



LAND  
BRANDENBURG

Ministerium für Umwelt, Gesundheit  
und Verbraucherschutz

Boden,  
Umweltgeologie  
und Altlasten



Fachbeiträge des Landesumweltamtes

Heft Nr. 114

**Brandenburg spezifische  
Boden-Indikatoren für ein  
Klimamonitoring und Grundlagen  
zur Ableitung von Wirkungs- und  
Alarmschwellen**



LANDESUMWELTAMT  
BRANDENBURG

Fachbeiträge des Landesumweltamtes

Heft-Nr. 114

**Brandenburg spezifische  
Boden-Indikatoren für ein  
Klimamonitoring und Grundlagen  
zur Ableitung von Wirkungs- und  
Alarmschwellen**



LANDESUMWELTAMT  
BRANDENBURG

## **Fachbeiträge Heft-Nr. 114**

### **Brandenburg spezifische Boden-Indikatoren für ein Klimamonitoring und Grundlagen zur Ableitung von Wirkungs- und Alarmschwellen**

#### **Herausgeber:**

Landesumweltamt Brandenburg (LUA)  
Seeburger Chaussee 2  
OT Groß Glienicke  
14476 Potsdam  
Tel.: 033201 - 442 171  
Fax: 033201 - 43678

**Bestelladresse:** [infoline@lua.brandenburg.de](mailto:infoline@lua.brandenburg.de)

**Download:** <http://www.mluv.brandenburg.de/info/lua-publikationen>

Potsdam, im April 2010

Dieser Fachbericht basiert auf dem vom LUA geförderten Forschungsauftrag (Az. 16811/2-41) zum Thema „Brandenburg spezifische Boden-Indikatoren für ein Klimamonitoring im Rahmen der Deutschen Anpassungsstrategie (DAS) sowie Zusammenstellung von Grundlagen zur Ableitung von aus-sagefähigen Wirkungs- und Alarmschwellen“ – Abschlussbericht 12/2009

#### **Autoren:**

Prof. Dr.-Ing. Rüdiger Schultz-Sternberg  
MSc., Dipl.-Geogr. Robert Bartsch  
Dipl.-Geogr. Robert Hommel  
Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde (Fachhochschule FH Eberswalde), Friedrich-Ebert-Straße 28, 16225 Eberswalde

#### **Redaktion:**

LUA, Abt. Technischer Umweltschutz  
Referat Altlasten, Bodenschutz (T6)  
Dr. Jürgen Ritschel  
Tel.: 033201 – 442 356  
E-Mail: [Jürgen.ritschel@lua.brandenburg.de](mailto:Jürgen.ritschel@lua.brandenburg.de)  
LUA, im Juni 2010

Diese Veröffentlichung erfolgt im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit des Ministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlwerbenden zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Der Bericht einschließlich aller Abbildungen ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Herausgebers unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Bearbeitung in elektronischen Systemen.

# Inhaltsverzeichnis

1. Einführung / Problemstellung .....	7
1.1 Einleitung.....	7
1.2 Zielstellung .....	7
1.3 Vorgehensweise.....	7
2. Ausgangssituation in Brandenburg .....	9
2.1 Die Böden.....	9
2.2 Die aktuellen Klimaverhältnisse .....	12
2.3 Die Klimaprognose für Brandenburg.....	12
3. Ergebnisse.....	13
3.1 Gefährdungspotenzialabschätzung (Impacts) des Klimawandels auf den Boden aufgrund der Expertise .....	13
3.1.1 Vulnerabilität brandenburgischer Böden .....	14
3.1.2 Auswirkungen der Klimaveränderung auf Bodeneigenschaften und -funktionen .....	15
3.1.3 Dauerbeobachtungen, Indikatoren und Alarmschwellen .....	18
3.2 Indikationsfeld Bodenwasserhaushalt.....	20
3.3 Indikationsfeld Humushaushalt .....	21
3.4 Indikationsfeld Erosion .....	23
4. Indikatorenvorschläge .....	24
4.1 Indikationsfeld Bodenwasserhaushalt.....	25
4.2 Indikationsfeld Humushaushalt .....	32
4.3 Indikationsfeld Erosion .....	35
5. Zusammenfassung .....	38
Literaturliste .....	40
Anhang .....	42
Auswertung der Expertengespräche.....	43-70

## Abbildungsverzeichnis

Abb.2-1	Leitbodengesellschaften in Brandenburg (Kühn, 2004b) .....	10
Abb.2-2	Ertragspotential (Kühn, 2004a) .....	11
Abb.3-1	Einschätzung der Experten zur Vulnerabilität brandenburgischer Böden .....	15
Abb.3-2	Einschätzungen der Experten zu den Veränderungen von ausgewählten Bodeneigenschaften.....	16
Abb.3-3	Einschätzungen der Experten zu den Gefährdungen durch verschiedene Prozesse .....	17
Abb.4-1	pF-Kurven verschiedener Bodenarten mit Angabe des pflanzenverfügbaren Anteils des Bodenwassers .....	26
Abb.4-2	Schematische Darstellung der Ableitung von Alarmschwellen für den Indikator „Frühjahrstrockenheit“ .....	27
Abb.4-3	Wasservorrat in den obersten 6 dm auf anhydromorphen Brandenburger Ackerstandorten .....	29
Abb.4-4	Zeitraum ausreichender Pflanzen-Wasserversorgung unter der Annahme von 30 % nFK als ausreichend (ausgehend von 100 % nFK).....	30
Abb.4-5	Zeitraum ausreichender Pflanzen-Wasserversorgung unter der Annahme von 50 % nFK als ausreichend (ausgehend von 100 % nFK).....	31
Abb. 4-6	Zeitraum ausreichender Pflanzen-Wasserversorgung unter der Annahme von 70 % nFK als ausreichend (ausgehend von 100 % nFK).....	31
Abb.4-7	Landnutzungsformen in Brandenburg .....	33
Abb.4-8	Moornutzung in Brandenburg .....	34
Abb.4-9	Schematische Darstellung der Ableitung des Indikators für den Bereich Erosionsgefahr .....	35
Abb.4-10	Potentielle Bodenabtragsgefährdung des Landes Brandenburg 2009.....	36
Abb.4-11	Erosionsanfälligkeit der Maisflächen in Brandenburg 2009.....	37

## Tabellenverzeichnis

Tab.1-1 Ausgewählte Institutionen in Brandenburg in denen Gespräche geführt wurden .....	8
Tab.3-1 Übersicht über Dauerbeobachtungen und Dauerfeldversuche in Brandenburg.....	18
Tab.3-2 Schätzrahmen des organischen Kohlenstoffgehaltes nach geologischem Ausgangssubstrat (nach Wessolek et al. 2008).....	22
Tab.3-3 Regen- und Oberflächenabflussfaktoren (R-Faktoren) für Brandenburger Gemeinden (verändert nach Deumlich 1999).....	24
Tab.4-1 Theoretische Ertragsniveaus von Getreide (dt/ha) in Abhängigkeit vom Wasservorrat des Bodens (Roggenforum e.V., 2007) .....	26
Tab.4-2 Kritische Werte des pflanzneverfügbaren Wassers für verschiedene Wuchsstadien.....	28
Tab.4-3 Schwellenwerte für den Zeitraum bis zum Erreichen des kritischen pflanzenverfügbaren Wassers .....	30

## Abkürzungsverzeichnis

akt. ET	- aktuelle Evapotranspiration
ALK	- Amtliches Liegenschaftskataster
ATB	- Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V.
BDF	- Bodendauerbeobachtungsflächen
BZE	- Waldbodenzustanderhebung (I im Jahr 1992, II im Jahr 2008)
C	- Kohlenstoff
C <sub>hwf</sub>	- heißwasserlöslicher Kohlenstoff
DAS	- Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel
DOM	- dissolved organic matter
EU	- Europäische Union
FK	- Feldkapazität
GIS	- Geographisches Informationssystem
GLOWA-Elbe	- GLObaler WAsserkreislauf – Elbe (Projekt)
IGZ	- Leibniz-Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau Großbeeren
IPCC	- Intergovernmental Panel on Climate Change
K	- Kelvin
KA	- Kartieranleitung
k. A.	- keine Angaben
LUA	- Landesumweltamt Brandenburg
LVLf	- Landesamt für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung
MMK	- Mittelmaßstäbige Landwirtschaftliche Standortkartierung
nFK	- nutzbare Feldkapazität
N	- Stickstoff (bezügl. Humus) bzw. Niederschlag (bezügl. Bodenwasser)
N1 – N14	- Expertenbefragung in Abb. 3-2, Abb. 3-3 und im Anhang
org. C (C <sub>org</sub> )	- organischer Kohlenstoff
OBS	- organische Bodensubstanz
ÖUB	- ökosystemare Umweltbeobachtung
PIK	- Potsdam Institut für Klimafolgenforschung
pF	- Feldkapazität
pot. ET	- potentielle Evapotranspiration
PWP	- permanenter Welkepunkt
R-Faktor	- Regen- und Oberflächenabflussfaktor
SFT	- Substratflächentyp der mittelmaßstäbigen landwirtschaftlichen Standortkartierung
ST	- Substrattyp der mittelmaßstäbigen landwirtschaftlichen Standortkartierung
TGL	- Technische normen, Gütevorschriften und Lieferbedingungen
UFO-Plan	- Umweltforschungsplan
WRRl	- Europäische Wasserrahmenrichtlinie
ZALF	- Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung

# 1. Einführung / Problemstellung

## 1.1 Einleitung

Die global prognostizierten Klimaänderungen und deren Folgen werden für Europa, Deutschland und Brandenburg möglicherweise gravierende Folgen haben. Um hierauf rechtzeitig und angemessen reagieren zu können, hat die Bundesregierung die in Kooperation mit den Ländern erarbeitete „Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel“ (DAS) am 17. Dezember 2008 beschlossen. Danach beabsichtigt der Bund bis zum März 2011 gemeinsam mit den Ländern einen „Aktionsplan Anpassung“ zu entwickeln, in dem Handlungserfordernisse und konkrete Maßnahmen („Responses“) zur Anpassung an den Klimawandel dargelegt werden sollen (Bundesregierung, 2008). Des Weiteren soll ein Vorschlag für ein Indikatorensystem zur Erfolgskontrolle vorgelegt werden, mit dem der Erfolg der durchgeführten Maßnahmen begleitend überprüft werden kann. Dieses Indikatorensystem zielt auf ein auf Bund- und Länderebene abgestimmtes Vorgehen zur Schaffung einer aussagekräftigen Datenlage für ein Klimafolgenmonitoring in Deutschland.

Zur Vorbereitung dieses Indikatorensystems läuft derzeit eine Studie im Rahmen des UFO-Planes beim Umweltbundesamt („Erstellung eines Indikatorensystems für die Deutsche Anpassungsstrategie“ FKZ 364 01 006). Das für die Deutsche Anpassungsstrategie zu entwickelnde Indikatorenkonzept soll systematische Früherkennung und Kommunikation von Klimafolgen ermöglichen sowie Berichte über Erfolge und Misserfolge bei der Umsetzung der Deutschen Anpassungsstrategie und künftige Berichtspflichten der EU-Mitgliedsstaaten vorbereiten.

Die Berücksichtigung der spezifischen Situation des Landes Brandenburg ist bislang im Rahmen der UFOPLAN-Studie nicht vorgesehen. Dies ist aber für das Land Brandenburg zwingend erforderlich, da hier aufgrund der naturräumlichen Besonderheiten der Region eine erhöhte Vulnerabilität d.h. eine besondere Empfindlichkeit oder Verletzbarkeit hinsichtlich der Auswirkungen des Klimawandels gegeben ist. Diese muss in die Entwicklung eines Indikatorensystems und in die Anpassung der Mess- und Erfassungssysteme für künftige Berichterstattung frühzeitig mit einfließen, um entsprechend im Land umgesetzt werden zu können.

Aus diesem Grund hat das Landesumweltamt, vertreten durch die Referate "Altlasten, Bodenschutz" und "Klimaschutz, Umweltbeobachtung", die Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde beauftragt, die Expertise in Bezug auf Bodenwassergehalte, Humusgehalte und Erosionsgefährdung zusammenzuführen. Damit wird ein erster Schritt zur Umsetzung des "landespolitischen Maßnahmenkatalogs zum Klimaschutz und zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels" geleistet.

## 1.2 Zielstellung

Die Studie soll eine systematische Erfassung des vorhandenen Wissens (Literaturstudie und Expertengespräche) und eine zusammenfassende Analyse leisten sowie Grundlagen für eine Ableitung von Wirkungs- und Alarmschwellen für ausgewählte Boden-Indikatoren zusammenstellen, um die spezifische Vulnerabilität der brandenburgischen Böden hinreichend berücksichtigen zu können.

Dieses geschieht hinsichtlich der Indikationsfelder Bodenwassergehalt, Erosionsgefährdung und Humusgehalt. Dabei soll der allgemeine „Ist-Zustand für Brandenburg qualitativ erarbeitet und beschrieben werden. Darüber hinaus wird für die einzelnen Indikationsfelder jeweils ein repräsentativer Indikator abgeleitet. Hierbei erfolgt die spezielle Betrachtung überwiegend für Agrarökosysteme. Der Ableitungsvorgang wird umfangreich geschildert und die dementsprechenden entwickelten Indikatoren werden als Vorschlag vorgestellt, um später Berücksichtigung im DAS-Indikatorensystem oder in Monitoringprogrammen zu finden. Des Weiteren sollen indikatorspezifische Alarmschwellen abgeleitet werden, die es ermöglichen, eine Beeinträchtigung von Bodenfunktionen (z. B. Ertragsfunktion) frühzeitig anzuzeigen. Die Betrachtung der Alarmschwellen erfolgt jedoch nur für ausgewählte Bodenfunktionen, welche in den folgenden Kapiteln ausführlich beschrieben sind.

## 1.3 Vorgehensweise

Im Rahmen des Projektes werden die Expertisen, die im Land Brandenburg bezüglich der Vulnerabilität der Böden existieren, gesammelt und ausgewertet. Die Ergebnisse sollen in Vorschläge für Indikatoren zur Beobachtung der Veränderung von Böden im Zuge der Klimaveränderung einfließen. Zum Erreichen der in Kap.1.2 genannten Ziele werden im Wesentlichen folgende Arbeitsschritte durchgeführt:

1. Es wird eine Literaturstudie (in geeigneten Fachzeitschriften, Forschungsberichten, Monographien, im Internet sowie in Veröffentlichungen von Ämtern und Ministerien) zu Ergebnissen klimabedingter Veränderungen von Böden durchgeführt in Bezug auf:
  - a. Bodenwassergehalte und deren Auswirkungen auf Stoffkreisläufe in Böden
  - b. Bodenhumusgehalte, organischer C-Gehalt
  - c. Erosionsgefährdungen durch Wind und Wasser
2. Durchführung von 14 Expertengesprächen mit Fachwissenschaftlern und Fachverantwortlichen in 12 Einrichtungen.
3. Erarbeitung der Indikatorenvorschläge und Herausarbeitung möglicher Alarmschwellen

Die Ergebnisse der Literaturrecherche fließen in die Erarbeitung der Indikatorenvorschläge und der Alarmschwellen ein und finden sich in diesem Bericht in allen Kapiteln wieder. Die Expertengespräche wurden an vorher ausgewählten Institutionen in den Ländern Brandenburg und Berlin durchgeführt (siehe Tab.1-1). Aus Gründen der Anonymität werden die Einrichtungen bzw. Experten im Folgenden mit N1 – N14 bezeichnet.

Es konnten in den im Forschungsantrag benannten Institutionen mit Ausnahme des Instituts für Agrartechnik in Bornim (ATB) sowie des Instituts für Gemüse- und Zierpflanzen Großbeeren (IGZ) innerhalb des Projektzeitraumes Gespräche vollzogen werden. Als Ausgleich wurden in Absprache mit dem Auftraggeber Zusatzgespräche am Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) durchgeführt. Die Auswahl der neuen Gesprächspartner fand unter dem Gesichtspunkt statt, dass die drei Indikationsfelder ausgewogen mit Experten abgedeckt werden. Die Schwerpunkte der Expertengespräche liegen in den Themen:

- Einschätzung der Vulnerabilität der Brandenburger Böden
- erwartete Änderungen von Bodeneigenschaften und -funktionen
- Monitoring, Dauerbeobachtungen und Dauerfeldversuche
- Indikatoren für Klimamonitoring im Boden
- Alarmschwellen

**Tab.1-1: Ausgewählte Institutionen in Brandenburg in denen Gespräche geführt wurden**

<b>Institution</b>
Brandenburgische Technische Universität Cottbus (BTU)
Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe des Landes Brandenburg (LBGR)
Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde ( <i>Neuer Name für Fachhochschule FH Eberswalde</i> )
Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI)
Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde (LFE)
Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung e. V. (ZALF)
Humboldt Universität zu Berlin (HU)
Technische Universität Berlin (TUB)
Landesumweltamt Brandenburg (LUA)*
Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung e. V. (PIK)*
Universität Potsdam (UP)
Landesamt für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung des Landes Brandenburg (LVLF)

\* Hier konnten keine direkten Gespräche geführt werden, stattdessen wurden die Fragen des Fragenkatalogs schriftlich beantwortet.

Zu diesem Zweck und um die Gespräche besser untereinander vergleichbar zu machen wurde ein Fragenkatalog mit acht Hauptfragen entwickelt und abgefragt (siehe Anhang). Die Ergebnisse der Gespräche werden in Kapitel 3.1 ausgewertet. Darüber hinaus fließen sie in die Erarbeitung der Indikatorenvorschläge mit ein.

Die Indikatorenvorschläge sind in der Projektgruppe auf Basis der Recherchen und der Gespräche entwickelt sowie mit dem Landesumweltamt als Auftraggeber abgestimmt worden.

## **2. Ausgangssituation in Brandenburg**

### **2.1 Die Böden**

Das Land Brandenburg lässt sich aus geomorphologischer Sicht in die zwei Großräume Altpleistozän (Altmoränengebiet) und Jungpleistozän (Jungmoränengebiet) untergliedern. Das Altmoränengebiet umfasst das Gebiet südlich des Glogau-Baruther Urstromtales sowie die Prignitz (Stackebrandt, 2004). Es ist durch eine flache bis flachwellige Landschaft mit wenigen Gewässern geprägt. Eine Ausnahme bildet der Spreewald mit seinen zahlreichen Kanälen.

Die glaziale Formung des Gebietes fand während der Elster und Saale Kaltzeiten statt. Während der letzten Kaltzeit war dieses Gebiet nicht mehr eisbedeckt und wurde durch periglaziale Prozesse überformt (Marcinek & Liedtke, 2002). Dabei fand eine weitgehende Nivellierung des stark gegliederten Reliefs statt. Hierbei sind vor allem die Prozesse der Solifluktion, der Abluation sowie die Überdeckungen mit Sanden (Geschiebedecksande, Flugsande) zu nennen (Schmidt, 2002).

Die Ausgangssubstrate im Altmoränengebiet sind tief entkalkt, nährstoffarm und vorwiegend durch sandige Decksedimente überlagert (Schmidt, 2002). Die dominierenden Bodentypen sind arme Braunerden bis hin zu schwach podsoligen Böden sowie in grundwasserbeeinflussten Gebieten Pseudogley- und Gleyböden (Schmidt, 2002, Kühn, 2004b) (siehe Abb. 2-1).

Das Jungmoränengebiet ist während der letzten Kaltzeit glazigen sowie glazifluvial geprägt worden. Es ist gekennzeichnet durch seine Gliederung in Platten (Hochflächen) und Rinnen (Niederungen). Im Vergleich zum Altmoränengebiet weist das Jungmoränengebiet eine stärkere Reliefdynamik sowie einen größeren Gewässerreichtum auf.

Die Ausgangssubstrate für die Bodenbildung sind heterogener als im Altmoränengebiet. Während auf den Hochflächen (Platten) sandige bis sandig-lehmige Substrate dominieren sind in den Urstromtälern, Niederungen und Sandern sandige Substrate vorherrschend. Diese können in den Niederungen durch holozäne Bildungen, wie Auensedimente und Moore überlagert sein (Hierold, 2009). Daraus ergibt sich auch ein heterogeneres Bild der Bodentypen. In den Niederungen sind vor allem grundwasserbeeinflusste hydromorphe Böden (Gleye) und Moore zu finden. Dahingegen dominieren auf den Moränen vor allem Braunerden-Parabraunerde Gesellschaften mit Pseudogleyen als Begleitböden. Auf den ärmeren Sanderstandorten sind Braunerde-Braunpodsol Gesellschaften zu finden (Schmidt, 2002).

Die Bonität der Brandenburger Böden ist vor allem auf Böden aus Schmelzwassersanden und älteren Moränenplatten niedrig. Böden mit mittleren Bonitäten sind in der Regel auf geschichteten Böden mit Decksanden über Lehm zu finden. Auf den jüngeren Moränenplatten in der Uckermark und in den Auen des Oderbruchs sowie der Elbe liegen lehmige Standorte mit besseren Ackerböden (Hierold, 2009, Kühn, 2004a).

Da in diesem Bericht überwiegend agrarisch geprägte Ökosysteme besprochen werden und die Beeinträchtigung der Ertragsfunktion näher betrachtet wird, bietet es sich zunächst an eine Ertragspotenzialkarte heranzuziehen (siehe Abb. 2-2).

Durch den Wechsel von zur Trockenheit neigenden sandigen und grundwasserbeeinflussten hydromorphen Böden muss bezüglich der prognostizierten Klimaveränderungen besonders differenziert untersucht werden, welche Probleme sich in Zukunft regional für die Böden ergeben (Hierold, 2009).

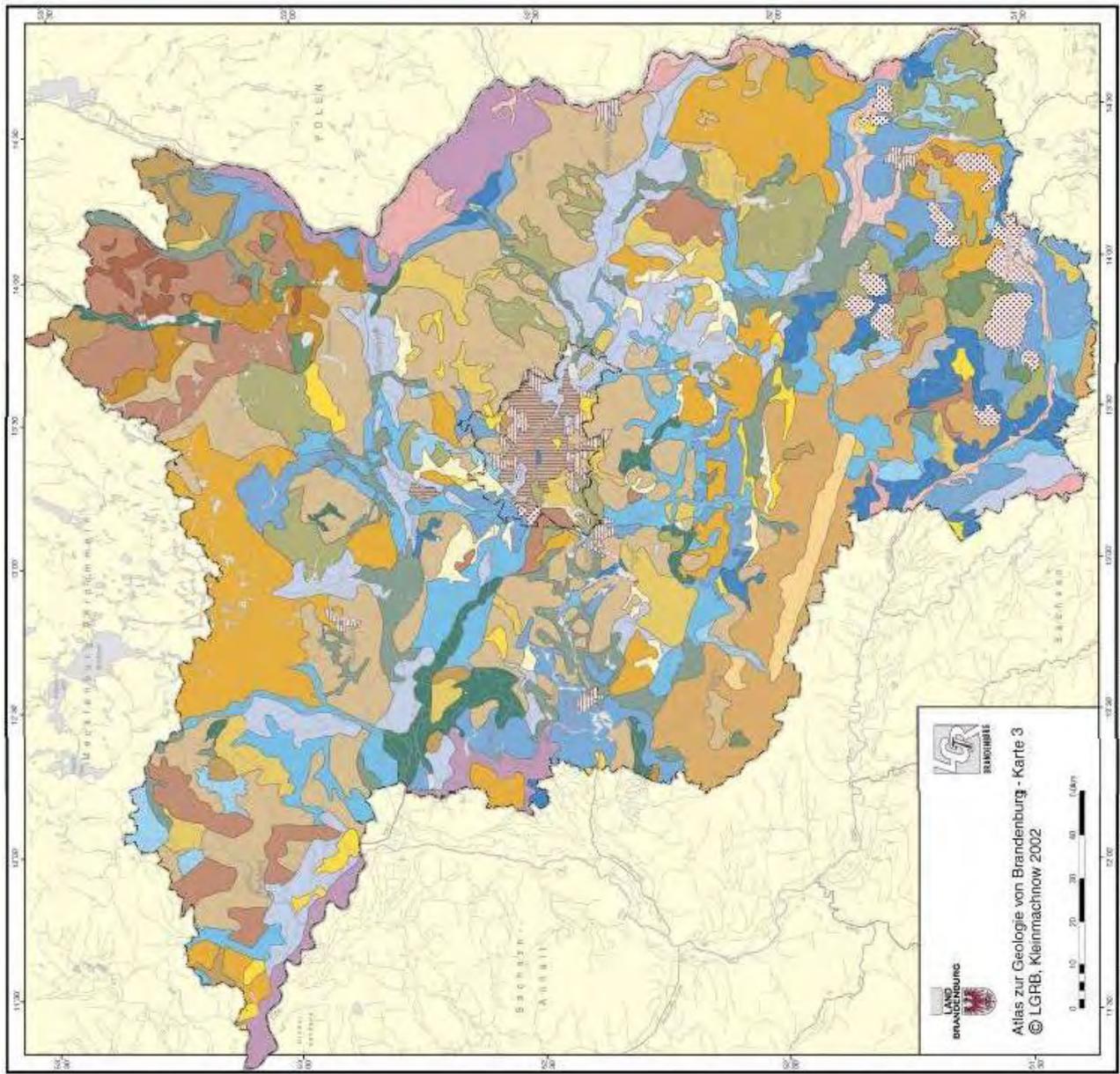


Abb.2-1: Leitbodengesellschaften in Brandenburg (Kühn, 2004b)

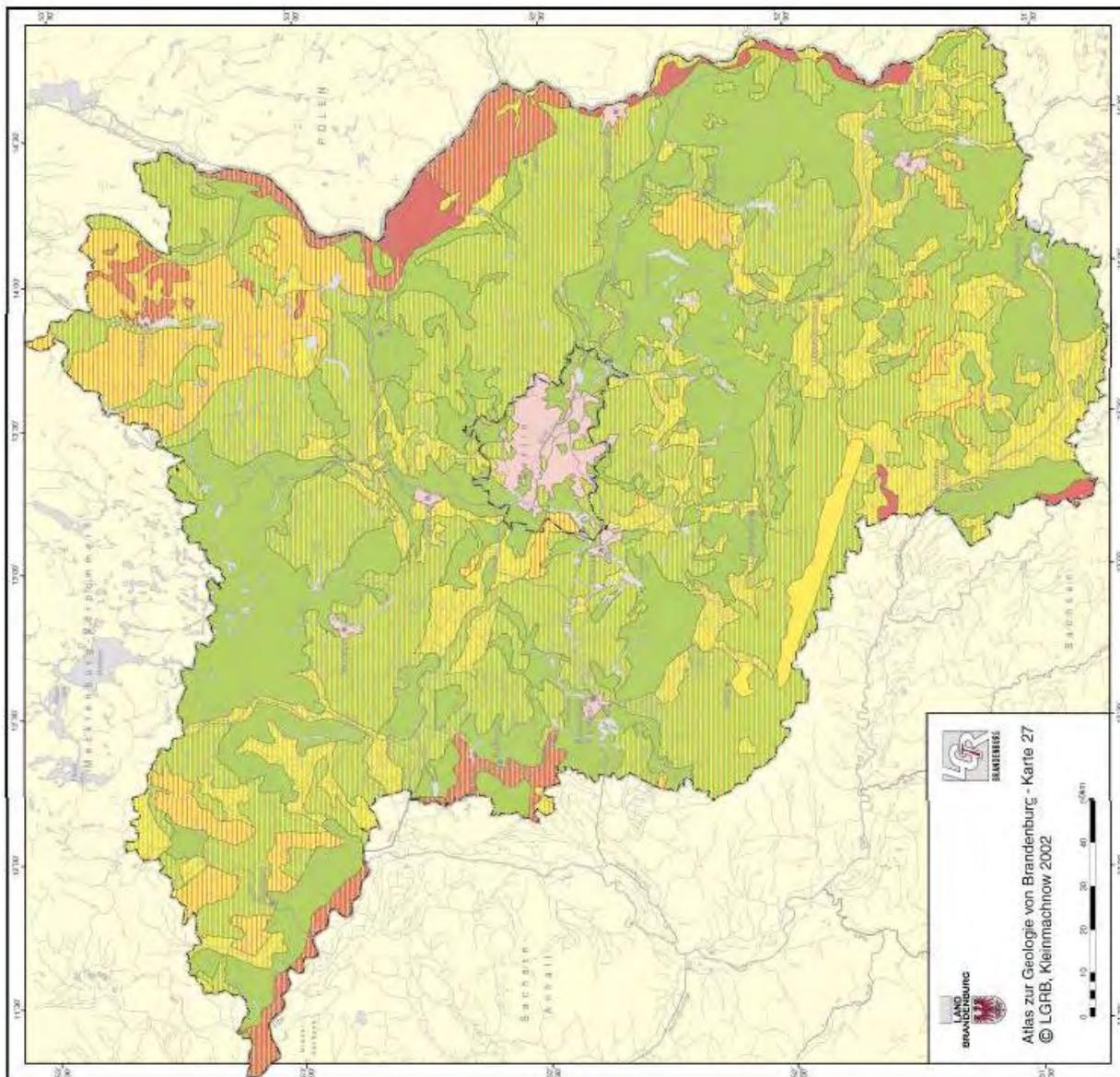


Abb.2-2: Ertragspotential (Kühn, 2004a)

## 2.2 Die aktuellen Klimaverhältnisse

Im Folgenden sollen die wichtigsten klimatischen Einflussfaktoren auf den Boden für Brandenburg dargestellt werden. Als Berechnungszeitraum für die mittleren Werte dient die Spanne von 1951-2000, soweit nicht anders angegeben. Dieser Zeitraum wurde vom PIK für Brandenburg ausgewertet und dient auch als Referenzzeitraum für die Klimaszenarien in Brandenburg (Gerstengarbe, 2003). Die mittleren Temperaturen betragen zwischen  $7,8^{\circ}$  -  $9,5^{\circ}\text{C}$  (Zeitraum 1951-2000). Wobei die wärmsten Regionen das Berliner Stadtgebiet und sein Umland, Westbrandenburg sowie Südostbrandenburg sind (Gerstengarbe et al., 2003).

