



BONARES
Zentrum für Bodenforschung

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Forschung, Technologie
und Raumfahrt

SCHLUSSBERICHT

zum Forschungsvorhaben 031B1064E

BonaRes (Modul B): BonaRes-Zentrum für Bodenforschung, Teilprojekt E

Ausführende Stelle: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)
Geozentrum Hannover
Stilleweg 2
30655 Hannover

Projektleiter: Dr. Einar Eberhardt

Die Verantwortung für den Inhalt dieser
Veröffentlichung liegt beim Autor.

I. Kurzbericht

Die Fördermaßnahme "**Boden als nachhaltige Ressource für die Bioökonomie - BonaRes**" ist eine Initiative des Bundesministeriums für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR) im Rahmen der "Nationalen Forschungsstrategie BioEconomy 2030" (Förderung: 2015 bis 2025). BonaRes ist motiviert durch die Notwendigkeit, wesentliche Funktionen des Bodens zu sichern und gleichzeitig die Produktivität ("Fruchtbarkeit") der Böden für die Biomasseproduktion zu erhalten und sogar zu erhöhen. In der dritten Förderphase wurden im Rahmen von BonaRes insgesamt 11 Projekte gefördert (siehe auch www.bonares.de). Zehn Projektverbünde forschten zu spezifischen Themen der nachhaltigen Bodenbewirtschaftung (Modul A). Das **BonaRes-Zentrum für Bodenforschung** hatte als Koordinationsprojekt (Modul B) die Aufgabe, die verschiedenen Akteure bei der Entwicklung eines systemischen Managements von Bodenfunktionen zu unterstützen und damit umweltschonenden und gesellschaftlichen Zielen gerecht zu werden. Die Aktivitäten des BonaRes-Zentrums gliederten sich in vier Aufgaben:

1. Koordination und Kommunikation
2. Bereitstellung bodenbezogener Forschungsdaten, einschließlich der Daten aus den deutschen landwirtschaftlichen Dauerfeldversuchen, über ein zentrales Repository
3. Modellierung von Böden als komplexe Systeme zur Vorhersage der Auswirkungen der Bodenbewirtschaftung auf die Bodenfunktionen, die mit Bewertungs- und Governancestrategien in einem sozioökonomischen Kontext verknüpft werden
4. Implementierung einer webbasierten Infrastruktur zur informations- und wissensbasierten Entscheidungsunterstützung.

Damit erbrachte das BonaRes-Zentrum wesentliche Dienstleistungen für die wissenschaftliche Gemeinschaft und sollte den wissenschaftlichen Fortschritt wesentlich fördern und stimulieren: Es koordinierte den wissenschaftlichen Austausch zwischen allen im Rahmen der BonaRes-Initiative und darüber hinaus geförderten Projekten und organisierte Öffentlichkeitsarbeit zur Relevanz des Bodens für die Bioökonomie. Forschungsdaten und Daten aus Dauerfeldversuchen wurden in einem bodenorientierten Datenrepository gespeichert und zur Verfügung gestellt. In Kooperation mit den Modul A-Projekten wurde vorhandenes und neu generiertes Wissen zu Bodenprozessen genutzt, um wissenschaftsbasierte Modellwerkzeuge zu entwickeln, die in der Lage sind, die Auswirkungen der Bodenbewirtschaftung auf die Bodenfunktionen unter Berücksichtigung der lokalen Bedingungen in Bezug auf Bodenart, Landnutzung und Klima vorherzusagen. Zusätzlich wurde eine Literaturdatenbank („Knowledge Library“) mit besonderem Fokus auf Bodenprozesse und Bodenfunktionen entwickelt. Der angestrebte systemische Ansatz berücksichtigte ebenso die Wechselwirkungen mit dem Sozial- und Wirtschaftssystem, da der soziale und wirtschaftliche Kontext der Landwirtschaft offensichtliche Auswirkungen auf die natürliche Umwelt hat. Bodenbewirtschaftungsstrategien zur Optimierung der natürlichen Bodenfunktionen wurden vor dem Hintergrund der landwirtschaftlichen Betriebsziele und gesellschaftlicher Ziele wie Ressourcennutzungseffizienz, Ökosystemdienstleistungen und Zielen der nachhaltigen Entwicklung (SDGs) bewertet. Darüber hinaus wurden entsprechende Governance-Instrumente vorgeschlagen. All dies, zusammen mit dem wissenschaftlichen Fortschritt im Rahmen des BonaRes-Programms, wurde (und wird weiterhin) über ein Web-Portal zur Verfügung gestellt.

Das Projekt BonaRes-Zentrum wurde in der dritten Förderphase (02/2022 – 10/2025) durch ein aus fünf Partnern (Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ GmbH; Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V.; Technische Universität München, Lehrstuhl für Bodenkunde (TUM); Senckenberg Gesellschaft für Naturforschung (SGN); Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) bearbeitet. **Die BGR war in diesem Rahmen neben der Beteiligung an Koordination und Kommunikation für die Entwicklung eines bodenkartenbasierten Regionalisierungsverfahrens für die bundesweite Regionalisierung von Modellierungsergebnissen verantwortlich.**

Während der dritten Förderphase wurden die Arbeiten entsprechend den Planungen fortgeführt.

Zur Qualitätssicherung von Bodendaten wurde der [Konformitäts- und Plausibilitätsschlüssel](#) KA 5 aus Phase 2 technisch fertiggestellt und veröffentlicht. Das ZALF hat Teile dieses Ansatzes in den Workflow der Bodendatenaufnahme in das BonaRes-Datenzentrum integriert.

Für die [Regionalisierung](#) von Modellierungsergebnissen sowohl zu potentiellen Bodenfunktionen als auch zu deren Erfüllungsgrad wurden Bodenprofil-Ähnlichkeitsanalysen durchgeführt, die auf Sensitivitätsuntersuchungen für die untersuchten Parameter aufbauen.

Die Gesamtauswertung der Ähnlichkeitsanalysen zwischen den Ackerleitprofilen der BÜK 200 und realen Bodenprofilen wurde abgeschlossen. Entsprechend der Anzahl der in Projektphase 2 definierten Ähnlichkeitsindikatoren wurden 12 bundesweite Karten erstellt, die jeweils die räumliche Verteilung der erfolgreichen Zuordnungen zeigen. Nur ein unerwartet geringer Anteil von 67,1 % der BÜK 200-Profile konnte mit Realprofilen belegt werden, die den Indikator mit der geringsten geforderten Ähnlichkeit erfüllen. Nur in den Regionen mit überwiegend einfachem, homogenem Bodenprofilaufbau werden auch die anspruchsvolleren Ähnlichkeitsindikatoren erfüllt (weite Teile der Jung- und Altmoränengebiete sowie der Lösslandschaften). Daher wurde zusätzlich ein hybrider Ansatz der Datennutzung verfolgt. In diesem Ansatz werden mittlere numerische Bodenparameterwerte entsprechend den in der BÜK 200-Datenbank vorgehaltenen klassierten Parameterwerten mit Messwerten ähnlicher Realprofile kombiniert.

Für Sensitivitätsstudien mit dem BODIUM-Modell wurde ein so genanntes allgemeines Simulations-Set erstellt und diese bezüglich wichtiger Antriebsparameter durchgeführt. Die in Phase 2 entwickelte Methodik zur Ähnlichkeitsbestimmung zwischen Bodenprofilen wurde basierend auf den Ergebnissen vertiefter CANDY-Sensitivitätsanalysen bewertet. Die detaillierte Diskussion der Sensitivitätsanalysen mit CANDY wurde in einem Bericht dargelegt.

Nach wiederholter umfangreicher Qualitätsprüfung des BODIUM-Modells wurden bundesweite Bodenfunktionskarten auf Basis der BÜK1000N mit dem Modell CANDY vorgenommen. Der methodische Bericht zur Ähnlichkeitsbestimmung zwischen Bodenprofilen wurde erstellt und darin auch die auf der Basis der CANDY-Simulationsergebnisse erstellen Bodenfunktionskarten beschrieben und diskutiert.

Da bei CANDY die erwartete Ertragshöhe vorgegeben werden muss, sind diese Ergebnisunterschiede zwar entsprechend gedämpft, sie bilden die Intensität der Umsatzprozesse und das Ausmaß von Speichereigenschaften jedoch plausibel ab. Primäres Ziel war es auch hier, die Ergebnisbandbreiten wichtiger Zielparameter für die jeweils drei Texturvarianten eines jeden Bodenprofils zu ermitteln. Die Wetterdaten wurden für die drei Klimaregionen Deutschlands von je einer Wetterstation und ein verbreitetes Bewirtschaftungsszenario verwendet. Zusätzlich erfolgten Simulationen für alle terrestrischen Ackerböden der BÜK1000N mit dem einheitlichen Wetter von Bad Lauchstädt, um den Einfluss der Bodeneigenschaften auf die Ausprägung der Zielparameter getrennt auswerten zu können.

