Gesamtkohlenstoffgehalt der anorganische Teil substrahiert (Messung des Carbonates), um den organischen Kohlenstoffgehalt zu ermitteln. Multipliziert man diesen mit Faktor 2, so erhält man den Humusgehalt (SCHLICHTING ET AL. 1995). Dieser wiederum ist von enormer Bedeutung für die Sorption, Transformation und Mobilität von Nähr- und Schadstoffen sowie für Redoxprozesse (SCHEFFER ET AL. 1998). Bestimmt man zusätzlich den Gehalt an labilem Kohlenstoff (heißwasserlösliche Fraktion) (4b), so erlaubt dies eine ergebnisverbessernde Prognose von potenziellen Redoxpotenzialänderungen in Auenböden (HEINRICH ET AL. 1999, 2000). Die heißwasserlösliche Kohlenstofffraktion ermöglicht eine einfache Indikation der bodenmikrobiellen Aktivität in Auenböden (RINKLEBE ET AL. 2001c).

Die elektrische Leitfähigkeit (5a) wird laboranalytisch bestimmt.

Die Einschätzung des Hydromorphiegrades eines Bodens wird durch die Bodenfarbbestimmung (6a) mit Munsell-Farbtafeln (MUNSELL 1994) wesentlich verbessert. Dies erlaubt eine differenziertere Einschätzung der Eisenoxidgehalte und -formen (Indikatoreffekt) (SCHEINOST UND SCHWERTMANN 1999). Des weiteren erlaubt die Bodenfarbbestimmung mit Munsell-Farbtafeln eine Einschätzung des Humusgehaltes (BLUME UND HELSPER 1987).

Fluss- und Oberflächenmesspegel werden errichtet und Wasserstände gemessen. Der Niederschlag wird erfasst, Grundwasserpegelrohre werden installiert und der Grundwasserstand wird gemessen. So können Flusswässer (9a), Oberflächenwässer (9b), Niederschlagswässer (9c) und Grundwässer (9d) beprobt, analysiert und ihre Dynamik erfasst werden. In diesen Wässern werden gemessen (9e):

pH-Wert (Messung; Elektrode),
elektrische Leitfähigkeit (Messung; Elektrode),
Sauerstoffgehalt (Messung; Elektrode),
Redoxpotenzial (Messung; Elektrode),

ggf. standortspezifische Ergänzung (9f).

Der Erfassungsaufwand und die Robustheit sind mittel. Notwendig sind das Wissen und die Geräte wie bei Stufe 1, bodenkundliche und hydrologische Fachkenntnisse, standortkundliche Erfahrung sowie eine einfache Laborausstattung. Der Gerätebedarf im Gelände ist gering bis mittel:

- Spaten,
- Pürckhauer Bohrstock 1 m,
- Fläschchen HCl,
- Bodenkundliche Kartieranleitung 4. Aufl. (KA 4),
- pH- und Lf-Elektroden, Redox- u. O₂-Elektroden einschließlich tragbare Handmessgeräte,
- Eindringungswiderstandsmessgerät,
- Munsell-Farbtafeln (MUNSELL 1994),
- Fluss- und Oberflächenmesspegel,
- Niederschlagssammler,
- Grundwasserpegelrohr (Piezometer).

Die dritte Stufe beinhaltet die Erfassungen der Stufen 1+2 und eine umfassende Laboranalytik, eine moderne Feldmesstechnik sowie eine entsprechende Untersuchungsdauer.

Mittels bodenhydrologischer Messplätze ist die Erfassung von Bodenfeuchte-, Saugspannungs- und Temperaturmessungen möglich. Bodenlösung wird gewonnen und Kat- und Anionen, Schwermetalle sowie DOC/DON periodisch gemessen. Grund-, Fluss- und Oberflächenwässer können umfassend analytisch untersucht werden (Kat- und Anionen, DOC/DON ggf. Isotope u.v.a.m.).