Die Niederschläge schwanken in der Jahressumme zwischen etwa 300 bis 860 mm. Wobei ein mittlerer Wert für ganz Brandenburg von etwa 600 mm erreicht wird (Gerstengarbe et al., 2003). Die Verteilung im Jahr zeigt einen höheren Anteil der Niederschläge im Sommerhalbjahr. Es ist eine Abnahme der Niederschläge von West nach Ost erkennbar, die trockensten Regionen sind der Nordosten sowie der Osten Brandenburgs (Chmielewski, 2009, Gerstengarbe et al. 2003).

Nach Gerstengarbe et al. (2003) liegt die mittlere potentielle Evaporation mit 628 mm/a über den mittleren Niederschlägen. Dieser mittlere Zustand differenziert sich, wenn man die beiden Halbjahre getrennt betrachtet. Im Sommerhalbjahr beträgt die mittlere potentielle Evaporation etwa 520 mm/a und übersteigt damit deutlich die Niederschläge (etwa 340 mm/a).

Im Winterhalbjahr ist dagegen der umgekehrte Fall erkennbar. Hier übersteigt der Niederschlag mit etwa 260 mm/a die potentielle Evaporation mit etwa 110 mm/a deutlich. Die klimatische Wasserbilanz in Brandenburg beträgt im Mittel  $-24,5$  mm/a für den Zeitraum 1951-2000 (Gerstengarbe et al., 2003). Die Differenzierung in Sommer- und Winterhalbjahr zeigt im Sommer eine mittlere Bilanz von  $-176,4$  mm/a und im Winter  $151,9$  mm/a.

## 2.3 Die Klimaprognose für Brandenburg

In diesem Abschnitt werden die wichtigsten Klimaveränderungen beschrieben. Betrachtung finden hier nur die für den Boden bedeutendsten Klimafaktoren, wie Temperatur, Niederschlag, Evaporation und klimatische Wasserbilanz. Dabei wird hauptsächlich auf die Studien des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung (PIK) Bezug genommen. Soweit nichts anderes angegeben ist, sind die Grundlagen für die Beschreibung der Klimafaktoren die Ergebnisse von Gerstengarbe et al. (2003).

Ausgehend von den globalen Klimaszenarien des IPCC sind vom PIK regionale Klimaentwicklungsstudien für das Land Brandenburg durchgeführt worden. Zur Abschätzung der Klimaentwicklung in Brandenburg wurde als Grundlage das globale Klimaszenario A1B gewählt, da dieses eine mittlere Entwicklung wiedergibt (Gerstengarbe et al. 2003). Der vorgegebene Temperaturtrend für die Szenariorechnungen beträgt  $1,4$  K für den Zeitraum 2001-2055 und stammt aus dem Modelllauf ECHAM4-OPYC3 des Max-Planck Instituts für Meteorologie in Hamburg (Gerstengarbe et al., 2003).

Die Temperatur wird sich nach diesem Szenario bis zum Jahr 2055 um etwa  $1,4^{\circ}\text{C}$  (Gerstengarbe et al., 2003) bis  $2,5^{\circ}\text{C}$  erhöhen (Lotze-Campen et al., 2009). Nach anderen Szenarien sind sogar Anstiege bis zu  $3^{\circ}\text{C}$  möglich (Lasch et al., 2002). Daraus ergibt sich eine Jahresmitteltemperatur zwischen  $10,1^{\circ}\text{C}$  bis  $11,6^{\circ}\text{C}$  für das gesamte Land Brandenburg. Die wärmsten Gebiete bleiben weiterhin die Gebiete im Südosten und Westen Brandenburgs sowie das Berliner Stadtgebiet. Differenziert nach Jahreszeiten zeigen Lotze-Campen et al. (2009), deren Ergebnisse auf dem Klimamodell STAR2 basieren, einen Temperaturanstieg im Winterhalbjahr um bis zu  $3,1^{\circ}\text{C}$  bis 2055. Dahingegen weist das Sommerhalbjahr nur einen Anstieg um etwa  $1,9^{\circ}\text{C}$  bis 2055 auf.

Die Niederschlagsentwicklung ist besonders wichtig, da Brandenburg bereits in der Vergangenheit eine angespannte Niederschlagssituation aufweist. Hier differenzieren sich die Aussagen der Forschung. Sowohl Gerstengarbe et al. (2003) als auch Lotze-Campen (2009) zeigen für Brandenburg eine negative Entwicklung, wobei erstere einen Rückgang um etwa 50 mm bis 2055 und zweiter um etwa 30 mm bis 2050 prognostizieren. Auch Lasch et al. (2002) gehen von einer Niederschlagsabnahme von 10 bis 20 % aus.

In der Verteilung im Jahr und in den Jahreszeitensummen weisen sie größere Unterschiede auf. Gerstengarbe et al. (2003) gehen von einem etwa gleichmäßigen Rückgang in beiden Jahreszeiten aus.

Sie zeigen eine Differenz von -26 mm für das Sommerhalbjahr und -23,9 mm für das Winterhalbjahr zwischen dem Referenzzeitraum 1951-2000 und dem Zeitraum bis zum Jahr 2055. Lotze-Campen et al. (2009) dagegen beschreiben eine stärkere Umverteilung der Niederschläge. Sie prognostizieren für das Sommerhalbjahr einen Rückgang um 56 mm gegenüber dem Referenzzeitraum 1951-2006. Im Winterhalbjahr ist dagegen nach ihren Prognosen mit einer Zunahme der Niederschläge um 28 mm gegenüber dem Referenzzeitraum zu rechnen. Zu beachten ist bei diesem Vergleich der Prognosen der unterschiedliche Referenzzeitraum. Die Unterschiede im Referenzzeitraum sind in Tabelle 2-1 ersichtlich.

**Tab.2-1: Unterschiede im Referenzzeitraum (Daten aus Gerstengarbe et al., 2003 und Lotze-Campen et al., 2009)**

Niederschlagssumme [mm]			
	Jahr	Sommerhalbjahr	Winterhalbjahr
Referenzzeitraum 1951 – 2000 Gerstengarbe et al. (2003)	603,5	341,4	262,1
Referenzzeitraum 1951 – 2006 Lotze-Campen et al. (2009)	566	323	242

Hinsichtlich der potentiellen Evaporation gehen Gerstengarbe et al. (2003) von einer Zunahme um etwa 50 mm pro Jahr aus bis 2055. In den Halbjahressummen zeigen sie eine Zunahme für das Sommerhalbjahr um etwa 29 mm, dies entspricht etwa einer Zunahme um 5,6 % im Vergleich zum Referenzzeitraum. Für das Winterhalbjahr prognostizieren sie einen Anstieg um etwa 21 mm (18,7 %) gegenüber dem Zeitraum 1951-2000. Die reale Verdunstung zeigt dagegen eine Abnahme im Sommerhalbjahr um etwa 20 mm (-5,1 %) und im Winter eine Zunahme um 19,6 mm (18,2 %). Daraus ergibt sich im Jahresmittel keine Veränderung gegenüber dem Referenzzeitraum.

Somit zeigt sich für den Zeitraum bis 2055 eine Veränderung der klimatischen Wasserbilanz von etwa -100 mm pro Jahr. Dies ist ein Rückgang gegenüber dem Referenzzeitraum von etwa 400 %. Die Verteilung auf die Halbjahre weist eine Veränderung im Sommerhalbjahr von etwa -55 mm (-31,3 %) und im Winterhalbjahr von -44,5 mm (-29,3 %) auf (Gerstengarbe et al., 2003). Einen ähnlich großen Rückgang um etwa 92 mm zeigen auch Lotze-Campen et al. (2009) gegenüber ihrem Referenzzeitraum (1951-2006). Damit wird sich die angespannte Wasserhaushaltssituation weiter verschärfen (Wechsung et al., 2008).

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass bis etwa zum Jahr 2055 das Brandenburger Klima wie folgt prognostiziert wird:

Zunahme der Jahresmitteltemperaturen zwischen 1,4°C – 3 °C

- Abnahme der Niederschläge zwischen 30 – 50 mm
- Umverteilung der Niederschläge vom Sommer- zum Winterhalbjahr
- Zunahme der potentiellen Evaporation
- Gleichbleibende reale Evaporation in der Jahressumme, aber Abnahme im Sommer- und Zunahme im Winterhalbjahr.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Gefährdungspotenzialabschätzung (Impacts) des Klimawandels auf den Boden aufgrund der Expertise

Wie in Kapitel 1.3 beschrieben, erfolgten die Gespräche gestützt auf den Fragenkatalog (Anhang 1). Dabei wurde das Interview in drei Themenkomplexe untergliedert. Diese Themenkomplexe werden qualitativ ausgewertet und folgend schematisiert. Es wird versucht alle in den Gesprächen gegebenen Antworten aufzugreifen und durch ihre Häufigkeit der Nennung zu ordnen. Am Ende soll für jeden Themenkomplex eine kurze Zusammenfassung die wichtigsten Fakten hervorheben.

Den ersten Themenkomplex bildet die generelle Vulnerabilität Brandenburgs ab. Dabei wird erfragt, wie hoch die einzelnen Experten diese einschätzen und welches die Ursachen sind. Im zweiten Komplex sollten die möglichen Auswirkungen der prognostizierten Klimaveränderungen auf die Bodenei-

genschaften und -funktionen herausgearbeitet werden. Hierzu wurde in den Fragen eine fünfstufige Skala angelegt, mit Hilfe derer die Experten eine Bewertung vornehmen konnten, wie stark die jeweilige Eigenschaft oder Funktion betroffen sein wird.

Die drei weiteren Themen, Dauerbeobachtung, Indikatoren und Alarmschwellen, werden gemeinsam ausgewertet, da sie stark zusammenhängen und auf die Entwicklung der Indikatorenvorschläge überleiten. Darüber hinaus sollen in diesem Abschnitt bestehende Monitoringprogramme und Dauerfeldversuche in Brandenburg näher betrachtet werden. Es wird eine kurze Betrachtung vorgenommen, ob die Indikatorenvorschläge dort implementiert werden können.

Im Anschluss werden die drei Indikationsfelder separat betrachtet und die jeweiligen Auswirkungen der Klimaveränderungen auf Basis der Gespräche und Literatur diskutiert

### 3.1.1 Vulnerabilität brandenburgischer Böden

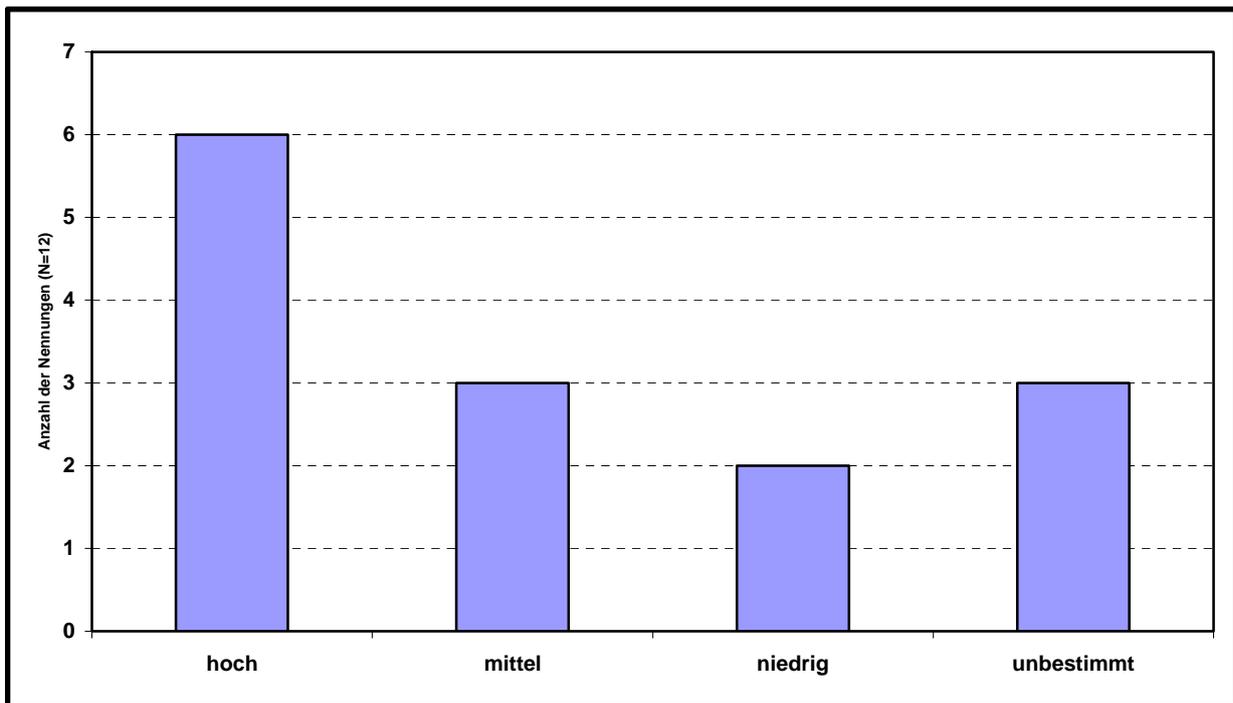
Die Vulnerabilität gibt an, in welchem Ausmaß ein System für nachteilige Auswirkungen der Klimaänderungen (inklusive Klimaschwankungen und -extreme) anfällig ist bzw. nicht fähig ist, diese zu bewältigen (IPCC 2007). Die Vulnerabilität wird beschrieben durch folgende drei Faktoren:

- **Exposition:** abhängig von Charakter, der Größenordnung und der Geschwindigkeit der Klimaänderung und -abweichung und gibt an, wie weit eine Region/ein System bestimmten Änderungen von Klimaparametern (z. B. Niederschlag, Temperatur etc.) ausgesetzt ist;
- **Sensitivität:** gibt die Empfindlichkeit des betroffenen Mensch-Umwelt-Systems wieder;
- **Anpassungskapazität:** beschreibt die Fähigkeit einer Region/eines Systems, sich durch Planung und Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen an die veränderten Bedingungen anzupassen oder die Veränderungen auch zum Vorteil nutzen zu können. Die Anpassungskapazität ist von Faktoren abhängig wie den ökonomischen Ressourcen, Know-how und Technologie, institutionellen Kapazitäten, politischem Willen etc.

Nach Gerstengarbe et al. (2003) und Zebisch et al. (2005) gehört Brandenburg hinsichtlich der prognostizierten Klimaveränderungen zu den Gebieten mit der höchsten Vulnerabilität in Deutschland. Sie leiten dies vor allem aus der klimatischen Wasserbilanz dieser Region her. Diese ist aktuell für Brandenburg in vielen Teilregionen bereits negativ (Gerstengarbe et al., 2003). Bei einer Umverteilung bzw. einem Rückgang der Niederschläge und einem gleichzeitigen Anstieg der Temperaturen und damit verbundener höherer Evaporation (Zebisch et al. 2005), könnte sich dieser Zustand verschlechtern. Dabei könnten auch Versalzung eine größere Rolle spielen (Hannappel et al. 2007). Weiterhin führen Zebisch et al. (2005) die mögliche Häufung von Hochwassern entlang der großen Flüsse Elbe und Oder durch Extremereignisse als Kriterium für die hohe Vulnerabilität an.

Die befragten Experten teilen die Auffassung, dass Brandenburg hinsichtlich der prognostizierten Klimaveränderung eine hohe Vulnerabilität aufweist (s. Abb.3-1).

Als wichtigste Ursache für die Vulnerabilität wird unabhängig vom Nutzungstyp der Bodenwasserhaushalt angesehen. Dieser ist vor allem dadurch anfällig, da großflächig Böden mit geringen Speicherkapazitäten auftreten, die zur Austrocknung neigen (Gerstengarbe et al., 2003, Schindler et al. 2007). Weiterhin sind hydromorphe Böden und Moore durch verringerte Wasserzufuhr besonders im Sommerhalbjahr verstärkt Mineralisierungsprozessen unterlegen und verschlechtern dadurch ihre Wasserspeicherkapazität. Nähere Betrachtungen zum Wasserhaushalt finden in Kapitel 3.1.2 und Kapitel 3.2 statt.



**Abb.3-1: Einschätzung der Experten zur Vulnerabilität brandenburgischer Böden**

Eine weitere Ursache der Vulnerabilität wird von den Experten in der organischen Substanz (Humus) gesehen. Wessolek et al. (2008) vermuten das durch die Temperaturerhöhung die organische Bodensubstanz (OBS) auf den Ackerböden abnimmt. Diese Frage ist jedoch noch nicht abschließend geklärt, da durch den Rückgang der Sommerniederschläge die optimalen Bedingungen der Zersetzergemeinschaft nicht gegeben sein wird (Hüttl, et al., 2008, Kögel-Knabner & von Lütow, 2008). Ein wichtiger Faktor, der die Humusentwicklung stark beeinflusst und den Klimaanteil überdecken kann ist die Nutzung. Diese Frage wird in den Kapiteln 3.1.2 und 3.3 näher erläutert.

Als weiteres Problem wird durch die Expertise die erhöhte Gefahr, welche durch Extremereignisse induziert wird, genannt. Dabei können besonders Erosion und Überschwemmungen auftreten. Besonders die Erosion könnte auf Flächen auftreten, die bisher nicht als erosionsgefährdet gelten.

Bezüglich der Zeiträume in denen Bodenveränderungen durch Klimaänderungen zu erwarten sind, haben die Experten unterschiedliche Meinungen. Die meisten erwarten einen langen Zeitraum in welchem sich die Böden verändern. Es wird eine Zeitspanne von 10 bis mehr als 50 Jahren angegeben, wobei Unterschiede zwischen terrestrischen und hydromorphen Böden, sowie zwischen einzelnen Eigenschaften gemacht werden. Die Veränderungen der terrestrischen Böden sind erst in einem längeren Zeitraum feststellbar. In kurzen Zeiträumen können Auswirkungen von gehäuft auftretenden Extremereignissen, wie Erosion nach Starkregen, bemerkbar werden.

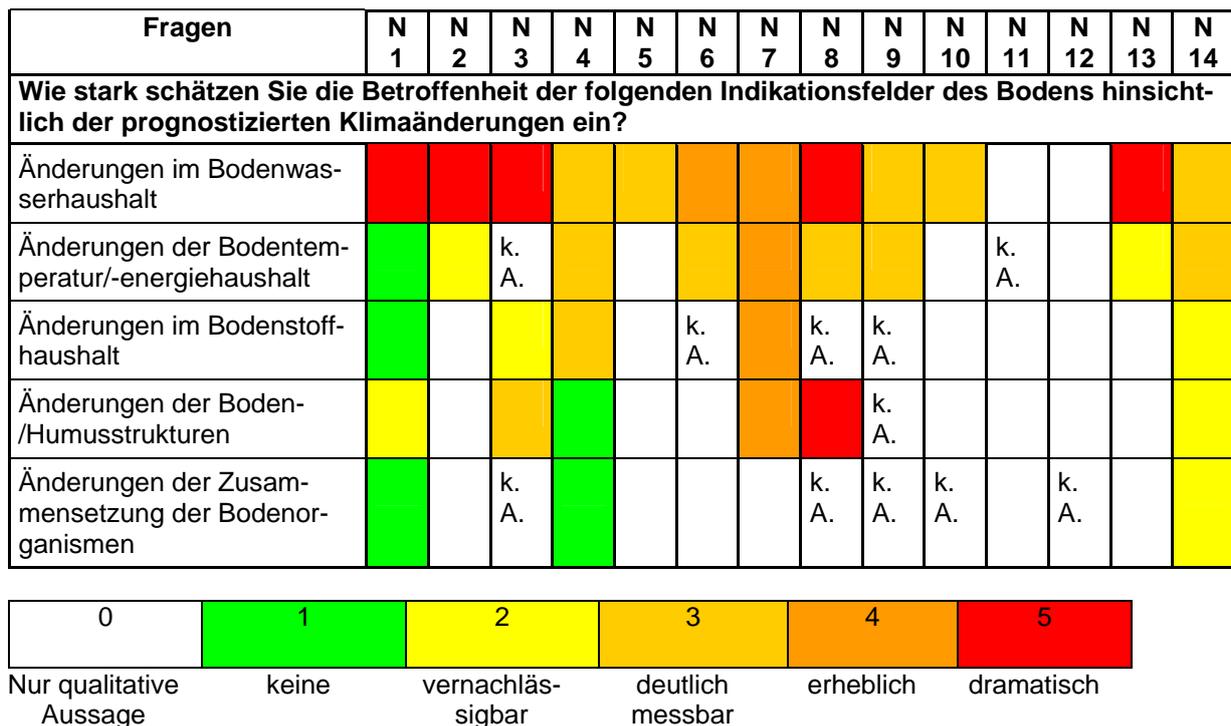
Zusammenfassend kann gesagt werden, dass der Bodenwasserhaushalt die größte Vulnerabilität der Böden bedingt, auch weil er durch seine Veränderung andere Bereiche wie der Humushaushalt und die Erosion beeinflusst.

Als Maßnahme gegen klimainduzierte Bodenveränderungen ist von den Experten häufig ein Nutzungswechsel bzw. eine angepasste Nutzung an die Klimaveränderungen genannt worden. Sie weisen außerdem darauf hin, dass eine Bodenveränderung viel stärker und schneller durch die Nutzung als durch das Klima entsteht (siehe auch Hüttl et al. 2008).

### **3.1.2 Auswirkungen der Klimaveränderung auf Bodeneigenschaften und -funktionen**

In diesem Kapitel sollen die Einschätzungen der Experten zu den Auswirkungen und Gefährdungen der Klimaveränderung auf den Boden beschrieben werden (siehe Abb. 3-2).

Die zu erwartenden Veränderungen des Bodenwasserhaushaltes wird vom überwiegenden Teil der Experten als „mittel“ bis „hoch“ eingeschätzt. Die derzeit in einigen Regionen negative klimatische Wasserbilanz wird durch die Veränderungen in den Niederschlägen teilweise weiter angespannt (Schindler et al., 2007). Die Veränderungen im Winterhalbjahr werden als weniger dramatisch angesehen. Dagegen wird der prognostizierte sommerliche Niederschlagsrückgang als problematischer bezeichnet. Es können Probleme mit der Pflanzenversorgung und Austrocknung der obersten Bodenschichten verbunden mit dem Rückgang der Infiltrationskapazität sowie der Grundwasserstände auftreten. Durch sinkende Grundwasserstände ist in den hydromorphen Böden und Mooren mit einer erhöhten Mineralisierung zu rechnen. Eine mögliche Anpassung der Landwirte auf die sommerliche Trockenheit besteht in einer Ausweitung und Intensivierung der Bewässerung. Dadurch wären die Auswirkungen der Trockenheit auf die oberen Bodenschichten sowie die Wasserversorgung der Pflanzen weniger hoch.



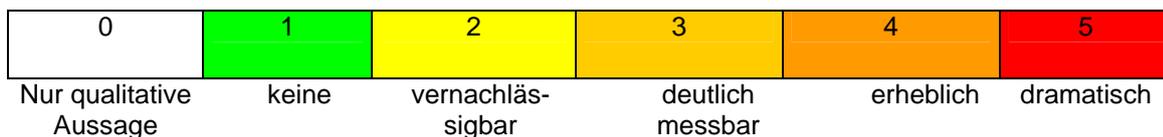
**Abb.3-2: Einschätzungen der Experten zu den Veränderungen von ausgewählten Bodeneigenschaften**

Die Veränderungen der Bodentemperaturen werden von den Experten überwiegend als messbar aber nicht als problematisch angesehen. Es wird eine Erhöhung vor allem in den obersten Bodenschichten erwartet. Sie ist abhängig von der Bodenbedeckung und den Feuchteverhältnissen. Eine Erwärmung tieferer Bodenschichten wird als weniger wahrscheinlich angesehen.

In der Frage des Bodenstoffhaushaltes kann kein eindeutiger Trend in den Antworten bezüglich einer positiven oder negativen Veränderung festgestellt werden. Als wichtigster Einflussfaktor für eine Änderung im Bodenstoffhaushalt wird die Veränderung der organischen Bodensubstanz angesehen. Bezüglich der organischen Bodensubstanz ist aber ebenfalls kein eindeutiger Trend bei den Experten festzustellen. Sie gehen davon aus, dass durch die erhöhten Temperaturen und die geringeren Niederschläge im Sommer die organische Substanz in hydromorphen Böden und Mooren schneller zersetzt wird. Auch auf den Ackerböden prognostizieren Wessolek et al. (2008) einen Rückgang der organischen Bodensubstanz. Dieser hätte Folgen für die Wasserspeicherkapazität und den Nährstoffspeicher.

Unter Wald wäre eine Anreicherung denkbar, da hier die häufigere Sommertrockenheit zur Austrocknung des Oberbodens mit Hydrophobieerscheinungen führt und somit der Wechsel von Feucht- und Trockenphasen ausbleibt. Die Entwicklung der organischen Bodensubstanz ist stark von der Nutzung abhängig. Diese überlagert besonders bei den labilen Humusanteilen die klimainduzierten Effekte.