Teil II. Eingehende Darstellung

Die Fördermaßnahme "Boden als nachhaltige Ressource für die Bioökonomie - BonaRes" ist eine Initiative des Bundesministeriums für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR) im Rahmen der "Nationalen Forschungsstrategie BioEconomy 2030" (Förderung: 2015 bis 2025). BonaRes ist motiviert durch die Notwendigkeit, wesentliche Funktionen des Bodens zu sichern und gleichzeitig die Produktivität ("Fruchtbarkeit") der Böden für die Biomasseproduktion zu erhalten und sogar zu erhöhen. In der dritten Förderphase wurden im Rahmen von BonaRes insgesamt 11 Projekte gefördert (siehe auch www.bonares.de). Zehn Projektverbünde forschten zu spezifischen Themen der nachhaltigen Bodenbewirtschaftung (Modul A). Das [BonaRes-Zentrum für Bodenforschung](#) hatte als Koordinationsprojekt (Modul B) die Aufgabe, die verschiedenen Akteure bei der Entwicklung eines systemischen Managements von Bodenfunktionen zu unterstützen und damit umweltschonenden und gesellschaftlichen Zielen gerecht zu werden. Die Aktivitäten des BonaRes-Zentrums gliederten sich in vier Aufgaben:

1. Koordination und Kommunikation
2. Bereitstellung bodenbezogener Forschungsdaten, einschließlich der Daten aus den deutschen landwirtschaftlichen Dauerfeldversuchen, über ein zentrales Repository
3. Modellierung von Böden als komplexe Systeme zur Vorhersage der Auswirkungen der Bodenbewirtschaftung auf die Bodenfunktionen, die mit Bewertungs- und Governancestrategien in einem sozioökonomischen Kontext verknüpft werden
4. Implementierung einer webbasierten Infrastruktur zur informations- und wissensbasierten Entscheidungsunterstützung.

Damit erbrachte das BonaRes-Zentrum wesentliche Dienstleistungen für die wissenschaftliche Gemeinschaft und sollte den wissenschaftlichen Fortschritt wesentlich fördern und stimulieren: Es koordinierte den wissenschaftlichen Austausch zwischen allen im Rahmen der BonaRes-Initiative und darüber hinaus geförderten Projekten und organisierte Öffentlichkeitsarbeit zur Relevanz des Bodens für die Bioökonomie. Forschungsdaten und Daten aus Dauerfeldversuchen wurden in einem bodenorientierten Datenrepository gespeichert und zur Verfügung gestellt. In Kooperation mit den Modul A-Projekten wurde vorhandenes und neu generiertes Wissen zu Bodenprozessen genutzt, um wissenschaftsbasierte Modellwerkzeuge zu entwickeln, die in der Lage sind, die Auswirkungen der Bodenbewirtschaftung auf die Bodenfunktionen unter Berücksichtigung der lokalen Bedingungen in Bezug auf Bodenart, Landnutzung und Klima vorherzusagen. Zusätzlich wurde eine Literaturlibrary („Knowledge Library“) mit besonderem Fokus auf Bodenprozesse und Bodenfunktionen entwickelt. Der angestrebte systemische Ansatz berücksichtigte ebenso die Wechselwirkungen mit dem Sozial- und Wirtschaftssystem, da der soziale und wirtschaftliche Kontext der Landwirtschaft offensichtliche Auswirkungen auf die natürliche Umwelt hat. Bodenbewirtschaftungsstrategien zur Optimierung der natürlichen Bodenfunktionen wurden vor dem Hintergrund der landwirtschaftlichen Betriebsziele und gesellschaftlicher Ziele wie Ressourcennutzungseffizienz, Ökosystemdienstleistungen und Zielen der nachhaltigen Entwicklung (SDGs) bewertet. Darüber hinaus wurden entsprechende Governance-Instrumente vorgeschlagen. All dies, zusammen mit dem wissenschaftlichen Fortschritt im Rahmen des BonaRes-Programms, wurde (und wird weiterhin) über ein Web-Portal zur Verfügung gestellt.

Das Projekt BonaRes-Zentrum wurde in der dritten Förderphase (02/2022 – 10/2025) durch ein aus fünf Partnern (Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ GmbH; Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V.; Technische Universität München, Lehrstuhl für Bodenkunde (TUM); Senckenberg Gesellschaft für Naturforschung (SGN); Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) bearbeitet.

In diesem Schlussbericht sind die Ergebnisse zu den Aufgaben des Partners BGR (Teilprojekt 031B1064E) beschrieben.

1. Verwendung der Zuwendung sowie die erzielten Ergebnisse im Einzelnen mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

Arbeitspaket 1 - BonaRes-Koordination

Die BGR hat, wie alle Projektpartner mit ihren PIs, zur Koordination des BonaRes-Zentrums (WP1) als Mitglied des operativen Vorstands beigetragen, der der Lenkungsausschuss für alle Aktivitäten des BonaRes-Zentrums ist.

Die Aktivitäten im Arbeitspaket 1 gliederten sich in der dritten Projektphase in fünf Aufgaben: 1) Qualitätsmanagement, 2) Community Building, 3) Interaktion mit Interessengruppen und Verbreitung von Informationen, 4) Outreach und 5) Verstetigung. Die Aufgaben wurden in enger Kooperation mit den Projektpartnern umgesetzt. Die BGR hat zu den Aufgaben 1, 2 und 4 ihre Expertise eingebracht. An der Verstetigung ist die BGR hingegen nicht beteiligt.

Aufgabe 1.1 - Qualitätsmanagement

Die Aufgaben des Qualitätsmanagements wurden wie schon in Phase 1 und 2 etabliert weitergeführt: Die Aktivitäten innerhalb des BonaRes-Zentrums und die Zusammenarbeit mit den Modul A- und Rhizo4Bio-Projekten wurden im Operationellen Management Board des BonaRes-Zentrums in regelmäßigen bzw. bedarfsorientierten [Videokonferenzen](#) (M1.1.1) diskutiert. Ein Update des [Qualitätssicherungs- und -kontrollplans](#) (M1.1.2) war im Berichtszeitraum nicht erforderlich.

[Projekttreffen des BonaRes-Zentrums](#) (M1.1.3) haben am 23./24.06.2022 auf Schloß Machern und am 4./5.10.2023 im Leipziger KUBUS stattgefunden. Ein separates Projekttreffen des BonaRes-Zentrums hat im Jahr 2024 nicht stattgefunden. Die relevanten Ergebnisse wurden auf der BonaRes-Abschlusskonferenz im Mai 2024 vorgestellt. Durch den regelmäßigen Austausch der Beteiligten über Videokonferenzen in den jeweiligen Arbeitspaketen und darüber hinaus wurde ein physisches Treffen im Jahr 2024 als nicht notwendig angesehen. [Jährliche Zwischen- und Fortschrittsberichte](#) wurden verfasst und eingereicht (M1.1.4). Das [Scientific Board](#) (Kordinator:innen der BonaRes- und Rhizo4Bio-Projekte) traf sich am 07.03.2022 per Videokonferenz und am 8.2.2023 in Berlin, um den aktuellen Stand der Arbeiten, Kooperationen zwischen den Projekten sowie die Verstetigung der BonaRes-Gemeinschaft zu besprechen (M1.1.5).

Die BGR trug zum regelmäßigen Austausch zwischen den Projektleitern der Projektpartner im so genannten "Operationellen Management Board" durch Beteiligung an den physischen Treffen und regelmäßigen Videokonferenzen bei, bei denen Aktivitäten und Ressourcenmanagement diskutiert sowie Meilensteine und Ergebnisse bewertet wurden. Dies erstreckte sich auch auf den Austausch mit dem wissenschaftlichen Beirat und dem Internationalen Advisory Board und auf die Unterstützung von Outreach-Aktivitäten. Die BGR hat regelmäßig an den Statusseminaren und der BonaRes-Konferenz mit Beiträgen beteiligt und außerdem zu den regelmäßigen Projektberichten beigetragen.

Tabelle 1: Qualitätsmanagement - Gegenüberstellung der vorgegebenen Meilensteine (M) und Deliverables (D) mit Beteiligung der BGR

Meilenstein	Ergebnis
M1.1.1: Videokonferenz Management Board BonaRes-Zentrum (monatlich, alle Partner; Organisation: UFZ)	Die Aktivitäten des Zentrums bedarfsorientiert in Videokonferenzen diskutiert.
M1.1.2: Aktualisierung des Qualitätssicherungs- und -kontrollplans (Monate 12, 24, 36; alle Partner, Leitung: UFZ)	Ein Update des QA/QC-Plans war im Berichtszeitraum nicht mehr erforderlich.

