

# FACHTAGUNG

## Klimawandel und seine Folgen für die Umwelt in Hessen

Hessische Wälder im Klimawandel: Wie stabil sind Buche, Eiche, Fichte und Kiefer gegenüber dem Klimawandel?  
Und kann Biochar das Anwuchsverhalten von Neupflanzungen verbessern?

Baumvitalität im Klimawandel auf standörtlicher Grundlage in Hessen. Resilienzeigenschaften der Hauptbaumarten Buche, Eiche, Fichte und Kiefer in Hessen infolge klimatischer Änderungen

Projektlaufzeit: 15.08.2017 – 31.07.2020

Bearbeitung: C. Klinck, J. Eichhorn

Stabilisierung des Anwuchsverhaltens standortgemäßer Kiefer und Hainbuche im Forstamt Lampertheim durch Biochar (ANWUCHS)

Projektlaufzeit: 01.10.2013 bis 31.07.2018

Bearbeitung: M. Listing, J. Eichhorn

# Baumvitalität im Klimawandel auf standörtlicher Grundlage in Hessen.

## Resilienzeigenschaften der Hauptbaumarten Buche, Eiche, Fichte und Kiefer in Hessen infolge klimatischer Änderungen

- Wechselbeziehung zwischen Baum und Umwelt aus Perspektive der Baumreaktion: Verknüpfung mit Standort- und Witterungsdaten
- Suche nach Mustern bei Baumreaktionen
- Wechselwirkungen zwischen Vitalitätsindikatoren (Bsp. Dickenwachstum und Fruktifikation)
  
- Grundlage: Daten der Waldzustandserhebung (WZE)
- Einzelbaumbasierte Betrachtung



# Baumvitalität im Klimawandel auf standörtlicher Grundlage in Hessen.

## Resilienzeigenschaften der Hauptbaumarten Buche, Eiche, Fichte und Kiefer in Hessen infolge klimatischer Änderungen

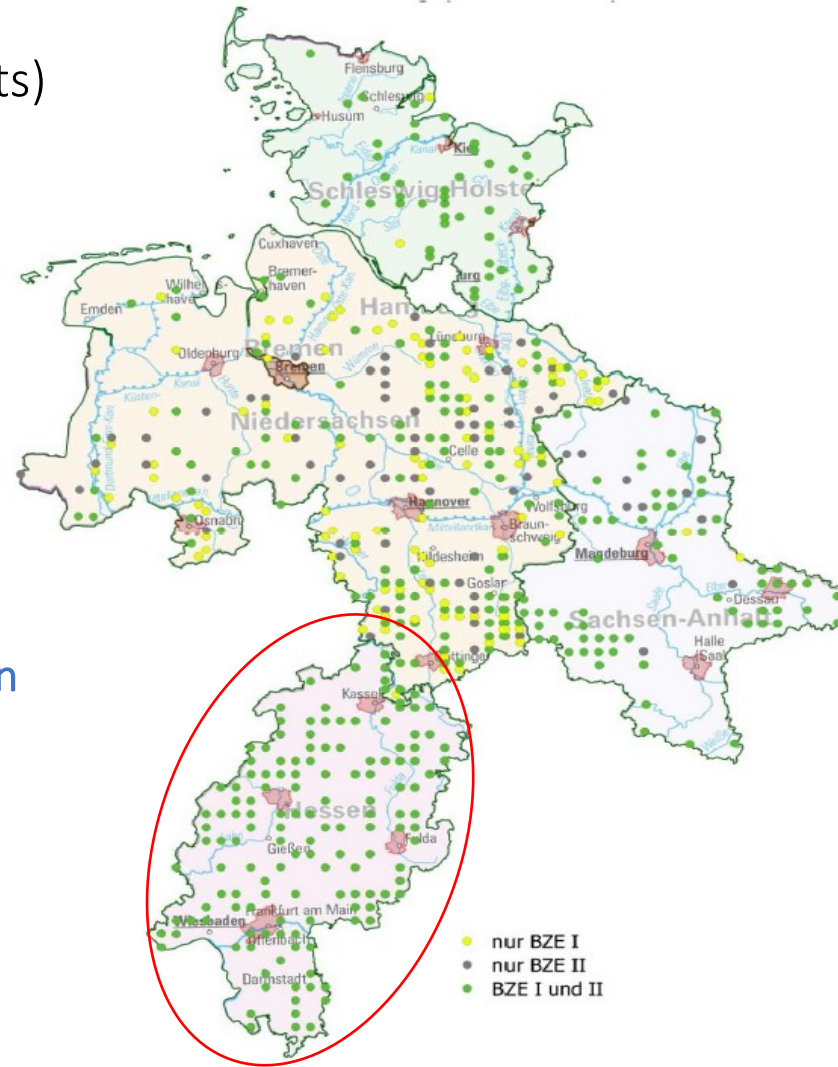
- Wechselbeziehung zwischen Baum und Umwelt aus Perspektive der Baumreaktion: Verknüpfung mit Standort- und Witterungsdaten
- Suche nach Mustern bei Baumreaktionen
- Wechselwirkungen zwischen Vitalitätsindikatoren (Bsp. Dickenwachstum und Fruktifikation)
- Grundlage: Daten der Waldzustandserhebung (WZE)
- Einzelbaumbasierte Betrachtung