Fragen	N 1	N 2	N 3	N 4	N 5	N 6	N 7	N 8	N 9	N 10	N 11	N 12	N 13	N 14
<b>Wie hoch bemessen Sie die künftigen Gefährdungen/ Schäden durch Klimaveränderungen in folgenden Bereichen?</b>														
Stoffmobilisierung								k. A.			k. A.			
Bodenversauerung								k. A.						
Bodenversiegelung / Verschlammung			k. A.		k. A.									
Bodenverdichtung			k. A.			k. A.						k. A.	k. A.	
Erosion														
Rückgang der organischen Substanz		k. A.									k. A.			
Rückgang der biol. Vielfalt im Boden	k. A.		k. A.		k. A.	k. A.	k. A.	k. A.						
Versalzung														
Überschwemmungen														
Erdrutsche														



**Abb.3-3: Einschätzungen der Experten zu den Gefährdungen durch verschiedene Prozesse**

Bodenorganismen werden von den Experten als relativ anpassungsfähig angesehen. Es könnten Veränderungen in der Aktivität und der Zusammensetzung der Bodenorganismen durch die Änderungen im Bodenwasserhaushalt auftreten.

Im Folgenden werden die Expertisen zu klimainduzierten Veränderungen der Gefährdungen von Brandenburger Böden gegenüber verschiedene Prozesse betrachtet (siehe Abb. 3-3). Die wichtigsten Prozesse die dabei beschrieben werden sollen, sind Erosion, Stoffmobilisierung, Überschwemmungen und Versauerung. In den Gesprächen wurden noch weitere Prozesse angesprochen, die Antworten zu diesen sind im Anhang zu finden (Anhang).

Es wird von den meisten Experten erwartet, dass durch eine Zunahme der Starkniederschläge ein erhöhtes Risiko für Wassererosion auf Ackerflächen besteht. Diese könnte auch dort auftreten, wo bisher nur geringe Anfälligkeit dafür bestand. Für die Winderosion kann sich die Anfälligkeit der Ackerflächen ebenfalls erhöhen, wenn durch Frühjahrs- und Sommertrockenheit die obersten Bodenschichten austrocknen und der Boden keine Bedeckung aufweist. Diese Gefährdung kann durch entsprechende Nutzung der Flächen gefördert bzw. verhindert werden. Für andere Nutzungen, wie z. B. Grünland, Moore und Waldflächen wird die Gefährdung als nicht vorhanden bzw. sehr gering eingeschätzt.

Dasselbe gilt für die Stoffmobilisierung. Durch den möglichen Rückgang der organischen Bodensubstanz könnten Stoffe mobilisiert werden, die sich verlagern und bis ins Grundwasser gelangen. Hierbei ist aber der limitierende Faktor des Sickerwassers zu berücksichtigen. Neben dem Transport mit dem normalen Sickerwasserstrom, kann es aber auch bei Starkniederschlägen zu Transport durch präferenzielle Flüsse kommen. Diese Form der Verlagerung ist nur kurzzeitig und wird wahrscheinlich keinen sehr großen Einfluss ausüben.

Die Versauerung ist vor allem unter Nadelwäldern zu beachten. Ein höherer CO<sub>2</sub> Gehalt in der Luft könnte den Prozess forcieren, andererseits hat sich die Luftqualität in den letzten Jahren verbessert. Deshalb wird die Gefahr von den Experten als überwiegend gering eingestuft. Durch entsprechende Bearbeitung, wie z.B. Kalkung kann auch hier den Versauerungserscheinungen entgegengewirkt werden.

Die Gefährdung durch Überschwemmungen wird von den Experten überwiegend als vernachlässigbar eingestuft. Sie ist räumlich eingeschränkt auf die Standorte an größeren Flüssen. Dort können Überschwemmungsereignisse möglicherweise häufiger auftreten. Dies hängt vom auftreten von Starkregenereignissen mit Oberflächenabfluss in den Einzugsgebieten der Flüsse ab. Gegen Überschwemmungen kann aber aktiv Hochwasserschutz betrieben werden, wie z.B. durch Schaffung von Retentionsflächen entlang des Flusslaufes.

Zusammenfassend bleibt festzustellen, dass die Experten eine besondere Gefährdung vor allem im Bodenwasserhaushalt sehen. Weitere Gefährdungen, wie durch Erosion und Überschwemmungen werden mit dem Auftreten von Extremwetterereignissen korreliert. Hinsichtlich der Veränderung der organischen Bodensubstanz gibt es widersprüchliche Aussagen dieser Themenkomplex wird in Kapitel 3.3 noch einmal aufgegriffen. Hinsichtlich anderer Bodenveränderungen wie Bodentemperatur, Stoffhaushalt, und Zusammensetzung der Bodenorganismen sehen die Experten geringere Gefährdungen. Dies gilt auch für die Prozesse der Versauerung und der Stoffmobilisierung. Wie bereits angesprochen ist in allen Teilbereichen die Nutzung zu beachten, welche teilweise eine größere und schnellere Veränderung bewirken bzw. den klimainduzierten Veränderungen entgegenwirken kann.

### 3.1.3 Dauerbeobachtungen, Indikatoren und Alarmschwellen

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der Gespräche bezüglich bereits vorhandener Dauerbeobachtungen und Dauerfeldversuche in Brandenburg wiedergegeben. Außerdem wird die Einschätzungen der Experten hinsichtlich der Eignung von Indikatoren und deren Parameter für ein Klimamonitoring im Boden beschrieben.

Die etabliertesten Dauerbeobachtungen in Brandenburg sind die Bodendauerbeobachtungsflächen (BDF) vom Landesumweltamt Brandenburg, die Dauerbeobachtungen der Ökosystemaren Umweltbeobachtungen in den Biosphärenreservaten (ÖUB), die Standorte der Level II Beobachtungen in den Forsten sowie die Dauerfeldversuche einzelner Institute. Tabelle 3-1 zeigt die jeweiligen Standorte und die Betreiber.

**Tab.3-1: Übersicht über Dauerbeobachtungen und Dauerfeldversuche in Brandenburg**

Dauerbeobachtungsflächen / Dauerfeldversuche	Nutzung	Betreiber
Bodendauerbeobachtung (BDF)	Acker/Grünland	Landesumweltamt Brandenburg (LUA)
Ökosystemare Umweltbeobachtung in den Biosphärenreservaten (ÖUB)	Acker/Grünland/Wald	Landesumweltamt Brandenburg (Auftraggeber)
Level II Flächen	Wald	Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde Johann Heinrich von Thünen Institut - Institut für Waldökologie und Waldinventuren (vTI)
Intensivmessfeld Berlin-Dahlem	Acker	Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät der Humboldt-Universität (LGF)
Thyrow	Acker	Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät der Humboldt-Universität (LGF)
Großbeeren	Acker (Gemüse)	Leibniz-Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau (IGZ)
Groß Kreuz	Acker	Landesamt für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung (LVLF)
Güterfelde	Acker	Landesamt für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung (LVLF)
Paulinenaue	Grünland	Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF)
Müncheberg	Acker	Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF)
Wetterstationen	-	Deutscher Wetterdienst (DWD), private Anbieter (z.B. Meteomedia)

Darüber hinaus gibt es kurzzeitige Beobachtungen und Zusammenstellungen innerhalb von Projekten, wie z. B. GLOWA-Elbe, CarboZALF, Szenarienrechnungen des PIK und Versuchsflächen der einzelnen Institute (IGZ, ZALF, LVLV, etc.).

Die Meinungen der Experten bezüglich der Eignung einzelner Indikatorenfelder für die Beobachtung klimainduzierter Bodenveränderungen zeigen einen eindeutigen Trend zum Bodenwasserhaushalt. Aber auch der Humushaushalt (bzw. Kohlenstoffhaushalt) wird von einigen als geeignet erachtet. Im Folgenden sollen einige, Indikatoren sowie Vor- und Nachteile der einzelnen Indikatorenfelder betrachtet werden.

Für das Indikatorenfeld **Bodenwasserhaushalt** sind folgende Indikatoren bzw. zu messende Parameter vorgeschlagen worden:

- nFK zu einem bestimmten Zeitpunkt bzw. Zeitraum (Parameter)
- akt. ET / pot. ET (Parameter)
- Grundwasserstände (auf grundwassernahen Standorten) (Parameter)
- in Mooren Wasserstand (Parameter)
- Bodenfeuchte in einer Zeitspanne (Indikator)
- Bodenwassergehaltsdynamik unterhalb der hydraulischen Scheide (Indikator)

Das Indikationsfeld Bodenwasserhaushalt wurde auch deshalb priorisiert, weil die anderen Bodeneigenschaften dadurch stark beeinflusst werden. Des Weiteren lassen sich einzelne Parameter leicht messen (z. B. Grundwasserstände). Nachteilig dagegen ist, dass für bestimmte Parameter eine umfangreiche Instrumentierung und Wartung notwendig wäre. Ein zusätzlicher Nachteil ergibt sich durch die Nutzung, welche sehr stark in den Bodenwasserhaushalt eingreift und dadurch der Klimaanteil nicht bestimmbar ist. Deshalb sollten sowohl unbeeinflusste Standorte als auch gleiche Standorte unter verschiedenen Nutzungen beobachtet werden.

Für das Indikationsfeld **Humushaushalt** wurden von den Experten folgende Indikatoren genannt:

- Nährstoffmonitoring+ OBS ( $C_{org}$  und  $C_{hwl}$ ) (Parameter)
- $C_{hwl}$  (Parameter)
- Humusvorräte mit Berücksichtigung der Lagerungsdichte (Parameter)
- Humusbilanzen (Indikator).

Die Schwierigkeiten, welche der Humushaushalt für ein Klimamonitoring bereitet, liegen darin, dass er innerhalb eines Jahres relativ stark schwankt. Außerdem sind die Humusgehalte sehr eng an die jeweilige angebaute Frucht gekoppelt. Eine sinnvolle Integrierung der Humusbeobachtung ist gegeben, wenn diese in schon bestehende Monitoringprogramme etabliert wird, z. B. auf den genannten Dauerversuchsflächen, sowohl auf statischen Versuchen als auch auf den Dauerversuchen mit Rotation. Hier liegen bereits langjährige Messreihen vor, welche fortgeschrieben und hinsichtlich der Klimaänderung untersucht werden könnten. Als weitere Standorte für eine Humusbeobachtung bieten sich Waldstandorte an. Diese werden als „relativ“ ungestörte Standorte, angesehen (geringe Nutzungsüberlagerung).

Für den Bereich der **Erosion** sind keine Indikatoren vorgeschlagen worden.

Die Ableitung von Alarmschwellen aus bisherigen Untersuchungen ist z. T. problematisch. Hinsichtlich des Wasserhaushaltes, des Humushaushaltes und der Erosion wurden folgende Vorschläge genannt:

- Zeitraum den der Grundwasserstand unter einem bestimmten Level bleibt (Moore und hydromorphe Böden)
- Dauer von Frühjahrstrockenheiten und sich dadurch einstellenden Wuchsdepressionen
- Grenzwerte für Wasserqualität (Trinkwasserqualität, WRRL)
- pflanzenspezifischer permanenter Welkepunkt (PWP)
- Entwicklungstendenzen des Humus
- Grenzwerte des Humusgehaltes für Organismenzusammensetzung und Gefügestabilität
- Erosionsschwelle = Dauer und Intensität der Niederschläge
- Häufigkeit des Auftretens von Starkniederschlägen

Insgesamt sind die Schwellenwerte aber nicht immer durch Untersuchungen gesichert, so dass hier noch weiterer Forschungsbedarf besteht.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass eine Implementierung in bereits bestehende Dauerbeobachtungen und –versuche sinnvoll erscheint. Hier könnten Altdaten genutzt und somit eine breitere Datenbasis und längere Zeitreihen zur Auswertung geschaffen werden. Weiterhin ist ein Vorschlag der Einrichtung von Messstellen für Bodenfeuchte und Bodentemperatur an meteorologischen Messstationen. Der DWD (Deutscher Wetterdienst) und Meteomedia bieten bereits agrarklimatologische Berichte an. Durch eine Kombination dieser Messdaten könnte das Messnetz verdichtet werden.

### 3.2 Indikationsfeld Bodenwasserhaushalt

Das Ergebnis der Gespräche hat gezeigt, dass die Vulnerabilität Brandenburgs maßgeblich durch den Bodenwasserhaushalt beeinflusst wird. Dies bestätigen sowohl Zebisch et al. (2005) als auch Gerstengarbe et al. (2003). Sie weisen darauf hin, dass in Brandenburg regional bereits heute negative klimatische Wasserbilanzen herrschen und sich dieser Zustand weiter zuspitzen könnte (Gerstengarbe et al., 2003, Schindler et al., 2007).

Das Bodenwasser lässt sich in die zwei Bereiche, Sickerwasser und Bodenfeuchte (Haftwasser), unterteilen (Scheffer & Schachtschabel, 2002). Im Folgenden sollen die zwei Bereiche hinsichtlich ihrer Gefährdung durch die prognostizierte Klimaänderung für Brandenburg, wie in Kapitel 2.3. erwähnt, genauer betrachtet werden.

Der **Sickerwasseranteil** trägt dazu bei, das vom Niederschlag zugeführte Wasser tiefer zu verlagern und bei Unterschreiten der hydraulischen Scheide die Grundwasserneubildung zu fördern (Schindler et al., 2009). Nach Gerstengarbe et al. (2003) ist mit einem Rückgang des Sickerwassers um etwa 50 - 60 % (etwa 46 mm/a von derzeit ca. 80 mm/a) gegenüber dem Referenzzustand (1951-2000) zu rechnen. Dieses bestätigen sowohl die Simulationen von Wessolek & Asseng (2006), welche zukünftig für lehmigen Sand- und Schluffboden einen Rückgang zwischen 48 % und 88 % zeigen. Die jahreszeitlichen Abnahmen sind dabei unterschiedlich. Im Sommerhalbjahr ist nur mit einem Rückgang von etwa 12 mm/a gegenüber 34 mm/a im Winterhalbjahr zu rechnen (Gerstengarbe et al., 2003). Simulationen von Eulenstein & Glemnitz (2007) bestätigen diese Tendaussage.

Lorenz et al. (2005) simulieren für den Spreewald künftig eine Abnahme der Sickerwasserrate und eine Erhöhung der Verdunstung bis 2055. Davon betroffen sind vor allem Flächen mit hohem Grundwasserspiegel. Für Moorböden ist außerdem mit einer gesteigerten Torfmineralisierung zu rechnen. Lorenz et al. (2005) vermuten einen Rückgang der Torfmächtigkeiten um bis zu 25 cm. Sie weisen für die Spreewaldregion darauf hin, dass durch die Flutung der Tagebaurestlöcher zusätzliches Wasser benötigt wird, welches unter Umständen dem Spreewald fehlt. Als Folge der sinkenden Sickerwasserraten und des erhöhten Wasserverbrauches (Verdunstung, Tagebaurestlöcher) werden eine geringere Grundwasserneubildung und somit sinkende Grundwasserstände prognostiziert.

Schindler et al. (2009) konnten in Müncheberg für den Zeitraum 1995-2008 den Trend des Sickerwasserrückgangs ebenfalls mit Messwerten nachweisen. Sie stellten aber keinen statistisch gesicherten signifikanten Zusammenhang zwischen verminderten Niederschlägen und dem Rückgang der Sickerwassermengen fest.

Lahmer & Pfützner (2003) führten ebenfalls eine Analyse der Sickerwassermengenentwicklung für den Zeitraum 1961-1998 durch und konnten für diese Zeitspanne einen absoluten Abnahmetrend für 75 % der Fläche in Brandenburg nachweisen. Eine Abnahme ist nach einer Trendanalyse nicht für alle Flächen signifikant. Signifikante Änderungen konnten nur auf grundwassernahen Standorten festgestellt werden. Regional betrachtet fallen die absoluten Veränderungen für den Untersuchungszeitraum unterschiedlich aus. Sie schwanken zwischen -139 mm und +50 mm. Die höchsten Abnahmen traten in der Uckermark und dem Barnim, Westbrandenburg und Südostbrandenburg auf. Lahmer & Pfützner, (2003) weisen eine statistisch gesicherte positive Korrelation zwischen dem Niederschlag und der Sickerwasserbildung nach. Dies lässt den Schluss zu, dass bei einer negativen Entwicklung des Niederschlages eine Abnahme der Sickerwassermengen zu erwarten ist.

Die **Bodenfeuchte** ist der Anteil des Wassers der gegen Schwerkraft in der Matrix gehalten wird (Scheffer & Schachtschabel, 2002). Die wichtigsten Kenngrößen, welche die Bodenfeuchte beschreiben sind die Feldkapazität (FK), die nutzbare Feldkapazität (nFK) und der permanente Welkepunkt (PWP) (Bohne, 2005).

Die nFK ist für die ausreichende Versorgung der Pflanzen und Bodenlebewesen mit Wasser verantwortlich und stellt somit einen wichtigen Faktor für die Ertragsleistung von landwirtschaftlichen Standorten besonders in Jahren mit geringem Niederschlag dar (Eulenstein & Glemnitz, 2007).

Die Bodenfeuchte wird nach der Expertise besonders im Sommer ungünstig betroffen sein. Dabei gehen die Experten davon aus, dass durch den Rückgang der Sommerniederschläge die oberen Bodenschichten austrocknen und die Pflanzenversorgung eingeschränkt wird. Schindler et al. (2007) berechnen für den Zeitraum bis 2055 ein Trockenheitsrisiko auf durchschnittlich mehr als 40 % der landwirtschaftlichen Flächen in Brandenburg und Sachsen-Anhalt.

Wiggering et al. (2008) prognostizieren für den ostbrandenburgischen Raum einen moderaten Rückgang des Bodenwasserspeichers. Die Veränderungen in der klimatischen Wasserbilanz werden für die Landwirtschaft noch ausgleichbar sein. Sie weisen aber auch darauf hin, dass durch gehäuftes Auftreten von Extremereignissen, wie lange Trockenheiten (z. B. wie im Jahr 2003) das Pflanzenwachstum und somit die ökonomische Situation der Landwirte stärker beeinträchtigt werden könnte.

Holsten et al. (2009) prognostizieren ebenfalls einen Rückgang des verfügbaren Bodenwassers um 6 mm bis 25 mm für ganz Brandenburg, wobei größere Änderungen vor allem auf Flächen mit aktuell höherem Wasserspeicher auftreten werden. Diese Aussage deckt sich auch mit den Expertenmeinungen, welche davon ausgehen, dass die Änderungen in Böden mit höheren Speicherkapazitäten, wie Lehm- und Tonböden stärker ausfallen werden. Die Änderung der Bodenfeuchte ist neben der Klimaabhängigkeit sehr stark boden- und nutzungsabhängig (Holsten et al., 2009). Bislang wurde in keinem Klimaszenario die Bodenart berücksichtigt.

Neben der Wasserverfügbarkeit werden z. B. durch den Rückgang der Bodenfeuchte, andere wichtige Bodenprozesse, wie z.B. Mineralisierung der organischen Substanz beeinflusst sowie die Hydrophobie erhöht, was eine verringerte Infiltrationskapazität nach sich zieht und somit Oberflächenabfluss und Erosion begünstigt.

Als letzter Punkt soll die Entwässerung der Moore durch Grundwasserabsenkung und erhöhten Wasserverbrauch angesprochen werden. Durch die Abnahme der Grundwasserstände wird die Torfmineralisierung verstärkt. Dadurch geht ein wichtiger Wasserspeicher verloren, welcher besonders für die prognostizierten häufigeren Extremwetterereignisse, als Puffer gegenüber schnell eintretendem Oberflächenabfluss bei Starkregen und Trockengefahr bei ausbleibendem Niederschlag als Ausgleich dient (Lotze-Campen et al., 2008). Außerdem steigt nach der Expertise und Lotze-Campen et al. (2008) die Gefahr der Freisetzung von CO<sub>2</sub> und Nährstoffen.

Zusammenfassend sind die wichtigsten Punkte die sich im Zuge der Klimaveränderungen im Bodenwasserhaushalt ergeben könnten in folgenden Stichpunkten zusammengefasst:

- abnehmende Sickerwasserraten und dadurch geringere Grundwasserneubildung
- sommerliche Austrocknung der oberen Bodenschichten und somit möglicher Verringerung der Infiltrationsfähigkeit durch Hydrophobie
- Gefahr der Trockenheit für landwirtschaftliche Flächen
- verstärkte Torfmineralisierung bei Grundwasserrückgang und somit Einschränkung der Wasserspeicherfähigkeit (Puffer gegenüber Extremereignissen)

### **3.3 Indikationsfeld Humushaushalt**

Nach Scheffer und Schachtschabel (2002) werden als Humus alle diejenigen organischen Komponenten verstanden, welche sich in und auf dem Mineralboden befinden. Dazu gehören u. a. abgestorbene pflanzliche sowie tierische Stoffe und deren Umwandlungsprodukte (z. B. DOM). Der Humus ist charakterisiert durch Streustoffe, Nichthumin- und Huminstoffe. Die stoffliche Beschaffenheit (z. B. Aggregatstabilität) und deren Zusammensetzung sind sehr heterogen.

Die höchsten Humusgehalte in Brandenburg weisen Moore und hydromorphe beeinflusste Standorte auf (Wessolek et al. 2008). 95 % der Niedermoore unterliegen in Deutschland einer land- bzw. forstwirtschaftlichen Nutzung. Das daraus resultierende Problem besteht darin, dass im Zuge der Moor-entwässerung die natürliche Moorbildung unterbrochen wird und in Abhängigkeit der Entwässerungsintensität und -tiefe physikalische, chemische sowie biologische Veränderungen der Substrate einsetzen (Zeit 1997).

Moore und hydromorphe Böden können durch verringerte Wasserzufuhr und einer damit verbundenen Grundwasserspiegelabsenkung, besonders im Sommerhalbjahr verstärkt Mineralisierungsprozessen unterliegen sein. Darüber hinaus kann es zur senkungsbedingten Verdichtung des Moorsubstrates oder aber zur Lockerung und Durchmischung durch das Edaphon kommen. Forciert werden oxidativer Torfabbau sowie Verlagerungsvorgänge, so die Expertise. Nach Zeitz (1997) führt die Kombination dieser Vorgänge in ihrer Summe zu einer stetigen Abnahme der Moormächtigkeit.

Wessolek et al. (2002) entwickelten ein Modell mit dem in Abhängigkeit von der Entwässerung Torfmineralisationsraten berechnet werden können. Die CO<sub>2</sub>-Verluste schwanken je nach Grundwasserstand, Boden, Entwässerungstiefe und Torfmächtigkeit zwischen 2,9 und 6,7 t/ha. Gensior und Zeitz (1999) messen in Biesenbrow CO<sub>2</sub>-Austräge von 5,6 t/ha pro Jahr. Auch Augustin (2001) beschreibt auf Mooren und hydromorphen Böden in Brandenburg CO<sub>2</sub>-Verlust von 5,8 t/ha pro Jahr. Kluge et al. (2008) ermittelt für den Moorstandort „Randow-Welse-Bruch“ einen C-Austrag von 7 t/ha und damit verbunden eine Moorabsackung von 1,5 cm/a. Durch eine klimabedingte Verknappung im Bodenwasserhaushalt kann es weiterhin zu einem forcierten C-Austrag in hydromorphen Ökosystemen kommen.

In agrarisch geprägten Ökosystemen wird auch ein C-Austrag vermutet. In Brandenburg sind 75 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche auf leichten Böden (Reinsande, Schluffe und Lehmsande) vertreten. Diese vergleichsweise wenig fruchtbaren Böden sind insbesondere durch niedrige Humusgehalte charakterisiert. Es erfolgte eine umfangreiche Bestimmung der „optimalen Humusgehalte“ nach Wessolek et al. 2008 (siehe Tab.3-2).

**Tab.3-2: Schätzrahmen des organischen Kohlenstoffgehaltes nach geologischem Ausgangssubstrat (nach Wessolek et al. 2008)**

Geologisches Ausgangssubstrat	% LN	C <sub>org</sub> -Gehalt [%]		
		gering	mittel	hoch
Reinsand	10	< 0,7	1,2	> 1,7
Geschiebelehm und -mergel	35	< 0,7	1,2	> 1,6
Glazialer Lehmsand	30	< 0,6	0,9	> 1,2
Auen- und Hochflutlehm	25	< 1,5	2,0	> 2,5

Wessolek et al. (2008) vermuten, dass durch die klimabedingte Temperaturerhöhung die organische Bodensubstanz (OBS) auf den Ackerböden weiterhin abnehmen könnte. Da aber die humusdynamischen Prozesse in ackerbaulichen Ökosystemen sehr langsam und langfristig ablaufen sind bisher lediglich nur stark begrenzte Aussagen möglich. Die größten Veränderungen werden jedoch durch sich ändernde Nutzungen induziert (Wessolek & Asseng, 2006). So stellt Rühlmann (2009) fest, dass bei Zugabe von 1 t Stallmist über Zeiträume von mindestens 25 Jahren für Sandböden und 100 Jahren für tonigere Böden eine Erhöhung der C-Gehalte bzw. die maximalen C-Akkumulation erreicht wird. Für Sandböden beträgt dieser 8 t C/ha. Des Weiteren werden die Relationen zwischen N-Zugabe und Kohlenstoffgehalt des Bodens untersucht. Dabei zeigt sich mit der Zugabe von mineralischem N-Dünger, dass die C-Gehalte im Ap-Horizont um durchschnittlich 0,1 % steigen.

Wiederum haben auch Nutzungsänderungen nur begrenzten Einfluss auf die C-Pools in den Böden. So sind bisher die inerten Humusverbindungen wenig bis gar nicht durch unterschiedliches Nutzungsmanagement beeinflusst (Hüttel et al. 2008).

Darüber hinaus ist die Frage der C-Verbindungen hinsichtlich der Stabilität von Relevanz. Dabei sind sich die Experten einig, dass die erzielten C-Steigerungen durch Ausbringung u. a. von Gülle und Stroh den Vorrat nur kurzzeitig erhöhen, aber nicht stabilisieren. Die Vorräte sind nicht stabil und werden sofort vom Edaphon mineralisiert und von den Pflanzen aufgenommen. Dahin gehend stellt sich jedoch die Frage, in wie weit die Ertragsfunktion durch C-Verluste beeinträchtigt wird. Wessolek & Asseng (2006) zeigen z. B. einen Ertragsrückgang bei Getreide von 2 t/ha bis 2,5 t/ha für Brandenburg, bedingt durch N- und C-Abnahmen im Boden auf Grundlage zweier unterschiedlicher Klimaszenarien.

Da diese Frage jedoch noch nicht abschließend geklärt ist und die Expertise unterschiedliche Ansätze vertreten, wird an dieser Stelle auf Literatur verwiesen, welche unterschiedliche Gesichtspunkte widerspiegeln. So zeigen Hüttl, et al. (2008), dass der Rückgang der Sommerniederschläge die optimalen Bedingungen der Zersetzergemeinschaft beeinflusst. Hinsichtlich der Nährstoffverfügbarkeit werden in den Beiträgen für nachhaltige landwirtschaftliche Bodenbenutzung über die Dauerfeldversuche in Brandenburg und Berlin umfangreiche Ergebnisse präsentiert.

In Waldökosystemen wurde bisher eine C-Anreicherung gemessen, wobei diese die genannten C-Verluste in den hydromorphen Ökosystemen nicht kompensieren können. Dabei bilanzierte Riek (2009) für die BZE I und BZE II die C-Mengen in Auflage und Mineralboden. Es zeigten sich im Vergleich der BZE I und BZE II eine Erhöhung der C-Vorräte in der Auflage um ca. 5 t/ha und im Mineralboden von ca. 10 t/ha. Vermutet wird dabei, dass durch den Rückgang der Niederschläge die Streu langsamer zersetzt wird und sich dadurch mächtigere Auflagen bilden könnten. Für die C-Anreicherung im Mineralboden ist die erhöhte Wurzelmasse in unterbauten Kiefernbeständen in Verbindung mit häufiger Sommertrockenheit verantwortlich (Riek, 2009). Durch zunehmende Trockenphasen kommt es zur Austrocknung des Oberbodens, welcher aufgrund seiner Hydrophobie in den Folgemonaten kaum wieder befeuchtet wird. Somit nimmt der für die Mineralisation bedeutende Wechsel zwischen Trocken- und Feuchtphase ab.

