



KLIMA- UND LANDSCHAFTSWANDEL IN RHEINLAND-PFALZ

BODEN THEMENBLATT



Impressum

Herausgeber:
Rheinland-Pfalz Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen
bei der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft

Hauptstraße 16
67705 Trippstadt

Telefon: +49 (0) 6306 / 911-0
Telefax: +49 (0) 6306 / 911-200
Internet: www.klimlandrp.de
www.klimawandel-rlp.de

Verantwortlich:
Der Leiter des Rheinland-Pfalz Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen

Böden und Klimawandel

Böden erfüllen zentrale Funktionen für Mensch und Umwelt und spielen darüber hinaus eine wesentliche Rolle im Klimageschehen. Das Klima beeinflusst als bodenbildender Faktor nicht nur langfristig die Bodenentwicklung, sondern zu jeder Zeit die Bodenfunktionen. Klimaänderungen wirken sich auf den Wasserhaushalt, den Stofftransport und den Stoffumsatz in Böden aus (BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT 2009). Umgekehrt haben anthropogene Eingriffe und klimabedingte Veränderungen der Stoff- und Energieflüsse der Böden Auswirkungen auf das Klima. „Bodenschutz und Klimaschutz sind daher miteinander verbunden – Klimaänderungen beeinflussen den Boden und veränderte Bodenverhältnisse beeinflussen das Klima.“ (BUND/LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT BODENSCHUTZ 2010).

Böden sind ein zentraler Bestandteil im globalen Kohlenstoffkreislauf. Sie stehen in Wechselbeziehung zu klimawirksamen Gasen wie Kohlendioxid (CO_2), Lachgas (N_2O) und Methan (CH_4). Böden sind einerseits in der Lage, große Mengen an Kohlenstoff zu speichern – in Böden ist weltweit ungefähr fünfmal so viel Kohlenstoff gespeichert wie in der oberirdischen Biomasse. Böden sind damit nach den Meeren die zweitgrößten Kohlenstoffspeicher. Andererseits können Böden durch eine nicht nachhaltige Nutzung und Bewirtschaftung auch Quelle für Treibhausgase sein. Moorböden sind dabei von besonderer Bedeutung, denn das Speicher- und Freisetzungspotenzial von klimarelevanten Gasen aus organischen Böden ist wesentlich höher als aus mineralischen. Der Boden spielt zudem eine wichtige Rolle im Wasserkreislauf. Durch das im Boden gespeicherte Niederschlagswasser können die Auswirkungen veränderter Niederschlagsmengen und veränderter jahreszeitlicher Verteilung auf den Wasserhaushalt von Grundwasser und Oberflächengewässern vermindert werden (BUND/LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT BODENSCHUTZ 2010).

Auch wenn fachlicher Konsens über die grundsätzlichen Klimawirkungen auf Böden besteht, erschwert die Komplexität des Systems Boden mit seinen vielen internen Regelkreisen und Rückkopplungsmechanismen quantitative Voraussagen zu den Auswirkungen der Klimaänderungen auf die Böden (BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT 2009). Langfristige Veränderungen von Temperatur und Niederschlag werden

sich auf den Stoffhaushalt im Boden auswirken. Eine steigende Temperatur und eine veränderte Verteilung von Niederschlägen haben zuallererst Auswirkungen auf den Bodenwasserhaushalt (ACATEC 2012). Das wirkt sich auf alle Prozesse im Boden aus, die durch Wasser beeinflusst werden. Mögliche Folge abnehmender Bodenwassergehalte sowie abnehmender Phasen von Austrocknung und Wiederbefeuchtung ist die Verringerung der Abbauleistung des Bodens für verschiedene Stoffe (BUND/LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT BODENSCHUTZ 2010). Dies beeinträchtigt das Bodenökosystem mit seiner Vielfalt an Bioorganismen, die Interaktion zwischen den Organismen und damit den mit ihnen verbundenen Stoffumsatz sowie den Stofftransport in Böden (ACATEC 2012).

Die möglichen Beeinträchtigungen der Bodenfunktionen stehen dabei insbesondere im Zusammenhang mit (I) Veränderungen des Bodenwasserhaushaltes, (II) einer zunehmenden potenziellen Erosionsgefährdung und (III) dem Risiko von abnehmenden Humusgehalten und -vorräten. Im Vordergrund der bodenkundlichen Arbeiten im Projekt KlimLandRP stand eine landesweite Betrachtung, um Bodenregionen zu identifizieren die besonders sensibel auf den Klimawandel reagieren. Die Arbeitsgrundlagen sind Bodenflächendaten im Maßstab 1:200.000 (BFD200) und punktuelle Bodendaten. Hierzu gehören Daten der Bodenzustandserhebung und des Bodenmonitorings, wie Bodendauerbeobachtung (BDF), Bodenzustandserhebung Wald (BZE I und BZE II) und das forstliche Umweltmonitoring. Aus den Bodenflächendaten werden unter Berücksichtigung der aktuellen Landnutzung Bodenfunktionen abgeleitet. Die daraus entwickelten Bodenfunktionskarten dienen zum einen als Datengrundlage für die Arbeiten der Module im Projekt Klima- und Landschaftswandel in Rheinland-Pfalz (KlimLandRP), zum anderen werden aus den Karten durch Verschneidung mit Raumdaten Grundlagen für die Identifizierung vulnerabler Räume in Rheinland-Pfalz erarbeitet.

Bodenwasserhaushalt

Der Boden besteht neben seinen festen Bestandteilen aus unterschiedlich großen Hohlräumen (Poren), die sowohl die Speicherung als auch die Versickerung von Wasser ermöglichen. Der Boden ist daher in der Lage, in unterschiedlich großen Mengen Wasser zu speichern und den Pflanzen zur Verfügung zu stellen. Die von verschiedenen Klimamodellen projizierten saisonalen Veränderungen der Niederschlagsmengen (Zunahme der Niederschlagsmenge im Winter, Rückgang der Niederschlagsmenge im Sommer, Zunahme der Niederschlagsintensitäten) können sich in Kombination mit steigenden Temperaturen und damit einer höheren potentiellen Verdunstung auf den Bodenwasserhaushalt auswirken. Durch trockenere Sommer kann es auf einzelnen Standorten bei grundwasserfernen Böden zu einer deutlichen Ver-

ringerung der Bodenwasservorräte für die Pflanzen kommen. Dadurch steigt die Gefahr von Trockenstress und einem damit verbundenen Produktionsrückgang in der Land- und Forstwirtschaft. Durch zunehmende und andauernde Trockenheit in den Sommermonaten in Verbindung mit einer steigenden Intensität der Niederschläge bei gleichzeitiger reduzierter Wasseraufnahmekapazität der ausgetrockneten Böden kommt es zu verstärktem Oberflächenabfluss. Das Niederschlagswasser infiltriert nicht am Standort, sondern fließt oberflächlich ab, was die Trockenheit weiter verstärken kann. Als Folge nimmt die Wahrscheinlichkeit von lokalen und regionalen Hochwasserereignissen zu. Eine Erhöhung der Niederschlagsintensitäten kann darüber hinaus die Verlagerung von Schadstoffen mit dem Sickerwasser in das Grundwasser zur Folge haben.