Bodenphysikalische Kennwerte wie die kf-Werte, die pF-Werte und die Lagerungsdichte werden im Labor bestimmt. Hierfür müssen Stechzylinder an Bodenprofilen entnommen werden. Die effektive und potenzielle Kationenaustauschkapazität sowie die Basensättigung werden gemessen. Die Eisengesamtgehalte, die oxalat- und dithionitlöslichen Eisenanteile werden bestimmt und bewertet.

Bodenmikrobielle Untersuchungen verfeinern den Informationsgehalt, insbesondere da Redoxprozesse mikrobiell induziert sind. Die mikrobielle Biomasse, die Dimethylsulfoxidreduktion und aktivitätszeigende Bodenenzyme (Leistungsparameter) wie die beta-Glucosidase-, die Protease- sowie die Dehydrogenase- und die alkalische Phosphataseaktivität können als Indikatoren für Redoxpotenzialänderungen in Auenböden herangezogen werden (RINKLEBE ET AL 2001B).

Der Erfassungsaufwand und damit auch die Aussagegenauigkeit ist sehr hoch. Die Robustheit ist gering. Notwendig sind bodenkundliche und hydrologische Fachkenntnisse, Erfahrung sowie eine umfassende, moderne Laborausstattung sowie eine moderne Feldmesstechnik. Der Gerätebedarf im Gelände ist sehr hoch. Erweiternd zu Stufen 1+2 sind nötig:

- FDR oder TDR-Sonden,
- Tensiometer,
- Thermometer.
- Saugkerzen,
- Stechzylinder,
- Datenlogger, Energieversorgung etc.

Bodenformen integrieren einen Komplex bodenökologischer Eigenschaften. Kenntnisse über ihre Verbreitung ermöglichen eine Übertragbarkeit von Bodeneigenschaften auf Auenböden anderer Standorte. So können Eigenschaften von Auenbodenformen auf weitere Flussabschnitte oder Auenböden anderer Flussaysteme anhand von vorliegenden Bodenkarten in den Geologischen Landesämtern prognostiziert bzw. übertragen werden.

Die flächenhafte Umsetzung der Ergebnisse und Übertragbarkeit erfolgt in RIVA auf der Grundlage aller während der Flächen deckenden bodenkundlichen Kartierung im Gelände erhobenen Parameter (z.B. in Steckby, 613) und den Bodenformenkarten (RINKLEBE ET AL. 2000b,c). Die Prognose ökologisch bedeutsamer Bodenparameter (Indikatoren) wie der Bodenart und dem Humusgehalt erfolgt mittels geostatistischer Verfahren wie dem *Ordinary Kriging*, dem *universellen Kriging*, dem *Indikatorkriging* und dem *Cokriging* (WACKERNAGEL 1995, WÄLDER 2001). Das numerische Grundwassermodell ermöglicht die Extrapolation vom Punkt in die Fläche sowie Simulationen unterschiedlicher Überflutungsszenarien und wirkt damit prognostizierend (BÖHNKE UND GEYER, 2000).