M1.1.3: Projekttreffen BonaRes-Zentrum (jährlich; alle Partner; Organisation: UFZ)	Das Projekttreffen fand am 04./05.10.2023 im Leipziger KUBUS statt.
M1.1.4: Jährlicher Zwischen- und Fortschrittsbericht (alle Partner, Leitung: UFZ)	Die geforderten Zwischen- und Fortschrittsberichte wurden jeweils im Februar und September beim PtJ eingereicht.
M1.1.6: Jährliches Treffen des internationalen Beirats des BonaRes-Zentrums im Anschluss an ein Statusseminar oder eine internationale Konferenz (Organisation: UFZ)	Das Advisory Board Meeting fand im Rahmen der BonaRes-Konferenz am 16.05.2023 statt.

Abgabe 1.2 - Community Building

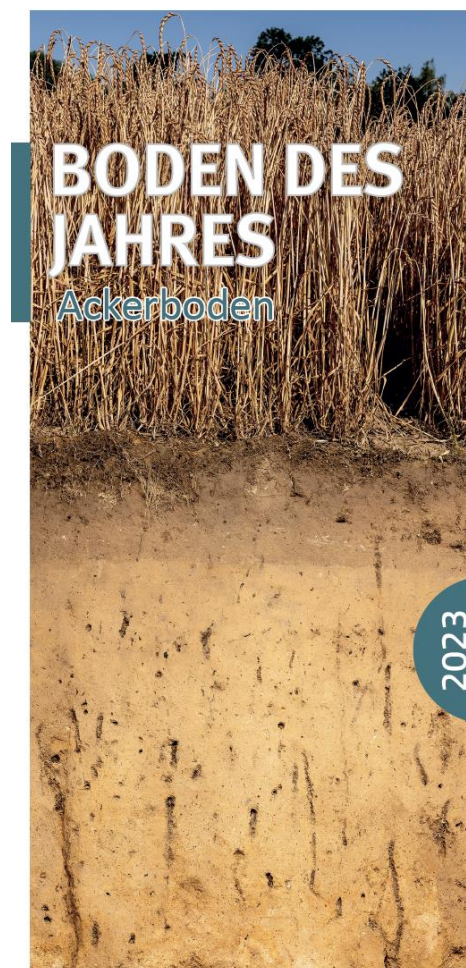
Die Aktivitäten zum **Community Building** sollten die Zusammenarbeit zwischen Wissenschaftler:innen, Interessen- und Nutzergruppen steuern und erleichtern, um die Entwicklung einer nationalen Plattform für nachhaltige Bodenbewirtschaftung im Hinblick auf eine nachhaltige Bioökonomie zu unterstützen. Die Zusammenarbeit und Nutzung von Synergien wurde durch wissenschaftliche Konferenzen, thematische Workshops, gemeinsame Publikationen und Messeauftritte motiviert. Das BonaRes-Zentrum spielte eine unterstützende Rolle, u.a. bei der gemeinsamen Entwicklung von Kernthemen innerhalb der BonaRes-Förderinitiative wie dem Konzept der Bodenfunktionen und -dienstleistungen, der Integration von Indikatoren, der systemischen Modellierung, der Nachhaltigkeitsbewertung und Governance, der Datenverfügbarkeit, -bereitstellung und -qualitätssicherung. Darüber hinaus unterstützte es die Projekte bei der Speicherung und Bereitstellung von Daten (Arbeitspaket 2), der Entwicklung von Modellen und Tools (Arbeitspaket 3) und der Bereitstellung von Informationen, die für die gesamten BonaRes-Aktivitäten relevant sind - möglichst breit angelegt - im BonaRes Portal (alle Arbeitspakete). In diesem Abschnitt sind die allgemeinen Aktivitäten von Arbeitspaket 1 (Koordination) zum Community Building zusammengefasst. Die spezifischen Aktivitäten der Arbeitspakete 2 bis 4 zu diesem Thema sind in späteren Abschnitten beschrieben.

Tabelle2: Community Building - Gegenüberstellung der vorgegebenen Meilensteine (M) und Deliverables (D) mit Beteiligung der BGR.

Meilenstein	Ergebnis
M1.2.1: Aktualisierung und inhaltliche Erweiterung des BonaRes-Projektportals (kontinuierliche Aktualisierung, 12, 24, 36; UFZ/ZALF unter Einbeziehung aller Partner und Modul-A-Projekte)	Das Portal wurde regelmäßig mit aktuellen Inhalten aktualisiert.
M1.2.3: Jährliche BonaRes-Statusseminare zum Stand des wissenschaftlichen Fortschritts (Monat 6, 18, 30; Organisation: UFZ)	Das BonaRes Statusseminar wurde am 14./15.03.2022 pandemiebedingt als Videokonferenz durchgeführt. 2023 und 2024 wurde die Veranstaltung in die Internationale Konferenz bzw. Fachtagung integriert.
M1.2.4: Internationale BonaRes-Konferenz mit 250-300 Teilnehmern (2022, 2024; Organisation: UFZ)	Die Internationale BonaRes-Konferenz fand vom 15.-17.05.2023 im MOA-Hotel in Berlin statt. Die BonaRes Fachtagung zum Thema "Böden als Grundlage einer nachhaltigen Landwirtschaft" wurde am 28./29.05.2024 im Leipziger KUBUS durchgeführt.

Aufgabe 1.4 – Outreach: Sensibilisierung für den Boden als nachhaltige Ressource

Outreachaktivitäten wie die Schaffung von Bodenbewusstsein, Information und Wissenstransfer an die Akteure der Bioökonomie und die Öffentlichkeit wurden, wie auch schon in den ersten beiden Förderphasen, durchgeführt, um die Sichtbarkeit und das Nutzungspotenzial der BonaRes-Förderinitiative selbst und ihrer Produkte zu erhöhen. Die Aktivitäten in der dritten Förderphase umfassten die Organisation von Veranstaltungen zur Interaktion zwischen Wissenschaft und Anwendern auf Ausstellungen, im Rahmen von Vorträgen und Podiumsdiskussionen sowie Wissenschaftsmessen und die Verbreitung von BonaRes-Aktivitäten und -Ergebnissen in der Öffentlichkeit, um das Bewusstsein für die Bedeutung von Böden als zentrale Ressource für die Bioökonomie zu schärfen. Dies geschah über verschiedene Kanäle, darunter das [BonaRes Portal](#) (u.a. MA 1.3.1), [Social Media](#), [Zeitschriften](#) und [Radiointerviews](#).



Das BonaRes-Zentrum hat für das Jahr 2023 die [Schirmherrschaft für den Boden des Jahres](#) (M1.4.5) (<https://boden-des-jahres.de/>) übernommen. In Abstimmung mit dem *Kuratorium Boden des Jahres* wurde passend zur BonaRes-Förderinitiative der Ackerboden dafür ausgewählt. Er ist kein klassischer Bodentyp im ursprünglichen Sinne der Initiative, erlaubt es aber, die Relevanz der Ackerböden und ihre Schutzwürdigkeit verstärkt ins öffentliche Interesse zu bringen. Für den Boden des Jahres wurde im Berichtszeitraum ein charakteristisches Bodenprofil mit typischen Eigenschaften eines Ackerbodens auf dem Versuchsgut Merklingsen (AG Prof. Thomas Weyer) gefunden, präpariert und für Poster, Flyer und Webseite fotografiert, welche nachfolgend erstellt wurden. Am 5.12.2022 (Weltbodentag) wurde eine [Festveranstaltung im BMBF zur Verkündung des Bodens des Jahres](#) organisiert. Auf der Agenda der Veranstaltung standen eine Laudatio von Thomas Weyer sowie eine Podiumsdiskussion mit Vertreter:innen aus Landwirtschaft, Verwaltung, Wissenschaft und Naturschutz. Die Veranstaltung wurde von Mitarbeitern des BMBF gestreamed und zur Verbreitung im Internet zur Verfügung gestellt (siehe

<https://www.bonares.de/news/mitschnitte-der-festveranstaltung-boden-des-jahres-2023-jetzt-online>).

Weiterhin hat Fa BIOCOM ein kurzes Video zur Veranstaltung, u.a. mit einer Reihe von Kurzinterviews mit Besuchern der Veranstaltung gedreht, welches unter <https://biooekonomie.de/service/mediathek/boden-des-jahres-2023-der-ackerboden> angeschaut werden kann.