Abbildung 1:

Karte der nutzbaren Feldkapazität des durchwurzelbaren Bodenraums im Maßstab der landnutzungsdifferenzierten Bodenübersichtskarte 1:200.000 (Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz, 2009, unveröffentlicht) (links). Interpolierte Niederschläge für die Vegetationszeit (Mai-September) für den Referenzzeitraum (1971-2000) (Datengrundlage: Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht LUWG) (rechts).

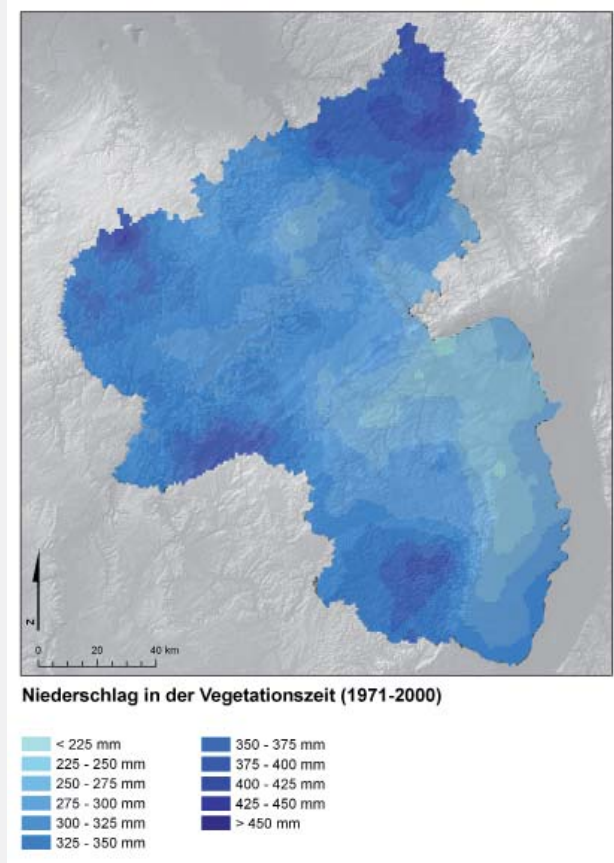
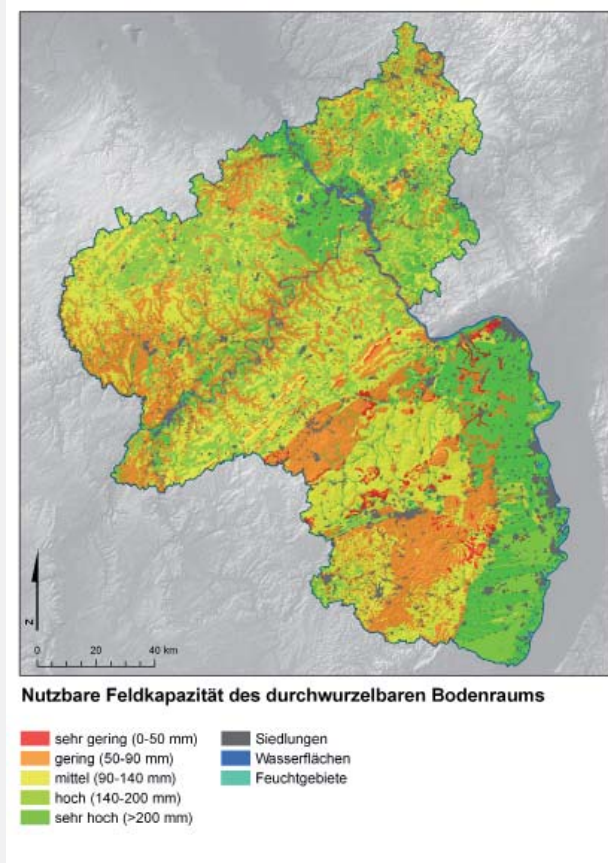


Abbildung 1 (links) zeigt eine Karte des pflanzenverfügbaren Bodenwassers, der sogenannten nutzbaren Feldkapazität (nFK) des durchwurzelbaren Bodenraums, abgeleitet aus den Leitbodenformen der landnutzungsdifferenzierten Bodenübersichtskarte 1: 200.000 (BÜK200N). In diesem Maßstabbereich lassen sich Regionen identifizieren, die aufgrund der großen Verbreitung von Böden mit einer geringen nutzbaren Feldkapazität besonders von einem Rückgang der Niederschläge in der Vegetationsperiode in Kombination mit einer erhöhten Verdunstung betroffen sein werden. Eine besonders geringe nutzbare Feldkapazität des durchwurzelbaren Bodenraums haben große Teile des Pfälzerwaldes, des Prims-Nahe Berglands und Bereiche des Bitburger Gutlandes.

Hier kann sich eine geringere Niederschlagsmenge in der Vegetationszeit negativ auf das Pflanzenwachstum auswirken. Im Vergleich mit der Karte der Niederschlagsmengen in der Vegetationszeit (Abb. 1, rechts) zeigt sich, dass in Regionen, in denen schon heute relativ wenig Niederschlag in der Vegetationszeit fällt, wie z. B. Rheinhessen, die nördliche Pfalz, das Neuwieder Becken oder das Moseltal, Böden mit einem hohen Wasserspeichervermögen verbreitet sind, so dass geringere Niederschlagsmengen in der Vegetationszeit für einen längeren Zeitraum ausgeglichen werden können.