WZE:  
Mittlerer Zustand des  
Waldes auf Ebene von  
Bundesländern bis  
maximal Regionen

## Lage der Untersuchungsflächen (Plots)

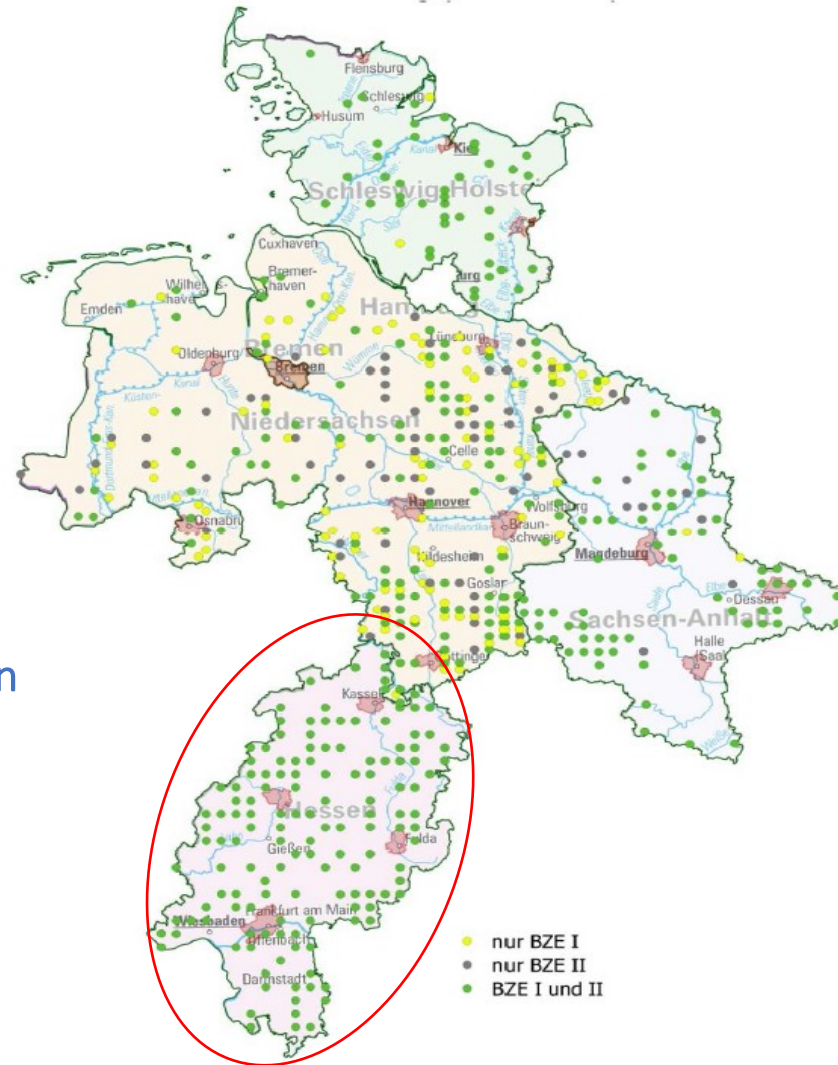
in Hessen,  
ergänzend Niedersachsen,  
Sachsen-Anhalt und  
Schleswig-Holstein