Nachfolgend wurde der Boden des Jahres während der Langen Nacht der Wissenschaft in Halle, den Mitteldeutschen Bodenschutztagen sowie auf einem gemeinsamen Stand mit dem Bundesverband Boden auf der DBG-Tagung in Halle vorgestellt.

Die BGR hat hierzu eine Karte der verschiedenen Ackerböden bereitgestellt und in einem Poster die Vielfalt der Ackerböden dargestellt.

Tabelle 3: Outreach: Sensibilisierung für den Boden als nachhaltige Ressource - Gegenüberstellung der vorgegebenen Meilensteine (M) und Deliverables (D)

Meilenstein	Ergebnis
M1.4.5: Schirmherrschaft für den Boden des Jahres 2023 (12/2022; Leitung: UFZ mit Beiträgen aller Partner und Modul A-Projekte, Monat 16)	Verschiedene Aktivitäten; siehe Text

Arbeitspaket 2 (Datenzentrum)

Das Arbeitspaket 2 (WP2) übernimmt innerhalb von BonaRes die Aufgabe, Forschungsdaten aus der Bodenforschung zusammenzuführen und via [BonaRes-Repositoryum](#) in standardisierter Form bereitzustellen. Im BonaRes Repositoryum werden Daten aus den BonaRes-Modul A-Projekten, dem BonaRes-Zentrum, den Rhizo4Bio-Projekten sowie weiteren (inter-)nationalen Forschungsvorhaben veröffentlicht. Einen besonderen Schwerpunkt bildet die Integration von Daten aus Langzeitexperimenten (LTEs) und Bodenprofilen. WP2 fungiert dabei als Dienstleister, der nicht nur die technische Infrastruktur betreibt, sondern auch Werkzeuge für ein anwenderfreundliches Datenmanagement entwickelt und bereitstellt und umfangreichen Support zum Forschungsdatenmanagement anbietet. Ziel ist es, individuell zugeschnittene und benutzerfreundliche Lösungen für die Veröffentlichung wissenschaftlicher Daten zu ermöglichen. Die BGR hat hier insbesondere zu Datenstrukturen und dem DQ-Kit beigetragen.

Datenqualität und das Tool DQ-Kit

Zur systematischen Sicherung der Datenqualität wurde im Projekt das Tool **DQ-Kit** (<https://dqkit.bonares.de/>, **D2.1.2**) entwickelt. Die erste Version wurde im Februar 2024 veröffentlicht. Ziel ist es, sowohl Datenbereitsteller:innen vor dem Upload als auch Datennachnutzer:innen bei der Einschätzung der Qualität wissenschaftlicher Datensätze zu unterstützen. Die Entwicklung erfolgte zunächst in enger Zusammenarbeit zwischen ZALF und SGN. Nach einem Personalwechsel am ZALF wurde die Koordination der Weiterentwicklung des DQ-Kit an eine neue Mitarbeiterin übergeben. Das Tool wurde kontinuierlich weiterentwickelt.

Besonderer Wert wurde auf eine niedrigschwellige Nutzung gelegt: Das DQ-Kit richtet sich auch an Personen ohne Programmierkenntnisse in R oder Python. Seit der Erstveröffentlichung im Mai 2024 generiert das Tool einen herunterladbaren HTML-Bericht, der es ermöglicht, Eigenschaften und Auffälligkeiten in den Daten systematisch zu prüfen. Der Bericht, welcher Teil einer Datenveröffentlichung im BonaRes Repositoryum sein kann enthält:

1. eine Übersicht zum Datensatz,
1. zusammenfassende Statistiken auf Variablenebene,
2. Analysen von Zusammenhängen zwischen Variablen sowie
3. Hinweise auf potenziell problematische Variablen (z. B. Datenlücken oder Kollinearität).

Ein Tool der BGR zur Plausibilitätsprüfung für Bodendaten in Form einer lokal installierbaren Datenbankanwendung ist seit April 2022 in der Version 2.1 online.

Im Laufe des Projektes wurde auf Nachfrage der Nutzenden die BonaRes Profildatenbank entwickelt. Diese erlaubt es, Profilinginformationen in den Standards KA2 bis KA5 qualitätsgesichert aufzunehmen. Die Umsetzung der KA6 in Eingabemaske der BonaRes Bodenprofildatenbank wurde konzeptioniert und die notwendigen Schlüssellisten von der BGR erstellt und an ZALF übergeben. Als Teil einer aktualisierten Version der Software wird die Eingabe von KA6 Daten vom ZALF umgesetzt (**M2.1.5**).

Tabelle 4: Standards und Qualitätssicherung - Gegenüberstellung der vorgegebenen Meilensteine (M) und Deliverables (D) mit Beteiligung der BGR

Plan	Ergebnis
M2.1.2: Zusammenstellung von Rückmeldungen aus der BonaRes-Gemeinschaft zur Verbesserung der Maßnahmen zur Sicherung der Datenqualität (Monat 12; ZALF (Leitung), BGR, SGN)	Erledigt. Rückmeldung der Community vom DQ Workshop in Bonn wurden in die weitere Entwicklung des DQ-Kits mit aufgenommen.
M2.1.3: Vorschlag an die FAO zur Verlängerung von AGROVOC mit BonaRes-Schlüsselbegriffen (Monat 24, ZALF (Leitung), BGR, SGN, TUM, UFZ)	>160 Begriffe übersetzt, inhaltlich ergänzt und/oder und semantisch kategorisiert
M2.1.5: Unterstützung der Ausgabe 6 der Bodenkundlichen Kartieranleitung (KA6) (Monat 36; BGR (federführend), ZALF)	In Umsetzung. Die Umsetzung der KA6 in Eingabemaske der BonaRes Bodenprofildatenbank wurde konzeptioniert und wird als Teil einer aktualisierten Version der Software umgesetzt.
D2.1.2: Abschließende Implementierung von automatisierten Datenqualitätsprüfungen (Monat 30; ZALF (Leitung), BGR, SGN)	DQ-Kit wurde 2024 erstmalig veröffentlicht. Weitere Softwareversionen erweitern die Funktionalität kontinuierlich.

Aufgabe 2.2 Datenerfassung

Metadaten

Die Erstellung des [“BonaRes-Katalogs der Parameter und Methoden”](#) umfasst aktuell 270 Parameter, die für BonaRes Forschungsdaten relevant sind. Dazu gehören ebenfalls entsprechende (bilinguale) Alternativnamen, Verlinkungen zu Messmethoden, Einheiten und Plausibilitätsprüfung. Diese Inhalte wurden in eine Datenbank überführt, welche kontinuierlich weiter ergänzt wird (M2.2.2). Hierzu hat die BGR beigetragen.

Tabelle 5: Datenerfassung - Gegenüberstellung der vorgegebenen Meilensteine (M) und Deliverables (D)

Plan	Ergebnis
M2.2.2: Erweiterung und Verbesserung der Datenbank mit Namen und Methoden für Boden-, Pflanzen- und agronomische Parameter (Monat 18; ZALF (Leitung), BGR, SGN)	Erledigt. Die Liste "BonaRes-Katalogs der Parameter und Methoden" ist in dem DQ-Kit integriert und wird kontinuierlich weiter ergänzt.

Arbeitspaket 3 – Modelle & Werkzeuge

Im Arbeitspaket Modelle und Werkzeuge sollen Konzepte und Methoden entwickelt werden, die es erlauben, den Einfluss von Maßnahmen der Bodennutzung auf die verschiedenen Bodenfunktionen quantitativ zu beurteilen (Aufgaben 3.1-3.3). Dies ist auch eine Voraussetzung für die Bewertung von Politik- und Marktinstrumenten in Bezug auf die Nachhaltigkeit der Bodennutzung im Rahmen der Bioökonomie und darüber hinaus (Aufgabe 3.4). Die Arbeiten werden in enger Kooperation mit den Projektpartnern durchgeführt. Wir berichten an dieser Stelle über die Aktivitäten der BGR. Weitere Ergebnisse sind den Berichten der Projektpartner zu entnehmen.

Aufgabe 3.1 Modellentwicklung

Die BGR hat sich im Zuge ihrer Arbeiten an D4.3.1 und D4.3.2 an der Qualitätssicherung des Modells BODIUM beteiligt.

Task 3.4 Regionalisierung

Das systemische Bodenmodell BODIUM (König et al., 2023)* liefert Ergebnisse für jeweils ein einzelnes Bodenprofil. Um Aussagen für größere Räume treffen zu können, müssen die Ergebnisse in die Fläche übertragen werden. Ein Ansatz, der hier verfolgt wurde, nimmt die Bodenübersichtskarte 1 : 250 000 der Bundesrepublik Deutschland (BÜK250, BGR 2018) als Regionalisierungsgrundlage und ordnet modellierte Ergebnisse über die Ähnlichkeit zwischen dem zur Modellierung herangezogenen Bodenprofil und den hinter den Kartiereinheiten liegenden Leitprofilen der BÜK zu. Für die Ähnlichkeitsbestimmung der Bodenprofile wurde eine Methodik entwickelt (BGR).