Trockenstressrisiko bei Winterweizen

Um mögliche Veränderungen im Standortwasserhaushalt zu untersuchen, wurde das aktuelle und zukünftige Trockenstressrisiko beispielhaft für Winterweizen untersucht (BOISELLE 2013). Auf Basis von Messdaten und Daten der regionalen Klimaprojektionen WETTREG2006 und WETTREG2010 (Emissionsszenario A1B) wurde der Standortwasserhaushalt für die nahe Zukunft (2021–2050) mit dem Wasserhaushaltmodell WaSiM-ETH (SCHULLA 2007) simuliert. Im Themenblatt „Klimamodelle und Klimaprojektionen“ sind diese Klimaprojektionen in die Bandbreite aller verfügbaren Regionalisierungen eingeordnet. Die Berechnungen wurden für 22 Klimastationen durchgeführt. An jeder Station wurden Simulationen mit sieben artifizialen Böden durchgeführt, die sich in der nutzbaren Feldkapazität (50, 100, 150, 200, 250, 300 und 350 mm) unterscheiden.

Das Trockenstressrisiko wird über einen Index bestimmt. Der Indikator beurteilt im Tagesschritt die Saugspannung (pF) im durchwurzelten Bodenraum

und spiegelt damit die Wasserversorgung der Vegetation wider (GRYGORIAN et al. 2012). Der Index kann Werte zwischen 0 und 1 annehmen. Erreicht der Index den Wert 1, beträgt die Saugspannung im betrachteten Bodenausschnitt \geq pF 4,2 (Permanenter Welkepunkt). Bei einem Wert von 0 ist die Saugspannung \leq pF 2,7. Der Grenzwert wurde gewählt, da Winterweizen ab dieser Saugspannung erste Trockenstressanzeichen zeigt (FRIEDLHUBER et al. 2010). Der Index wird über die gesamte Vegetationsperiode aufsummiert und anschließend auf 100 normiert. Der Index kann so zwischen 0 (kein Trockenstress in der Vegetationsperiode) bis 100 (Trockenstress während der gesamten Vegetationsperiode) liegen. Die mögliche klimabedingte Veränderung der Vernalisationsphase von Winterweizen (siehe Themenblatt Landwirtschaft) wird nicht berücksichtigt.

Abbildung 2 zeigt beispielhaft das aktuelle und zukünftige Trockenstressrisiko für Winterweizen an den betrachteten Klimastationen für zwei Böden (nFK 100 und nFK 250). Der Boden mit einer nutzbaren Feldkapazität von 250 mm zeigt an allen Stationen eine geringere Trockenstressgefährdung im Vergleich zu dem Boden mit einer nutzbaren Feldkapazität von 100 mm. Beide Karten zeigen jedoch eine regionale Differenzierung des Trockenstressrisikos. Höhere Indikatorwerte treten besonders in Rheinhessen (Roxheim, Alzey) und in den großen Flusstälern auf (Rhein: Worms, Karlsruhe, Koblenz; Mosel: Trier, Bernkastel-Kues). Stationen in Gebirgslagen zeigen aufgrund der höheren Niederschläge (vgl. Abbildung 1, rechts) und der geringeren Verdunstung ein geringeres Trockenstressrisiko. In der nahen Zukunft kommt es bei beiden Böden an allen Stationen zu einer unterschiedlich starken Zunahme des Trockenstressrisikos. Bei dem Boden mit der geringeren nutzbaren Feldkapazität ist die Zunahme höher (bis zu 5 Indexpunkte) als bei dem Boden mit einer höheren Speicherkapazität. Die Zunahme des Trockenstressrisikos ist im südlichen Landesteil tendenziell stärker ausgeprägt.

Bodenerosion

Der Begriff Bodenerosion bezeichnet Prozesse, die durch auf die Bodenoberfläche aufprallende Regentropfen, fließendes Wasser oder Wind ausgelöst werden. Sie umfassen Ablösung, Transport und Ablagerung von Bodenpartikeln.

Ein veränderter Jahresgang der Niederschläge mit zeitweise höheren Niederschlagsintensitäten (Extremereignisse) kann bei trockenheitsbedingten Lücken in der Vegetation, längeren Zeiträumen ohne Bodenbedeckung zwischen Ernte und Einsaat auf Ackerflächen sowie einer stärkeren Austrocknung des Bodens an der Oberfläche durch zunehmende Temperaturen im Sommerhalbjahr zu einer Erhöhung des potentiellen Erosionsrisikos der Böden gegenüber Wasser und Wind führen. In Rheinland-Pfalz dominiert die Bodenerosion durch Wasser, während Winderosion lediglich lokale Bedeutung hat.

Das Risiko von Bodenerosion ist aufgrund vieler und kleinräumig variierender Einflussfaktoren (Niederschlag, Topografie, Bodenstruktur und Bewirtschaftung) sehr unterschiedlich. Durch die von verschiedenen Klimamodellen projizierte Zunahme von Winterniederschlägen und Starkregen ist in aktuell erosionsgefährdeten Gebieten mit einem Anstieg der Bodenerosion durch Wasser zu rechnen (Saar-Nahe-Bergland, Rheinhessen, Moseltal). Darüber hinaus kann durch Landnutzungsänderungen (z.B. Grünlandumbruch) oder Änderungen im Pflanzenanbau, bedingt durch veränderte klimatische Bedingungen (z.B. Maisanbau in erosionsgefährdeten Lagen), das Erosionsrisiko zunehmen (BUND/LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT BODENSCHUTZ 2010).

Bodenerosion kann erhebliche Schäden verursachen, die zunächst die Ackerfläche selbst betreffen, weil der besonders fruchtbare, humusreiche Oberboden und damit die Produktivität verloren gehen. Hinzu kommen Schäden am Pflanzenbestand, wie z.B. abgeschwemmte Einsaaten oder freigespülte Wurzeln und linienhafte Erosionsformen, wie Rillen, Rinnen oder sogar Gräben. Ein Teil des erodierten Bodens wird oft am Unterhang wieder abgelagert und kann dort ebenfalls wirtschaftliche Schäden nach sich ziehen, wenn z.B. Keimpflanzen verschüttet werden oder Verschlammungskrusten die Bodenoberfläche versiegeln (BUND/LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT BODENSCHUTZ 2010). Auch müssen oftmals Wege und andere Infrastrukturen aufwendig von dem Bodenmaterial befreit werden.

