

Klimawandel und Boden

Zusammenfassung der Auswirkungen des Klimawandels auf Bodeneigenschaften und Bodenfunktionen



Abb. 1: Trockenrisse im Boden (Quelle: LfU)

Inhalt

1	Aktueller Sachstand zum Klimawandel	2
2	Klimawandel und Bodenwasserhaushalt	2
2.1	Auswirkungen des Klimawandels auf den Bodenwasserhaushalt und dadurch entstehende Folgen für die Land- und Forstwirtschaft	3
3	Klimawandel und Moore	7
3.1	Funktionen der Moore	7
3.2	Auswirkungen des Klimawandels auf die Moore	7
4	Klimawandel und Permafrostböden - Globale Auswirkungen	8
5	Ausblick.....	9
5.1	Folgen bzw. Untersuchungsbedarf im vorsorgenden Bodenschutz	9
5.2	Ausblick - Fragestellungen für die Zukunft.....	9
6	Quellen	11

Klimawandel und Boden

Durch den Klimawandel werden verschiedene klimatische Parameter beeinflusst, von denen Stoffflüsse abhängen. Mögliche Auswirkungen des Klimawandels auf wichtige Bodeneigenschaften bzw. -funktionen und deren Auswirkungen z.B. für die Nutzung durch den Menschen aber auch für die Umwelt sind nachfolgend zusammengefasst.

1 Aktueller Sachstand zum Klimawandel

Für die im Nachfolgenden aufgezeigten (möglichen) Auswirkungen des Klimawandels auf Böden wird von folgenden, derzeit als gesichert angenommenen Veränderungen klimatischer Rahmenbedingungen ausgegangen:

- Anstieg der durchschnittlichen Temperatur → Temperaturzunahme mit durchschnittlich 1,8 - 2,7 °C/Jahr vor allem im Westen Süddeutschlands und in den tieferen Lagen bis 500 m über NN (besonders starker Temperaturanstieg in den Wintermonaten) [5]
- Zunahme der Anzahl an Sommertagen → erhöhte Verdunstungsrate
- Veränderung der Niederschlagsverteilung → erhöhter Niederschlag im Winter geringerer Niederschlag im Sommer → vermehrt sommerliche Starkregenereignisse in Folge sowie geringerer Schneeanteil im Winter
- Zunahme von allgemeinen Witterungsrisiken → Zunahme der Sturmhäufigkeit und -intensität [10], [1]

2 Klimawandel und Bodenwasserhaushalt

Veränderte klimatologische Rahmenbedingungen (s. Kap.1) beeinflussen den Wasser- und Stoffhaushalt und bewirken Änderungen des Infiltrationsvermögens von Böden. Insbesondere die Veränderung der Niederschlagsereignisse und die Veränderung der Lufttemperatur wirken sich direkt auf den Bodenwasserhaushalt aus. Mögliche Auswirkungen sind thematisch gegliedert im Folgenden aufgezeigt.

2.1 Auswirkungen des Klimawandels auf den Bodenwasserhaushalt und dadurch entstehende Folgen für die Land- und Forstwirtschaft

Erhöhung der Jahresmitteltemperatur mit längeren Trockenperioden im Sommer

Folgen

- ⇒ Trockenstressreaktionen im Boden → Ertragsrisiko steigt [5], [1]
- ⇒ Veränderung der nutzbaren Feldkapazität (nFK) → vor allem problematisch für Böden, die aufgrund ihrer geringen nutzbaren Feldkapazität (nFK) nur wenig pflanzenverfügbare Winter- und Frühjahrsniederschläge speichern können (siehe Abb. 2)
- ⇒ Erhöhung der biologischen Aktivität → Erhöhung der Mineralisation z.B. der Streuauflage → Humusschwund in Abhängigkeit von Temperatur und Feuchtegehalt ggf. sogar im Winter dominierend → ggf. Abbau der in Waldböden gespeicherten C-Vorräte *oder gegenläufiger Prozess* → aufgrund fehlender Bodenfeuchte in Zeiten ausgeprägter Trockenheit → mikrobielle Aktivität nimmt trotz höherer Temperaturen ab
- ⇒ Veränderung der Nährstoffdynamik (z.B. Kohlenstoff und Stickstoffkreislauf)
- ⇒ Ggf. Veränderung der Mikroorganismenpopulation in Böden und damit veränderte Abbaubedingungen für z.B. organische Schadstoffe in Böden (positiv aber auch negativ), Auswirkung auf die „natural attenuation“ (oberflächennah) [2]