Literatur

- AMARELL, U., KLOTZ, S. (2001) Nutzung von Flora und Vegetation zur Bioindikation in Auen. UFZ-Bericht. In diesem Band
- Arbeitsgruppe Boden (1994) Bodenkundliche Kartieranleitung. (KA 4) 4. verbess. u. erw. Aufl. In: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und Geologische Landesämter der BR Deutschland (Hrsg.) E. Schweizerbart`sche Verlagsbuchhandlung, Hannover
- ARBEITSKREIS FÜR BODENSYSTEMATIK DER DEUTSCHEN BODENKUNDLICHEN GESELLSCHAFT (1998) Systematik der Böden und der bodenbildenden Substrate Deutschlands. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, Band 86, 1–180
- Blume, H.-P., Helsper, M. (1987) Schätzung des Humusgehaltes nach der Munsell-Farbhelligkeit. Z. Pflanzenernähr. Bodenk., 150: 354–356
- BÖHNKE, R., GEYER, S. (2000) Numerische Modellierung der Grundwasserdynamik in Flussauen der Mittelelbe. ATV-DVWK-Schriftenreihe. bmbf. Gewässer, Landschaft. Aquatic Landscapes. ISBN: 3-933707-64-1. 22. 228–229
- FRANKE, C., RINKLEBE, J. (2001) Kleinräumige Heterogenität der Bodenazidität in Auenböden. UFZ-Bericht. In diesem Band
- Franke, C., Rinklebe, J., Heinrich, K., Neumeister, H., Nieue, H.-U., Geyer, S. (1999) Räumliche Verteilung ausgewählter Bodenkennwerte im Biosphärenreservat "Mittlere Elbe" und Landschaftsschutzgebiet "Untere Havel", Leipziger Geowissenschaften. 11. S. 167–174. ISSN: 0948-1257
- FRANKE, C., RINKLEBE, J., NEUE, H.-U. (2000) Heterogenität ausgewählter Kennwerte unterschiedlicher Bodenformen von Auenböden. ATV-DVWK-Schriftenreihe. bmbf. Gewässer, Landschaft. Aquatic Landscapes. ISBN: 3-933707-64-1. 22. 230231
- GISI, U., SCHENKER, R., SCHULIN, R., STADELMANN, F.X., STICHER, H. (1990) Bodenökologie. Georg Thieme Verlag Stuttgart. New York. ISBN: 3 13 747201 6
- HBU Handbuch der Bodenuntersuchung (2000) Bd. 1 und 2. DIN-Vorschriften. Wiley-VCH. Beuth Berlin Wien Zürich
- HEINRICH, K., RINKLEBE, J., KLIMANEK, E.-M., NEUE, H.-U. (1999) Einfluß von leicht umsetzbaren Kohlenstofffraktionen auf Redoxpotentialveränderungen während simulierter Hochwasserereignisse in Auenböden des Biosphärenreservates Mittlere Elbe. Mitteilg. d. DBG, 91, I: 359–362
- HEINRICH, K., RINKLEBE, J., NEUE, H.-U. (2000) Einfluß des heißwasserlöslichen Kohlenstoffs auf Redoxpotentialänderungen während simulierter Hochwasserereignisse in Auenböden. In: Friese, K., Witter, B., Rode, M., Miehlich, G. (Hrsg.) Stoffhaushalt von Auenökosystemen. Böden und Hydrologie, Schadstoffe, Bewertungen. Springer Verlag. ISBN: 3-540-67068-8. S. 47–54
- HEINRICH, K., RINKLEBE, J., NEUE, H.-U. (2001) Prognose von Redoxpotentialveränderungen in Auenböden der Elbe. UFZ-Bericht. In diesem Band
- Helbach, C., Rinklebe, J., Neue, H.-U. (2000) Der Einfluß der Bodenfeuchte auf den Eindringwiderstand in Auenböden. ATV-DKW-Schriftenreihe. bmbf. Gewässer, Landschaft. Aquatic Landscapes. ISBN: 3-933707-64-1. 22. 234–234
- Helbach, C., Rinklebe, J., Neue, H.-U. (2001) Der Eindringwiderstand in Auenböden als Indikator der Bodenfeuchte. UFZ-Bericht. In diesem Band
- Munsell, R. (1994) Soil color charts. Revised Edition. Macbeth Division of Kollmorgan Instruments Corporation. Piorr, H.-P., Frielinghaus, M., Müller, L. (2000) Soil Indicator Systems the basis for soil conservation decisions. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, Bd. 93, 161-164, ISSN: 0343-1071
- RINKLEBE, J., HEINRICH, K., NEUE, H.-U. (2000A) Auenböden im Biosphärenreservat Mittlere Elbe ihre Klassifikation und Eigenschaften. In: Friese, K., Witter, B., Rode, M., Miehlich, G. (Hrsg.) Stoffhaushalt von Auenökosystemen. Böden und Hydrologie, Schadstoffe, Bewertungen. Springer Verlag. ISBN: 3-540-67068-8. S. 37–46
- RINKLEBE, J., EHRMANN, O., NEUE, H.-U. (2001c) Bodenmikromorphologische Studien von fluviatilen Schichtungen, von Pyriten sowie der Verkittung von Quarzen mit Eisenoxiden in einem Gley aus Auensand über tiefem Auenschluffton. UFZ-Bericht. In diesem Band