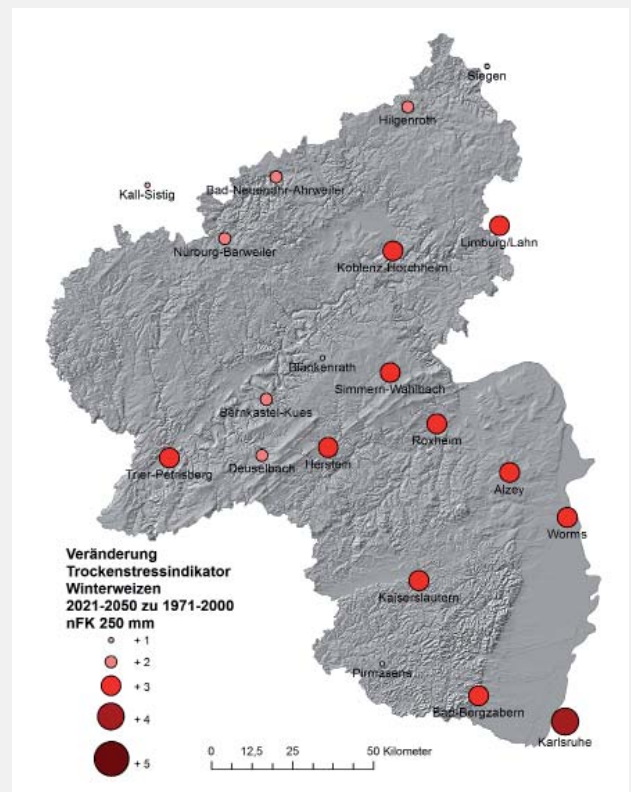
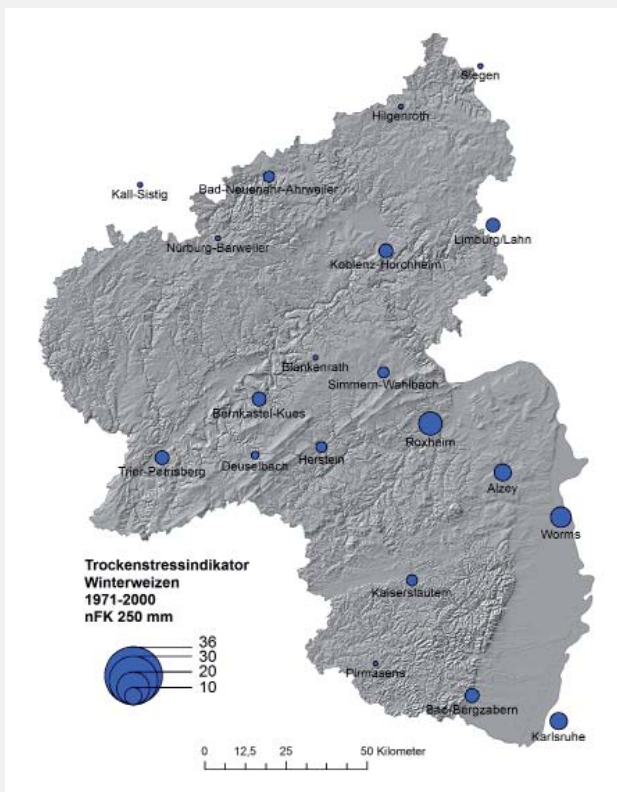
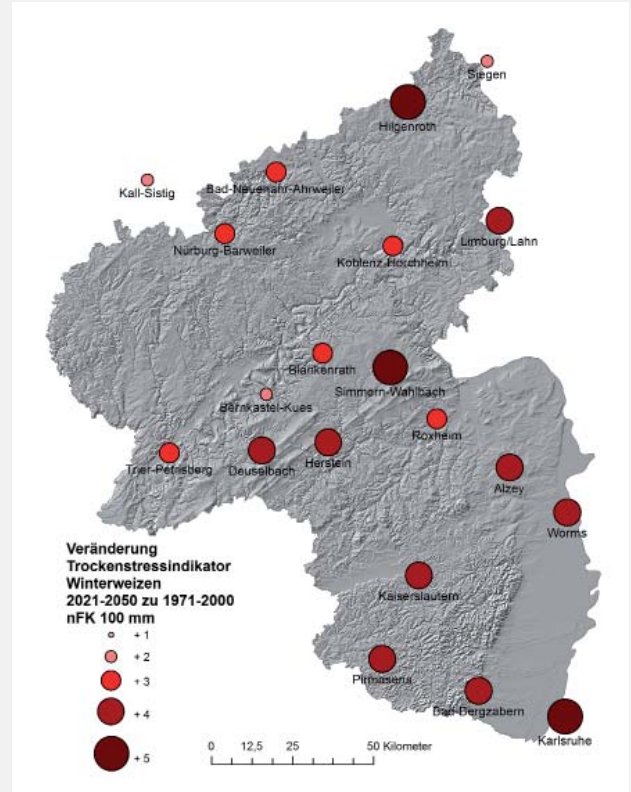
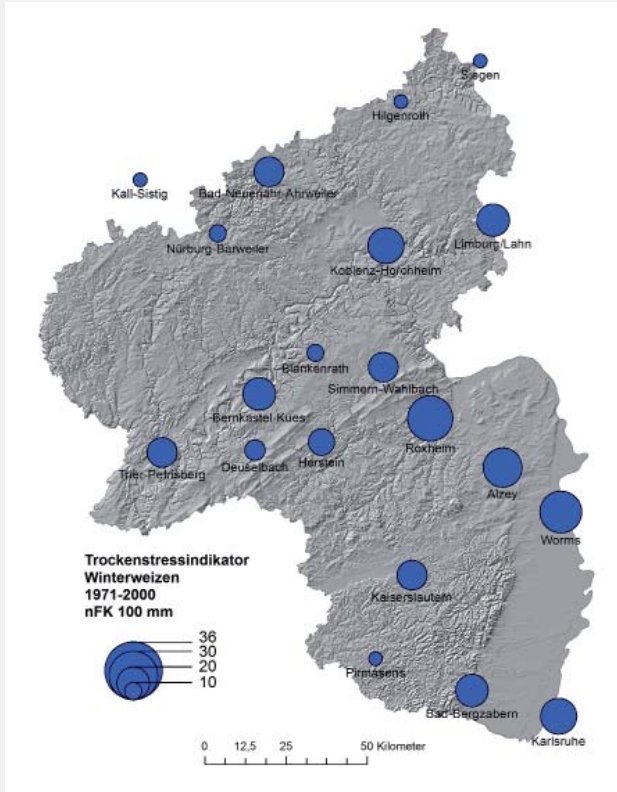
In Rheinland-Pfalz liegen – wie in den meisten Bundesländern – für landesweite Betrachtungen die für physikalisch begründete Erosionsmodelle geforderten bodenkundlichen Eingangsdaten (z. B. Oberflächenrauigkeit) nicht vor. Es kann auf dieser Maßstabsebene nur mit Modellen gearbeitet werden, deren Eingangsdaten kurzfristig und digital zur Verfügung stehen. Aus diesem Grund wurde auf den empirisch-mathematischen Ansatz der Allgemeinen Bodenabtragsgleichung (ABAG) zurückgegriffen (SCHWERTMANN et al. 1987).