Maßnahmen

- ✓ Änderung der Fruchtfolgegestaltung, Anpassung der Saattermine, Änderung des Wassermanagements, Anpassungen der Düngung und Bodenbearbeitung [1]
- ✓ Umstellung auf trockenresistentere Pflanzensorten → Wahl alternativer Sorten und Arten in der Landwirtschaft → vermehrter Anbau von wärmeliebenden Arten
- ✓ Ggf. Bodenbewässerung, -beregnung (s. Abb. 2)

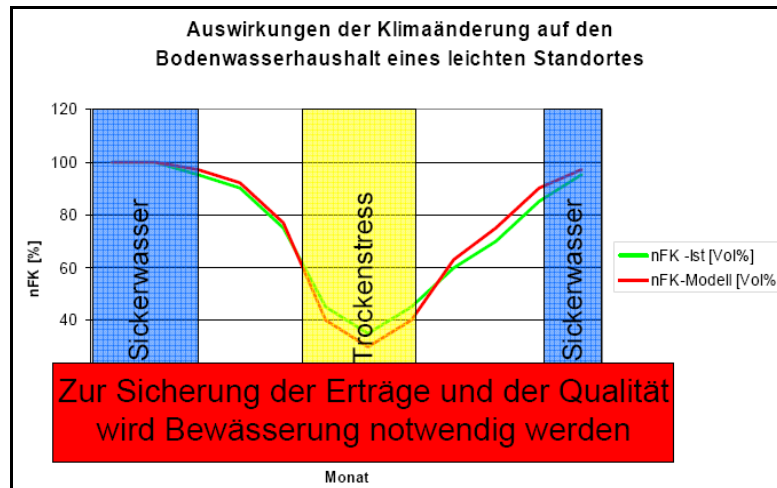


Abb. 2: Auswirkungen der Klimaveränderungen auf den Bodenwasserhaushalt (Quelle: [13])

Ausbildung von Trockenrissen (sekundäres Makroporensystem) (s. Abb.1) bis in tiefere Bodenbereiche (> 1m) von lehmig-tonigen Böden während sommerlicher Trockenphasen

Folgen

⇒ rasche Infiltration der Niederschläge inkl. Stoffeintrag (Dünger) bis in tiefere Bodenschichten → nach Aufsättigung dieses Makroporensystems verstärkter Oberflächenabfluss v.a. bei der erwarteten Zunahme von Starkregenereignissen sowie Bodenerosion und Wurzelschäden an Nutzpflanzen

Maßnahmen

- ✓ Anpassungen der Düngung, insbesondere des Düngungszeitpunktes zur Vermeidung von Düngerausträgen
- ✓ Konservierende Bodenbearbeitung zur Vermeidung der Bildung von Trockenrissen

Geringere Niederschläge bzw. andere Verteilung der Niederschläge über die Jahreszeiten (mehr Starkregenereignisse)

Folgen

⇒ ein durch höhere Temperaturen steigender Wasserverbrauch vor allem in den Sommermonaten → Wassermangel bei Bäumen → Verschlechterung der Wachstumsbedingungen von Bäumen → z.B. Wachstum der Buche hängt an der Nässegrenze (großen Flussauen und Mooregebiete) von der Entwicklung der Grundwasserstände und Überflutungsereignisse ab [10]

- ⇒ Zerstörung landwirtschaftlicher Flächen durch Hagelschlag, Sturm, Frost sowie überschwemmte Flächen und Erosion bei Starkregen [1]

Maßnahmen:

- ✓ in der Forstwirtschaft beimischen von ausreichend tief wurzelndem Laubholz oder Tannen-Beständen → Ausnutzung der Wasservorräte tieferer Bodenschichten [10]
- ✓ Umbau von nicht standortgemäßen Beständen mit hohen Fichtenanteilen in der Klimaregion "trocken-warm" in angepasste laubholzreiche Bestände [10]
- ✓ Anbau von Fichte nur auf passenden Standorten mit ausreichender Wasserversorgung [10]