Baumart	Anzahl Plots gesamt	Anzahl Plots Hessen	Anzahl Bäume in Hessen
Buche	135	55	1378
Eiche	41	12	265
Fichte	119	20	1213
Kiefer	185	33	839

Lage der Untersuchungsflächen

in Hessen,  
ergänzend Niedersachsen,  
Sachsen-Anhalt und  
Schleswig-Holstein



Baumart	Anzahl Plots gesamt	Anzahl Plots Hessen	Anzahl Bäume in Hessen
Buche	135	55	1378
Eiche	41	12	265
Fichte	119	20	1213
Kiefer	185	33	839

Informationen zu  
Baumvitalität  
(Kronenverlichtung,  
Fruchtifikation, Schäd-  
lingsbefall, ...),  
Zuwachs bei Buche



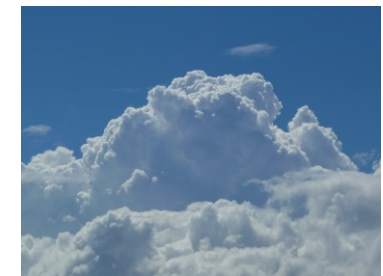
Foto: Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz

Standort  
(Ausgangsubstrat, Boden-  
art, Nährstoffversorgung  
(Trophie), Wasserhaus-  
haltsstufen, ...)



Foto: Spielmann 2018

Witterung  
(Temperatur, Nie-  
derschlag, Global-  
strahlung, ...)



## Hypothesenaufstellung

- Hypothese 1
- Hypothese 2
- Hypothese 3
- ...

## Formulierung von Eingangsthesen

- Fragen aus bisherigen Forschungen
- Fragen aus der Praxis
- Laufende Ergänzungen während der Projektbearbeitung

Hypothesenaufstellung

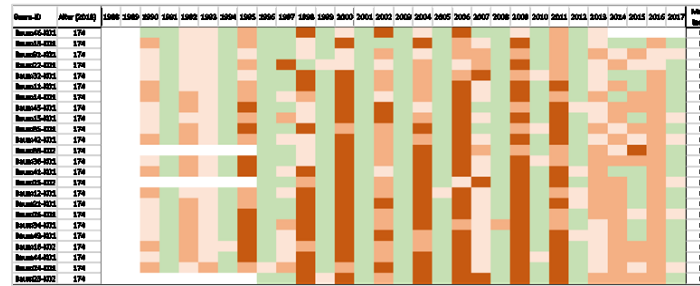


Musterdarstellung und -erkennung

- Hypothese 1
- Hypothese 2
- Hypothese 3
- ...

Formulierung von Eingangsthesen

- Fragen aus bisherigen Forschungen
- Fragen aus der Praxis
- Laufende Ergänzungen während der Projektbearbeitung



Aufbereitung der Datensätze,  
Visualisierung in Grafiken und  
Mustertabellen

Hypothesenaufstellung

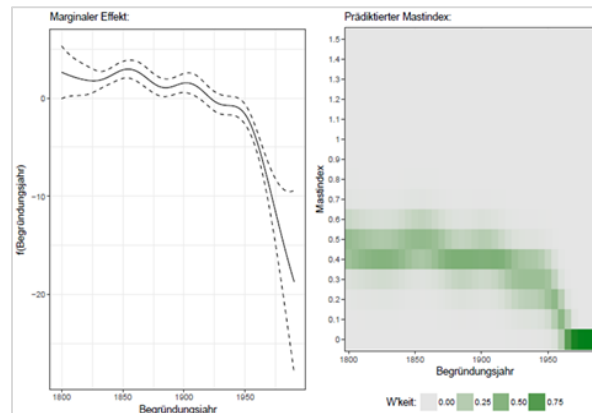
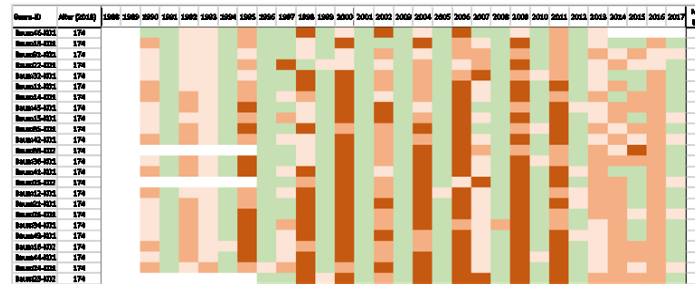


Musterdarstellung und -erkennung



Mustererklärung

- Hypothese 1
- Hypothese 2
- Hypothese 3
- ...