Der langjährige mittlere Bodenabtrag (A) berechnet sich als Produkt aus Regen- und Oberflächenabflussfaktor (R), Bodenerodierbarkeitsfaktor (K), Hanglängenfaktor (L), Hangneigungsfaktor (S), Bedeckungs- und Bearbeitungsfaktor (C) und Erosionsschutzfaktor (P). Der R- und der C-Faktor sind klimaabhängig. Durch den Vergleich der heutigen Erosionsgefährdung (1971-2000) mit der projizierten Erosionsgefährdung (Neuberechnung des R-Faktors auf Grundlage von Klimaprojektionen) kann die Entwicklung des potenziellen Erosionsrisikos flächendeckend abgeschätzt werden. Als Ergebnis können Landschaftsräume identifiziert werden, in denen die Erosionsgefährdung infolge des Klimawandels ansteigt. Die regionalen Klimamodelle können Starkniederschläge bisher jedoch nur sehr eingeschränkt simulieren. Das folgende Fallbeispiel wurde mit täglichen Niederschlagsdaten des Modelles WETTREG2006 (A1B-normal) durchgeführt.

Die Ermittlung der R-Faktoren für die Zukunft erfolgte in Anlehnung an WURBS & STEININGER (2011). Als Starkniederschläge werden in dieser Analyse Tagesniederschläge > 10 mm definiert, da eine Regressionsanalyse eine sehr gute Übereinstimmung der Werte mit den aktuellen R-Faktoren ergeben hat. Auf dieser Basis wurden Erosivitätsfaktoren bestimmt, die sich aus der relativen Veränderung der Jahressumme erosiver Niederschläge des Szenarienzeitraums gegenüber dem Referenzzeitraum ableiten.

Abbildung 2:

Trockenstressindikator „log-pF“ für verschiedene Klimastationen. Oben links: Referenzzeitraum 1971-2000, Boden mit nFK 100 mm. Oben rechts: Veränderung in der nahen Zukunft 2021-2050, Boden mit nFK 250. Unten links: Referenzperiode 1971-2000, Boden mit nFK 250. Unten rechts: Veränderung in der nahen Zukunft 2021-2050. Datengrundlage WETTREG2006 A1B (Mittel von 10 Realisationen).



Will man über die potenzielle Erosionsgefährdung hinaus Aussagen treffen, so muss der C-Faktor berücksichtigt werden, da sich infolge des Klimawandels auch die Vegetationszeit der einzelnen Kulturen ändern wird. Mit der möglichen Verlängerung der Hauptwachstumsperiode werden sich auch die Bodenbedeckungsgrade unterschiedlicher Fruchtarten, die Kulturpflanzenwahl, die Saat- und Erntetermine sowie die Bodenbearbeitungssysteme (potenziell) ändern. Das hat Folgen für die Höhe des Bodenabtrags, aber auch für potenzielle Offsite-Schäden und die Gewässereutrophierung durch Eintrag partikulär gebundenen Phosphors.

Der C-Faktor wurde auf Basis der Gemeinde-Agrarstatistik nach AUERSWALD (2002) für konventionell

und konservierend bearbeitete Ackerflächen bestimmt. Weiteren Hauptnutzungsformen wie Gemüsebau, Weinbau und Wald wurden konstante C-Faktoren zugewiesen. Der L- und der S-Faktor wurden über das digitale Höhenmodell berechnet und gingen als kombinierter LS-Faktor in die Berechnung ein. Zur Bestimmung des K-Faktors wurden in Rheinland-Pfalz für Acker-, Grünland- und Rebflächen großmaßstäbige Bodendaten im Maßstab zwischen 1:500 und 1:10.000 ausgewertet. Flächen, für die bisher noch keine Daten vorliegen (z. B. an Nutzungsgrenzen oder Flächen in Ortslagen), wurden mit einem räumlichen Prognoseansatz geschlossen. Für alle übrigen Flächen wurde der K-Faktor aus Bodenflächendaten im Maßstab 1:200.000 abgeleitet.

Abbildung 3:

Mittlerer langjähriger Bodenabtrag (links). Veränderung des mittleren langjährigen Bodenabtrags in der nahen Zukunft (2021-2050) (rechts).

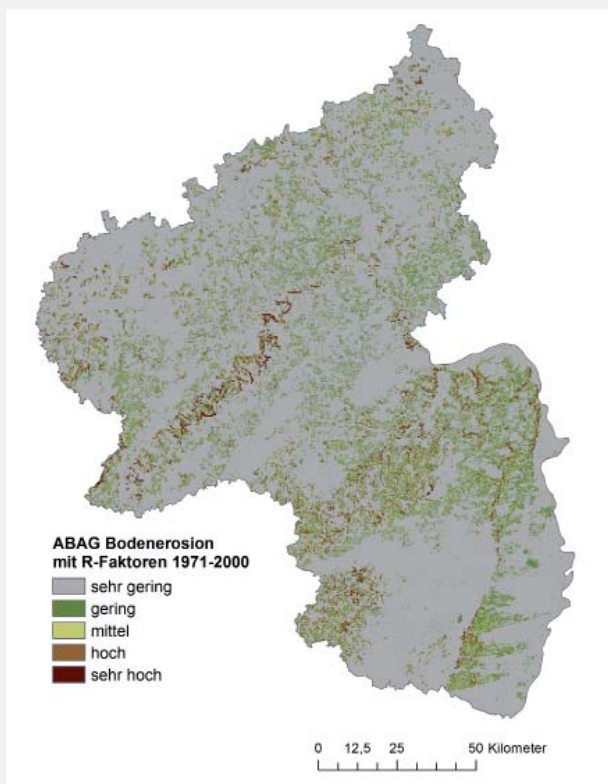


Abbildung 3 (links) zeigt den mittleren langjährigen Bodenabtrag ($A = R \cdot K \cdot LS \cdot C$) für die Referenzperiode 1971–2000. Bodenerosion tritt hiernach besonders an den weinbaulich genutzten, stark geneigten Hängen an Mosel und Rhein auf. Aber auch in Rheinhessen, im Nahebergland und im Westrich treten Flächen mit hohen bis sehr hohen Bodenabträgen auf. Die Veränderungskarte zeigt für die nahe Zukunft (2021–2050) auf Basis der WETTREG 2006 A1B-normal Daten bei unverändertem C-Faktor eine Zunahme der Bodenerosion besonders im Moseltal und auf einzelnen Flächen in der Eifel. In Rheinhessen kommt es dagegen bei dieser Klimaprojektion zu einer leichten Abnahme der Bodenerosion.