Ein Trend über die Humusentwicklung und -sequestrierung in Waldökosystemen lässt sich dadurch jedoch noch nicht ableiten. Aufschluss werden Folgeuntersuchungen bringen. Es ist jedoch sicher, dass die nutzungsbedingten Effekte in allen Landnutzungsformen weitaus mehr Einfluss haben als ausschließlich klimabedingte Einwirkungen.

Dabei ist die Expertise der Meinung, dass dazu auch politisch Entscheidungen notwendig sind um die Wirksamkeit nachhaltiger Nutzungsmethoden zu verstärken, z. B. keine Subventionierung von Stroh als „Biokraftstoff“, da der Verbleib von Stroh auf landwirtschaftlich genutzter Fläche absolut notwendig für die Erhaltung des Humusgehaltes im Boden ist.

### **3.4 Indikationsfeld Erosion**

Im folgenden Kapitel soll die Erosionsgefährdung in Brandenburg beschrieben werden. Die durchgeführten Interviews haben gezeigt, dass nur ein vernachlässigbares Erosionsrisiko unter Grünland-, Wald- und Moorökosystemen besteht. Deshalb wird in diesem Kapitel ausschließlich die Erosion in Agrarökosystemen betrachtet.

Wenn der Bodenabtrag die Bodenreue übersteigt, wird dies als Bodenerosion bezeichnet. Unter Bodenerosion versteht man somit einen Abtragungsprozess der Bodenschicht, bestehend aus Primärteilchen oder Aggregaten, entlang der Bodenoberfläche (Scheffer & Schachtschabel, 2002). Dieser Abtragungsprozess ist ein natürlicher Vorgang, wird aber durch eine Zunahme von Extremereignissen und unterschiedlichen Nutzungsintensitäten und -methoden deutlich beschleunigt, so die Expertise.

Vom überwiegenden Teil der Experten wird erwartet, dass durch die prognostizierte Zunahme der Starkniederschläge ein erhöhtes Risiko für Wassererosion auf Ackerflächen besteht. Dieses könnte auch da auftreten, wo bisher nur eine geringe Anfälligkeit dafür bestand. Eine umfangreiche Betrachtung für die erosiven Niederschläge und ihre Eintrittswahrscheinlichkeit im Nordosten von Deutschland liefert Deumlich (1999). Dabei wird gezeigt, dass der wichtigste Faktor, welcher Oberflächenabfluss und Bodenabtrag auslösen kann, maßgeblich durch die Intensität von Starkregen bestimmt ist. Es wurden langjährige Regenschreiberaufzeichnungen (bis zu 34 Jahren) 16 Nordost deutscher Wetterstationen genutzt, um die monatliche Verteilung und deren Eintrittswahrscheinlichkeit von Starkregen und die daraus resultierende Erosivität zu berechnen. Dazu dienten 5 bis 30 minütige Starkregenintensitäten mit Niederschlagsmengen von  $\geq 5$  mm/h. In Nordostdeutschland ist die Regenerosivität in den Sommermonaten Mai bis August am höchsten. Dabei können Starkregenereignisse mit hoher Erosivität (0,91 mm/min mit Andauer von 15 min) statistisch alle zwei Jahre auftreten, seltener auch zweimal jährlich (Deumlich, 1999). Deumlich et al. (2006b) stellten diese Klassen dar und diskutierten dessen Gefährdungspotenzial in den einzelnen betroffenen Regionen.

Bei Niederschlagsintensitäten von  $> 15$  mm/h sind stets Bodenabträge von  $> 0,2$  t/ha unter Mais- und Hackfrüchten auf sandigen bis lehmigen Böden zu verzeichnen (Deumlich und Gödicke 1990).

**Tab.3-3: Regen- und Oberflächenabflussfaktoren (R-Faktoren) für Brandenburger Gemeinden (verändert nach Deumlich 1999)**

Angermünde	53	Lübben	40
Bad Freienwalde	42	Luckau	45
Bad Liebenwerda	45	Luckenwalde	40
Beeskow	37	Müncheberg	49
Belzig	44	Nauen	40
Bernau	41	Neuruppin	42
Brandenburg	42	Oranienburg	42
Calau	45	Perleberg	48
Cottbus	45	Potsdam	40
Eberswalde	45	Prenzlau	47
Eisenhüttenstadt	40	Pritzwalk	45
Fürstenwalde	35	Rathenow	40
Gransee	45	Seelow	38
Guben	45	Senftenberg	45
Herzberg	45	Spremberg	45
Jüterbog	44	Strausberg	38
Königs Wusterhausen	35	Templin	46
Kyritz	42	Zossen	40

Dennoch sind die Erosivitätswerte in Nordostdeutschland relativ ausgeglichen, sie schwanken zwischen 35 und 55 kg N/ha. Ausgewählte R-Faktoren für Brandenburg sind in Tab. 3-3 abgebildet.

Für die Winderosion kann sich die Anfälligkeit der Ackerflächen ebenfalls erhöhen, wenn durch Frühjahrs- und Sommertrockenheit die obersten Bodenschichten austrocknen und der Boden keine Bedeckung aufweist (Deumlich et al, 2006a). Funk et al. (2004) zeigen dahingehend eine GIS gestützte Abschätzung für das Winderosionsrisiko (für Geschwindigkeiten von 8 m/s) auf Agrarökosysteme in Brandenburg. Es wird geschätzt, dass ca. 30 % der Ackerfläche Anfälligkeiten hinsichtlich der Winderosion aufweisen (Frielinghaus, 1990).

Diese Gefährdung kann durch entsprechende Nutzung der Flächen und in Abhängigkeit vom Bodentyp sowie des Bodenwassergehaltes gefördert bzw. eingeschränkt werden (Funk et al., 2004). So hat seit 1960 die Anbaufläche von „Sommer-Feldfrüchten“ von 12 % auf derzeit 7 % abgenommen (Deumlich et al., 2006a). Derzeit wird jedoch das Risiko der Winderosion unterschätzt und findet wenig Berücksichtigung, so die Expertise. In Deutschland wird lediglich auf einigen Flächen Winderosion gemessen.

Einen zusammenfassenden Überblick über die grundlegende und differenzierte Wirkungsmechanismen von Wind- und Wassererosion und dessen Einschränkungsmöglichkeit in Abhängigkeit von historischer und rezenter Nutzung geben Deumlich et al. (2006a). In dieser Publikation werden Forschungsergebnisse (z. B. mittlere Abtragsraten für Deutschland seit den 14. Jh.) zur Erosionsgefährdung und dessen Quantifizierung aus ganz Deutschland vorgestellt. Dabei wird u. a. gezeigt, welche Daten in die Validierung der Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung (ABAG) eingeflossen sind und zusätzlich in der Entwicklung des physikalisch begründeten, ergebnisbezogenen Modells zur Simulation der Wassererosion auf Ackerflächen (EROSION-2D/3D) Berücksichtigung gefunden haben.

#### **4. Indikatorenvorschläge**

Der Indikatorbegriff ist ein zum Teil ein sehr weit gefasster Begriff. Er umfasst die konkrete Beschreibung von Ökosystemen dient aber auch dem Prozessverständnis (statistische Anwendungsgröße). Die Definition des Indikators ist immer problemorientiert.

In diesem Bericht wird ein Indikator als aussagefähige Kenngröße verstanden, welcher ein zusammenfassendes Verständnis zu einem bestimmten Sachverhalt ermöglicht. Dabei sind die Charakterisierung von Themenkomplexen und deren Entwicklung, die Bewertung von Ökosystemzuständen und Veränderungen sowie die Überprüfbarkeit der Zielsetzung von äußerster Notwendigkeit.

Der Unterschied zwischen Indikator und Parameter besteht darin, dass der Indikator in einem konkreten Bezug zu einer Fragestellung gestellt wird. In einem Indikator können mehrere Parameter einfließen. Dennoch geht mit der Indikatorbildung eine Abstraktion von ökosystemaren Zusammenhängen einher. Deshalb kann lediglich eine realitätsnahe Charakterisierung erfolgen (Riek und Wolff, 2007).

#### **4.1 Indikationsfeld Bodenwasserhaushalt**

In diesem Kapitel wird der Vorschlag für den Indikatorenbereich Bodenwasserhaushalt ausschließlich für Ackerstandorte näher beschrieben und begründet. Zur Ermittlung der möglichen Schwellenwerte wurde der Winterroggen als Beispielfruchtart herangezogen. Er wurde ausgewählt, da er als wenig anspruchsvoll in Bezug auf Standort und Klima ist und auf leichten Standorten als ertragsstärkste Getreideart gilt (Roggenforum e.V., 2007). In Brandenburg stellt er außerdem mit Anbaufläche etwa 22 % (227 Tha) der Ackerfläche im Jahr 2008 eine wichtige Fruchtart dar (Amt für Statistik Berlin-Brandenburg, 2009).

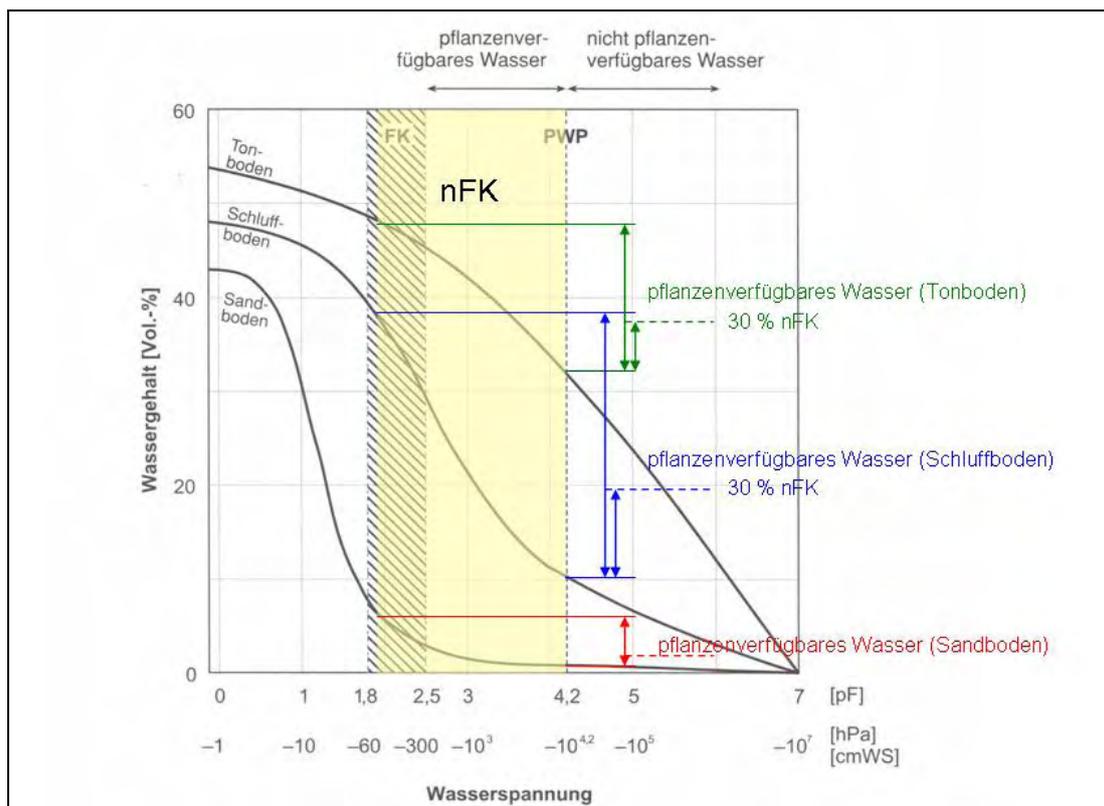
Der Bodenwasserhaushalt ist nach den Recherchen der vulnerabelste Indikatorenbereich. Aus den Gesprächen und der Literatur lässt sich feststellen, dass die Szenarien vor allem starke Veränderungen im Sommerhalbjahr zeigen (siehe Kapitel 3.2). Sie sind vor allem in größerer Trockenheit und somit abnehmenden Bodenfeuchten (Holsten et al., 2009, Wiggering et al. 2008) und geringeren Sickerwasserraten zu erkennen (Gerstengarbe et al., 2003, Eulenstein & Glemnitz, 2007). Demnach sind vor allem im Sommerhalbjahr Möglichkeiten zur Indikation von Klimaveränderungen gegeben.

Für die Beobachtung wurden von den Experten verschiedene Indikatoren bzw. messbare Parameter in den Bereichen Sickerwasser und Bodenfeuchte vorgeschlagen (siehe Kapitel 3.1.3). Nach weiteren Literaturrecherchen wird ein Indikator der Bodenfeuchte priorisiert. Bei der Auswahl wurden besonders die Prognose von zunehmenden Extremereignissen, wie Trockenheiten (Wiggering et al, 2008, Schindler et al., 2007) sowie die geringe Speicherkapazität vieler Brandenburger Böden berücksichtigt. Da diese Kombination zur Verringerung der Erträge auf vor allem sandigen grundwasserfernen Standorten führen könnte.

Als Indikator wird das Auftreten von Frühjahrstrockenheiten in den Monaten April – Juni vorgeschlagen. Unter Frühjahrstrockenheiten soll ein Zeitraum verstanden werden, in dem kein Niederschlag fällt. In diesem Fall stünde den Pflanzen natürlicherweise nur das im Boden gespeicherte Wasser zur Verfügung. Der gewählte Zeitraum ist besonders wichtig für den Ertrag, da in der Anwuchsphase in welcher die Ackerpflanzen ihre Blüten anlegen ein verstärktes Wachstum vor allem bei Getreidearten wie Winterroggen einsetzt (Bundesregierung, 2008, Wittchen & Chmielewski, 2003).

Der pflanzenverfügbare Bodenwasserspeicher steht in einem engen Zusammenhang mit der Bodenart, dem Gefüge sowie dem Anschluss an Grund- bzw. Stauwasser. Somit ist besonders für die sandigen Standorte ohne Grund- bzw. Stauwasserbeeinflussung mit einem schnellen Verbrauch des Bodenwassers zu rechnen (siehe Abb.4-1 und Anhang 2.4). Diese Flächen nehmen einen Anteil von etwa 20 % an der Gesamtackerfläche in Brandenburg ein (ermittelt aus den Flächen der mittelmaßstäbigen landwirtschaftlichen Standortkartierung MMK mit den Eigenschaften Standortflächentyp s, sl, s-l, s/l, s+l, s-s/l und s-s/l-l sowie dem Hydrophobieflächentyp N1 und N2).

Ein schneller Rückgang des Bodenwasservorrates würde bei gleichzeitig lang anhaltender Trockenheit die Ertragsfunktion des Bodens beeinträchtigen und zu Ertragseinbußen auf Ackerstandorten führen (Entrup & Oehmichen, 2006, Bundesregierung, 2008). Als Beispiel hierfür sind in Tab.4-1 theoretische Ertragsniveaus in Abhängigkeit vom Bodenwasservorrat und Niederschlag dargestellt.



**Abb.4-1: pF-Kurven verschiedener Bodenarten mit Angabe des pflanzenverfügbaren Anteils des Bodenwassers**

**Tab.4-1: Theoretische Ertragsniveaus von Getreide (dt/ha) in Abhängigkeit vom Wasservorrat des Bodens (Roggenforum e.V., 2007)**

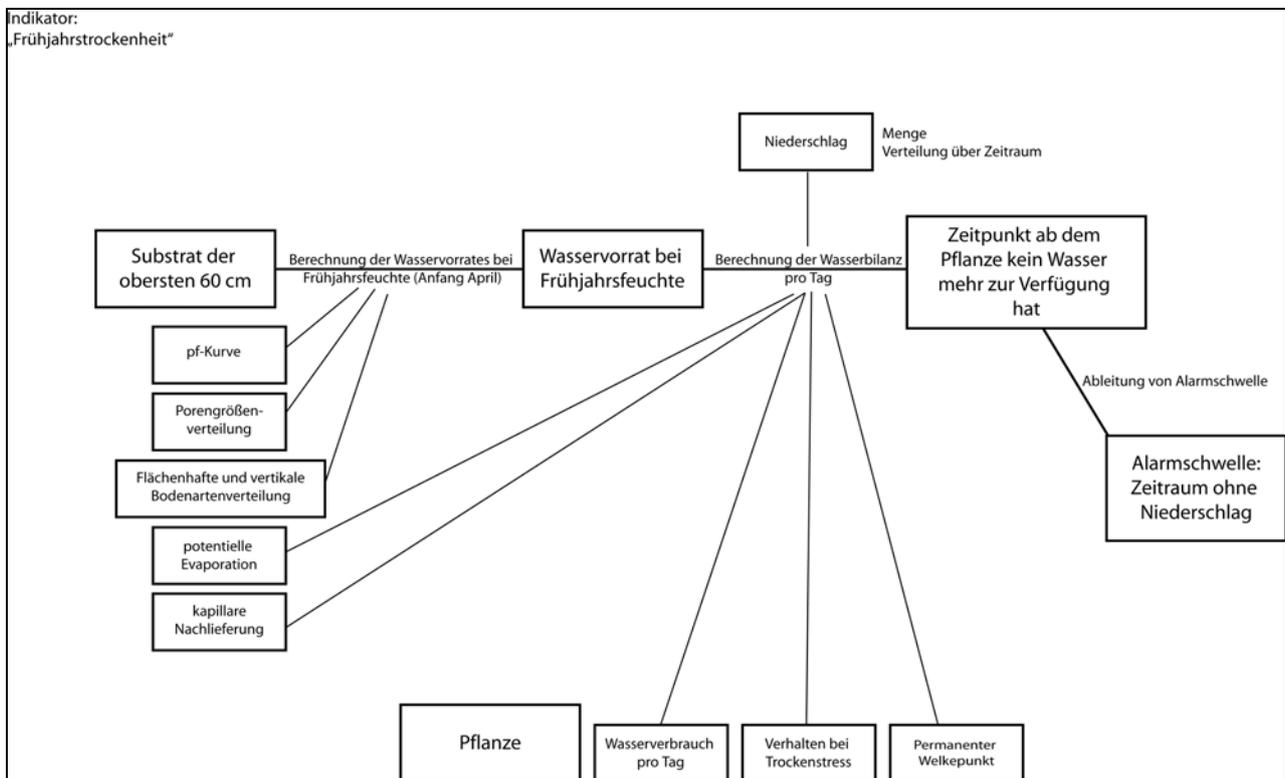
Bodenart	lehmiger Sand		sandiger Lehm		schluffiger Lehm		lehmiger Ton	
Bodenpunkte	30 BP		60 BP		60 BP		50 BP	
nFK in mm	80 - 100		150 - 180		220 - 250		140 - 170	
% Sättigung nach Winter	70	100	70	100	70	100	70	100
Niederschläge (April - Juni)								
0 mm	20	30	40	55	45	65	35	50
100 mm	50	60	65	80	80	100	50	75
200 mm	70	80	100	110	110	130	70	100
300 mm	80	90	100	100	120	100	90	80

Im Folgenden wird eine mögliche Alarmschwelle für den vorgeschlagenen Indikator „Frühjahrstrockenheit“ beschrieben und anhand des Winterroggens beispielhaft vereinfacht umgesetzt. Als mögliche Alarmschwelle wird der Zeitraum vorgeschlagen, über welchen die Versorgung der Pflanzen mit ausreichend Wasser aus dem Bodenwasserspeicher während einer Frühjahrstrockenperiode ( $N < 1$  mm) gewährleistet werden kann. Dieser Zeitraum ist sowohl boden- als auch fruchtartenabhängig. Deshalb sind Daten und Kenntnisse über den Bodenwasserspeicher der in Brandenburg vorhandenen Ackerböden notwendig.

Zunächst erfolgt die Berechnung des pflanzenverfügbaren Wasservorrats der verschiedenen Bodenarten in Brandenburg. Anschließend muss eine Schwelle definiert werden („kritisches Bodenwasser-

potenzial“), ab welchem Anteil der nutzbaren Feldkapazität mit einer verminderten Wasserversorgung der Pflanzen und sich dadurch ergebenden Ertragseinbußen zu rechnen ist. Als weitere Parameter zur Berechnung der Alarmschwelle sind der Pflanzenwasserverbrauch in diesem Zeitraum, die Evaporation sowie Wasser aus kapillarem Aufstieg oder anderes Zuschusswasser notwendig.

Die mögliche flächenhafte Berechnung der Alarmschwellen für Brandenburg ist in Abb.4-2 schematisch dargestellt.



**Abb.4-2: Schematische Darstellung der Ableitung von Alarmschwellen für den Indikator „Frühjahrstrockenheit“**

Aufbauend auf den Expertengesprächen und der Arbeit von Schindler et al. (2004) soll die Ableitung der Alarmschwellen für den Winterroggen beispielhaft umgesetzt werden. Hierfür wird im ersten Schritt der pflanzenverfügbare Bodenwasservorrat für den Bereich 0 - 6 dm berechnet. Diese Bodentiefe wurde ausgewählt, da für Getreidearten besonders die obersten Bodenschichten stark durchwurzelt werden (Scheffer & Schachtschabel, 2002). Die Berechnung erfolgt mit Hilfe der Daten der MMK zu den in Brandenburg vorhandenen Substrattypen (ST) und Substratflächentypen (SFT), da durch sie eine flächendeckende Datenbasis für die Ackerflächen des Landes vorliegt. In dieser Arbeit sind folgende Vereinfachungen und Annahmen vorgenommen worden (abgeändert nach Schindler et al. 2004):

- Beschränkung auf sicherwasserbestimmte Standorte (N1 und N2), hier wird von einer weitestgehend geringen bis keinen Beeinflussung durch kapillaren Aufstieg ausgegangen
- Moore und hydromorphe Böden werden nicht betrachtet
- Keine Zu- und Abschlüge für Wasser aus kapillarem Aufstieg
- keine Zu- und Abschlüge für Steinigkeit und erhöhten Anteil an organischer Bodensubstanz
- die Feldkapazität wird nicht mit pF 1,8 sondern mit pF 2,0 angenommen, damit soll einer nicht vollständigen Feldsättigung im Frühjahr Rechnung getragen werden (Schindler et al., 2004)

Die Berechnung des pflanzenverfügbaren Wassers erfolgt anhand der von Schindler et al. (2004) ermittelten Funktionsparameter der Wasserretentionsfunktion von van Genuchten (1980) für die einzelnen Körnungsarten nach TGL 24300 (eine Umwandlung in Bodenarten der KA4 (1994) möglich):

$$\theta = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{[1 + (\alpha \cdot h)^n]^m} \quad (1)$$

- $\theta_s$  - Sättigungswassergehalt [cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>]  
 $\theta_r$  - Residualwassergehalt [cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>]  
 $\alpha$  - Skalierungsfaktor des Bodenwasserpotentials [1/hPa]  
 $n, m$  - Formparameter, dimensionslos,  $m=1-1/n$

Die Ergebnisse sind in den Anhängen 2.3 bis 2.7 aufgeführt. Die ermittelten Wasservorräte werden auf Tiefenstufen von 3 dm Mächtigkeit erweitert. Anschließend wird der Wasservorrat für jeden Substrattyp berechnet. Ein Substrattyp der MMK besteht aus einer regelhaften Verknüpfung von Körnungsarten für die Tiefenstufen 0 - 3 dm, 3 - 6 dm, 6 - 10 dm und 10 -15 dm (Schindler et al., 2004). Die Berechnung des Wasservorrates erfolgte durch:

$$WV = WV(KA_{0-3dm}) + WV(KA_{3-6dm}) \quad (2)$$

- $WV$  - Wasservorrat Substrattyp [l/m<sup>2</sup>\*6dm]  
 $WV(KA_{0-3dm})$  - Wasservorrat Körnungsart in 0 - 3 dm [l/m<sup>2</sup>\*6dm]  
 $WV(KA_{3-6dm})$  - Wasservorrat Körnungsart in 3 - 6 dm [l/m<sup>2</sup>\*6dm]

Abschließend werden die Wasservorräte der Substrattypen zum Vorrat des Substratflächentypen zusammengefasst. Dies geschieht über die Flächenanteile der Substrattypen am jeweiligen Substratflächentyp.

$$WV(SFT) = \frac{WV(STx) \cdot FA_{STx} + WV(STy) \cdot FA_{STy}}{100} \quad (3)$$

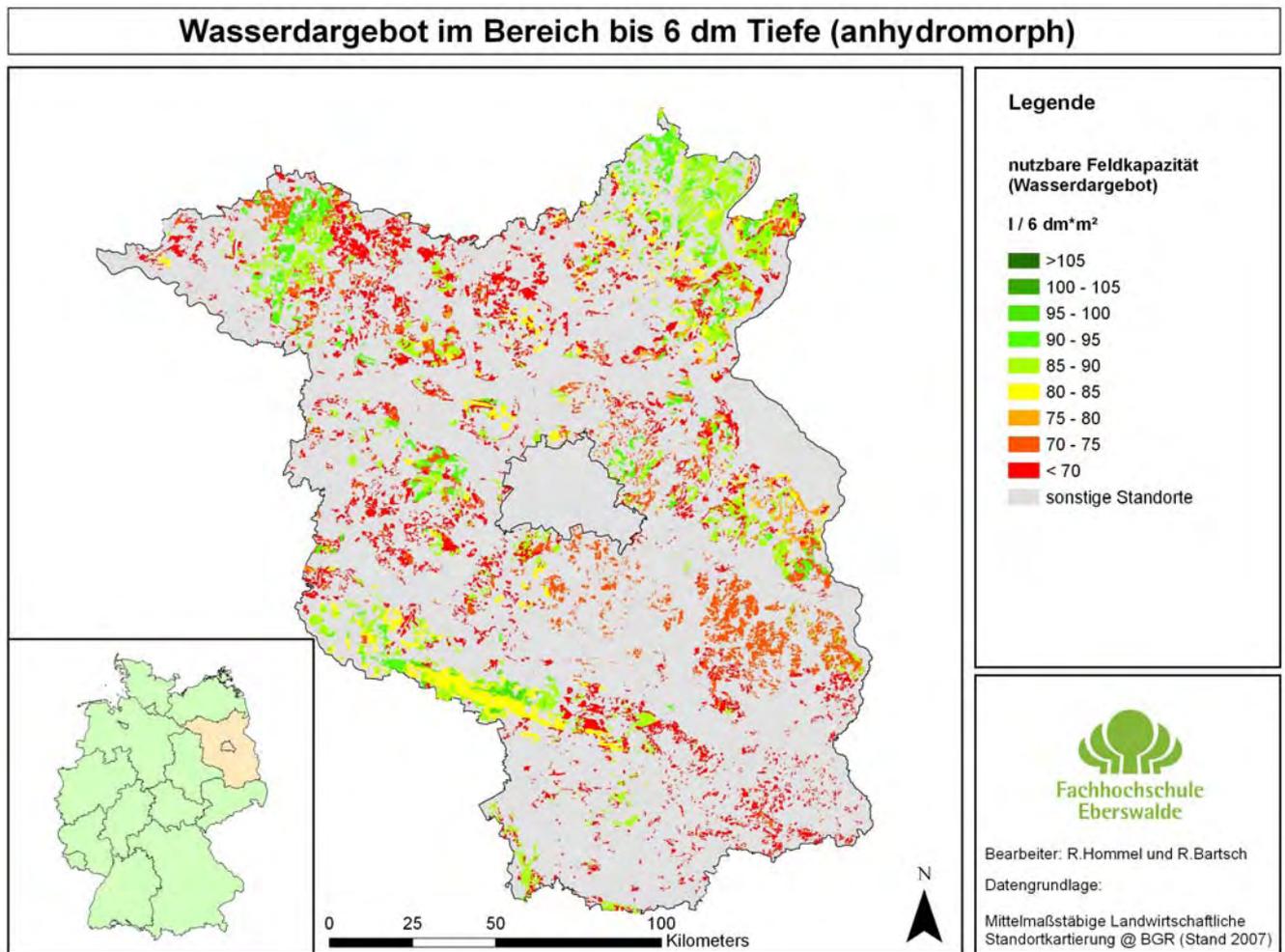
- $WV(SFT)$  - Wasservorrat Substratflächentyp [l/m<sup>2</sup>\*6dm]  
 $WV(STx, y)$  - Wasservorrat Substrattyp [l/m<sup>2</sup>\*6dm]  
 $FA_{STx, STy}$  - Flächenanteil [%]

Aus diesen Ergebnissen lässt sich folgende Karte für anhydromorphe Standorte ableiten (siehe Abb. 4-3).