Formulierung von Eingangsthese  
 – Fragen aus bisherigen Forschungen  
 – Fragen aus der Praxis  
 – Laufende Ergänzungen während der Projektbearbeitung

Aufbereitung der Datensätze,  
 Visualisierung in Grafiken und  
 Mustertabellen

Bi- und multivariate Auswertung auf  
 Grundlage der Musterbefunde





## **Bewirkt witterungsbezogener Stress eine Vitalitätsverschlechterung?**

Ist die Kronenverlichtung ein geeigneter Vitalitätsanzeiger?

## **Ist die Kronenverlichtung vor dem Absterben erhöht?**

Fehlen Indikatoren im WZE-Datensatz für eine komplexe Vitalitätsbeurteilung?

Deutet das Blattrollen bei Buche (und Eiche) den Beginn eines Vitalitätsverlustes an?

Bedingen erhöhte Stickstoffeinträge einen Vitalitätsverlust bei Kiefer?

## **Welche Auswirkungen hat die Mast auf Vitalität und Wachstum der Buche?**

Welche Standortfaktoren haben Einfluss auf das Fruktifikationsverhalten der Buche?

## **Welche Witterungskombinationen sind auslösend für eine Mast vor allem bei Buche?**

Wie wachsen Buchen mit höherer Kronenverlichtung?

Hat das Baumartenmischungsverhältnis Einfluss auf den Borkenkäferbefall bei Fichte?

Wie entwickelte sich die Kronenstruktur bei Eiche und Buche in den letzten 10 Jahren?

Auf welchen Standorten können die Hauptbaumarten am besten mit Trockenheit umgehen?

Gibt es einen Schwellenwert der Trockenheit, ab wann Buchen, Eichen, Fichten bzw. Kiefern absterben?

Haben die Säureeinträge der Vergangenheit immer noch Auswirkungen auf die Vitalität der Hauptbaumarten?

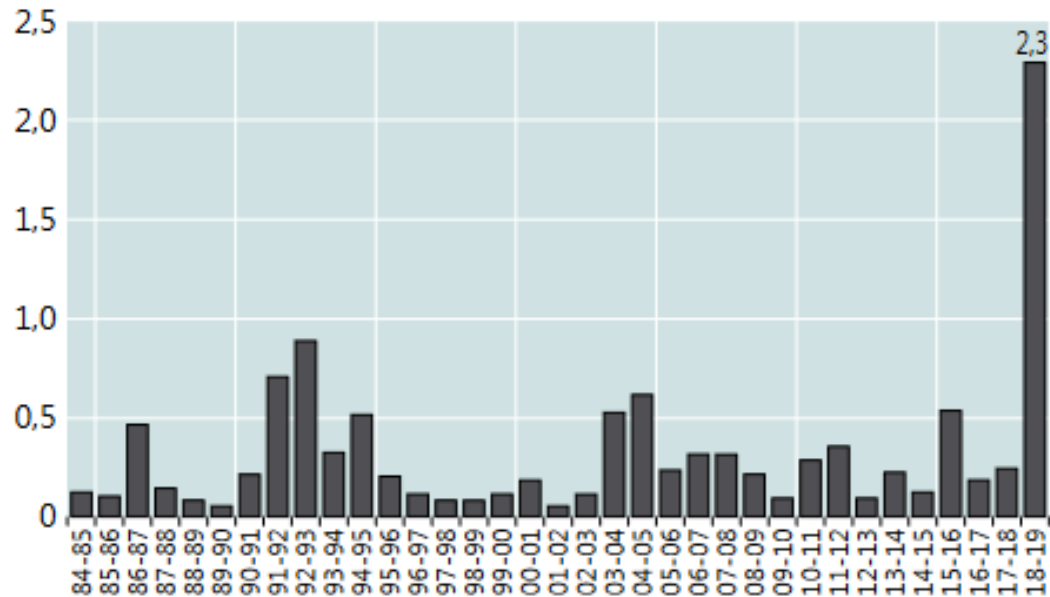
Wie stark reagiert die Buche auf Auflichtung (Kronenverlichtung, Wachstum, Fruktifikation, Mortalität)?