- RINKLEBE, J., HEINRICH, K., NEUE, H.-U. (2001A) Übertragbarkeit von stabilen und dynamischen Eigenschaften von Auenböden mit Hilfe von Kenntnissen über deren Verbreitung. UFZ-Bericht. In diesem Band
- RINKLEBE, J., HEINRICH, K., NEUE, H.-U. (2001B) Bodenmikrobielle Indikatoren von Redoxpotentialänderungen in Auenböden. Unveröfftl. Manuskript zum Vortrag zur Jahrestagung der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, September 2001 in Wien. Drucklegung Mitteilg. d. DBG vorr. 10/2001
- RINKLEBE, J., HEINRICH, K., NEUE, H.-U. (2001c) Der umsetzbare Kohlenstoff als Indikator für die potentielle bodenmikrobielle Aktivität in Auenböden. UFZ-Bericht. In diesem Band
- RINKLEBE, J., HELBACH, C., FRANKE, F., NEUE, H.-U. (2000B) Großmaßstäbige Bodenformenkarte der "Schöneberger Wiesen" bei Steckby im Biosphärenreservat Mittlere Elbe. Mitteilung Nr. 6 der Bundesanstalt für Gewässerkunde/ Projektgruppe Elbe Ökologie, Koblenz Berlin. Tagungsband des Statusseminars Elbe Ökologie vom 02. bis 05. November 1999 in Berlin. 225–226
- RINKLEBE, J., MARAHRENS, S., BÖHNKE, R., AMARELL, U., NEUE, H.-U. (2000c) Großmaßstäbige bodenkundliche Kartierung im Biosphärenreservat Mittlere Elbe. In: Friese, K., Witter, B., Rode, M., Miehlich, G. (Hrsg.) Stoffhaushalt von Auenökosystemen. Böden und Hydrologie, Schadstoffe, Bewertungen. Springer Verlag. ISBN: 3-540-67068-8. S. 27–35
- Scheffer, F. (1998) Lehrbuch der Bodenkunde. 14., neu bearbeitete und erweiterte Auflage von P. Schachtschabel, H.-P. Blume, G. Brümmer, K.-H. Hartge, U. Schwertmann. Stuttgart. Ferdinand Enke Verlag. ISBN 3-432-84774-2
- Scheinost, A.C., Schwertmann, U. (1999) Color Identification of Iron Oxides and Hydroxysulfates: Use and Limitations. Soil Sci. Soc. Am. J., 63: 1463–1471
- Schlichting, E., Blume, H.-P., Stahr, K. (1995) Bodenkundliches Praktikum. 2., neubearbeitete Auflage. Blackwell Wissenschafts-Verlag Berlin Wien
- THOMAS, P.J., BAKER, J.C., ZELAZNY, L.W., HATCH, D.R. (2000) Relationship of Map Unit Variability to Shrink-Swell Indikators. Soil Sci. Soc. Am. J., 64: 262–268
- WACKERNAGEL, H. (1995) Multivariate Geostatistics. 1. Aufl. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York WÄLDER, K. (2001) Vorhersage von Bodenart und Humusgehalt mit geostatistischen Methoden. UFZ-Bericht. In diesem Band

Indikation in Auen

Präsentation der Ergebnisse aus dem RIVA-Projekt

Mathias Scholz, Sabine Stab, Klaus Henle (Hrsg.)

UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH Projektbereich Naturnahe Landschaften und Ländliche Räume

Das dem Bericht zugrunde liegende Projekt wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF, Projektträger BEO) unter dem Förderkennzeichen 0339579 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt der Beiträge liegt bei den Autoren.