Nach der Ermittlung des Wasservorrates wird im zweiten Schritt der Zeitraum bis zur Unterschreitung eines kritischen Wertes des Vorrates berechnet. Nach den Expertengesprächen und der Literaturrecherche lässt sich ein eindeutiger kritischer Wert nicht genau definieren. In der Literatur sind Angaben für verschiedene Wuchsstadien aufgeführt (siehe Tab.4-2). Wenn der Wasservorrat unter diese Schwelle sinkt, ist mit Wuchsdepressionen und Ertragseinbußen zu rechnen (Entrup & Oehmichen, 2006). In dieser Arbeit werden deshalb Berechnungen für drei verschiedene Stufen durchgeführt. Die Stufen sind 30 %, 50 % und 70 % des pflanzenverfügbaren Wassers.

**Tab.4-2: Kritische Werte des pflanzenverfügbaren Wassers für verschiedene Wuchsstadien**

Autor	Zeitraum	% nFK
Entrup & Oehmichen (2006)	Schossbeginn bis Ährenschieben	50 - 70
	Ährenschieben bis Blüte	40 - 60
	Blüte bis Gelbreifebeginn	30 - 50
	optimal für Bodenorganismen	60 - 80
Scheffer & Schachtschabel (2002)	im Jahresmittel (normales Jahr)	30 - 40
	im Jahresmittel (trockenes Jahr)	50
Schilling, G. (2000)	Frühjahr (BBCH 31 - 49)	50 - 70



**Abb.4-3: Wasservorrat in den obersten 6 dm auf anhydromorphen Brandenburger Ackerstandorten**

Die Berechnung des Zeitraumes bis zum Erreichen dieses kritischen Wertes geschieht auf folgendem Weg:

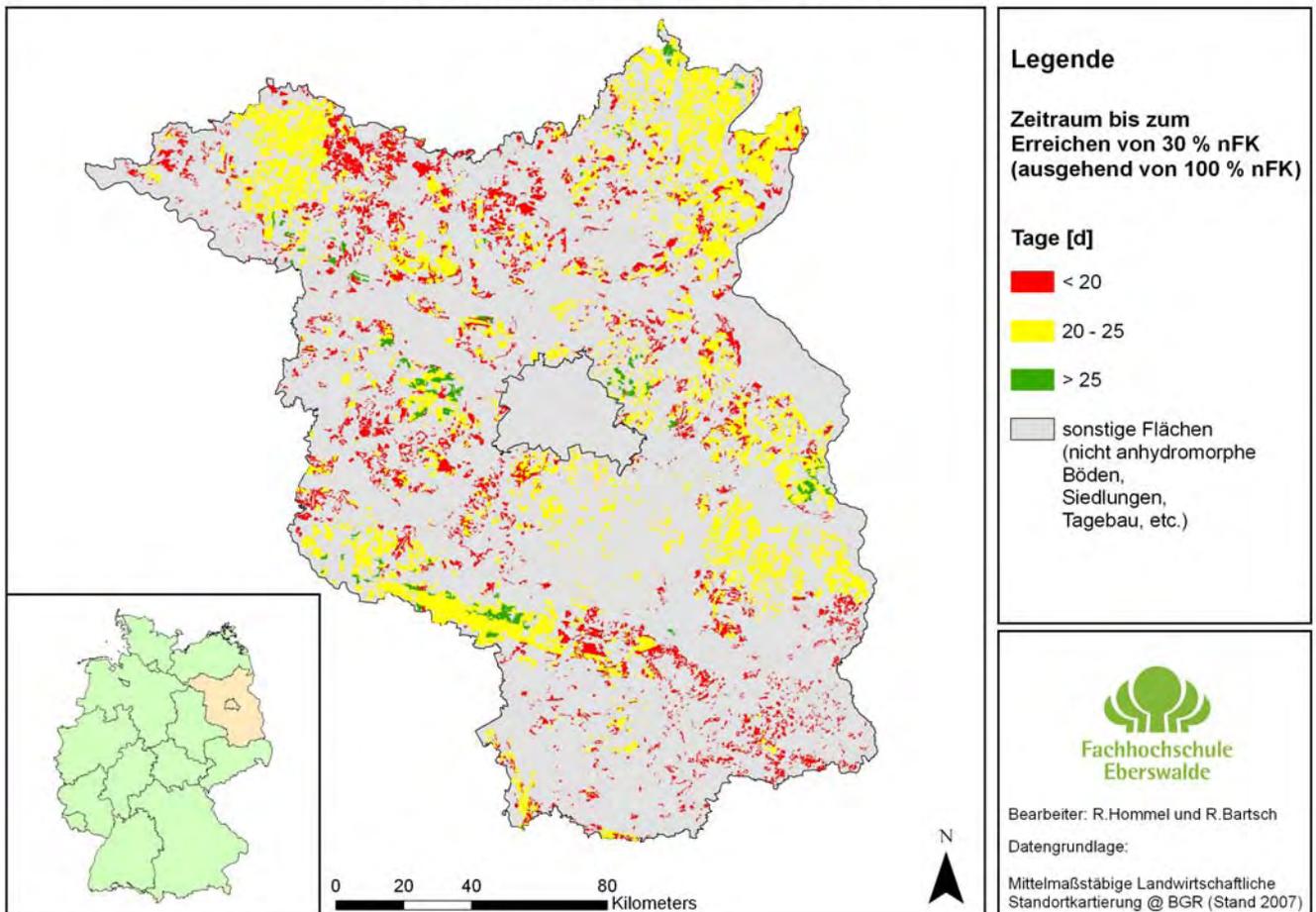
$$t = \frac{[WV (100 \% ) - WV (X \% )]}{PA (d)} \quad (4)$$

- |                |  |
|----------------|--|
| $t$            | - Zeitraum bis zum Erreichen des kritischen Wertes [d]           |
| $WV (100 \% )$ | - Wasservorrat Substratflächentyp bei FK [l/m <sup>2</sup> *6dm] |
| $WV (X \% )$   | - Wasservorrat Substratflächentyp bei X% [l/m <sup>2</sup> *6dm] |
| $PA (d)$       | - Wasserverbrauch Pflanze [l/m <sup>2</sup> *d]                  |

Im Folgenden soll die Berechnung des Zeitraumes für den Roggen unter der Annahme eines Wasserverbrauches von 2,5 l/m<sup>2</sup>-d stattfinden. Die Schätzung des Wasserverbrauches ist ein Mittelwert für den gesamten Zeitraum (April - Juni) und basiert auf Angaben von Entrup & Oehmichen (2006) sowie auf der Mitteilung von Chmielewski (unveröffentlicht, 2009).

Unter dieser Annahme lassen sich, ausgehend von jeweils 100 % nutzbarer Feldkapazität (100 % nFK) für anhydromorphe Standorte in Brandenburg folgende Zeiträume als Schwellenwert ableiten (Tab.4-3 und Abb.4-4).

## Zeitraum der möglichen Pflanzen-Wasserversorgung ausgehend von 100% nFK bis zum Erreichen von 30% nFK (nur anhydromorphe Böden)



**Abb.4-4: Zeitraum ausreichender Pflanzen-Wasserversorgung unter der Annahme von 30 % nFK als ausreichend (ausgehend von 100 % nFK)**

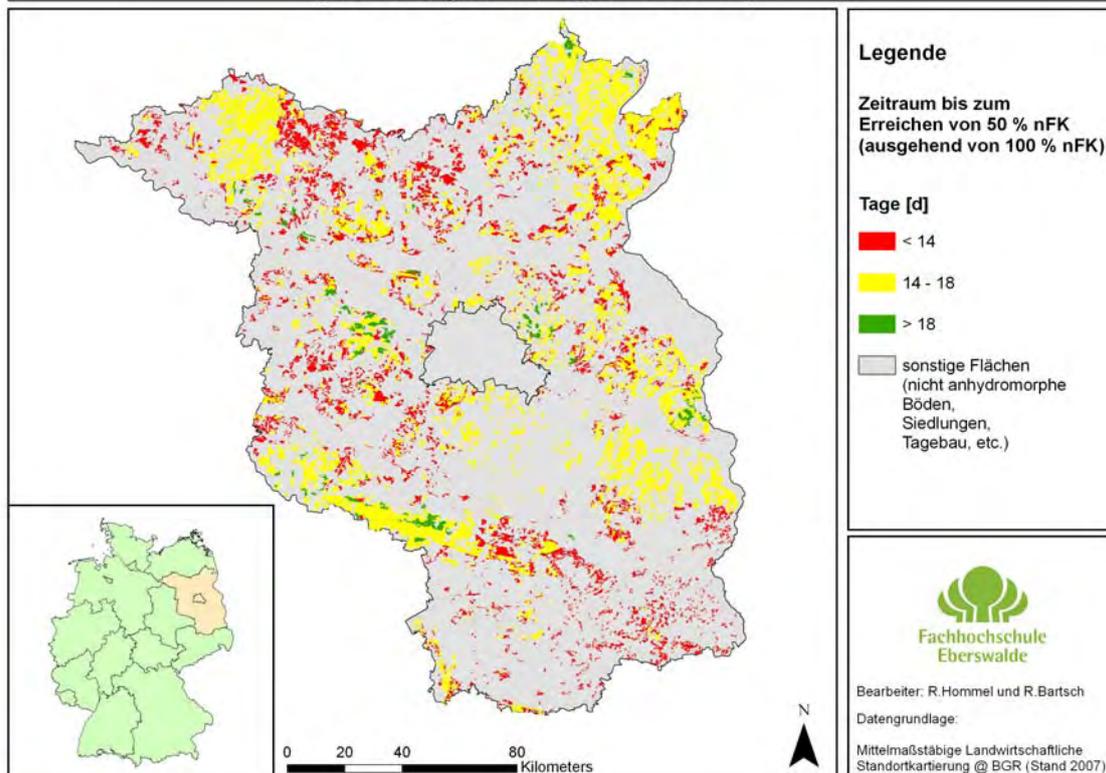
Die Ergebnisse zeigen, dass besonders die Sandstandorte bereits nach sehr wenigen Tagen einen großen Teil des pflanzenverfügbaren Wassers abgegeben haben. Wohingegen besonders die Alluvialstandorte mit lehmigen und tonig-schluffigen Substraten deutlich längere Zeiträume zur Pflanzenversorgung aufweisen.

Abschließend muss darauf hingewiesen werden, dass dies Vorschläge für einen möglichen Indikator und Schwellenwerte sind. Besonders die Berechnung der Schwellenwerte müsste für eine realitätsnähere Anwendung vertieft werden. Es ist notwendig Schwellenwerte für andere wichtige Fruchtarten bereitzustellen. Ahrends et al. (2009) bilden z. B. die kritischen Bodenwasserpotenziale für Fichtenbestände in Brandenburg für die Klimaszenarios A1b und B1 ab. Sie kommen zu dem Schluss, dass für Nordostdeutschland ein relativ geringes Trockenstressrisiko von maximal 25 Tagen für Fichtenbestände besteht.

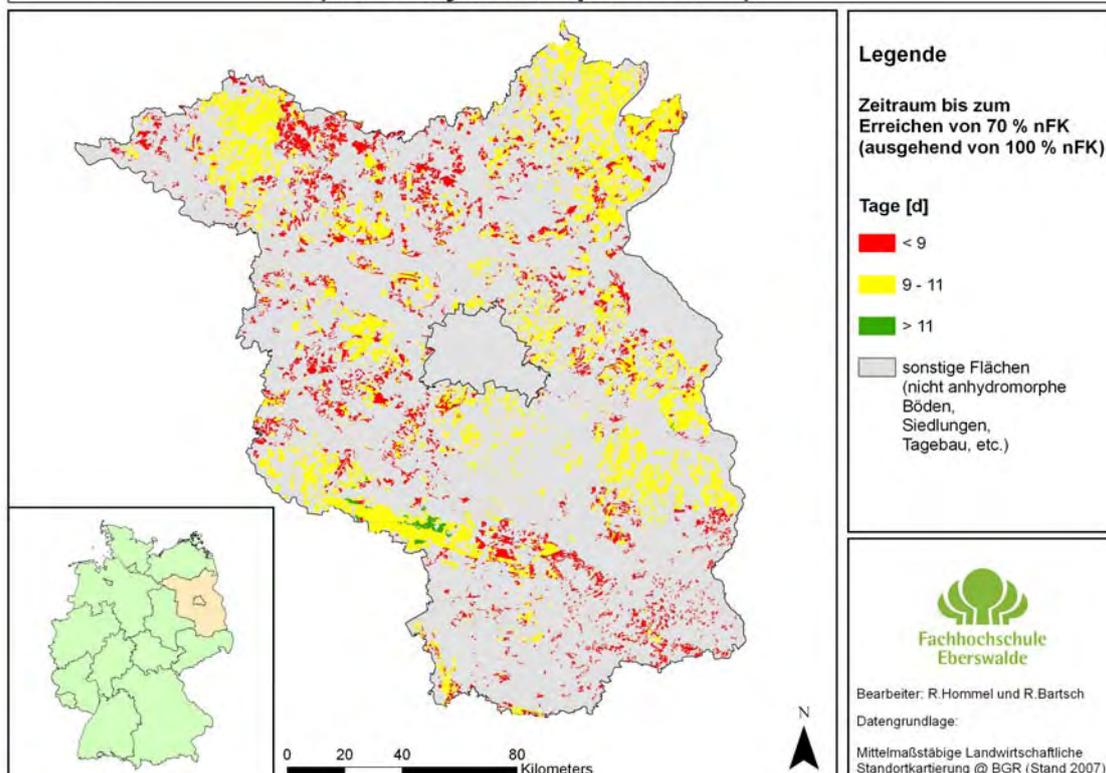
Außerdem sollten grund- und stauwassernahe Standorte ebenfalls Berücksichtigung finden. Hierfür könnte ein Art Schwellenwertmodell für verschiedene Standorte und Fruchtarten entstehen.

**Abb. 4-5 und 4-6: Zeitraum ausreichender Pflanzen-Wasserversorgung unter der Annahme von 50 % bzw. 70 % nFK als ausreichend (ausgehend von 100 % nFK)**

**Zeitraum der möglichen Pflanzen-Wasserversorgung  
ausgehend von 100% nFK bis zum Erreichen von 50% nFK  
(nur anhydromorphe Böden)**



**Zeitraum der möglichen Pflanzen-Wasserversorgung  
ausgehend von 100% nFK bis zum Erreichen von 70% nFK  
(nur anhydromorphe Böden)**



**Tab.4-3: Schwellenwerte für den Zeitraum bis zum Erreichen des kritischen pflanzenverfügbaren Wassers**

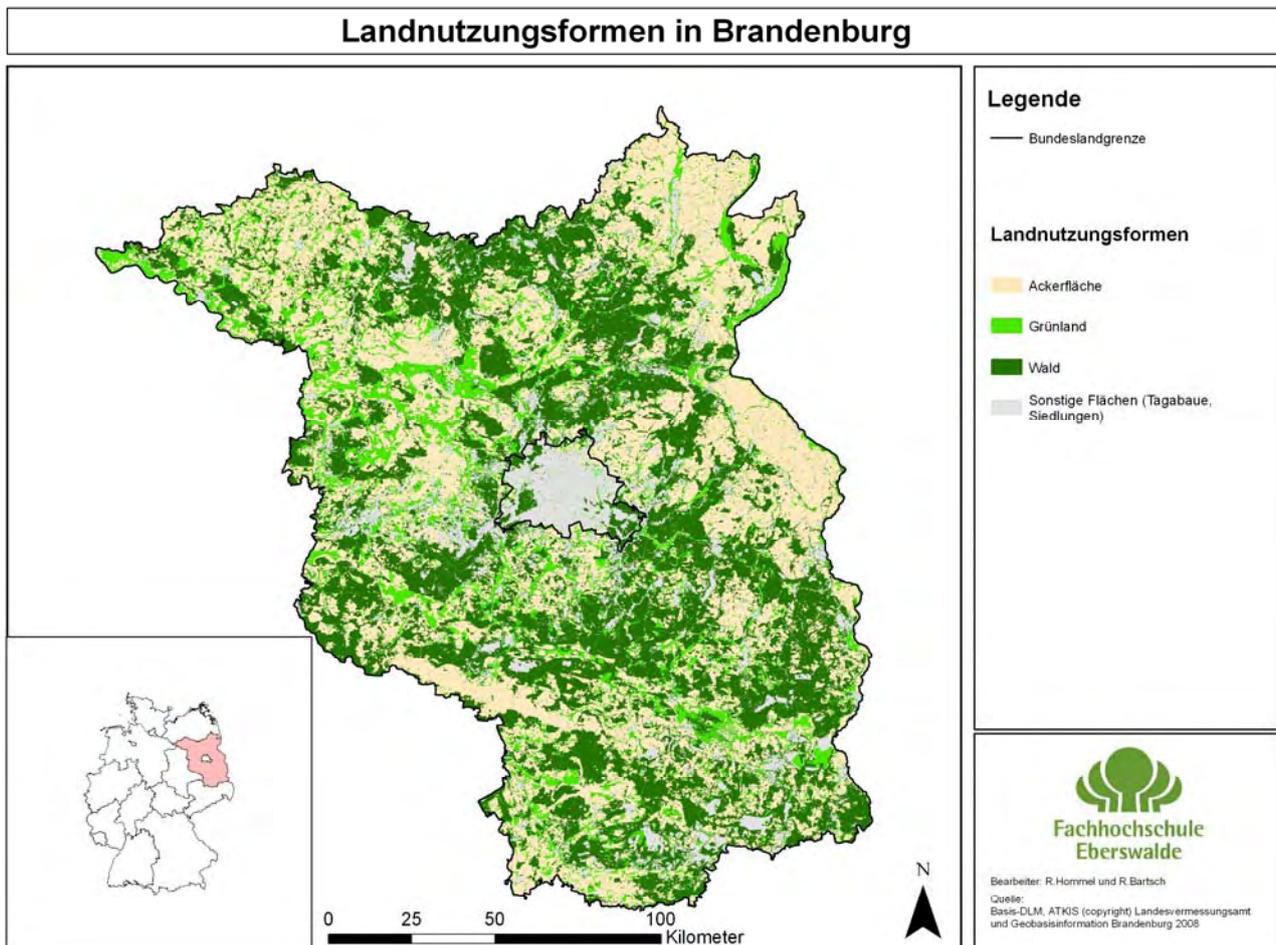
<b>Substratflächentyp</b>	<b>t(30%nFK) in Tagen</b>	<b>t(50%nFK) in Tagen</b>	<b>t(70%nFK) in Tagen</b>
s	16	11	7
sl	24	17	10
s-s/l	21	15	9
s-s/t	22	15	9
s/l + s	23	16	10
s/l-s	25	18	11
s+s/t	23	16	10
s/t-s	24	17	10
s-l	21	15	9
s-s/l+l	23	17	10
l-s/l+s	23	16	10
s/l	27	19	11
s/l-l	25	18	11
s+l	22	16	9
l+s/l	25	18	11
l-s/l	24	17	10
l	23	17	10
l-t	23	16	10
t-l	23	16	10
s-m/d	23	16	10
m/d-s	25	18	11
m/d	26	19	11
m/d+m/l	27	19	12
sö/d	23	17	10
sö/d-sö/l	24	17	10
sö	25	18	11
sö/l	25	18	11
s-om	22	16	9
om-s	25	18	11
om	28	20	12
ol/d	30	21	13
ol/d-ol	31	22	13
ol-ol/d	31	22	13
ol	31	22	13
ol-ot	30	22	13
ol+ot	30	22	13
ot-ol	30	21	13
ot/d	29	21	13

Weiterhin sollten zur Schaffung einer breiten Datenbasis Vergangenheitsdaten des Klimas und Bodens für ganz Brandenburg aufgearbeitet und bezüglich der Häufigkeit des Auftretens von Frühjahrs-trockenheiten untersucht werden. Dadurch könnten sichere Aussagen über mögliche Klimaveränderungen getroffen werden.

## 4.2 Indikationsfeld Humushaushalt

Der Vorschlag eines Indikators, welcher die klimainduzierten Veränderungen des Humusgehaltes anzeigt, gestaltet sich als äußerst kompliziert. In den Interviews wurde bereits daraufhin gewiesen, dass die klimabedingten Veränderungen im Humusgehalt aufgrund nutzungsbedingter Beeinflussung schlecht nachweisbar sind. Es wird sowohl durch die rezente als auch historische Landnutzungsform der Humusgehalt ausschlaggebend verändert und geprägt (Wessolek et al., 2008).

Innerhalb gleicher Landnutzungsformen können ebenfalls stark abweichende Humusgehalte auftreten. Abbildung 4-7 geben einen schematischen Überblick über die Nutzungsformen in Brandenburg.

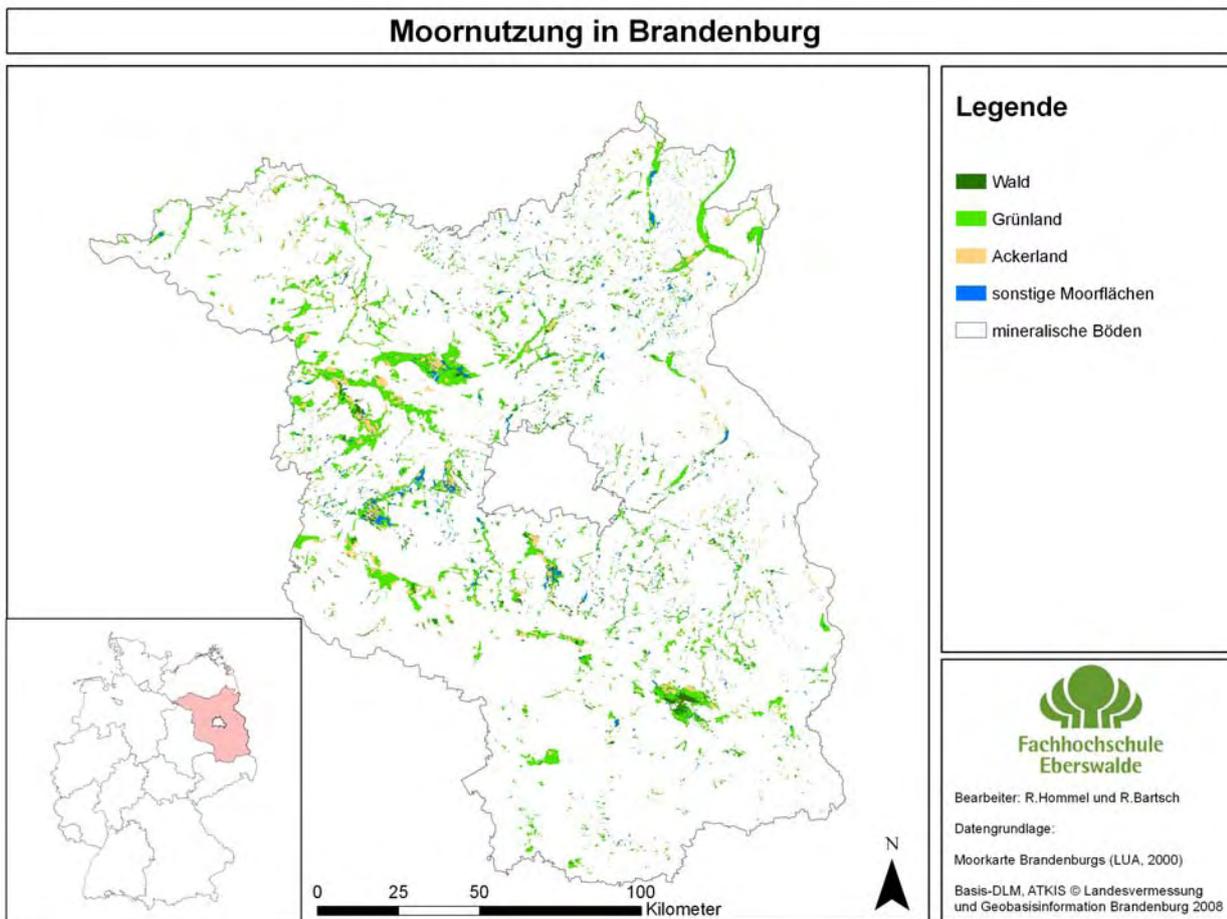


**Abb.4-7: Landnutzungsformen in Brandenburg**

Die natürlichen Moore wurden nicht in diese Abbildung aufgenommen, da sie nur einen Anteil von lediglich 5 % in Brandenburg darstellen. Eine Ausweisung von Nutzungen auf Moorstandorten ist in Abb. 4-8 abgebildet.

Für Waldökosysteme spielt das Management (Intervalle der Umtriebszeiten, Bestandesdichte und –art, etc.) eine übergeordnete Rolle (Lasch et al. 2005). Lasch et al. (2005) modellieren für das A1B Klimaszenario in Brandenburg die Veränderung der  $C_{org}$ -Festlegung im Boden in Abhängigkeit von unterschiedlichen Nutzungsmanagementszenarien. Positive Effekte (Steigerung des  $C_{org}$  um 5 %) werden in Südbrandenburg und partiell in Nordostbrandenburg deutlich. Hingegen kommt es zu negativen Effekten im zentralen Brandenburg (Abnahme der  $C_{org}$ -Vorräte um >10 %).

Auch auf landwirtschaftlich genutzten Böden ist eine Beobachtung von klimainduzierten Veränderungen der organischen Kohlenstoffgehalte bzw. des Humus schwierig, da hier durch den jährlich wechselnden Anbau verschiedener Fruchtarten, Düngung sowie verschiedene Managementsysteme (z.B. pfluglose Bearbeitung) eine starke Beeinflussung stattfindet. Somit ist eine reine Beobachtung des Parameters Humusgehalt wenig zielführend.



**Abb.4-8: Moornutzung in Brandenburg**

Einen aussagefähigen Ansatz stellt das Edaphon (Bodenorganismen und Bodenmikroorganismen) dar. Es bietet sich als Indikator zur Beobachtung von klimainduzierten Änderungen durch Veränderung der Individuendichte und -arten von Lumbriciden an.

Der Indikator weist, als Primärzersetzer im Boden, auf seine herausragende Rolle beim Kohlenstoffkreislauf und der Humusbildung hin. Anhand ihrer starken Bindung an den Boden und an die biologischen Bodenprozesse zeigen ihre Lebensgemeinschaften Bodenveränderungen an und eignen sich deshalb als Bioindikator für klimabedingte Veränderungen im Boden. Der Versuch zur Ableitung eines speziellen  $C_{org}$ -Gehaltes auf Acker- und Grünland genutzten Standorten anhand von Lumbricidenarten wird von Krück et al. (2006) unternommen.

Bioindikatoren haben gegenüber technisch erhobenen Parametern den Vorteil, dass sie ökologische Folgen und Reaktionen von über Zeiträumen gemittelten Zuständen anzeigen (AK Bioindikation, 2007). Jedoch sind Schwellenwerte (kritische Humusgehalte) nicht hinreichend untersucht um Zusammenhänge statistisch abzusichern. Zusätzlich differenzieren die bisherigen Meinungen und Ergebnisse zu stark, um repräsentative Ableitungen vorzustellen.