Die Gesamtauswertung zu den Ähnlichkeitsanalysen zwischen den Ackerleitprofilen der BÜK 250 und realen Bodenprofilen wurde abgeschlossen; 99 % aller Ackerleitprofile sind mit mindestens einem ähnlichen Realprofil belegt. Methoden und vorläufige Ergebnisse haben wir auf der Jahrestagung der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft im September 2022 in Trier vorgestellt. Für Sensitivitätsstudien mit dem BODIUM-Modell wurde ein so genanntes „allgemeines Simulations-Set“ erstellt (**M3.4.1**), das die Bodenparameter Feinbodenart, Steingehalt, Bodenproftiefe und Trockenrohddichte berücksichtigt. Die Ergebnisse werden dazu beitragen, die gewählten Ähnlichkeitsindikatoren zu evaluieren und ggf. zu optimieren.

Entsprechend der Anzahl der in Projektphase 2 definierten Ähnlichkeitsindikatoren wurden 12 bundesweite Karten erstellt, die jeweils die räumliche Verteilung der erfolgreichen Zuordnungen zeigen (**M3.4.2**). Bei der Definition der Ähnlichkeitsindikatoren war besonderer Wert auf die Übereinstimmung bodeneigener Eigenschaften wie (Fein-)Bodenart und Steingehalt gelegt worden. Die Auswertung ergab, dass 67,1 % der BÜK 250-Profile mit Realprofilen belegt werden konnten, die den Indikator mit der geringsten geforderten Ähnlichkeit erfüllen. Dieser Indikator bezieht sich u.a. auf die prozentuale Übereinstimmung der Bodenarten-Hauptgruppe, gemittelt über das Bodenprofil. Die Erfüllung der Indikatoren, die auch die Übereinstimmung der Bodenarten-Gruppe bzw. der Bodenart verlangen, konnte für 47,0 % bzw. 29,7 % der Ackerleitprofile erzielt werden. Es sind die Regionen mit überwiegend einfachem, homogenem Bodenprofilaufbau, in denen auch die anspruchsvolleren Ähnlichkeitsindikatoren erfüllt werden. Dazu gehören weite Teile der Jung- und Altmoränengebiete sowie der Lösslandschaften. Wir kamen zu der Überlegung, dass dieser Ansatz der Ähnlichkeitsanalyse z.B. für bodenbiologische und -faunistische Fragestellungen besonders geeignet sein könnte, bei denen Bewirtschaftungsmaßnahmen gegenüber den inhärenten Bodeneigenschaften einen stärkeren Einfluss auf die Zielparameterwerte haben. Die insgesamt niedrige Belegung der BÜK 250-Profile zeigt, dass die Karte weit mehr Information aggregiert eine weit höhere Informationsdichte enthält, als die über zugängliche Bodenprofil Datensätze zu belegenden Charakterisierung einschließlich Variabilität der Bodendecke zu beschreiben erlaubt.

Für Prognosen zu den Speicherfunktionen wie Wasser-, Nährstoff- und Kohlenstoffspeicherung sowie zum Stoffumsatz in Böden wurde zusätzlich ein hybrider Ansatz der Datennutzung angewandt: Für die geplanten BODIUM-Simulationen sowie für sonstige Berechnungen sollen mittlere numerische Bodenparameterwerte entsprechend den in der BÜK 250-Datenbank vorgehaltenen klassierten Parameterwerten verwendet und auch die Messwerte ggf. zusätzlich benötigter Parameter ähnlichen Realprofilen entnommen werden.

Als erste Anwendung des hybriden Ansatzes wurden die in Phase 2 durchgeführten Berechnungen zur relativen C_{org} -Speicherfähigkeit von Ackeroberböden sowie zum aktuellen Erfüllungsgrad nach dieser neuen Methode wiederholt: Aus den BZE-LW-Daten wurden für die Ap-Horizonte der Ackerbodenprofile

* König, S., Weller, U., Betancur-Corredor, B., Lang, B., Reitz, T., Wiesmeier, M., Wollschläger, U., Vogel, H.-J. (2023): [BODIUM - a systemic approach to model the dynamics of soil functions](#). *Eur. J. Soil Sci.* **74** (5), e13411 [10.1111/ejss.13411](#)

für jede Bodenart der mittlere gemessene Feinpartikelanteil (FPA, mineralische Partikel < 20 µm) ermittelt, außerdem der Minimal- und Maximalwert sowie das 25 %- und das 75 %-Quantil. Auch für den Steingehalt wurden jeweils mittlere, untere und obere Werte eingesetzt. So konnten Ergebniskorridore für die Zielparameter ermittelt und mehrere auf der BÜK 250 basierende Karten erstellt werden, die jene Regionen erkennen lassen, welche hinsichtlich der Verbesserung der C_{org}-Speicherung mittels Anpassung von Bewirtschaftungsmaßnahmen prioritär zu betrachten sind. Des Weiteren wurden Berechnungen zur relativen Wasserspeicherfähigkeit sowie zum Erfüllungsgrad dieser Funktion durchgeführt und die Ergebnisse in Karten dargestellt.

Für die allgemeine Anwendung des hybriden Ansatzes, insbesondere für die geplanten BODIUM-Simulationen wurden die Messwerte von rund 28.500 Bodenhorizonten aus der LPBoden-Datenbank der BGR und auch Daten der BZE-LW analysiert und für jede Bodenart der Median sowie Minimum, Maximum, 10., 25., 75. und 90. Perzentil des Ton- und des Schluffgehaltes ermittelt.

Zunächst wurden mit den Modellen CANDY und BODIUM (Franko et al., †; König et al., 2023‡), aber auch im Rahmen eigener Berechnungen zur Ermittlung des C_{org}-Speicherpotenzials und seines aktuellen Erfüllungsgrades Sensitivitätsstudien bezüglich wichtiger Antriebsparameter durchgeführt (M3.4.3). Erste Ergebnisse dazu haben wir auf der Jahrestagung der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft im September 2023 in Halle (Saale) vorgestellt. Die Studien zum Einfluss steigender Werte für Tongehalt, Steingehalt, Trockenrohdichte sowie die abgeleiteten Parameter Feldkapazität und gesättigte Wasserleitfähigkeit ergaben einen besonders großen Einfluss der Trockenrohdichte, gefolgt von der Feldkapazität. Einen vergleichsweise geringen Einfluss hatte die Erhöhung der gesättigten Wasserleitfähigkeit und des Tongehaltes (unter Beibehalten eines fixen Wertes für die Feldkapazität). Im Zentrum der Auswertung stand die Frage, bei welcher Änderung eines Antriebsparameters relevante Zielparameter eine Änderung um mehr als 10 % erfahren. Auf der Basis dieser Ergebnisse sollen die in Projektphase 2 definierten Ähnlichkeitsindikatoren evaluiert und ggf. angepasst werden. Eine höhere Trockenrohdichte bewirkte bei Tonschluff- bis Schluffton-Böden schon im Bereich sehr geringer Werte Änderungen der Zielparameter von > 10 %, bei Lehmsanden war dies erst im Bereich mittlerer Trockenrohdichten der Fall. Die Variation der Feldkapazität um 10 % der Differenz zwischen den in der KA5 angegebenen Werten jeweils benachbarter Bodenarten bewirkte für alle Böden Änderungen der Zielparameterwerte von < 10 %. Eine Erhöhung des Steingehaltes um 10 % führte erst bei mittlerem bis starkem Steingehalt (Stufe 3 - 4 nach KA5) zu einem Rückgang des Zielparameters Sickerwasser um mehr als 10 %. Bereits innerhalb der Stufe 2 (schwach steinig) wirkte sich die Erhöhung des Steingehaltes stark auf den Bodenwassergehalt und den Humusgehalt aus. Nach dieser Auswertung erscheinen die definierten Ähnlichkeitsindikatoren zur Bewertung der Ähnlichkeit zwischen zwei Bodenprofilen plausibel und werden beibehalten.