Bodenkohlenstoff

Böden sind der größte terrestrische Speicher für organischen Kohlenstoff. Weltweit ist der Speicher mit 1.550 Gigatonnen etwa doppelt so groß wie der atmosphärische Kohlenstoffspeicher. Organisches Material ist von grundlegender Bedeutung für die Nährstoffversorgung von Böden, die Gefügeeigenschaften, das Wasserspeichervermögen, die biologische Vielfalt und für die Regulierung des globalen Kohlenstoffkreislaufs. Organischer Kohlenstoff gelangt durch abgestorbene Vegetationsteile oder Bodenorganismen in den Boden. Der größte Teil dieses Kohlenstoffs wird von Mikroorganismen mineralisiert, nur ein geringer Teil verbleibt im Boden und wird zu Humus. Insbesondere die frühen Stadien dieses Umwandlungsprozesses sind noch nicht vollständig verstanden. Die Stabilisierung von Kohlenstoff im Boden wird von verschiedenen Bodeneigenschaften und Mechanismen gesteuert (FREIBAUER & SCHRUMPF 2005).

Am Landesamt für Geologie und Bergbau liegen von ca. 3.800 Messpunkten ca. 12.000 Analysedaten mit Messwerten zum organischen Kohlenstoff (C_{org}) in Rheinland-Pfalz vor. Die Analysedaten wurden nach boden- und substratsystematischen Kriterien ausgewertet (DEHNER et al. 2001). Für die resultierenden Substrat-Horizont-Gruppen wurden schließlich die statistischen Kennzahlen der C_{org} -Gehalte berechnet. Unter Berücksichtigung weiterer Bodenkennwerte wurde aus den C_{org} -Gehalten Bodenkohlenstoffmengen berechnet.

Die Analysedaten zeigen, dass der mittlere C_{org} -Gehalt in den humosen Oberböden von Ackerflächen über Grünlandstandorte zu Waldstandorten ansteigt. Die höchsten Gehalte, mit über 30 % organischem

Kohlenstoff, weisen die Torfmoore auf. Aufgrund der unterschiedlichen Mächtigkeiten der Oberböden in Abhängigkeit von der Landnutzung liefert der Vorrat an organischem Kohlenstoff ein anderes Bild. Hier bevorraten nach den Torfmooren die Grünlandstandorte die höchsten C_{org} -Mengen, gefolgt von Acker- und Waldstandorten. Die organischen Auflagehorizonte im Wald bleiben hierbei jedoch unberücksichtigt. Für eine Mengenermittlung sind auch die Kohlenstoffvorräte der Unterböden von Bedeutung. Diese sind zwar, außer bei den Feuchtstandorten und tiefgründigen Kolluvien, wesentlich geringer, aufgrund der größeren Mächtigkeit und der höheren Lagerungsdichte der Unterböden errechnen sich jedoch bedeutende Mengen.

Für eine Bilanztiefe von zwei Metern errechnet sich auf der Basis der Bodenübersichtskarte 1:200.000 Rheinland-Pfalz (Abbildung 4) ein mittlerer Kohlenstoffvorrat von 115 t ha^{-1} für Ackerflächen und 128 t ha^{-1} für Grünlandflächen. Der Mineralboden der Waldstandorte hat im Mittel einen Kohlenstoffvorrat von 101 t ha^{-1} . Wird der C_{org} -Gehalt der organischen Auflagen addiert, ergibt sich ein mittlerer Kohlenstoffvorrat von 122 t ha^{-1} . Für rheinland-pfälzische Böden errechnet sich aus den vorliegenden Daten eine Gesamtkohlenstoffmenge von ca. 216 Mio. Tonnen. Besonders hohe Kohlenstoffvorräte verzeichnen Auenböden, tiefgründige Kolluvisole und ehemalige Torfmoore wie das Landstuhler Bruch in der saarländisch-pfälzischen Moorniederung.

Abbildung 4:

Kohlenstoffvorräte rheinland-pfälzischer Böden bis in 2 m Tiefe (links).
 Graphiken (rechts oben): Mittlere Kohlenstoffvorräte nach Landnutzungen,
 (rechts unten): Nutzungsdifferenzierte Kohlenstoffvorräte nach Flächenanteilen der Landnutzungen.