So versucht Wessolek et al. (2008) optimale Humusgehalte zu ermitteln, um Aussagen hinsichtlich der klimaabhängigen Humusversorgung der Böden zu treffen. Sie stellen fest, dass eine quantitative Analyse der Zusammenhänge zwischen Bodenfunktionen und OBS-Gehalten bisher nicht vorliegt und somit keine standorttypischen Ober- und Untergrenzen festgelegt werden können (Wessolek et al., 2008). Hinsichtlich der Aggregatstabilität wird jedoch näherungsweise und standortabhängig ein Schwellenwert definiert. Dieser liegt für Brandenburg zwischen 0,8 - 0,5 %  $C_{org}$ . Wenn dieser unterschritten wird, können sich negative Effekte auf Aggregatstabilität forcieren.

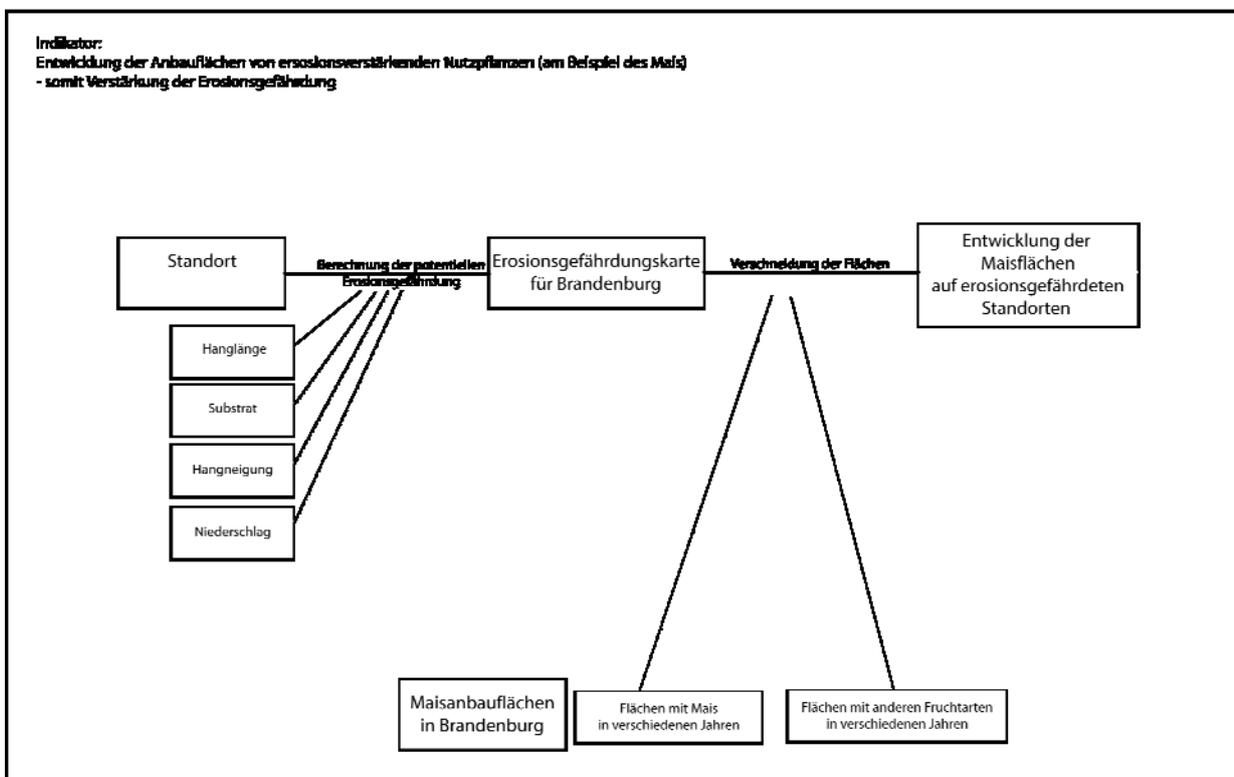
Weitere allgemeine Aussagen hinsichtlich anderer  $C_{org}$  Beziehungen formuliert Springob et al. (2001). Sie zeigen, dass mit erhöhter Bodendurchfeuchtung der  $C_{org}$ -Gehalt zunimmt (Springob et al. 2001). Weiterhin weisen Untersuchungen von Jenkinson und Rayner (1977) sowie Körschens (1997) daraufhin, dass selbst unter ungünstigen Bedingungen bestimmte  $C_{org}$ -Gehalte in Böden nicht unterschritten werden. Deshalb ist es unsicher über einen Schwellenwert einen Indikator abzuleiten.

Aufgrund des geringen Bearbeitungszeitraumes würde eine vertiefende Untersuchung an diesem Punkt sinnvoll erscheinen.

### 4.3 Indikationsfeld Erosion

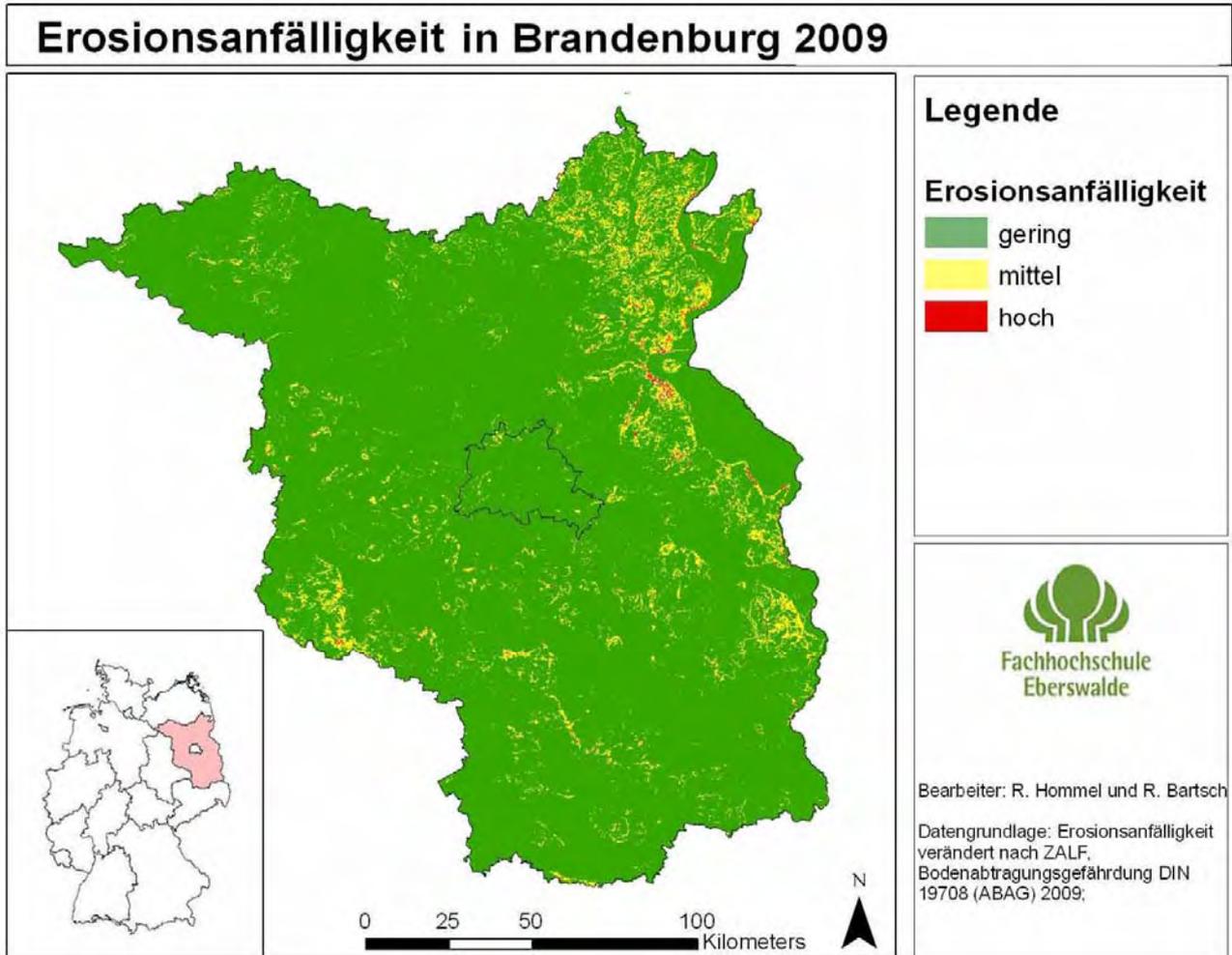
Wie auch in dem Indikationsbereich Bodenwasserhaushalt werden in diesem Kapitel ausschließlich Ackerstandorte betrachtet. Zur Ermittlung des möglichen Indikatorvorschlages wurden Flächen deren Hauptfruchtart 2009 Mais darstellt sowie die Karte der potentiellen Bodenabtragsgefährdung für Brandenburg verwendet. Die Herangehensweise zur Indikatorermittlung ist in Abb.4-9 dargestellt.

Die Verwendung der Fruchtart Mais bietet sich deshalb an, da sie erst spät den Boden bedeckt. Dadurch sind die Böden lange ungeschützt und den Regenereignissen im Frühling bis Frühsommer ausgesetzt (Bork et al., 2003).



**Abb.4-9: Schematische Darstellung der Ableitung des Indikators für den Bereich Erosionsgefährdung**

In Abb.4-11 wird gezeigt, welche Maisflächen sich auf erosionsgefährdeten Standorten befinden. Die Grundlage zur Ausweisung der einzelnen Erosionsanfälligkeiten basiert auf der Karte der potentiellen Bodenabtragsgefährdung nach DIN 19708 (Abb.4-10).



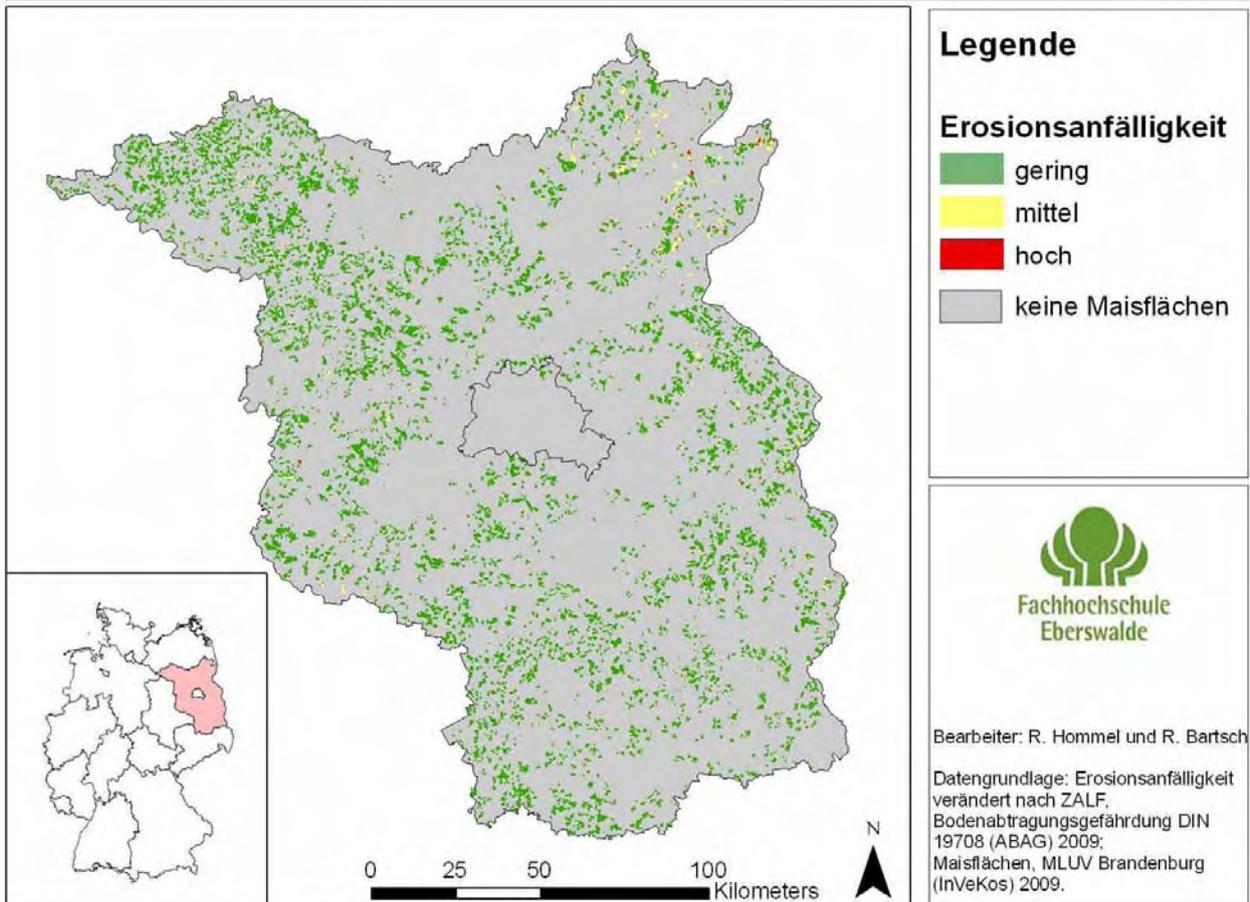
**Abb.4-10: Potentielle Bodenabtragsgefährdung des Landes Brandenburg 2009**

Die DIN erfordert zur Bestimmung der potentiellen natürlichen Erosionsgefährdung den Parameter Bodenerodierbarkeit. Die ALK-Folie42 (Bodenschätzung) enthält gegenwärtig die detailliertesten Daten zum Boden, deckt aber wie die MMK nur landwirtschaftlich genutzte Flächen ab. Aus diesem Grund wurde entschieden, fehlende Flächen mit Informationen der MMK und ihrer Extrapolation auf Nicht-Landwirtschaftsflächen zu belegen.

Es wurden die K-Faktoren (Maß für die Erosionsanfälligkeit des Bodens) basierend auf den Bodenarten (Klassenzeichen der ALK-Folie 42 entsprechend DIN 19708) und den Substratflächentypen der MMK parametrisiert. Zusätzlich wurde der berechnete Bodenabtrag unter Verwendung der bislang in Brandenburg für die „Vergleichsmethode Standort“ (VERMOST) verwendeten Grenzen in sechs Stufen klassifiziert (Deumlich et al. 2004).

Bei der notwendigen Verschneidung und anschließenden Interpolation der Datengrundlagen zwischen Maisflächen und Bodenabtragsgefährdungsdaten, wurden die Daten in diesem Projekt lediglich in 3 Stufen eingeteilt (siehe Abb.4-10 und 4-11).

## Erosionsanfälligkeit für Maisflächen in Brandenburg 2009



**Abb.4-11: Erosionsanfälligkeit der Maisflächen in Brandenburg 2009**

Für Abbildung 4-11 resultiert dies daraus, da sich z. B. die höchsten Abtragsraten nicht auf Maisflächen befinden bzw. nur ein partieller Abtrag innerhalb eines Schlags gegeben ist. Innerhalb der Stufe „gering“ existiert ein Bodenabtrag von  $< 1 \text{ t/ha-a}$ . Die Stufe „mittel“ wird durch einen Abtrag zwischen 1 bis  $3 \text{ t/ha-a}$  und die Kategorie „hoch“ mit einem mittleren Abtrag von  $> 3 \text{ t/ha-a}$  charakterisiert. Der überwiegende Teil (96,5 %) der Maisflächen befindet sich auf gering bis nicht erosionsgefährdeten Standorten. Darüber hinaus wird in Abb.4-9 aber deutlich das in den Kreisen „Uckermark“ und „Märkisch-Oderland“ Maisflächen in mittleren und hoch erosionsanfälligen Standorten bestehen. Im Kreis „Uckermark“ entsprechen dem in 2008 ca. 10 % der Maisflächen (15.000 ha) von der Gesamtackerfläche. In „Märkisch-Oderland“ sind es ca. 14 % der Maisflächen (16.000 ha). In den Interviews wurde auch darauf verwiesen, dass die tatsächliche Maisanbaufläche meist unterschätzt wird, da nur Hauptfruchtarten und keine Zwischenfruchtarten angegeben werden müssen. Dies würde die Erosionsgefahr weiter erhöhen.

Die Abbildung 4-11 repräsentiert die „Momentaufnahme“ der Maisflächenverteilung von 2009 hinsichtlich ihrer Erosionsanfälligkeit. Diesem gegenübergestellt müssten, in einem Folgeprojekt, die Maisflächendaten von vorangegangenen Perioden (z. B. 2000) werden. Der Fokus sollte überwiegend auf die sensiblen Regionen gerichtet sein, welche eine „hohe“ und „mittlere“ Erosionsanfälligkeit aufweisen.

Daraus lässt sich der Indikator „Veränderung der Maisflächenentwicklung“ in erosionsanfälligen Gebieten noch deutlicher abbilden. Bisherige Untersuchungen liegen von Glauert (2009) vor. Er zeigt, wie sich der Maisflächenanteil für das Biosphärenreservat „Schorfheide-Chorin“ und die Uckermark in einem Zeitraum von 2005 bis 2008 verändert. Der Indikatorvorschlag ist letztendlich auch durch die Nutzungsform beeinflusst (z. B. Fruchtart), lässt sich aber dadurch ohne weiteres auf andere Standorte übertragen.

## 5. Zusammenfassung

Die global prognostizierten Klimaänderungen und deren Folgen werden für Europa, Deutschland und Brandenburg möglicherweise gravierende Folgen haben. Um hierauf rechtzeitig und angemessen reagieren zu können, hat die Bundesregierung die in Kooperation mit den Ländern erarbeitete „Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel“ (DAS) am 17. Dezember 2008 beschlossen. Des Weiteren soll ein Vorschlag für ein Indikatorensystem zur Erfolgskontrolle vorgelegt werden: Zur Vorbereitung dieses Indikatorensystems läuft derzeit eine Studie im Rahmen des UFO-Planes beim Umweltbundesamt.

Für das Land Brandenburg ist die Berücksichtigung der spezifischen Situation des Landes zwingend erforderlich, da hier aufgrund der naturräumlichen Besonderheiten der Region eine erhöhte Vulnerabilität, d. h. eine besondere Empfindlichkeit oder Verletzbarkeit hinsichtlich der Auswirkungen des Klimawandels gegeben ist. Deshalb ist vom Landesumweltamt Brandenburg dieses Projekt initiiert worden. Es soll eine systematische Erfassung des vorhandenen Wissens (Literaturstudie und Expertengespräche) und eine zusammenfassende Analyse leisten sowie Grundlagen für eine Ableitung von Wirkungs- und Alarmschwellen für ausgewählte Boden-Indikatoren zusammenstellen, um die spezifische Vulnerabilität der brandenburgischen Böden hinreichend berücksichtigen zu können. Dieses geschieht hinsichtlich der Indikationsfelder Bodenwassergehalt, Erosionsgefährdung und Humusgehalt. Es wird sich dabei im ersten Schritt auf Agrarökosysteme beschränkt.

Nach Gerstengarbe et al. (2003) und Zebisch et al. (2005) gehört Brandenburg hinsichtlich der prognostizierten Klimaveränderung zu den Gebieten mit der höchsten Vulnerabilität in Deutschland. Die befragten Experten teilen größtenteils diese Auffassung. Sie rechnen mit Veränderungen im Boden in einer Zeitspanne zwischen 10 – 50 Jahren.

Als wichtigste Ursache für die Vulnerabilität wird unabhängig vom Nutzungstyp der Bodenwasserhaushalt angesehen. Hierbei sind vor allem die sandigen Flächen mit geringen Wasserspeicherkapazitäten trockenheitsgefährdet. Außerdem sind die hydromorphen Böden und Moore durch verringerte Wasserzufuhr zukünftig stärkerer Mineralisierung unterworfen.

Als weiteres Problem wird durch die Expertise die erhöhte Gefahr, welche durch Extremereignisse induziert wird, genannt. Dabei können besonders Erosion und Überschwemmungen auftreten. Besonders die Erosion könnte auf Flächen auftreten, die bisher nicht als erosionsgefährdet gelten.

Bezüglich der Veränderung der organischen Substanz gibt es weiteren Forschungsbedarf. Hier ist noch nicht eindeutig geklärt ob es durch die Erwärmung zu stärkerer Mineralisation kommt, oder ob diese durch das geringere Wasserdargebot gehemmt wird.

Bezüglich der Auswahl von Indikatoren für ein Klimamonitoring betonten die Experten die Stellung des Bodenwasserhaushaltes. Da hier die deutlichsten und eindeutigsten Änderungen feststellbar seien. Außerdem beeinflusst der Bodenwasserhaushalt die anderen Bereiche stark. Dieser Eindruck wird durch die Literatur gestützt. Für die drei zu untersuchenden Indikationsfelder wurde jeweils ein Indikatorvorschlag erarbeitet.

Im Indikationsfeld Bodenwasserhaushalt wird die Häufigkeit von Frühjahrstrockenheiten als Indikator priorisiert. Hierbei soll beobachtet werden, wie häufig Trockenperioden in den Monaten April bis Juni in Brandenburg auftreten. Die Periode wurde deshalb gewählt, da landwirtschaftliche Kulturpflanzen in dieser Zeit einen starken Wachstums- und Entwicklungsschub machen und durch Trockenheiten die Ertragsleistung sehr stark gemindert werden kann.

Als mögliche Schwellenwerte werden die Zeiträume vorgeschlagen, welche zur ausreichenden Versorgung der Pflanzen durch Wasser aus dem Bodenwasserspeicher bleiben. Dies wurde exemplarisch in vereinfachter Form in dieser Studie für die Getreideart Winterroggen durchgeführt. Ziel weiterer Untersuchungen sollte es sein, ein Schwellenwertmodell für alle Getreide- und Bodenarten in Brandenburg zu erstellen.

Im Indikationsfeld Humushaushalt ist es schwierig einen geeigneten Indikator für klimainduzierte Veränderungen zu benennen, da hier die langfristigen klimatisch bedingten Änderungen sehr stark von nutzungsbedingten kurzfristigen Änderungen überlagert werden. An dieser Stelle wird ein Bioindikator vorgeschlagen. Zur Beobachtung von klimainduzierten Änderungen bietet sich die Veränderung der Individuendichte und -arten von Lumbriciden an.

Der Indikator weist, als Primärersetzer im Boden, auf seine herausragende Rolle beim Kohlenstoffkreislauf und der Humusbildung hin. Anhand ihrer starken Bindung an den Boden und die biologischen Bodenprozesse zeigen ihre Lebensgemeinschaften Bodenveränderungen an und eignen sich deshalb als Bioindikator für klimabedingte Veränderungen im Boden.

Ein konkreter Schwellenwert lässt sich zu diesem Zeitpunkt nicht festlegen, da hier noch weiterer Forschungsbedarf besteht. Es gibt bereits mehrere Untersuchungen zu „optimalen“ Humusgehalten bzw. ableitbaren Humusgehalten aus den Artenzusammensetzungen des Edaphon, z. B. von Wessolek et al. (2008) oder speziell für Lumbriciden von Krück et al. (2006). Allerdings liefern diese Untersuchungen keine eindeutig gesicherten Angaben über Humusgehalte für die Ableitung möglicher Schwellenwerte.

Als Indikator für den Bereich Erosion wird die Veränderung der Maisflächenentwicklung bezüglich der Erosivität der Ackerflächen priorisiert. Hierbei kommt zum tragen, dass eine erhöhte Erosionsgefährdung bei Maisanbau gegeben ist. Bei Änderungen der Anbauflächen des Mais verändert sich somit die potentielle Erosionsgefährdung der Ackerflächen. Wenn die Maisanbauflächen sich in Gebiete mit landschaftlich bedingten höheren Erosionsgefährdungen entwickeln, wird die potentielle Erosionsgefährdung ansteigen.

Ein eindeutiger Schwellenwert lässt sich derzeit aber noch nicht ableiten. Hierzu müssten weitere Untersuchungen vorgenommen werden. Weiterhin sollten auch andere wichtige Kulturpflanzen mit in das Indikator-Schwellenwertmodell einbezogen werden.

Abschließend ist festzustellen, dass alle für die drei Indikationsfelder vorgeschlagenen Indikatoren und Schwellenwerte weiterer Untersuchungen bedürfen, um sie abzusichern. Außerdem sollte eine Datenbasis geschaffen werden mit der man zukünftige Änderungen vergleichen und so klimainduzierte Veränderungen ableiten kann.