## 1. Bewirkt witterungsbezogener Stress eine Vitalitätsverschlechterung?

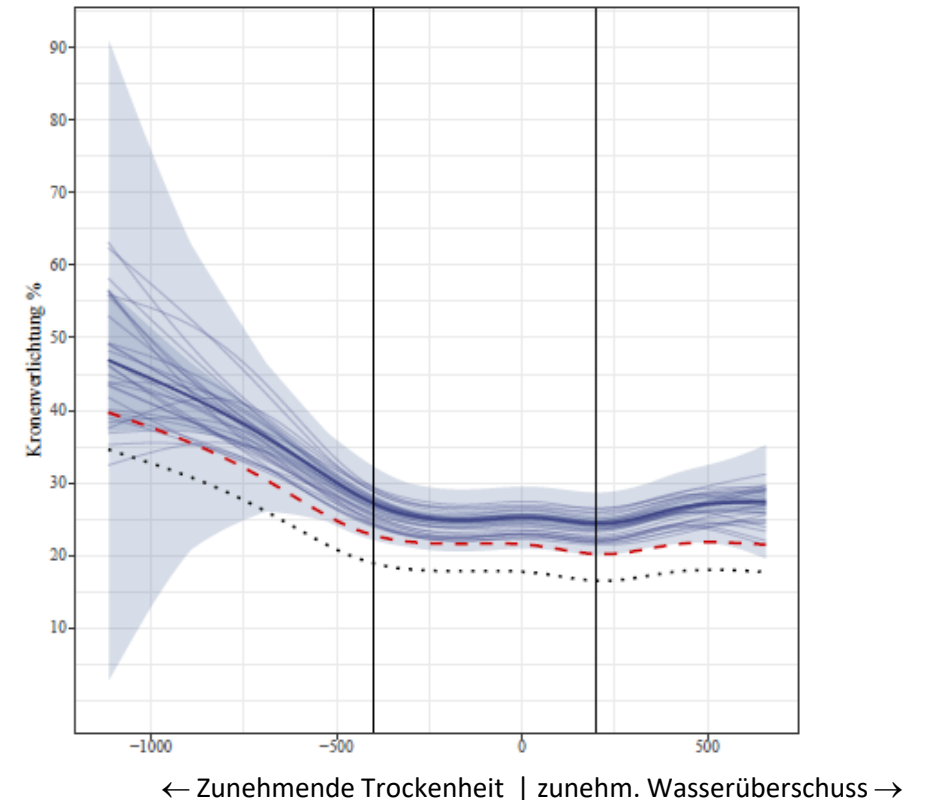
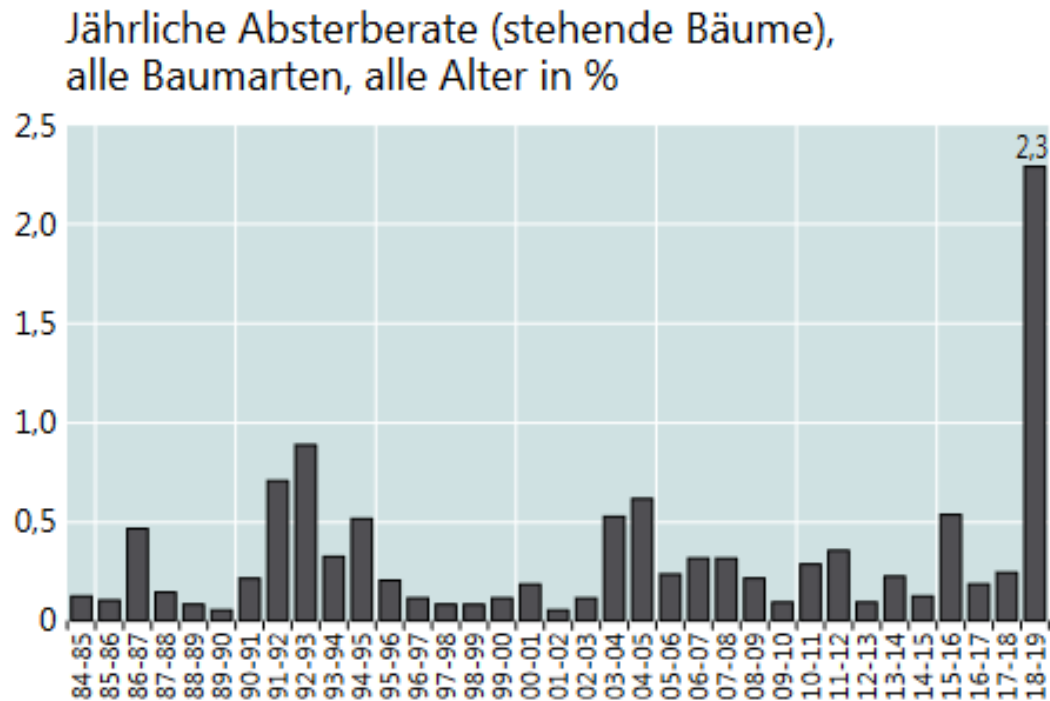
- eindeutige Bestätigung nach Sturm und Trockenheit
- Auswertung der Trockenjahre 2003 und 2018/19 (eingeschränkt, da Nachwirkungen immer noch andauern)
- Nach Sturm: Erhöhung der Ausfallrate im gleichen Jahr
- Nach Trockenheit: Erhöhung der Absterberate im Folgejahr (Bsp. Buche: Ø 1984-2018: 0,07%, 2019: 0,3%)