Mit dem Ziel, die regionalisierten Bodendaten der BÜK 250 in die BODIUM-Modellierung automatisiert übernehmen zu können, versahen wir die Horizontdaten der Ackerbodenprofile – Leit- und Begleitprofile aus der BÜK 250-Flächendatenbank (und außerdem die Leitprofile aus der BÜK 1000N-Flächendatenbank) – mit numerischen Werten für die Modell-Eingangparameter. Dabei kam der hybride Ansatz der Datennutzung zur Anwendung, bei welchem teilweise die Originaldaten der BÜK 250-Flächendatenbanken, z.B. die Horizontmächtigkeiten, übernommen werden und teilweise Messwerte genutzt werden, die der jeweiligen Klasse bzw. Stufe nach KA5/KA6 entsprechen. Um Ergebniskorridore ermitteln zu können, wurde der angegebenen Feinbodenart jeweils der Median sowie das 10. und das 90. Perzentil (P10 bzw. P90) der gemessenen Ton- und Schluffgehalte aus der

† Franko, U., Oelschlägel, B., Schenk, S., Puhmann, M., Kuka, K., Mallast geb. Krüger, J., Thiel, E., Prays, N., Meurer, K., Bönecke, E. (2015) CANDY – Technical Issues & Handling. Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH – UFZ, Halle, Leipzig.
https://www.ufz.de/export/data/2/139040_CANDY_HANDLING_2.pdf

‡ König, S., Weller, U., Betancur-Corredor, B., Lang, B., Reitz, T., Wiesmeier, M., Wollschläger, U., Vogel, H.-J. (2023): [BODIUM - a systemic approach to model the dynamics of soil functions](#). *Eur. J. Soil Sci.* **74** (5), e13411 [10.1111/ejss.13411](https://doi.org/10.1111/ejss.13411)

LPBoden-Datenbank zugewiesen. Die P10-Variante wurde mit dem maximalen Skelettgehalte der angegebenen Grobboden-Klasse, die P90-Variante mit dem minimalen Skelettgehalte dieser Grobbodenklasse versehen. Die Variante "P10" ist also die grobkörnigste, die Variante "P90" die feinkörnigste Variante der Gesamtbodenart. Für die nicht inhärenten Bodeneigenschaften wie effektive Lagerungsdichte (L_d) und C_{org} -Gehalt wurden nur mittlere Werte vergeben. Diese wurden im Falle der L_d als mittlere Trockenrohichte für die jeweilige Bodenart der KA6 entnommen. Die C_{org} -Werte wurden aus den Messwerten der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft für jede Kombination aus Bodenarten-Hauptgruppe und Bodentyp ermittelt.

Mit der BODIUM-Version v1-0 wurden Test-Simulationen durchgeführt und für die Ackerboden-Leitprofile der BÜK 1000N erste Ergebniskorridore ermittelt: Mit dem Bewirtschaftungsszenario einer gängigen Fruchtfolge betrug nach einem 21-jährigen Simulationszeitraum die Wertespannen z.B. für die C_{org} -Speicherung innerhalb einer Bodenart durchschnittlich 12 %-Punkte. Dabei waren diese Spannen bei Sanden und Schluffen mit etwa 3 - 6 %-Punkten deutlich geringer als bei Lehmen und Tonen, die oft bis zu > 30 %-Punkte Unterschied aufwiesen. Beim Ertrag lagen die Wertespannen innerhalb einer Bodenart durchschnittlich bei ca. 5 %-Punkten. Auch hier zeigten sich deutlich größere Unterschiede innerhalb einer feinkörnigen Bodenart im Vergleich zu den Sanden. Flachgründige bzw. sehr skelettreiche Böden erreichten bis zu > 30 %-Punkten Unterschied.

Die mit numerischen Bodendaten unterlegten Ackerleit- und Ackerbegleitprofile der BÜK250, Version 08, wurden von der BGR zur Verwendung in der BODIUM-Webversion vorbereitet[§]. Die BGR führte selbst umfangreiche BODIUM-Simulationen mit den Bodendaten der BÜK1000N-Ackerleitprofile durch. Als Bewirtschaftungsszenario diente eine einfache Getreide-Hackfrucht-Rotation mit rein mineralischer N-Düngung. Entsprechend der Zugehörigkeit der Ackerprofile zu einem der drei Europäischen Klimagebiete (KG) 33, 34 und 35 wurde jeweils eine DWD-Wetterstation aus diesen Gebieten für die Simulationen beispielhaft ausgewählt (Soltau für KG 33, Nürnberg für KG 34 und Bad-Lauchstädt für KG 35). Der Simulationszeitraum umfasste die Jahre 1979 -1999, um die jüngere Klimaänderung zunächst auszuschließen.

Die Analyse der ersten BODIUM-Simulationsergebnisse förderte Fehler bezüglich des Bodenwasserhaushaltes und des Verhältnisses der Ergebnisse von Profilen unterschiedlicher Textur zueinander zutage, die wiederholte Simulationen und Auswertungen nach sich zogen. Deshalb wurden zusätzlich alle Simulationen mit dem Modell CANDY (Franko et al., **) durchgeführt. Da bei CANDY die erwartete Ertragshöhe vorgegeben werden muss, sind die Unterschiede zu den BODIUM-Ergebnissen zwar gedämpft, sie bilden jedoch die Intensität der Umsatzprozesse und das Ausmaß von Speichereigenschaften plausibel ab. Primäres Ziel war es auch hier, die Ergebnisbandbreiten wichtiger Zielparameter für die jeweils drei Texturvarianten eines jeden Bodenprofils zu ermitteln. Die Wetterdaten wurden wie oben beschrieben und ein ganz ähnliches Bewirtschaftungsszenario verwendet. Zusätzlich erfolgten Simulationen für alle terrestrischen Ackerböden der BÜK1000N mit dem einheitlichen Wetter von Bad Lauchstädt, um den Einfluss der Bodeneigenschaften auf die Ausprägung der Zielparameter getrennt auswerten zu können.

Die Simulationsergebnisse für die tiefgründigen terrestrischen Böden der BÜK1000N mit dem Wetter von Bad Lauchstädt zeigen: CANDY berechnet über den Simulationszeitraum gemittelt für die sandigen Böden die niedrigsten Werte für Bodenwassergehalt, N-Ausnutzung, mikrobielle Biomasse und C_{org} -Gehalt. Die höchsten Werte dieser Parameter werden für die Schluffböden simuliert; auch die Transpiration ist hier maximal. Die Sandböden haben die höchsten Werte für Grundwasserneubildung, Trockenstress und N_2O -Ausgasung. Das dynamische Strukturmodul von CANDY berechnet für die Sandböden die höchsten Werte der Trockenrohichte, die geringsten für Ton- und Schluffböden.

[§] Veröffentlichung im BonaRes-Repository in Vorbereitung (Schmelmer 2025c)

** Franko, U., Oelschlägel, B., Schenk, S., Puhmann, M., Kuka, K., Mallast geb. Krüger, J., Thiel, E., Prays, N., Meurer, K., Bönecke, E. (2015) CANDY – Technical Issues & Handling. Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH – UFZ, Halle, Leipzig.

https://www.ufz.de/export/data/2/139040_CANDY_HANDLING_2.pdf

Der Vergleich der jeweils drei Texturvarianten jedes Bodenprofils zeigt bei den feinerkörnigen Varianten gegenüber den gröberkörnigen Varianten höhere Werte für Wassergehalt, Transpiration, N-Ausnutzung und C_{org} -Gehalt und geringere Werte für Grundwasserneubildung, Trockenstress, N_2O -Ausgasung und Trockenrohdichte. Bei der Ausprägung dieser Ergebnisbandbreiten zeigen sich bodenartenspezifische Unterschiede. Die Schluffböden weisen beim Bodenwassergehalt und bei der Transpiration mit durchschnittlich 66 mm bzw. 33 mm eine wesentlich geringere Bandbreite zwischen den Profilvarianten auf als z. B. die Sande mit durchschnittlich 83 mm bzw. 222 mm. Auch die Bandbreiten für den Trockenstress, die N-Ausnutzung, die N_2O -Ausgasung und die mikrobielle Biomasse sind bei den Schluffböden am kleinsten, bei den Sandböden am größten. Besonders klein ist beim Sandboden mit durchschnittlich $0,03 \text{ g cm}^{-3}$ dagegen die Ergebnisbandbreite der Trockenrohdichte, die bei den Schluff- und Lehm Böden im Mittel bei $0,07 - 0,08 \text{ g cm}^{-3}$ liegt.

Die prozentualen Differenzen zwischen den Zielparameterwerten der Profilvarianten P10 und P90, also die prozentuale Ergebnisbandbreite, ermöglicht den Vergleich der verschiedenen Zielparameter untereinander. Die größten prozentualen Bandbreiten weisen die kohlenstoffbezogenen (C-)Parameter sowie die Grundwasserneubildung und der Bodenwassergehalt auf, letzteres bei großer Streuung der Bandbreitenwerte. Sehr gering sind die der Parameter Transpiration und Trockenrohdichte des Oberbodens.