## Literaturliste

- Ahrends, B., Panferov, O., Czajkowski, T., Döring, C., Jansen, M., Bolte, A. (2009):** Bundesweiter standortsbezogener Modellierungsansatz zur Abschätzung von Trockenstress ausgewählter Baumarten unter den Klimaszenarien A1B und B1 im DSS Wald und Klima; Freiburger forstliche Forschung / Berichte, Band 82, Seite 161-179
- AK Bioindikation (2007):** Monitoring von Klimaveränderungen und deren Auswirkungen mit Bioindikatoren
- Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (2009):**  
[http://www.statistik-berlin-brandenburg.de/publikationen/otab/2009/ot\\_c01-01-00\\_411\\_200900\\_bb.pdf](http://www.statistik-berlin-brandenburg.de/publikationen/otab/2009/ot_c01-01-00_411_200900_bb.pdf)
- Augstin, J. (2001):** Emission, Aufnahme und Klimarelevanz von Spurengasen, Landschaftsökologische Moorkunde S. 28-40
- Bohne, K. (2005):** An Introduction into Applied Soil Hydrology, Catena-Verlag, Reiskirchen
- Bork, H.-R., Beckedahl, H.-R., Dahlke, C., Geldmacher, K., Mieth, A., Li, Y. (2003):** Die erdweite Explosion der Bodenerosionsrate im 20. Jh. - Das globale Bodenerosionsdrama - geht unsere Ernährungsgrundlage verloren, Petermanns Geographische Mitteilungen, Nr. 147 H. 3 S.16-25
- Bundesregierung (2008):** Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel, Berlin
- Chmielewski, F.-M. (2009):** Klimatologische Standortbeschreibung IN: Dauerfeldversuche in Brandenburg und Berlin – Beiträge für eine nachhaltige landwirtschaftliche Bodenbenutzung, Ministerium für ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg (HRSG.), Potsdam
- Deumlich, D., Funk, R., Frielinghaus, M., Schmidt, W.-A., Nitzsche, O. (2006a):** Basics of effective erosion control in German agriculture. - Journal of Plant Nutrition and Soil Science.169 (3): 370 - 381
- Deumlich, D., Kiesel, J., Thiere, J., Reuter, H. I., Völker, L., Funk, R. (2006b):** Application of the Site COmparison Method (SICOM) to assess the potential erosion risk: a basis for the evaluation of spatial equivalence of agri-environmental measures. - Catena.68 (2-3): 141-152
- Deumlich, D., Funk, R., Kiesel, H. I., Reuter, Thiere, J. und Völker, L. (2004):** Anwendung der "Vergleichsmethode Standort (VERMOST)" zur Bewertung der Erosionsgefährdungspotenziale als Datenbasis für Förderinstrumente am Beispiel des Landes Brandenburg, Archives of Agronomy and Soil Science, Nr. 50, S. 259-271
- Deumlich, D. (1999):** Erosive Niederschläge und ihre Eintrittswahrscheinlichkeit im Nordosten Deutschlands. - Meteorologische Zeitschrift, N.F. 8: 155-161
- Deumlich, D., Gödicke, K. (1990):** Untersuchungen zu Schwellenwerten erosionsauslösender Niederschläge im Jungmoränengebiet der DDR, Archiv Acker-Pflanzenb. Bodenkunde Nr. 11, S. 709-716
- Entrup, N.L., Oehmichen, J. (2006):** Lehrbuch des Pflanzenbaues, Band:1 Grundlagen, AgroConcept, Bonn
- Eulenstein, F., Glemnitz, M. (2007):** Einfluss des Klimawandels auf den Bodenwasserhaushalt und Erträge landwirtschaftlicher Kulturen und Biozönosen, IN: 15.Landschaftstag 2007 – Auswirkungen des Klimawandels auf Natur und Landschaft, Magdeburg
- Funk, R., Deumlich, D., Völker, L., Steidl, J. (2004):** GIS application to estimate the wind erosion risk in the Federal State of Brandenburg. - In: Wind erosion and dust dynamics: observations, simulations, modelling: 139-149; Wageningen (Wageningen University and Research Centre).
- Frielinghaus, M. (1990):** Stand der Erosionsforschung in der DDR, Bericht über Landwirtschaft, Bodenutzung und Bodenfruchtbarkeit, Band 3
- Gensior, A., Zeitz, J. (1999):** Einfluss einer Wiedervernässungsmaßnahme auf Dynamik chemischer und physikalischer Bodeneigenschaften eines degradierten Niedermooses, Archiv Naturschutz und Landschaftsforschung, Nr. 38, S. 267-302
- Gerstengarbe, F.-W., Badeck, F., Hattermann, F., Krysanova V., Lahmer, W., Lasch, P., Stock, M., Suckow, F., Wechsung, F., Werner, P.C. (2003):** Studie zur klimatischen Entwicklung im Land Brandenburg bis 2055 und deren Auswirkungen auf den Wasserhaushalt, die Forst- und Landwirtschaft sowie Ableitung erster Perspektiven, PIK-Report Nr. 83, Potsdam
- Glauert, T. (2009):** Maisanbau als Biomasselieferant im Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin, Bachelorarbeit, FH-Eberswalde
- Hannappel, S., Hermsdorf, A., Pohl, S., Rietz, C., Koseck, R. (2007):** Aufbau von Sondermessnetzen zur geogenen Grundwasserversalzung in Brandenburg, Brandenburg. geowiss. Beitr., Kleinmachnow

- Hierold, W. (2009):** Die Böden Brandenburgs im Überblick – Einordnung der Dauerversuchsstandorte, IN: Dauerfeldversuche in Brandenburg und Berlin – Beiträge für eine nachhaltige landwirtschaftliche Bodenbenutzung, Ministerium für ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg (HRSG.), Potsdam
- Holsten, A., Vetter, T., Vohland, K., Krysanova, V.(2009):** Impact of climate change on soil moisture dynamics in Brandenburg with a focus on nature conservation areas, ECOLOGICAL MO-DELLING Volume: 220, 17:2076-2087
- Hüttl, R., Prechtel, A., Bens, O. (2008):** Zum Stand der Humusversorgung der Böden in Deutschland; Publikationen des Umweltbundesamtes – [www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/dateien/3710.htm](http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/dateien/3710.htm)
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2007):** Climate Change 2007 - Synthesis Report
- Jenkinson, D. S. und Rayner, J. H (1977):** The turnover of soil organic matter in some of the Rothamsted classical experiments, Soil Science, Nr. 123, S. 298-305
- Kluge, B., Wessolek, G., Facklam, M., Lorenz, M., Schwärzel, K. (2008):** Long-term carbon loss and CO<sub>2</sub>-C release of drained peatland soils in northeast Germany. EUROP. J. OF SOIL SCI. 59: 1076-1086
- Kögel-Knabner, I., von Lützow, M. (2008):** Klimawandel – Auswirkungen auf den Humuskörper von Böden Aktueller Kenntnisstand, IN. 5. Marktredwitzer Bodenschutztag, 08.-10.Oktober 2008, Marktredwitz
- Körschens, M. (1997):** Abhängigkeit der organischen Bodensubstanz (OBS) von Standort und Bewirtschaftung sowie ihr Einfluss auf Ertrag und Bodeneigenschaften, Archiv für Acker-Pflanzen Boden, Nr. 41, S. 435-463
- Krück, S., Joschko, M., Schultz-Sternberg, R., Kroschewski, B., Tessmann, J. (2006):** A classification scheme for earthworm populations (Lumbricidae) in cultivated agricultural soils in Brandenburg, Germany, Journal of Plant Nutrition and Soil Science, Nr. 169
- Kühn, D. (2004a):** Bodengeologie – Ertragspotential (+Karte), IN: Atlas zur Geologie Brandenburgs, Kleinmachnow, S.82-83
- Kühn, D. (2004b):** Leitbodengesellschaften (+Karte), IN: Atlas zur Geologie Brandenburgs, Kleinmachnow, S.34-35
- Lahmer, W., Pfützner, B. (2003):** Orts- und Zeitdiskrete Ermittlung der Sickerwassermenge im Land Brandenburg auf der Basis flächendeckender Wasserhaushaltsberechnungen, PIK-Report Nr. 85, Potsdam
- Lasch, P., Lindner, M., Ehrhard, M., Suckow, F., Wenzel, A. (2002):** Regional impact assesment on forest structure and functions under climate change - the Brandenburg case study, Forest Ecology and Management, Nr. 162 S.73-86
- Lasch, P., Badeck, F.-W., Badeck, F., Suckow, Lindner, M., Mohr P. (2005):** Model-based analysis of management alternatives at stand and regional level In Brandenburg (Germany), Forest Ecology and Management, Nr. 207 S. 59-74
- Lorenz, M., Schwärzel, K., Wessolek, G. (2008):** Auswirkungen von Klima- und Grundwasserstandsänderungen auf Bodenwasserhaushalt, Biomasseproduktion und Degradierung von Niedermooren, IN: Wechsung, F., Becker, A., Gräfe, P.: Auswirkungen des globalen Wandels auf Wasser, Umwelt und Gesellschaft im Elbegebiet, Band 6, Weißensee Verlag, Berlin
- Lotze-Campen, H., Claussen, L., Dosch, A., Noleppa, S., Rock, J., Schuler, J., Uckert, G. (2009):** Klimawandel und Kulturlandschaft Berlin, PIK-Report Nr.113, Potsdam
- Marcinek, J., Liedtke, H., (2002):** Das Norddeutsche Tiefland, IN: Liedtke und Marcinek [Hrsg]: Physische Geographie Deutschlands, Klett-Perthes, Gotha, S.385-462
- Riek, W., Wolff, B. (2007):** Bodenkundliche Indikatoren für die Auswertung der Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II), Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme : Reihe B ; 74
- Riek, W. (2009):** Erste Ergebnisse der Bodenzustandserhebung (BZE-2) in Brandenburg, IN: Wissenstransfer in die Praxis-Tagungsband zum 4. Eberswalder Winterkolloquium Eberswalder Forstliche Schriftenreihe, Band XXXX
- Roggenforum e.V.(2007):** Roggen – Getreide mit Zukunft!, DLG-Verlag, Frankfurt am Main
- Rühlmann, J., (2009):** Kastenparzellenversuch Großbeeren (1973), IN: Dauerfeldversuche in Brandenburg und Berlin, Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Brandenburg
- Scheffer, F., Schachtschabel, P. (2002):** Lehrbuch der Bodenkunde, Spektrum Akademischer Verlag, 15.Auflage, Heidelberg
- Schindler, U., Thiere, J., Steidl, J., Müller, L. (2004):** Bodenhydrologische Kennwerte heterogener Flächeneinheiten – Methodik der Ableitung und Anwendung für Nordostdeutschland, Fachbeiträge des Landesumweltamtes, Heft Nr.87, Potsdam

- Schindler, U., Steidl, J., Müller, L., Eulenstein, F., Thiere, J. (2007):** Drought risk to agricultural land in Northeast and Central Germany, *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 170:1-6
- Schindler, U., Frank, J., Müller, L. (2009):** Quantifizierung der Grundwasserneubildung aus bodenhydrologischen Messungen in situ: Methode- Ergebnisse-Trends, *Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung*, 26./27.März 2009
- Schmidt, R., (2002):** Böden, IN: Liedtke und Marcinek [Hrsg]: *Physische Geographie Deutschlands*, Klett-Perthes, Gotha, S.255-288
- Springob, G., Brinkmann, S., Engel, N., Kirchmann, H. und Böttcher (2001):** Organic C levels of Ap horizons in North German Pleistocene sands as influenced by climate, texture and history of land-use, *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, Nr. 164, S. 681-690
- Stackebrandt, W. (2004):** Brandenburg – Landescharakter und geologischer Bau, IN: *Atlas zur Geologie Brandenburgs*, Kleinmachnow, S.8-13
- Van Genuchten, M.T. (1980):** A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils, In: *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 44:892-898
- Wechsung, F., Gerstengarbe, F.-W., Lasch, P., Lüttger, A. (2008):** Die Ertragsfähigkeit ostdeutscher Ackerflächen unter Klimawandel, *PIK-Report Nr.112*, Potsdam
- Wessolek, G., Schwärzel, K., Renger, M., Sauerbrey, R., Siewert, C. (2002):** Soil hydrology and co2 release of peat soils, *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 165:494-500
- Wessolek, G; Asseng, S. (2006):** Trade-off between wheat yield and drainage under current and climate change conditions in northeast Germany. *EUROPEAN JOURNAL OF AGRONOMY* 24 (4):333-342
- Wessolek, G., Kaupenjohann, M., Dominik, P., Ilg, K., Schmitt, A., Zeitz, J., Gahre, F., Schulz, E., Ellerbrock, R., Utermann, J., Düwel, O., Siebner, C. (2008):** Ermittlung von Optimalgehalten an organischer Substanz landwirtschaftlich genutzter Böden nach § 17 (2) UBA Bericht Nr. 7 BBodSchG, UFO-Planprojekt 202 71 264, 162pp
- Wiggering, H., Eulenstein, F., Mirschel, W., Willms, M., Dalchow, C., Augustin, J. (2008):** The environmental effects of global changes on Northeast Central Europe in the case of non-modified agricultural management. - *Landscape Online*
- Wittchen, U, Chmielewski, F-M.(2003):** Das Mikroklima in Winterroggenbeständen, *Agrarmeteorologische Schriften*, Berlin
- Zebisch, M., Grothmann, T., Schröter, D., Hasse, C., Fritsch, U., Cramer, W. (2005):** Klimawandel in Deutschland - Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme, *Forschungsbericht 201 41 253*, Umweltbundesamt
- Zeitz, J. (1997):** Zur Geochemie von Mooren. In *Geochemie und Umwelt*, S. 75-94

## Anhang

Dem Landesumweltamt (AG) liegen die Protokolle personenbezogen vor.

Es wird an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die Antworten im Rahmen der Veröffentlichung anonym wiedergegeben werden.

## Auswertung der Expertengespräche

	Fragen	N 1
1.	Wie hoch schätzen Sie die Vulnerabilität des Landes Brandenburg hinsichtlich des prognostizierten Klimawandels im Handlungsfeld Boden ein?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- hoch, wegen der naturräumliche Rahmenbedingungen --&gt; sandige Böden, wenig Niederschlag (aktuell)</li> <li>- nach Prognose: andere Niederschlagsverteilung (Winter ↑; Sommer ↓) ungünstig</li> </ul>
2.	In welchen Zeiträumen erwarten Sie klimabedingte Veränderungen von Bodenfunktionen?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- kurzräumig (letzten 15 Jahre) keine messbaren Veränderungen in laufenden Projekten (BTU-Cottbus) erkennbar</li> <li>- aufgrund hoher Variabilität der Niederschläge innerhalb der letzten Jahre (letzten drei Jahre sehr feucht, 2003 Trockenjahr)</li> </ul>
3.	Wie stark schätzen Sie die Betroffenheit der folgenden Indikationsfelder des Bodens hinsichtlich der prognostizierten Klimaänderungen ein?	
	Änderungen im Bodenwasserhaushalt	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 5 (starke Beeinflussung gegeben)</li> <li>- regionsspezifisch</li> <li>- südliches Brandenburg trockenheitsgefährdet (aktuelles Gefährdungspotential hoch, weitere Verschärfung durch prognostizierte Klimaveränderung gegeben)</li> </ul>
	Änderungen der Bodentemperatur/energiehaushalt	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 0-1 (keine)</li> <li>- wenig bis vernachlässigbar, da stark von der Bodenbewirtschaftung abhängig (z.B. Mais deckt den Boden nicht ab, dadurch schnellere Erwärmung des Bodens)</li> </ul>
	Änderungen im Bodenstoffhaushalt	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 0-1 (keine)</li> <li>- stärkere Beeinflussung durch die Nutzung als durch klimatische Einflüsse</li> </ul>
	Änderungen der Boden-/Humusstrukturen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2 (vernachlässigbar)</li> <li>- aktuell geringe Gehalte in sandigen Böden</li> <li>- komplexer Wirkungszusammenhang: Faktoren, wie Wasserverfügbarkeit und Temperatur können unterschiedliche Mechanismen auslösen               <ul style="list-style-type: none"> <li>o Temp ↑ + Wasser ↓ = C Anreicherung</li> <li>o Temp ↓ + Wasser ↑ = C</li> </ul> </li> </ul>

Fragen	N 2
1. Wie hoch schätzen Sie die Vulnerabilität des Landes Brandenburg hinsichtlich des prognostizierten Klimawandels im Handlungsfeld Boden ein?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- allg. die höchste Deutschlands (besonders Wasserhaushalt)</li> <li>- nicht stark anfällig für Erosion, da Hangneigungen, -längen und Substrat günstig (Starkregen trotzdem wirksam)</li> <li>- Winderosionsanfälligkeit stärker, da wenig Hindernisse und große Flächen (stark)</li> </ul>
2. In welchen Zeiträumen erwarten Sie klimabedingte Veränderungen von Bodenfunktionen?	- Böden reagieren sehr langsam auf klimatische Veränderungen
3. Wie stark schätzen Sie die Betroffenheit der folgenden Indikationsfelder des Bodens hinsichtlich der prognostizierten Klimaänderungen ein?	
Änderungen im Bodenwasserhaushalt	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 5 (starke Betroffenheit)</li> <li>- weniger Niederschlag</li> </ul>
Änderungen der Bodentemperatur/energiehaushalt	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2 (geringe Betroffenheit)</li> <li>- bei trockenen Böden ist die Temperatur nur in den obersten Zentimetern hoch darunter wieder normal, da Luft ein schlechter Wärmeleiter</li> <li>- unter Wald Schattenbedingungen → weniger Betroffenheit</li> </ul>
Änderungen im Bodenstoffhaushalt	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Humusakkumulation (Effekte des Klimas wird durch Nutzung überlagert)</li> <li>- erhöhter Stoffumsatz muss nicht sein, o Temp ↑ + Wasser ↓ = C Anreicherung</li> </ul>
Änderungen der Boden-/Humusstrukturen	

Fragen	N 3
1. Wie hoch schätzen Sie die Vulnerabilität des Landes Brandenburg hinsichtlich des prognostizierten Klimawandels im Handlungsfeld Boden ein?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- hoch, besonders gefährdet grundwasserferne Standorte, Böden mit wenig org. Substanz, grobkörnige Sandböden (Wasserhaushalt → Trockenheit)</li> <li>- Regional: Altpleistozän, grobkörnige Böden in Urstromtälern</li> </ul>
2. In welchen Zeiträumen erwarten Sie klimabedingte Veränderungen von Bodenfunktionen?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ab 2040 bei Entwicklung nach Szenario A1B</li> <li>- längere Zeiträume, da Böden größere Trägheit gegenüber Veränderung (langsame Reaktion)</li> </ul>
3. Wie stark schätzen Sie die Betroffenheit der folgenden Indikationsfelder des Bodens hinsichtlich der prognostizierten Klimaänderungen ein?	
Änderungen im Bodenwasserhaushalt	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 5 (stark)</li> <li>- Verfügbarkeit geringer vor allem im Sommer</li> <li>- wachstumslimitierender Faktor</li> </ul>
Änderungen der Bodentemperatur/energiehaushalt	
Änderungen im Bodenstoffhaushalt	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2 (vernachlässigbar)</li> <li>- geringere Sickerraten</li> <li>→ höhere Akkumulation vor allem Stickstoff</li> <li>→ geringere Versauerung (weil Basen nicht ausgetragen)</li> </ul>
Änderungen der Boden-/Humusstrukturen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 3 (deutlich messbar)</li> <li>- Wärmehaushaltsänderung Beeinflussung der Mineralisierung der OBS</li> </ul>

Fragen	N 4
1. Wie hoch schätzen Sie die Vulnerabilität des Landes Brandenburg hinsichtlich des prognostizierten Klimawandels im Handlungsfeld Boden ein?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Brandenburg eher im gemäßigten Klima</li> <li>- Einrichten auf Extrema (Extremwetterereignisse)</li> <li>- In Modellen bisher keine Extremereignisse berücksichtigt, deshalb kann Vulnerabilität höher sein</li> </ul>
2. In welchen Zeiträumen erwarten Sie klimabedingte Veränderungen von Bodenfunktionen?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- keine klimabedingten Veränderungen erwartet</li> <li>- Nutzungsbedingte Veränderungen sind unter Ackerbewirtschaftung periodisch (kurzfristiger) und größer</li> <li>- Klimaveränderung langsamer Prozess deshalb können Landwirte Nutzung anpassen, aber auf Extremereignisse</li> </ul>
3. Wie stark schätzen Sie die Betroffenheit der folgenden Indikationsfelder des Bodens hinsichtlich der prognostizierten Klimaänderungen ein?	
Änderungen im Bodenwasserhaushalt	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 3 (deutlich messbar)</li> <li>- Extrema sind wichtiger</li> </ul>
Änderungen der Bodentemperatur/energiehaushalt	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 3 (deutlich messbar)</li> </ul>
Änderungen im Bodenstoffhaushalt	<ul style="list-style-type: none"> <li>- (3) muss differenziert betrachtet werden, je nach Szenario z.B.</li> <li>o Temp ↑ + Wasser ↑ = starke Beeinflussung des Bodenstoffhaushaltes</li> </ul>
Änderungen der Boden-/Humusstrukturen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 1 (keine)</li> <li>- Nutzung (politisch beeinflusst) ist ausschlaggebender als Klima für Veränderung</li> </ul>

Fragen	N 5
1. Wie hoch schätzen Sie die Vulnerabilität des Landes Brandenburg hinsichtlich des prognostizierten Klimawandels im Handlungsfeld Boden ein?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2 bis 3 (nicht ohne weiteres messbar)</li> <li>- 2 für: Niederschlagssumme ändert sich nicht eher die Verteilung, deshalb auch höher Grundwasserneubildung möglich</li> <li>- 3 für: Starke Anfälligkeit an Acker- und Grenzertragsstandorten erwartet, überwiegend durch Extre</li> </ul>
2. In welchen Zeiträumen erwarten Sie klimabedingte Veränderungen von Bodenfunktionen?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- &gt; 40 Jahre (für Bodenstruktur und Corg), sehr langsamer Prozeß</li> <li>- Ertragsfähigkeit könnte sich schneller ändern</li> </ul>
3. Wie stark schätzen Sie die Betroffenheit der folgenden Indikationsfelder des Bodens hinsichtlich der prognostizierten Klimaänderungen ein?	
Änderungen im Bodenwasserhaushalt	- 3 (deutlich messbar)
Änderungen der Bodentemperatur/energiehaushalt	- müsste steigen (schwer messbar)
Änderungen im Bodenstoffhaushalt	- sehr unspezifisch, da alles stetigen Veränderungen unterliegt
Änderungen der Boden-/Humusstrukturen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- eher eine Verschlechterung, weil weniger Kryoturbation, weniger Corg und Bodenleben wegen zu geringer Bodenfeuchte</li> <li>- außerdem: Zunahme an Hydrophobie (wichtig!!)</li> </ul>

Fragen	N 6
1. Wie hoch schätzen Sie die Vulnerabilität des Landes Brandenburg hinsichtlich des prognostizierten Klimawandels im Handlungsfeld Boden ein?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Induzierter Nutzungswechsel durch Klimawandel bedingt (deshalb Klimawechsel schwer differenzierbar)</li> <li>- Böden können historische Landnutzung abbilden/aufzeigen (Archivfunktion), z.B. Wölbäcker, Beackerung der sandigen Hochflächen vor Entwässerungsmaßnahmen</li> </ul>
2. In welchen Zeiträumen erwarten Sie klimabedingte Veränderungen von Bodenfunktionen?	- 50-100 Jahre großflächig, kleinflächig in den nächsten Jahren bei klimabedingter Zunahme von Starkregenereignissen
3. Wie stark schätzen Sie die Betroffenheit der folgenden Indikationsfelder des Bodens hinsichtlich der prognostizierten Klimaänderungen ein?	
Änderungen im Bodenwasserhaushalt	- Erheblich falls Niederschlagssummen zurückgehen, verstärkter Oberflächenabfluss bedingt durch Zunahme von Starkregenereignissen → Ernteausfälle
Änderungen der Bodentemperatur/energiehaushalt	<ul style="list-style-type: none"> <li>- müsste steigen, deutlich messbar</li> <li>- hängt von Sonnenscheindauer ab</li> </ul>
Änderungen im Bodenstoffhaushalt	
Änderungen der Boden-/Humusstrukturen	- Änderungen der Humusform in den letzten 30 Jahren festgestellt und für die Zukunft zu erwarten. Mögliche Zunahme der Auflagen

Fragen	N 7
1. Wie hoch schätzen Sie die Vulnerabilität des Landes Brandenburg hinsichtlich des prognostizierten Klimawandels im Handlungsfeld Boden ein?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hohe Vulnerabilität, vor allem Moorböden</li> <li>- Humus- und Wassergehalt besonders gefährdet</li> <li>- Zersetzung der OBS in Moorböden, bei GW-Absenkung</li> </ul>
2. In welchen Zeiträumen erwarten Sie klimabedingte Veränderungen von Bodenfunktionen?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bodentypabhängig</li> <li>- Moore und hydromorphe Böden reagieren schneller auf Veränderungen &lt; 10 Jahre</li> <li>- Terrestrische Böden &gt; 10 Jahre</li> </ul>
3. Wie stark schätzen Sie die Betroffenheit der folgenden Indikationsfelder des Bodens hinsichtlich der prognostizierten Klimaänderungen ein?	
Änderungen im Bodenwasserhaushalt	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 4 (erheblich)</li> <li>- Moore vor allem</li> <li>- Sinkende GW-Stände → erhebliche Auswirkungen</li> </ul>
Änderungen der Bodentemperatur/energiehaushalt	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 4 (erheblich) Moore</li> <li>- Moore → dunkle Böden → höhere Aufwärmung</li> </ul>
Änderungen im Bodenstoffhaushalt	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 4 (erheblich) Moore</li> <li>- Zersetzung der organischen Substanz → schnellere Verlagerung von Stoffen</li> <li>- Ansteigende P-Gehalte im Oberboden bei Zersetzung der OBS</li> <li>- Phosphat kann bei Wiedervernässung zur Eutrophierung führen</li> </ul>
Änderungen der Boden-/Humusstrukturen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 4 (erheblich) Moore</li> <li>- Zersetzung OBS</li> </ul>

Fragen	N 8
1. Wie hoch schätzen Sie die Vulnerabilität des Landes Brandenburg hinsichtlich des prognostizierten Klimawandels im Handlungsfeld Boden ein?	- 4 - 5 (hoch) - Hinsichtlich der Bodenfeuchte im Oberboden und daraus resultierender Prozesse wie Humus- und Moorbodenschwund am höchsten in Deutschland
2. In welchen Zeiträumen erwarten Sie klimabedingte Veränderungen von Bodenfunktionen?	- Bezogen auf Humus- und Moorbodenschwund laufen die Veränderungen ständig ab. Es ist schwer trennbar, welcher Anteil daran noch vom Menschen und welcher Anteil daran bereits vom Klima ausgelöst wurden. Meinem Erachten nach ist der Klimaanteil gegenwärtig
3. Wie stark schätzen Sie die Betroffenheit der folgenden Indikationsfelder des Bodens hinsichtlich der prognostizierten Klimaänderungen ein?	
Änderungen im Bodenwasserhaushalt	- 4 – 5 (hoch)
Änderungen der Bodentemperatur/energiehaushalt	- 3 (deutlich messbar)
Änderungen im Bodenstoffhaushalt	
Änderungen der Boden-/Humusstrukturen	- 4 – 5 (hoch)

Fragen	N 9
1. Wie hoch schätzen Sie die Vulnerabilität des Landes Brandenburg hinsichtlich des prognostizierten Klimawandels im Handlungsfeld Boden ein?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 3 (deutlich messbar)</li> <li>- stark betroffen Grundwasser</li> <li>- direkt betroffen Produktionsfähigkeit, da Brandenburg landwirtschaftlich geprägt</li> </ul>
2. In welchen Zeiträumen erwarten Sie klimabedingte Veränderungen von Bodenfunktionen?	- 5-10 Jahre Veränderungen werden deutlich, aber nicht statistisch signifikant
3. Wie stark schätzen Sie die Betroffenheit der folgenden Indikationsfelder des Bodens hinsichtlich der prognostizierten Klimaänderungen ein?	
Änderungen im Bodenwasserhaushalt	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 3 (deutlich messbar)</li> <li>- niedrige Bodenfeuchte im Sommer (oberste Bodenschicht am betroffensten)</li> <li>- Bauern bewässern wieder im Sommer</li> <li>- Winterfeuchte vernachlässigbar</li> </ul>
Änderungen der Bodentemperatur/energiehaushalt	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 3 (deutlich messbar)</li> <li>- höhere Temperaturen → größere Verdunstung</li> <li>- Wintertemperatur vernachlässigbar</li> <li>- Zusammenhang besseres Pflanzenwachstum und höhere Temperaturen → nur bei ausreichend Wasserzufuhr (Bewässerung) gegeben</li> </ul>
Änderungen im Bodenstoffhaushalt	
Änderungen der Boden-/Humusstrukturen	

Fragen	N 10
1. Wie hoch schätzen Sie die Vulnerabilität des Landes Brandenburg hinsichtlich des prognostizierten Klimawandels im Handlungsfeld Boden ein?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- andere Lichtverhältnisse als im Süden von Europa</li> <li>- 60% Geschiebedecksande → geringe Wasserhaltekapazität</li> <li>- 40% hydromorphe Böden → durch Extrema (feuchte/warme Episoden) stärkere Mineralisierung, erhöhter N-Austrag möglich (geringes Pufferpotenzial von</li> </ul>
2. In welchen Zeiträumen erwarten Sie klimabedingte Veränderungen von Bodenfunktionen?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- nach 50 Jahren stellt sich wahrscheinlich neues C-Gleichgewicht im Boden ein</li> <li>- Starkregenereignisse treten punktuell und kurzzeitig auf (z. B. Gullyerosion)</li> <li>- jährliche Veränderungen in Mooren relativ groß ( bis 7 cm Torfabbau pro Jahr in Griechenland d</li> </ul>
3. Wie stark schätzen Sie die Betroffenheit der folgenden Indikationsfelder des Bodens hinsichtlich der prognostizierten Klimaänderungen ein?	
Änderungen im Bodenwasserhaushalt	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 3 (deutlich messbar)</li> <li>- Extrem in Brandenburg aufgrund starker Verbreitung sandiger - und hydromorph beeinflusster Standorte</li> </ul>
Änderungen der Bodentemperatur/energiehaushalt	<ul style="list-style-type: none"> <li>- hängt vom Wasser ab</li> <li>- wenn naß → kalt</li> <li>- wenn trocken → heiß</li> </ul>
Änderungen im Bodenstoffhaushalt	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nitrifizierung → durch warme und feuchte Herbstzeit</li> <li>- Lachgasfreisetzung</li> <li>- Veröffentlichung von John Couwenberg in Wetland International</li> </ul>
Änderungen der Boden-/Humusstrukturen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sandböden gefährdet</li> <li>- Humusgehalt ändert sich als Folge von wechselndem Bodenwasserhaushalt (zeitversetzt)</li> </ul>