Veränderung des Infiltrationsvermögens bzw. Abflussverhaltens

Folgen

- ⇒ vermehrter direkter Abfluss der Niederschläge v.a. im Winter → erhöhte Gefahr von winterlichen Hochwasserereignissen → hohe ggf. ganzjährige Erosionsgefahr (Wasser-, Winderosion) → fehlender Bodenfrost könnte die Erosionsgefahr deutlich erhöhen [4], [14]
- ⇒ Verringerung der Grundwasserneubildungsrate insbesondere auf Flächen mit oberflächennahem Grundwasser (besonders schützenswerte Landschaftsräume) → Grundwasserneubildungsrate wird bei mehr als der Hälfte dieser Fläche unter der heutigen Grundwasserneubildungsrate liegen [5]
- ⇒ ggf. intensivere landwirtschaftliche Nutzung der Auenböden aufgrund günstigeren Bodenwasserhaushalts → Gefahr der Eutrophierung der Gewässer
- ⇒ vor allem im Sommer Abnahme des Gebietsabflusses mit geringen Grundwasser- und Flusspegelständen → Verschlechterung der Wasserqualität [5]
- ⇒ Reduzierung der Trockenwetterabflüsse vor allem in den Sommermonaten mit Folgen für Flora/Fauna und Wassernutzung (z.B. Kraftwerks-/Kühlwasser inkl. Rückkopplung bezüglich einer zusätzlichen Erhöhung der Wassertemperatur) [4]

Maßnahmen

- ✓ Vermeidung winterlicher Brachflächen zum Schutz vor Erosion
- ✓ Konsequente Umsetzung von Erosionsschutzmaßnahmen → ggf. Windschutz durch Hecken und Windschutzstreifen → Einarbeitung von Ernterückständen (Vergärung zur Stromerzeugung steht dagegen), Gründüngung → Verminderung der infiltrationshemmenden Bodenverschlammung und Bodenverdichtung [5]
- ✓ bodenschonende Bewirtschaftungsmaßnahmen und dadurch Ausbildung eines stabilen Grob- und v.a. Mittelporensystems (Verbesserung der Infiltrationsleistung) z.B. durch Förderung der Bodenfauna
- ✓ konservierende Bodenbearbeitung, dadurch Vermeidung von Bodenverdichtungen

Anstieg der atmosphärischen CO₂-Konzentrationen

Folgen

- ⇒ Auswirkungen auf Photosynthese, Atmung, Ruhezeiten und Wachstums- bzw. Blühbeginn [1]
- ⇒ vermehrte CO₂ Aufnahme der Vegetation aus der Atmosphäre → verstärkte Photosynthese → besseres Pflanzenwachstum → positiver Effekt [5], [11]

3 Klimawandel und Moore

Moorböden speichern in großen Mengen Kohlenstoff. Welche Auswirkungen die Freisetzung von CO₂ und Methan und eine allgemeine Veränderung des Kohlenstoffkreislaufes hervorrufen könnten, ist im Folgenden aufgeführt.

3.1 Funktionen der Moore

- Torfe besitzen ein großes Wasserspeicher- und -rückhaltevermögen → im wachsenden Moor wird Wasser aus dem natürlichen Kreislauf gespeichert → Wassergehalt von Torfen ca. 90 Vol.-% [5]
- Kohlenstoff- und Stickstoff-Verbindungen werden im wachsenden Moor langfristig festgelegt [5]
- Filterwirkung der Moore → z.B. Filtern von Schadstoffen [5]
- Moore gelten als Emissionsquelle für Methan/CO₂ → Methan: anaerober C-Abbau durch methanogene Bakterien; CO₂: aerober C-Abbau → Moore binden in erheblichem Umfang CO₂ → Höhe der Emissionen der Moore hängt ab von der Art und Intensität der Nutzung und der damit verbundenen Degradierung des Moorbodens sowie von der Entwässerungstiefe [5], [1]

3.2 Auswirkungen des Klimawandels auf die Moore

Belüftung der oberen Torfschichten durch Entwässerung und Austrocknung der Moore

Folgen

- ⇒ Austrocknung der Moore → Beschleunigung von Abbau und Zerfall von Humus → erhöhte Mineralisation der organischen Substanz mit CO₂-Freisetzung → Stofffreisetzung in die Atmosphäre und in das Sickerwasser [3], [1]
- ⇒ Sackung der Moorböden