Der Einfluss des unterschiedlichen Klimas lässt sich anhand der Simulationsergebnisse jener 11 terrestrischen BÜK1000N-Ackerbodenprofile zeigen, die in allen drei Klimagebieten identisch vorkommen: Erwartungsgemäß nehmen Bodenwassergehalt, Grundwasserneubildung und Transpiration vom regenreichen Wetter Soltaus über das Nürnberg-Wetter hin zum trockenen Wetter Bad Lauchstädts ab und der Trockenstress des Pflanzenbestandes zu. In dieser Richtung nimmt auch die N-Ausnutzung zu, die mikrobielle Biomasse und der C_{org} -Gehalt des Bodens insgesamt gehen zurück. Die Ergebnisbandbreiten aller Zielparameter werden vom regenreichen zum regenarmen Klima enger, mit Ausnahme der Transpiration, deren Ergebnisbandbreite weiter wird.

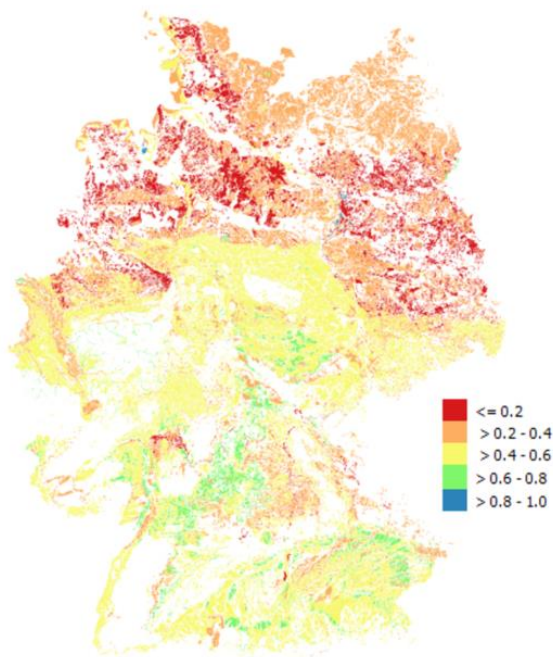


Abbildung 1: Relatives C-Speicherpotenzial des Oberbodens von Ackerstandorten.

Diese Ergebnisse geben einen ersten Eindruck über die Höhe der möglichen Variabilität von Simulationsergebnissen für ein und dasselbe Bodenprofil, das ursprünglich durch klassierte Bodendaten beschrieben ist, innerhalb des Wertebereiches seiner inhärenten Eigenschaften.

Die in Phase 2 entwickelte Methodik zur Ähnlichkeitsbestimmung zwischen Bodenprofilen wurde basierend auf den Ergebnissen vertiefter CANDY-Sensitivitätsanalysen bewertet (**M3.4.4**). Die detaillierte Diskussion der Sensitivitätsanalysen mit CANDY enthält das Dokument zu **D3.4.1** (Schmelmer 2025b).

Der methodische Bericht zur Ähnlichkeitsbestimmung zwischen Bodenprofilen und zur Generierung von Bodenfunktionskarten (**D3.4.2**, Schmelmer 2025a) wurde erstellt. Die ursprünglich auf Basis von BODIUM-Simulationen zu erstellenden Bodenfunktionskarten wurden ersatzweise auf der Basis von CANDY-Simulationsergebnissen erzeugt (**M3.4.5**, Beispiel s. Abb. 1).

Tabelle 6: Regionalisierung - Gegenüberstellung der vorgegebenen Meilensteine (M) und Deliverables (D) mit Beteiligung der BGR

Plan	Ergebnis
D3.4.1: Erster Bericht über Sensitivitätsstudien und Simulationsergebnisse mit BODIUM (Monat 26; BGR)	Die Sensitivitätsstudien wurden mit CANDY durchgeführt und der Bericht wird in der BonaRes Series veröffentlicht.
D3.4.2: Methodischer Bericht zur Ähnlichkeitsbestimmung und zu den erstellten Bodenfunktionskarten (Monat 36; BGR)	Die Ähnlichkeitsbestimmungen wurden u.a. auf der Grundlage von Modellierungen mit CANDY durchgeführt und der Bericht wird in der BonaRes Series veröffentlicht.
M3.4.1 M3.4.1 Konzeptentwurf für ein allgemeines Simulations-Set von Bodenprofil-Daten entwickelt (Monat 26; BGR)	Das Daten-Set für die Verwendung in Sensitivitätsstudien wurde erstellt und wird im BonaREs-Repository veröffentlicht.
M3.4.2 Karten, die die Ähnlichkeit zwischen realen Bodenprofilen und BÜK-Bodenprofilen zeigen (Monat 24; BGR)	Bundesweite Karten wurden erstellt.
M3.4.3 Alle Simulationssätze simuliert und Simulationsergebnisse analysiert (Monat 24; BGR)	Mit den Modellen CANDY und BODIUM wurden Simulationsergebnisse erarbeitet und analysiert. Die CANDY-Ergebnisse wurden weiterverwertet.
M3.4.4 M3.4.4 Erweiterung der Ähnlichkeitsbewertungsmethode (Phase 2) durch Berücksichtigung der Ähnlichkeit von Simulationsergebnissen und Ähnlichkeitsbewertungen bezüglich aller fertiggestellten BÜK-Bodenprofile (Monat 30; BGR)	Die Bewertung der Methodik zur Ähnlichkeitsbestimmung zwischen Bodenprofilen wurde basierend auf den Ergebnissen der CANDY-Sensitivitätsanalysen vorgenommen und ist in D3.4.1 eingegangen
M3.4.5: Bundesweite Bodenfunktionskarten erstellt (Monat 36; BGR)	Bundesweite Bodenfunktionskarten wurden auf Basis der CANDY-Simulationsergebnisse erstellt und sind in D3.4.2 eingegangen.

2. Wichtigste Punkte des zahlenmäßigen Nachweises

Von den insgesamt in der Gesamtvorkalkulation beantragten Summe i.H.v. € 265.798,70 wurden während der Projektlaufzeit € 250.639,87 verbraucht (Tabelle 1). Damit ergibt sich zum Projektende ein finanzieller Überschuss i.H.v. € 15.158,83. Von den entstandenen Kosten wurden 93 % für Personalkosten inkl. Personalgemeinkosten verbraucht und 7 % als Reisekosten verwendet. Die zum Projektende bestehenden Überschüsse in Personal- und Reisekosten lassen sich darin begründen, dass die Projektkraft mit dem 15.11.2024 ausgeschieden ist und die Stelle entsprechend für einige

Wochen nicht besetzt war. Auch ist die Zahl und Dauer der Dienstreisen nach der Corona-Pandemie nicht mehr auf den ursprünglich zugrundegelegten Umfang gestiegen, so dass auch bei den Reisekosten das Budget nicht ausgeschöpft wurde.

Tabelle 7: Übersicht über die zentralen Positionen aus dem Verwendungsnachweis

	Gesamtvorkalkulation (€)	Entstandene Kosten (€)	Differenz €
Personalkosten	256.340,70 €	247.319,27 €	9.021,43 €
Reisekosten	9.458,00 €	3.320,60 €	6.137,40 €
Summe	265.798 €	250.639,87 €	15.158,83 €

3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten

Die wissenschaftlichen Aufgaben der BGR im Projekt konnten durch die Wissenschaftlerin (1 FTE) erledigt werden, insbesondere konnten die Meilensteine, an denen die BGR planmäßig mitgewirkt hat, zum jeweiligen Termin – zum Teil in modifizierter Form – erreicht werden. Die öffentliche Bereitstellung des Konformitäts- und Plausibilitätsschlüssels für Bodendaten, die zum Ende von Phase 2 nicht erfolgen konnte, konnte im April 2022 in der Version 2.1 online gestellt werden.

4. Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere die Verwertbarkeit des Ergebnisses – auch konkrete Planungen für die nähere Zukunft – im Sinne des Fortgeschriebenen Verwertungsplans

Wissenschaftliche Erfolgsaussichten:

BGR: Das auf der Bodenprofilähnlichkeit beruhende Regionalisierungsverfahren stellt eine direkte Verbindung zwischen inhaltlich hochauflösender Punktinformation (analytierte Bodenprofilinformation) und der stark abstrahierten, das heißt aggregierten und generalisierten Bodenflächeninformation in Bodenkarten und –übersichtskarten her. Das erleichtert die Regionalisierung der Ergebnisse von szenarienbasierten Modellierungen, indem die Regionalisierung als solche stabil gehalten werden kann. Die flächenhaften Auswirkungen der unterschiedlichen Nutzungs- und Managementszenarien lassen sich schnell und untereinander leichter vergleichen als mit Verfahren, in denen die Regionalisierung nicht primär von den Eingangsdaten, sondern vollständig von den Modellierungsergebnissen abhängt. Dies bedeutet eine hohe Ressourceneffizienz und insbesondere bei breit angelegten Szenarien einen entscheidenden Zeitvorteil in der Erstellung von Beratungsprodukten für Bodennutzer und Politik.