Jährliche Absterberate (stehende Bäume),  
alle Baumarten, alle Alter in %



## 1. Bewirkt witterungsbezogener Stress eine Vitalitätsverschlechterung?

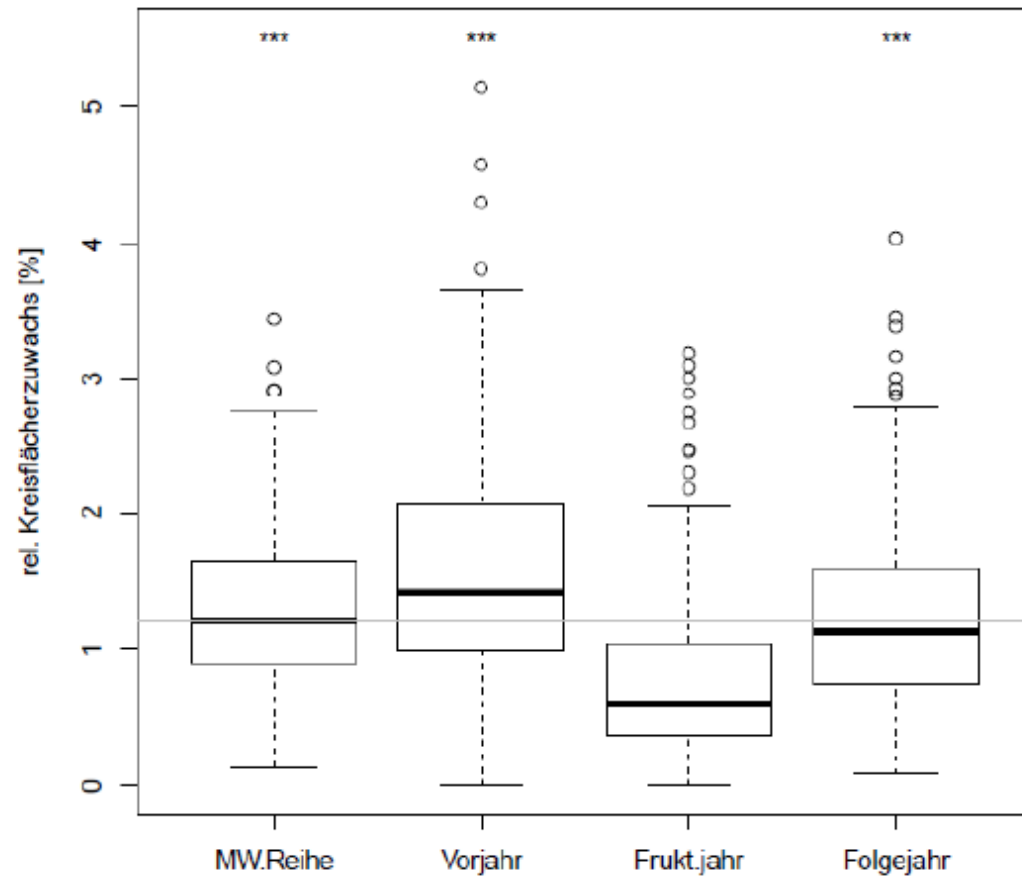
- eindeutige Bestätigung nach Sturm und Trockenheit
- Auswertung der Trockenjahre 2003 und 2018/19 (eingeschränkt, da Nachwirkungen immer noch andauern)
- Nach Sturm: Erhöhung der Ausfallrate im gleichen Jahr
- Nach Trockenheit: Erhöhung der Absterberate im Folgejahr (Bsp. Buche: Ø 1984-2018: 0,07%, 2019: 0,3%)
- Teilweise Erhöhung der Kronenverlichtung im Folgejahr nach Trockenheit (v. a. Buche)