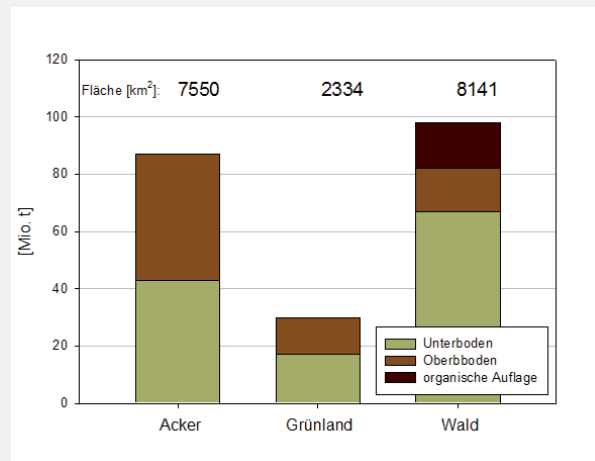
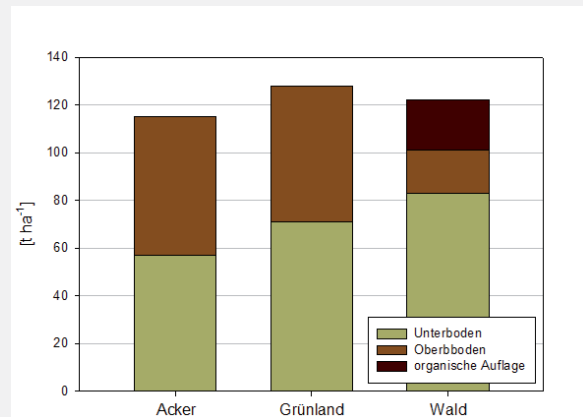
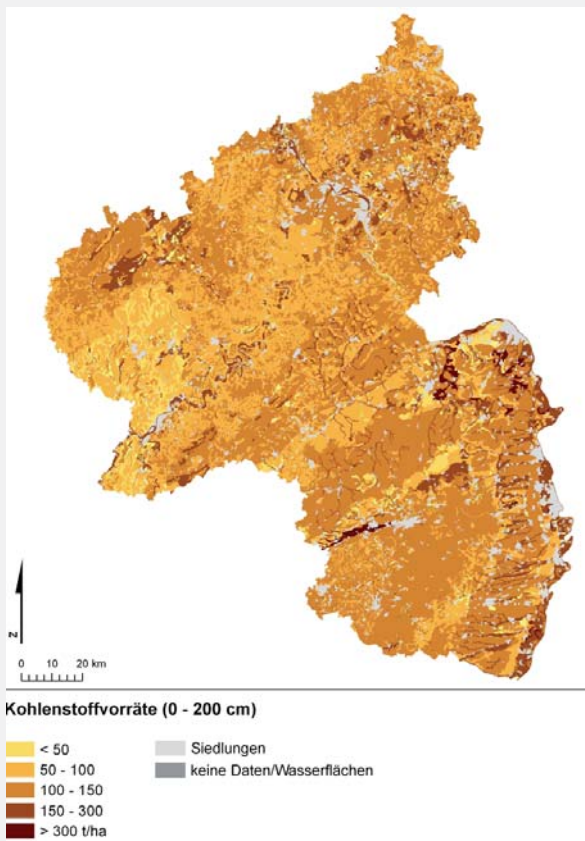


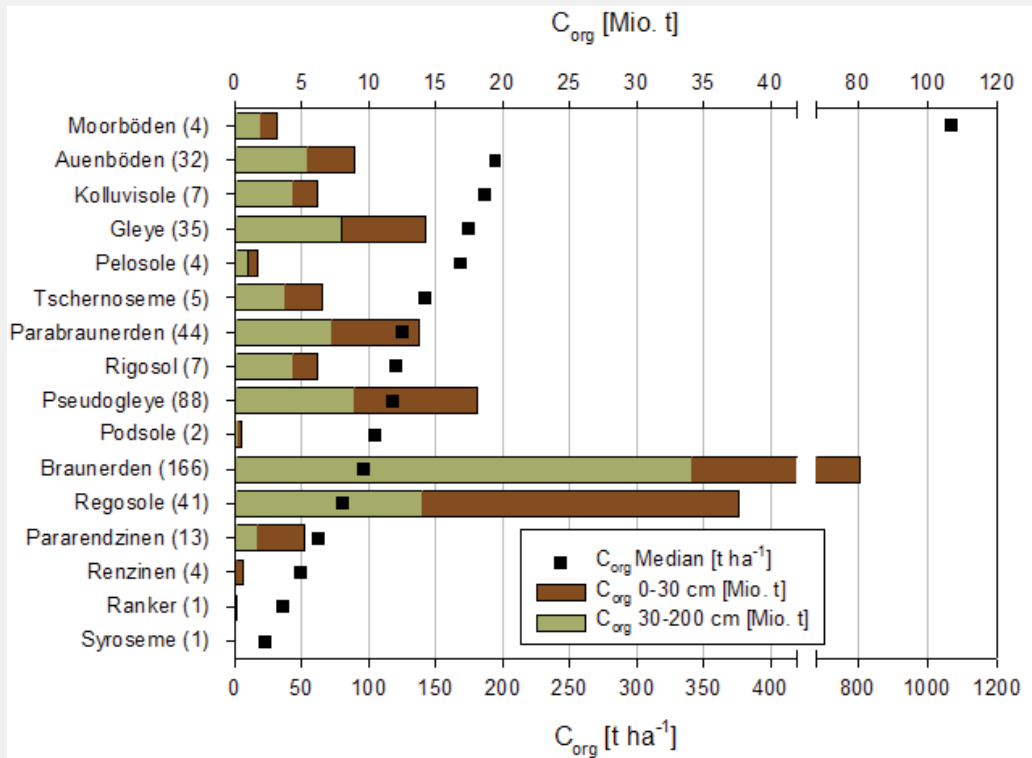
Abbildung 5 zeigt eine Auswertung der Kohlenstoffvorräte der BÜK200N auf Basis der landnutzungsabhängigen Leitbodenformen. Aufgrund ihrer großen Verbreitung sind Braunerden und Regosole die bedeutendsten Speicher für Kohlenstoff in Rheinland-Pfalz. Moorböden weisen mit Abstand die höchsten Kohlenstoffvorräte pro Hektar auf, haben aber auf der BÜK200N nur eine geringe Verbreitung. Weitere wichtige Kohlenstoffspeicher sind semiterrestrische Böden wie Gleye und Pseudogleye.

Aufgrund der großen Kohlenstoffvorräte der Böden sowie des Ausmaßes der CO₂-Flüsse zwischen Boden und Atmosphäre können bereits geringfügige Änderungen im Gehalt an organischem Kohlenstoff der Böden erhebliche Auswirkungen auf das Klima und die Bodenqualität haben.