Fragen	N 11
1. Wie hoch schätzen Sie die Vulnerabilität des Landes Brandenburg hinsichtlich des prognostizierten Klimawandels im Handlungsfeld Boden ein?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- deutliche Umverteilung der Niederschläge von Sommer zu Herbst/Winter</li> <li>- wichtig ist die Niederschlagsverteilung im Vorsommer (Mitte April bis Ende Mai)</li> <li>- Extrema wichtig → kurze Trockenperioden können bei optimalen Bodenfruchtbarkeitszustand (optimale Hum</li> </ul>
2. In welchen Zeiträumen erwarten Sie klimabedingte Veränderungen von Bodenfunktionen?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- bei guter fachlicher Praxis bis 2015 keine Veränderung → unter Voraussetzung Stroh verbleibt auf Ackerfläche, Gärrest wird als organischer rückgeführt</li> <li>- Ertragssicherheit bei guten Bedingungen in Brb. gegeben → Böden mit guten Bodenfruchtbarkeitszustan</li> </ul>
3. Wie stark schätzen Sie die Betroffenheit der folgenden Indikationsfelder des Bodens hinsichtlich der prognostizierten Klimaänderungen ein?	
Änderungen im Bodenwasserhaushalt	<ul style="list-style-type: none"> <li>- wird nicht besser (Konflikt verschärft sich)</li> <li>- durch Pflugbearbeitung schlechtere Infiltrationsleistung</li> <li>- Südbrandenburg im Moment GW-Anstieg</li> <li>- Moorschwind durch sinkende GW-Stände</li> </ul>
Änderungen der Bodentemperatur/energiehaushalt	
Änderungen im Bodenstoffhaushalt	<ul style="list-style-type: none"> <li>- keine Veränderung (Dauerversuchen K, P optimal gehalten)</li> <li>- beim LVLF Daten vorhanden → keine Prognose möglich</li> <li>- bei organischer Düngung bisher keine Veränderungen festgestellt</li> </ul>
Änderungen der Boden-/Humusstrukturen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Raps wirkt sich günstig auf Humushaushalt → weil Stroh auf Acker bleibt</li> <li>- GW-Absenkung problematisch für Moore → Veränderung der Humusstruktur</li> </ul>

Fragen	N 12
1. Wie hoch schätzen Sie die Vulnerabilität des Landes Brandenburg hinsichtlich des prognostizierten Klimawandels im Handlungsfeld Boden ein?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Brandenburg und Sachsen-Anhalt stark betroffen</li> <li>- auf die Erträge in der Landwirtschaft keine negativen Einflüsse → nach Untersuchungen von L.Müller gab es in den letzten Jahren Ertragszuwächse trotz geringeren Wasserdargebotes</li> <li>- zunehmende CO<sub>2</sub> Düngung →</li> </ul>
2. In welchen Zeiträumen erwarten Sie klimabedingte Veränderungen von Bodenfunktionen?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- deutliche Veränderungen in den nächsten 50 Jahren</li> <li>- nur Temperaturanstieg ist gesichert</li> <li>- Niederschlagsveränderungen sind noch nicht gesichert</li> </ul>
3. Wie stark schätzen Sie die Betroffenheit der folgenden Indikationsfelder des Bodens hinsichtlich der prognostizierten Klimaänderungen ein?	
Änderungen im Bodenwasserhaushalt	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Änderung der Pflanzenversorgung</li> <li>- Regional unterschiedlich</li> <li>- auf Müncheberger Messstation weniger Sickerwasser bei Rückgang der Niederschläge</li> <li>- höhere Auswirkungen auf Böden mit größerem Speichervermögen (Lehm- und Tonböden)</li> <li>- Sandböden wahrscheinlich</li> </ul>
Änderungen der Bodentemperatur/energiehaushalt	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Anstieg der Bodentemperatur</li> <li>- mit zunehmender Tiefe abgepuffert</li> </ul>
Änderungen im Bodenstoffhaushalt	<ul style="list-style-type: none"> <li>- bei gleichbleibender Düngung und geringeren Erträgen → mehr Austrag</li> <li>- bei viel Sickerwasser (besonders im Winter) → geringere Konzentration</li> <li>- bei weniger Sickerwasser → höhere Konzentration</li> <li>- hängt vom Management ab</li> </ul>
Änderungen der Boden-/Humusstrukturen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- bei keiner Änderung der Landnutzung kaum menschlicher Einfluss</li> <li>- inerter Humus vom Menschen nicht beeinflussbar</li> <li>- inerter Humus wichtig für Bodenleben, Speicherung von Nährstoffen</li> <li>- inerter Humus nicht wichtig für Erträge</li> </ul>

Fragen	N13
1. Wie hoch schätzen Sie die Vulnerabilität des Landes Brandenburg hinsichtlich des prognostizierten Klimawandels im Handlungsfeld Boden ein?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Moorböden stärker betroffen, machen aber nur 5% der Fläche aus</li> <li>- sandige Böden weniger stark betroffen</li> <li>- Ertragsfunktion wird beeinträchtigt (Landwirtschaft, Acker)</li> <li>- Forstfunktion wird beeinträchtigt (Forst)</li> </ul>
2. In welchen Zeiträumen erwarten Sie klimabedingte Veränderungen von Bodenfunktionen?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- mindestens 30 Jahre, z. B. für Moore wichtig mittlerer Wasserstand</li> <li>- Ertragsfunktion sinkt sofort bei Trockenheit</li> <li>- kurzfristige Änderungen durch Witterungseinfluss</li> <li>- Differenzierung zwischen Klima und Witterung</li> </ul>
3. Wie stark schätzen Sie die Betroffenheit der folgenden Indikationsfelder des Bodens hinsichtlich der prognostizierten Klimaänderungen ein?	
Änderungen im Bodenwasserhaushalt	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 5 (stark)</li> <li>- sandige Böden reagieren aufgrund geringerer Speicherkapazität schneller</li> <li>- schwere Böden reagieren langsamer</li> </ul>
Änderungen der Bodentemperatur/energiehaushalt	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2 (vernachlässigbar)</li> <li>- vielleicht nach Klimazyklus (30 Jahre) feststellbar</li> </ul>
Änderungen im Bodenstoffhaushalt	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Moore reagieren am stärksten (C-Mineralisierung bei GW-Rückgang)</li> <li>- Sandige Böden reagieren kaum da wenig C vorhanden</li> </ul>
Änderungen der Boden-/Humusstrukturen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- C wird möglicherweise sinken</li> <li>- keine Aussage zu Humusstrukturen möglich</li> </ul>

Fragen	N 14
1. Wie hoch schätzen Sie die Vulnerabilität des Landes Brandenburg hinsichtlich des prognostizierten Klimawandels im Handlungsfeld Boden ein?	- 3 (deutlich messbar)
2. In welchen Zeiträumen erwarten Sie klimabedingte Veränderungen von Bodenfunktionen?	- ab 2040
3. Wie stark schätzen Sie die Betroffenheit der folgenden Indikationsfelder des Bodens hinsichtlich der prognostizierten Klimaänderungen ein?	
Änderungen im Bodenwasserhaushalt	- 3 (deutlich messbar)
Änderungen der Bodentemperatur/energiehaushalt	- 3 (deutlich messbar)
Änderungen im Bodenstoffhaushalt	- 2 (vernachlässigbar)
Änderungen der Boden-/Humusstrukturen	- 2 (vernachlässigbar)

Fragen	N 1
4. Wie hoch bemessen Sie die künftigen Gefährdungen/ Schäden durch Klimaveränderungen in folgenden Bereichen?	
Schadstoffmobilisierung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 1 (keine)</li> <li>- Weil der Schadstofftransport u.a. stark vom Bodenwasserhaushalt abhängt.</li> </ul>
Bodenversauerung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 1 (keine)</li> <li>- Versauerung an kühlere, feuchtere Regionen</li> </ul>
Bodenversiegelung / Verschlammung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2 (vernachlässigbar)</li> <li>- hängt von Nutzung ab (unter Wald keine Verschlammung)</li> </ul>
Bodenverdichtung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 1 (keine)</li> <li>- hängt stärker von Nutzung ab</li> </ul>
Erosion	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 3 (deutlich messbar)</li> <li>- erhöhtes Wind/Wassererosionsrisiko in Brandenburg gegeben, da wenig Hindernisse bzw. in Vegetationsfreier Zeit keine kaum Bodenbedeckung vorhanden (Abhängig von Nutzungsform)</li> </ul>
Rückgang der organischen Substanz	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 1 (keine)</li> <li>- siehe Frage 3</li> </ul>
Rückgang der biologischen Vielfalt im Boden	
Versalzung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- lokal könnte es zunehmen (Forschungsarbeiten beim LBGR)</li> <li>- z.B. auch auf Kippböden Auswaschung/Verlagerung von Salzen (Gips) nicht mehr möglich (bei geringeren Niederschlägen) oder nur über längeren Zeitraum</li> </ul>
Überschwemmungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 1 (kaum)</li> <li>- lokal → Oder/Neiße, Ostbrandenburg</li> </ul>
Erdrutsche	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 0 (keine)</li> <li>- geringes Relief</li> </ul>

Fragen	N 2
Wie hoch bemessen Sie die künftigen Gefährdungen/ Schäden durch Klimaveränderungen in folgenden Bereichen?	
Schadstoffmobilisierung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 0 (keine)</li> <li>- da weniger Wasser vorhanden ist</li> </ul>
Bodenversauerung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 0 (keine)</li> <li>- zu wenig Wasser</li> <li>- wärmeres Wasser nimmt weniger Säure auf</li> <li>- abhängig von atmosphärischen Depositionen</li> </ul>
Bodenversiegelung / Verschlammung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- im Wald keine Gefährdung</li> <li>- im Zuge von Versalzung möglich</li> </ul>
Bodenverdichtung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 0 (keine)</li> </ul>
Erosion	<ul style="list-style-type: none"> <li>- unter Wald schließt sich Erosion aus</li> <li>- kein Niederschlag, keine Hangneigung/-länge geringe Wassererosion</li> <li>- Extremwetterereignisse können zu Erosion führen</li> <li>- Winderosionsgefahr könnte zunehmen auf Ackerstandorten</li> </ul>
Rückgang der organischen Substanz	
Rückgang der biologischen Vielfalt im Boden	
Versalzung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 1 (gering)</li> <li>- besonders trockenen Regionen möglich</li> <li>- Nutzungsbedingte (durch NPK Dünger)</li> <li>- wenn vorhanden, dann Destabilisierung des Gefüges</li> </ul>
Überschwemmungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2 (vernachlässigbar)</li> <li>- Frage des Niederschlagseinzugsgebietes</li> <li>- Brandenburger Böden sind hoch wasserleitend (schnelle Versickerung)</li> <li>- Starkregenereignisse können zu Oberflächenabfluss führen</li> </ul>
Erdrutsche	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 0 (keine)</li> <li>- geringe Hangneigungen/-länge</li> </ul>

Fragen	N 3
Wie hoch bemessen Sie die künftigen Gefährdungen/ Schäden durch Klimaveränderungen in folgenden Bereichen?	
Schadstoffmobilisierung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 1 (keine)</li> <li>- Humusabbau befördert Mobilisierung z.B. von Eisen</li> </ul>
Bodenversauerung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2 (vernachlässigbar)</li> <li>- Brandenburg spezielles Beispiel</li> <li>- von BZE I zu BZE II starke Versauerungserscheinung, aufgrund ausbleibender Kalkung</li> <li>→ bei BZE I noch nachweisbare anthropogene Baseneinträge vorhanden</li> </ul>
Bodenversiegelung / Verschlammung	
Bodenverdichtung	
Erosion	<ul style="list-style-type: none"> <li>- unter Wald keine Erosionserscheinung</li> </ul>
Rückgang der organischen Substanz	<ul style="list-style-type: none"> <li>- siehe Frage fünf</li> </ul>
Rückgang der biologischen Vielfalt im Boden	
Versalzung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2 (vernachlässigbar)</li> <li>- kann unter semiariden Bedingungen durchaus zum Tragen kommen</li> </ul>
Überschwemmungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2 (vernachlässigbar)</li> <li>- in Auenstandorten</li> </ul>
Erdbeben	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2 (vernachlässigbar)</li> <li>- Verständnisfrage: Was war die Begründung für diese Bewertung?</li> </ul>

Fragen	N 4
Wie hoch bemessen Sie die künftigen Gefährdungen/ Schäden durch Klimaveränderungen in folgenden Bereichen?	
Schadstoffmobilisierung	- 1 (keine)
Bodenversauerung	- 1 (keine)
Bodenversiegelung / Verschlammung	- 1 (keine)
Bodenverdichtung	- 1 (keine)
Erosion	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 1 (keine)</li> <li>- aber Extrema beachten (wenn Starkniederschlag bei Trockenheit und geringem Bedeckungsgrad dann hohe Anfälligkeit)</li> <li>- Bewirtschaftungsform ausschlaggebend (auch historische Bewirtschaftungsform)</li> </ul>
Rückgang der organischen Substanz	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 1 (keine)</li> <li>- Fruchtfolge ausschlaggebender</li> </ul>
Rückgang der biologischen Vielfalt im Boden	
Versalzung	- 1 (keine)
Überschwemmungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2 (vernachlässigbar)</li> <li>- in Auenstandorten</li> </ul>
Erdrutsche	- 1 (keine)

Fragen	N 5
Wie hoch bemessen Sie die künftigen Gefährdungen/ Schäden durch Klimaveränderungen in folgenden Bereichen?	
Schadstoffmobilisierung	- 1 (keine)
Bodenversauerung	- 1 (keine)
Bodenversiegelung / Verschlammung	
Bodenverdichtung	- nutzungsbedingt, bei trockneren Böden erhöht sich die Tragfähigkeit, die Verdichtungsneigung könnte leicht abnehmen
Erosion	- Erosionsgefährdung nimmt durch Starkregenfälle zu - Winderosion nimmt zu: mehr Starkwindereignisse und stärkere Austrocknung des Oberbodens
Rückgang der organischen Substanz	Beim Acker: Corg wird insgesamt weniger infolge von Trockenheit, bei Sand und Lehm wird die Abnahme stärker eintreten als beim Schluff, weil die Pflanzenwasserversorgung (einschließlich Wurzelwachstum) beim S and L stärker durch Trockenheit eingeschränkt
Rückgang der biologischen Vielfalt im Boden	
Versalzung	- Bei unseren Breiten bislang vernachlässigbar, könnte ggf. bei schluffigen Sanden eintreten, wo beide Faktoren wirken: kaum Versickerung und hohe Düngung
Überschwemmungen	- deutlich messbar - lokal begrenzt (Oder) - bessere Auenbewirtschaftung nötig
Erdrutsche	- kaum, wenn dann in Endmoränenlandschaften

Fragen	N 6
Wie hoch bemessen Sie die künftigen Gefährdungen/ Schäden durch Klimaveränderungen in folgenden Bereichen?	
Schadstoffmobilisierung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- unter Nadelwaldbedingungen Wachstum der Humusauflage</li> <li>- Niederschlag fehlt → Zunahme der OBS</li> <li>- Für Moore Entwicklung entgegengesetzt → Eutrophierung von Gewässern durch Mineralisierung von Torfen möglich</li> <li>- Mobilität wird abnehmen (trockene Konservierung)</li> </ul>
Bodenversauerung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Abhängig von Nutzung (Nadelwald oder Mischwald)</li> <li>- Podsolierung beginnt schnell unter Kiefern</li> <li>- Versauerung auch abhängig von Luftqualität</li> </ul>
Bodenversiegelung / Verschlammung	
Bodenverdichtung	
Erosion	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Erheblich (auf Ackerflächen, z.B. Radewege)</li> <li>- Erosionsgefährdung nimmt durch Starkregenfälle zu</li> <li>- Winderosion bei längeren Trockenzeiten zunehmend</li> </ul>
Rückgang der organischen Substanz	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Abnahme der Bodenmächtigkeit um 1 cm durch GW-Absenkung und folgender C-Mineralisation (für Moore)</li> <li>- Bei Zunahme der Winderosion auch Verarmung an Humussubstanz in Ackerkrume</li> </ul>
Rückgang der biologischen Vielfalt im Boden	
Versalzung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Derzeit einzelne Stellen in Brandenburg mit Salzböden, könnten sich ausbreiten (z.B. in abflusslosen Niederungen)</li> <li>- Bei unangepasster GW-Nutzung und natürlich bedingter Süßwasserabnahme → größere Entnahme von Süßwasser als Neubildung führt zu einem Anst</li> </ul>
Überschwemmungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nur in Auenstandorten relevant (z.B. Oder, Elbe)</li> <li>- Vorwiegend an Flüssen die in Gebirgen entspringen → Einzugsgebiet berücksichtigen</li> <li>- Bessere Auenbewirtschaftung nötig z.B. künstliche Wasserstandsregulierung im Spreewald (siehe Extremsommer 2003)</li> </ul>
Erdrutsche	<ul style="list-style-type: none"> <li>- In alten Tagebaugebieten ohne Böschungssanierung (-sicherung)</li> <li>- Eher Nutzungsbedingt</li> <li>- Vom Relief geht keine Gefährdung aus, nur Abspülungen erosionsbedingt</li> </ul>

Fragen	N 7
Wie hoch bemessen Sie die künftigen Gefährdungen/ Schäden durch Klimaveränderungen in folgenden Bereichen?	
Schadstoffmobilisierung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- indirekt</li> <li>- durch Zersetzung der OBS mögliche Anreicherung mit anschließender Mobilisierung</li> </ul>
Bodenversauerung	- spielt keine große Rolle in Mooren
Bodenversiegelung / Verschlammung	
Bodenverdichtung	- Moorsackung (besonders in Kesselmooren) → bei bereits genutzten Mooren kaum noch Sackung (besonders bei meliorierten Standorten)
Erosion	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lokal z.B. auf Mooren keine Erosion</li> <li>- Rückgang der OBS bewirkt erhöhtes Risiko hinsichtlich der Aggregatstabilität</li> </ul>
Rückgang der organischen Substanz	- Rückgang zu erwarten
Rückgang der biologischen Vielfalt im Boden	- 3 (deutlich messbar)
Versalzung	- 1-2 (keine bis vernachlässigbar)
Überschwemmungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Räumlich eingegrenzt (2 - 3)</li> <li>- Man kann sich daran anpassen</li> </ul>
Erdrutsche	- 1 (keine)

Fragen	N 8
Wie hoch bemessen Sie die künftigen Gefährdungen/ Schäden durch Klimaveränderungen in folgenden Bereichen?	
Schadstoffmobilisierung	
Bodenversauerung	
Bodenversiegelung / Verschlammung	
Bodenverdichtung	- 1 (keine)
Erosion	- ja, ist möglich durch zunehmende Starkniederschläge
Rückgang der organischen Substanz	- 4 – 5 (hoch)
Rückgang der biologischen Vielfalt im Boden	
Versalzung	- ist möglich, aber bis lang nicht nachgewiesen. Siehe EU-LIFE-Binnensalzprojekt des LUA
Überschwemmungen	- ja, durch zunehmende Starkniederschläge
Erdrutsche	- nein, dazu fehlt die Hangneigung in Brandenburg

Fragen	N 9
Wie hoch bemessen Sie die künftigen Gefährdungen/ Schäden durch Klimaveränderungen in folgenden Bereichen?	
Schadstoffmobilisierung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 3 (deutlich messbar)</li> <li>- Zunahme von Nitrat und Pestiziden aufgrund von landwirtschaftlicher Intensivierung (brachliegende Flächen/Grenzertragsstandorte werden wieder genutzt → NPK-Dünger stärker eingesetzt)</li> <li>- bei Starkregen größerer Austrag durch Prefer</li> </ul>
Bodenversauerung	- 1 (keine)
Bodenversiegelung / Verschlammung	
Bodenverdichtung	- 1 (keine)
Erosion	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 3 (deutlich messbar)</li> <li>- längere Trockenheit im Sommer → Anfälligkeit durch Wind-/Wassererosion gegeben</li> <li>- Wassererosion tritt insgesamt nicht so ausgeprägt aus, da nur flache Hangneigungen, es ist aber zu erwarten, dass die Erosion verstärkt auftritt, fa</li> </ul>
Rückgang der organischen Substanz	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2 (vernachlässigbar)</li> <li>- kommt auf Nutzung an</li> </ul>
Rückgang der biologischen Vielfalt im Boden	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2 (vernachlässigbar)</li> <li>- kommt auf Nutzung an</li> </ul>
Versalzung	- durch Intensivierung mögliche Versalzung gegeben aufgrund von erhöhtem Düngemiteleinsatz und Bewässerung im Sommer
Überschwemmungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 1 (keine)</li> <li>- nur an großen Flüssen relevant (Elbe und Oder)</li> <li>- an kleinen Fließgewässern unbedeutend</li> </ul>
Erdrutsche	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 1 (keine)</li> <li>- zu flach</li> <li>- in besonderen Fällen</li> </ul>

Fragen	N 10
Wie hoch bemessen Sie die künftigen Gefährdungen/ Schäden durch Klimaveränderungen in folgenden Bereichen?	
Schadstoffmobilisierung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 3 (deutlich messbar)</li> <li>- Schadstoffe sind an Humusaggregate angelagert, durch längere Trockenheit wird Humusabbau forciert (z.B. Rieselfelder)→ Schadstoffmobilisierung</li> </ul>
Bodenversauerung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 3 (deutlich messbar)</li> <li>- steigt stark an durch steigendes CO2 (Bildung von Kohlensäure)</li> </ul>
Bodenversiegelung / Verschlammung	
Bodenverdichtung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2 (vernachlässigbar)</li> <li>- je schlechter Aggregatstabilität, desto gefährdeter</li> <li>- primär beeinflusst durch Nutzung</li> </ul>
Erosion	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 3 (deutlich messbar)</li> <li>- besonders bei Starkniederschlägen</li> </ul>
Rückgang der organischen Substanz	
Rückgang der biologischen Vielfalt im Boden	
Versalzung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 1 (keine)</li> </ul>
Überschwemmungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2 (vernachlässigbar)</li> </ul>
Erdrutsche	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2 (vernachlässigbar)</li> </ul>

Fragen	N 11
Wie hoch bemessen Sie die künftigen Gefährdungen/ Schäden durch Klimaveränderungen in folgenden Bereichen?	
Schadstoffmobilisierung	
Bodenversauerung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- pH-Werte auf unterdurchschnittlichem Niveau (vernachlässigte Kalkung seit Anfang der 90er Jahre – leichte Erholungstendenz in den letzten Jahren)</li> <li>- gute fachliche Praxis wäre eine turnusmäßige (Fruchtfolge-)Kalkung</li> </ul>
Bodenversiegelung / Verschlammung	
Bodenverdichtung	- ZALF Müncheberg
Erosion	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Starkniederschläge nehmen zu → verstärkte Wassererosion</li> <li>- je trockener und je weniger Bodenbedeckung, desto größer Gefahr der Winderosion</li> </ul>
Rückgang der organischen Substanz	- Nutzungsinduziert (z.B. keine Strohdüngung, keine Ausbringung von Gärresten, verstärkter Maisanbau)
Rückgang der biologischen Vielfalt im Boden	
Versalzung	- könnte bei pflugloser Bodenbearbeitung eine Rolle spielen → Nährstoffe nur in obersten Zentimetern eingearbeitet
Überschwemmungen	- Hochwasserschutz in Niederungen notwendig
Erdrutsche	- bei Hangneigung und Starkregenereignissen (kleiner Maßstab)

Fragen	N 12
4. Wie hoch bemessen Sie die künftigen Gefährdungen/ Schäden durch Klimaveränderungen in folgenden Bereichen?	
Schadstoffmobilisierung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 1 (keine)</li> <li>- höchstens auf Moorstandorten, dort bleiben aber die Stoffe im System → wegen auf und ab des Wasserspiegels</li> </ul>
Bodenversauerung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2 (vernachlässigbar)</li> <li>- kaum Schwefel in der Atmosphäre</li> <li>- durch Kalkung kann entgegengewirkt werden</li> </ul>
Bodenversiegelung / Verschlammung	
Bodenverdichtung	
Erosion	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 3 (deutlich messbar)</li> <li>- hängt stark von Extremereignissen</li> </ul>
Rückgang der organischen Substanz	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 1 (keine)</li> <li>- außer Torfmineralisierung</li> </ul>
Rückgang der biologischen Vielfalt im Boden	
Versalzung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 1 (keine)</li> <li>- momentan auch Salzablagerungen vorhanden → aber keine Gefahr</li> </ul>
Überschwemmungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- zunehmende Gefahr von Überschwemmungen</li> <li>- hängt stark von Extremereignissen</li> </ul>
Erdbeben	<ul style="list-style-type: none"> <li>- hängt stark von Extremereignissen</li> </ul>

Fragen	N 13
4. Wie hoch bemessen Sie die künftigen Gefährdungen/ Schäden durch Klimaveränderungen in folgenden Bereichen?	
Schadstoffmobilisierung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- durch Extremwetterereignisse mehr Stoffverlagerung Eintrag in Vorfluter</li> <li>- Grundwasser geringer gefährdet</li> <li>- Moore verstärkte CO2-Quelle</li> <li>- Mobilisierung der Schadstoffe durch Mineralisierung nicht gegeben da Wasser nur kurzzeitig verfügbar (Extremereignis)</li> </ul>
Bodenversauerung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2 (vernachlässigbar)</li> <li>- relevant für Waldböden</li> </ul>
Bodenversiegelung / Verschlammung	
Bodenverdichtung	
Erosion	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 4 (erheblich)</li> <li>- bestimmt durch Extremereignisse (statistische Frage ob Extremereignisse zunehmen)</li> <li>- Winderosion bei Austrocknung möglich</li> </ul>
Rückgang der organischen Substanz	<ul style="list-style-type: none"> <li>- kann eigentlich nicht schlimmer werden (organische Böden, welche in Nutzung sind schon sehr „ausgelaugt“)</li> </ul>
Rückgang der biologischen Vielfalt im Boden	
Versalzung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 1 (keine)</li> </ul>
Überschwemmungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- lokal möglich (bestimmt durch Extremereignisse)</li> <li>- vor allem in Niederungsgebieten</li> </ul>
Erdbeben	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2 (vernachlässigbar)</li> <li>- marginal</li> </ul>

Fragen	N 14
4. Wie hoch bemessen Sie die künftigen Gefährdungen/ Schäden durch Klimaveränderungen in folgenden Bereichen?	
Schadstoffmobilisierung	- 2 (vernachlässigbar)
Bodenversauerung	- 1 (keine)
Bodenversiegelung / Verschlammung	- 1 (keine)
Bodenverdichtung	- 1 (keine)
Erosion	- 2 (vernachlässigbar)
Rückgang der organischen Substanz	- 2 (vernachlässigbar)
Rückgang der biologischen Vielfalt im Boden	- 2 (vernachlässigbar)
Versalzung	- 1 (keine)
Überschwemmungen	- 2 (vernachlässigbar)
Erdrutsche	- 1 (keine)

**Ministerium für Umwelt,  
Gesundheit und Verbraucherschutz  
des Landes Brandenburg**

**Landesumweltamt Brandenburg**  
Referat Umweltinformation/Öffentlichkeitsarbeit

Seeburger Chaussee 2  
14476 Potsdam OT Groß Glienicke  
Tel. 033201 442 171  
Fax 033201 43678  
E-Mail [infoline@lua.brandenburg.de](mailto:infoline@lua.brandenburg.de)  
[www.lua.brandenburg.de](http://www.lua.brandenburg.de)