- ⇒ Absenkung des Grundwasserstandes → Degradierung der Moorböden → degradierte Standorte weisen einen unausgeglichene, überwiegend witterungsabhängigen Bodenwasser- und Lufthaushalt auf
- ⇒ Gefährdung besonderer, schutzwürdiger Lebensräume (Natur-, Landschaftsschutzgebiete, rote Artenliste) und dadurch Gefährdung der vielfältigen ökologischen Funktion dieser Schutzgebiete [5]

Maßnahmen

- ✓ Aufhalten der Bodendegradierung → Wiederbelebung der Torfneubildung durch Renaturierungsmaßnahmen von Moor [5]
- ✓ Renaturierung der Moore zur Emissionsminderung → Erhöhung der CO₂- Bindungsfunktion [1] (dabei wird aber in erheblichem Maße N₂O emittiert – ganz kritisches Treibhausgas!)
- ✓ Erhalt von wachsenden Mooren und Initiierung von Torfwachstum [1], keine verstärkte landwirtschaftliche Nutzung dieser Standorte wegen des vergleichsweise günstigen Wasserhaushalt bei zunehmender Trockenheit
- ✓ Erhalt des GW-Standes in Mooren durch z.B. Stauhaltung

4 Klimawandel und Permafrostböden - Globale Auswirkungen

Permafrostböden sind Böden, die über das ganze Jahr gefroren sind. Die untere Permafrostgrenze liegt in den Alpen bei über 2500 Metern (für Bayern kaum relevant).

Ein Auftauen der Permafrostböden hätte global große Auswirkungen vor allem auf den Methan und CO₂-Kreislauf, da riesige Flächen nördlich des Polarkreises davon betroffen wären.

Tauender Permafrost durch Temperaturerhöhung

Folgen

- ⇒ Herabsetzen der Bodenstabilität in grundeisreichen Regionen → Schäden durch Hanginstabilitäten und Steinstürze → Veränderung der Bodeneigenschaften (z.B. Aggregatstabilität) [1], [7]
- ⇒ Mikroorganismen profitieren von höherem Wasser- und Nährstoffangebot bei einer Verlängerung der jährlichen Auftauphase → Anstieg der Kohlenstoffdioxid- und Methanfreisetzung durch Mikroorganismen → verstärkte Freisetzung von Treibhausgasen [7]

- ⇒ in aufgetauten Permafrostböden kommt es ggf. zum Wasserstau → in Wasser überstauten Böden herrscht Sauerstoffmangel → biologische Abbaurate ist auf Permafrostböden stark reduziert durch die nasskalte Umgebung → Einsetzen von Fäulnisprozessen → Entstehung von Methan [7]

5 Ausblick

5.1 **Folgen bzw. Untersuchungsbedarf im vorsorgenden Bodenschutz**

- Erweiterung der Erfassungen an Bodendauerbeobachtungsflächen um Parameter, die eine Veränderung des Bodenzustandes messen, z.B. Messung der C-Gehalte im Boden, Diversitätsuntersuchungen im Boden (Flora- und Faunazusammensetzung)
- Bodenfunktionsbewertung → nutzbare Feldkapazität → Entwicklung von genauen Messmethoden → Erfassung einer bodenphysikalischen Datenbasis, bayernweite Erfassung von Bodenwasserhaushaltsparametern
- Überarbeitung der Düngeverordnung → bei stark ausgeprägter Trockenrissbildung in der Sommerperiode Vermeidung des Einsatzes von Düngern (insbesondere Aufbringung von Klärschlamm und organischen Düngern (Gülle)) → entweder direkt (Gülle) oder mit dem nächsten Regenereignis (Mineraldünger) wird Dünger über die Trockenrisse in größere Bodentiefen transportiert und steht dann für die Pflanzenaufnahme nicht mehr zur Verfügung → Beeinträchtigung des Grundwassers
- Gestaltungsstrategien für eine optimale Bodennutzung, um erwartete Klimatrends abzumildern, z.B. in der Stadt- und Landschaftsplanung [8], [3]
- Wasserwirtschaftliches Planen und Handeln wird insbesondere in den Bereichen Hochwasserschutz, Wasserversorgung und den möglichen Auswirkungen veränderter Abflüsse auf die Gewässerqualität notwendig