Ob der Abbau organischer Substanz in Böden durch Temperaturanstieg beschleunigt wird, hängt davon ab, ob ausreichend Bodenfeuchte vorhanden ist und die mikrobiellen Prozesse tatsächlich tempera-

Abbildung 5:

Kohlenstoffvorräte (C_{org}) der Leitprofile der BÜK200N nach verschiedenen Bodentypen.



turlimitiert sind. Untersuchungen in England haben gezeigt, dass hohe Kohlenstoffverluste im Zusammenhang mit Klimavariabilität stehen könnten (BEL-LAMY et al., 2005). Eine zukünftige Häufung von Extremereignissen könnte die Produktivität der Ökosysteme und damit auch die Kohlenstoffzufuhr in Böden beeinträchtigen. Untersuchungen der direkten Folgen der Hitze- und Dürrewelle 2003 zeigen für deutsche Ökosysteme zumindest eine drastisch reduzierte Kohlenstoffaufnahme (CIAIS et al. 2005). Die Zunahme der Temperaturen im Winterhalbjahr und eine ausreichende Bodenfeuchte beschleunigen

die Mineralisierungsprozesse der organischen Substanz. Auf der anderen Seite kommt es auf terrestrischen Böden möglicherweise zu einer verringerten Mineralisation in den trockenen Sommermonaten. Ein möglicher Humusschwund ist daher stark standortsabhängig (WEIGEL et al., 2005). Hinsichtlich der Änderungen im Vorrat an organischer Substanz in Böden hat die Landnutzung ebenfalls einen großen Einfluss. Landnutzungsänderungen können sich als Folge des Klimawandels oder durch Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel ergeben.

Ausblick und offene Fragen

Bodenerosion

Um die zukünftige Entwicklung der Bodenerosion zu beurteilen, müssen Veränderungen in der Intensität und im Auftreten von Starkniederschlägen untersucht werden. Die regionalen Klimamodelle sind dazu bisher nur sehr eingeschränkt zu nutzen. In aktuellen Forschungsprojekten wird derzeit untersucht, wie die räumliche und zeitliche Auflösung von regionalen Klimamodellen verbessert werden kann, um Veränderungen der Erosivität von Niederschlägen zu projizieren. Aber auch hier müssen Rückkopplungen berücksichtigt werden, denn neben der Änderung der Niederschlagscharakteristik wird die Temperaturzunahme weitere Parameter wie Bodenfeuchte, Evapotranspiration, Infiltration, Pflanzenwachstum und Bodenbedeckung beeinflussen, die sich wiederum auf die Bodenerosion auswirken. Bei einer verlängerten Vegetationsperiode ist mit erhöhten Nutzungspotenzialen bis hin zu zwei Ernten zu rechnen. Die mehrfache Bearbeitung im Jahresablauf kann das Erosionsrisiko zusätzlich erhöhen. Daher müssen in weiteren Untersuchungen Zukunftsszenarien für den C-Faktor entwickelt werden.

Bodenkohlenstoff

Ein Vergleich der Daten der Bodenzustandserhebung Wald (BZE I und BZE II) zeigt bisher keine statistisch signifikante Veränderung der Bodenkohlenstoffgehalte rheinland-pfälzischer Waldböden. Auch der ClimSoil Report (2008) der Europäischen Kommission kommt zu dem Ergebnis, dass bisher noch kein eindeutig in eine Richtung gehender Effekt des Klimawandels auf den organischen Kohlenstoffvorrat von mineralischen Böden nachzuweisen ist. Es überlagern sich die Einflüsse von Temperaturanstieg, erhöhten CO₂-Konzentrationen und veränderten Niederschlags- und Grundwasserverhältnissen (BUND/LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT BODENSCHUTZ 2010). Daher ist ein landnutzungsabhängiges Monitoring des organischen Kohlenstoffs in Böden von besonderer Bedeutung.

Verdichtung

Infolge der Klimaänderung nehmen die frostfreien Tage zu. Dadurch erhöht sich das Verdichtungsrisiko, da im Winterhalbjahr in Kombination mit höheren Niederschlägen weniger Tage für eine bodenschonende Befahrung bzw. Bodenbearbeitung zur Verfügung stehen. Durch die Abnahme der Frosttage kann die Auflockerung des Bodens (Bodengare) gemindert werden. Bei einer verlängerten Vegetationsperiode mit erhöhten Nutzungspotenzialen bis hin zu zwei Ernten kann auch hier die mehrfache Bearbeitung im Jahresablauf das Verdichtungsrisiko zusätzlich erhöhen. Neben den landwirtschaftlich genutzten Böden sind insbesondere Waldböden durch das Rücken bei der Holzernte gefährdet (BUND/LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT BODENSCHUTZ 2010).

Biodiversität

Der Klimawandel hat auch Einfluss auf die Bodenlebewesen und Mikroorganismen aufgrund der Abhängigkeit der mikrobiellen Aktivität von Temperatur und Wassergehalt. Veränderungen der Bodenbiodiversität können Auswirkungen auf die ökosystemaren Funktionen des Bodens zur Folge haben. Mikroorganismen leisten beispielsweise einen entscheidenden Beitrag bei der Nährstoffbereitstellung, den Stoffflüssen und dem Stoffumsatz von Böden. Maßgeblich ist weiterhin ihre Rolle bei der Freisetzung der klimarelevanten Spurengase. Es besteht jedoch noch erheblicher Forschungsbedarf zu den Auswirkungen der Klimaveränderungen auf die Biodiversität im Boden und zu den ökologischen Folgen einer Veränderung der Bodenfauna (BUND/LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT BODENSCHUTZ 2010).

Projekt: Klima- und Landschaftswandel in Rheinland-Pfalz (KlimLandRP)

Modul: Boden

Bearbeitung: Dr. Tilmann Sauer
Rheinland-Pfalz Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen
67705 Trippstadt

Dr. Ernst-Dieter Spies
Landesamt für Geologie und Bergbau
55129 Mainz

Berichtszeitraum: April 2008 - September 2011

Homepage: www.kwis-rlp.de
www.klimawandel-rlp.de
www.klimlandrp.de

Gesamtkoordination des Projekts: Rheinland-Pfalz Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen

Zitierhinweise: SAUER, T., SPIES, E.-D. (2013): Klima- und Landschaftswandel in Rheinland-Pfalz (KlimLandRP) – Themenblatt zu den Methoden und Ergebnissen des Moduls Boden. Hrsg.: Rheinland-Pfalz Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen.

Quellen/Literaturangaben Ein Literaturverzeichnis kann bei Bedarf über die Verantwortlichen bezogen werden

Projektpartner KlimLandRP:



POTS DAM-INSTITUT FÜR KLIMAFOLGENFORSCHUNG



Das Landesprojekt KlimLandRP - Klima- und Landschaftswandel in Rheinland-Pfalz wurde gefördert mit Mitteln der Ministerien für Wirtschaft, Klimaschutz, Energie und Landesplanung sowie für Umwelt, Landwirtschaft, Ernährung, Weinbau und Forsten

© April 2013 Nachdruck und Wiedergabe nur mit Genehmigung des Herausgebers