Wirtschaftliche Erfolgsaussichten:

Gesamtes Konsortium: Das zentrale Ergebnis des BonaRes-Zentrums ist ein frei zugängliches Bodeninformationssystem auf www.bonares.de für Landwirtschaft, Politik, Wissenschaft und Bioökonomie, das Schlüsselprodukte für die nachhaltige Nutzung der Ressource Boden für landwirtschaftliche und bioökonomische Zwecke sowie für die Erbringung von Ökosystemleistungen bereitstellt: Forschungsdatenbank, Standards, Modelle, Wissens- und Entscheidungssysteme, Leitlinien und Empfehlungen für ein nachhaltiges Bodenmanagement. Das Informationssystem wird die Entwicklung einer nachhaltigen Landwirtschaft fördern und Impulse für neue Technologien und Praktiken im landwirtschaftlichen Bodenmanagement geben. Die Komponenten dieses Informationssystems stehen zur Verfügung und werden von UFZ und ZALF gepflegt und weiterentwickelt. Die Ergebnisse und Produkte von BonaRes sollen den beteiligten Partnern keinen direkten wirtschaftlichen Nutzen bringen. Der indirekte Nutzen für die Teilnehmenden wird jedoch als sehr hoch eingeschätzt, auch weil die Ergebnisse wesentlich zum internationalen Ansehen der wissenschaftlichen Einrichtungen beitragen werden. Darüber hinaus wird ein indirekter wirtschaftlicher Erfolg für die Nutzer des entwickelten BonaRes-Informationssystems erwartet, da es dazu beitragen

wird, moderne und nachhaltigere Bodenbewirtschaftungspraktiken anzuwenden, was die langfristige Wettbewerbsfähigkeit, eine bessere Anpassung an den Klimawandel und die Umsetzung der Bioökonomie-Strategie in die Praxis erleichtern wird.

Wissenschaftliche und wirtschaftliche Konnektivität

Gesamtes Konsortium: Die Projektergebnisse wurden der Fachöffentlichkeit auf Konferenzen sowie durch Publikationen und soziale Medien zur Verfügung gestellt. Der Austausch mit verschiedenen Nutzergruppen (Wissenschaftler, Landwirte, Berater, Politiker, interessierte Öffentlichkeit, Vertreter der Bioökonomie) wurde über Konferenzen, thematische Workshops, Messepräsentationen, Demonstrationen auf Praxisveranstaltungen, Social Media und geeignete Publikationsformate realisiert. Viele der entwickelten neuen Methoden und Standards wurden in entsprechende Initiativen übernommen. Die weitere Verbreitung erfolgte Open Access über das BonaRes-Portal.

BGR: Das auf der Bodenprofilähnlichkeit beruhende Regionalisierungsverfahren für Informationen zu Bodeneigenschaften-, -funktionen und modelliertem -funktionserfüllungsgrad wird in die Methodenbank des Fachinformationssystems Boden der BGR integriert. Dort wird es als Routine auch für die Ergänzung der Flächen-Profildatenbank aus analysierten Bodenprofilen Anwendung finden und zur Verbesserung der Bodenübersichtskarte 1 : 250 000 der Bundesrepublik Deutschland und den in Zukunft daraus abgeleiteten Bodenübersichtskarten kleinerer Maßstäbe und neuen Themenkarten beitragen. Da alle diese Daten und Verfahren auch den Staatlichen Geologischen Diensten der Länder, den Universitäten und der Öffentlichkeit zur Verfügung stehen, werden die Ergebnisse auch außerhalb der BGR unmittelbar nutzbar sein.

Der Konformitäts- und Plausibilitätsschlüssel steht öffentlich zur Verfügung und kann helfen, die Daten wissenschaftlicher Untersuchungen frühzeitig im Prozess qualitätszusichern. Eine Weiterführung auch für die Bodenkundliche Kartieranleitung, 6. Auflage (AG Boden 2024), bei der BGR ist geplant. Ein Werkzeug zur Übersetzung von Bodendaten der Nomenklatur der bisherigen Kartieranleitung, 5. Auflage (Ad-hoc-AG Boden 2005) in die Nomenklatur der 6. Auflage steht seit Mai 2024, in verbesserter Version 1.2 seit März 2025 öffentlich zur Verfügung.

Die Ansätze zur Konformitäts- und Plausibilitätsprüfung sind auch in die Datenübernahmeroutinen des Datenrepositoriums beim ZALF eingeflossen.

5. Während der Durchführung des Vorhabens dem Zahlungsempfänger bekannt gewordener Fortschritt aus dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Die aktuellen Entwicklungen im Bereich der Regionalisierung von punktbezogener Information wurden durch Internetrecherchen, Auswertung wissenschaftlicher Literatur und den Dialog mit Fachkolleg:innen verfolgt. Regionalisierungsfragen sind ein weiterhin intensiv bearbeitetes Forschungsfeld, in dem vor allem Beiträge der digitalen Bodenkartierung mithilfe von Verfahren des maschinellen Lernens zahlreich sind. Ansätze, wie sie die BGR in BonaRes verfolgt, sind unseres Wissens nicht publiziert worden.

Es besteht zunehmend Interesse von Kolleg:innen anderer wissenschaftlicher Einrichtungen an den im Rahmen von BonaRes entwickelten und nun einsatzfähigen Modellen und Tools wie z.B. dem BODIUM-Modell, der Regionalisierung, der Bodenfunktionsbewertung oder der Strukturdatenbank.

6. Erfolgte und geplante Veröffentlichungen nach Nr. 5 der NABF/NKBF

Publiziert

Eberhardt, E., Harhoff, R. 2022. Konformitäts- und Plausibilitätsschlüssel, Version 2.1. Datenbank-Anwendung mit Manual. Download von:

https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Boden/Projekte/Informationsgrundlagen-laufend/Uebersetzungsschlüssel/UeSchlüssel_AblSchlüssel/KonfPlausS_KA5.html

Eberhardt, E., Hennings, N, Lehmann, C. 2025. Übersetzungsschlüssel KA5 (2005) nach KA6 (2024), Version 1.2 Datenbank-Anwendung mit Manual. Download von:

https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Boden/Projekte/Informationsgrundlagen-laufend/Uebersetzungsschlüssel/UeSchlüssel_AblSchlüssel/UeS_KA5_KA6.html

Schmelmer, K., Eberhardt, E. (2022). Nutzung regionalisierter Bodendaten in Bodenprozessmodellen – Definition und Bewertung der Ähnlichkeit zwischen Bodenprofilen. DBG Tagung 2022 Grenzen überwinden, Skalen überschreiten, 5. - 8. September 2022, Trier, <https://eprints.dbges.de/1852>

Schmelmer, K., Eberhardt, E. (2024). Zum C_{org} -Speicherpotenzial von Ackerböden und seinem aktuellen Erfüllungsgrad. In: Jahrestagung der DBG Böden – divers & multifunktional, 2. - 8.9.2023, Halle/Saale. <https://eprints.dbges.de/1874>

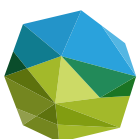
Wadoux, A. M. J.-C.; Courteille, L.; Arrouays, D.; De Carvalho Gomes, L.; Cortet, J.; Creamer, R. E.; Eberhardt, E.; Greve, M. H.; Grüneberg, E.; Harhoff, R.; Heuvelink, G. B. M.; Krahl, I.; Lagacherie, P.; Miko, L.; Mulder, V. L.; Pásztor, L.; Pieper, S.; Richer-de-Forges, A. C.; Sánchez-Rodríguez, A. R.; Rossiter, D.; Steinhoff-Knopp, B.; Stöckhardt, S.; Szatmári, G.; Takács, K.; Tsiafouli, M.; Vanwalleghem, T.; Wellbrock, N.; Wetterlind, J. 2024. On soil districts - Geoderma, 452, 2024, 117065, <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2024.117065>.

Im Veröffentlichungsprozess

Schmelmer, K. 2025a. Bericht Sensitivitätsanalysen mit CANDY. BonaRes Series.

Schmelmer, K. 2025b. Zur Ähnlichkeitsbestimmung von Bodenprofilen und zu den erstellten Bodenfunktionskarten. BonaRes Series.

Schmelmer 2025c. Erweiterungen der Sachdatenbanken der Bodenübersichtskarten 1 : 250 000 und 1 : 1 Mio. für Modellierungszwecke. Datenpublikation im BonaRes-Repositoryum.



BONARES

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Forschung, Technologie
und Raumfahrt