5.2 **Ausblick - Fragestellungen für die Zukunft**

- *Kann der Boden genügend Wasser speichern, um in längeren Trockenperioden Kulturpflanzen pflanzenverfügbares Wasser zur Verfügung zu stellen (Festlegung besonders sensibler Flächen) oder ist eine Modifikation von Anbaustrategien erforderlich? [1]*
- *Wie wird sich die Austauschhäufigkeit des Bodenwassers und damit das Rückhaltevermögen für nicht sorbierbare Stoffe (z.B. Nitrat) verändern? [1]*

- *Welche Auswirkungen hat ein möglicher Klimawandel auf das hydrologische System und welche Unterschiede sind bei der nutzungs- und naturabhängigen Sensitivität gegenüber Veränderungen der klimatischen Randbedingungen zu erwarten? [4]*
- *Welche land- und forstwirtschaftlichen Anpassungsstrategien sind erforderlich? [8], [3]*
- *Wie reagiert die organische Bodensubstanz (Abbau bzw. Anreicherung) auf veränderte Umweltbedingungen (z.B. erhöhtes Stickstoffangebot, erhöhte Temperaturen)? [1]*
- *Wie kann Kohlenstoff langfristig im Boden (Moor- und Permafrostböden) gespeichert werden? [1]*
- *Wie wirkt sich eine Temperaturerhöhung auf die Verwitterung von Gesteinen aus (z.B. chemische Verwitterung findet schneller statt, Veränderung der Tonminerale)?*
- *Wird der Abbau organischer Stoffe (z.B. Pestizide) durch eine Temperaturerhöhung begünstigt oder gehemmt? [vgl. 2]*

6 Quellen

- [1] UBA-Workshop, Klimaveränderungen - Herausforderungen für den Bodenschutz
- [2] Levy, W.; Radl, V.; Ruth, B. et al.: Harsh summer conditions caused structural and specific functional changes of microbial communities in an arable soil, 2007
- [3] Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie, Diskussionspapier Thüringen für die Beratung mit Bayern und Sachsen, München, 14.12.2006
- [4] Wurbs, D. : Vergleichende Untersuchungen zu den Folgewirkungen von Klima- und Landnutzungsänderungen auf den Wasserhaushalt in Flusseinzugsgebieten; Dissertation; Halle, 2005
- [5] Schmidt, W.; Nietsche, O.: KLIWA; Unser Klima verändert sich; Folgen-Ausmaß-Strategien, Versuch der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft
- [6] BayFORKLIM; Klimaänderungen in Bayern und ihre Auswirkungen, Abschlußbericht des Bayerischen Klimaforschungsverbundes, November 1999
- [7] UBA-Hintergrundpapier, Klimaveränderungen durch tauenden Permafrost, Dessau, 2006
- [8] Projektskizze des LfU (Entwurf); Auswirkungen des Klimawandels auf den Bodenwasserhaushalt am Beispiel einer ausgewählten Kulturart
- [9] <http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-presse/hintergrund/Regionale-Klimaaenderungen.pdf>; UBA; Neue Ergebnisse zu regionalen Klimaänderungen; das statistische Regionalisierungsmodell WETTREG; Dessau, 2007;
- [10] http://www.waldwissen.net/themen/waldoekologie/boden_standortkunde/lwf_waldbau_klimawandel_2006_DE?start=0
- [11] <http://www.hamburger-bildungsserver.de/welcome.phtml?unten=/klima/index.htm>
- [12] [http://www2.agrarinfo.rlp.de/Internet/global/themen.nsf/1eabb65dcddc4614c125700a00339849/a9697729d59371a7c1257106002c7b70/\\$FILE/2006-02%20Bodenkundliche%20und%20pflanzbauliche%20Grundlagen%20Bew%C3%A4sserung%20\(Internetversion\).pdf](http://www2.agrarinfo.rlp.de/Internet/global/themen.nsf/1eabb65dcddc4614c125700a00339849/a9697729d59371a7c1257106002c7b70/$FILE/2006-02%20Bodenkundliche%20und%20pflanzbauliche%20Grundlagen%20Bew%C3%A4sserung%20(Internetversion).pdf)
- [13] http://lsa-st23.sachsen-anhalt.de/llg/infothek/dokumente/abt_06_steining.pdf
- [14] <http://www.hessen.de>; Klimawandel und Klimafolgen für die Wasserwirtschaft in Hessen; Dr. Gerhard Brahmmer (HLUG, Dezernat W3 „Grundwasser und Hydrologie“)