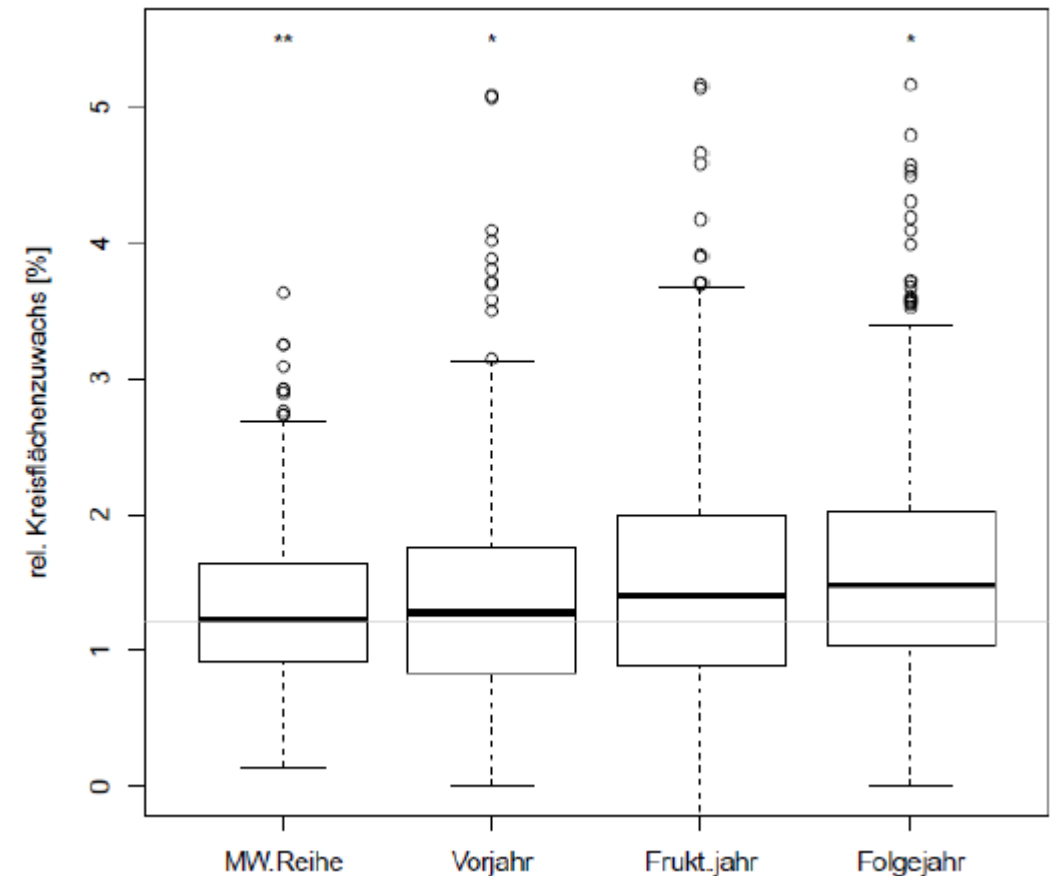
## 2. Der Zuwachs bei Buche wird durch eine starke Mast beschränkt.

- Buche: schwerfruchtige Baumart mit unregelmäßiger Fruktifikation
- bei mittlerer bis starker Mast verringert sich Durchmesserzuwachs signifikant, schwache Fruktifikation hat keinen Effekt

### Zuwachs bei starker Fruktifikation



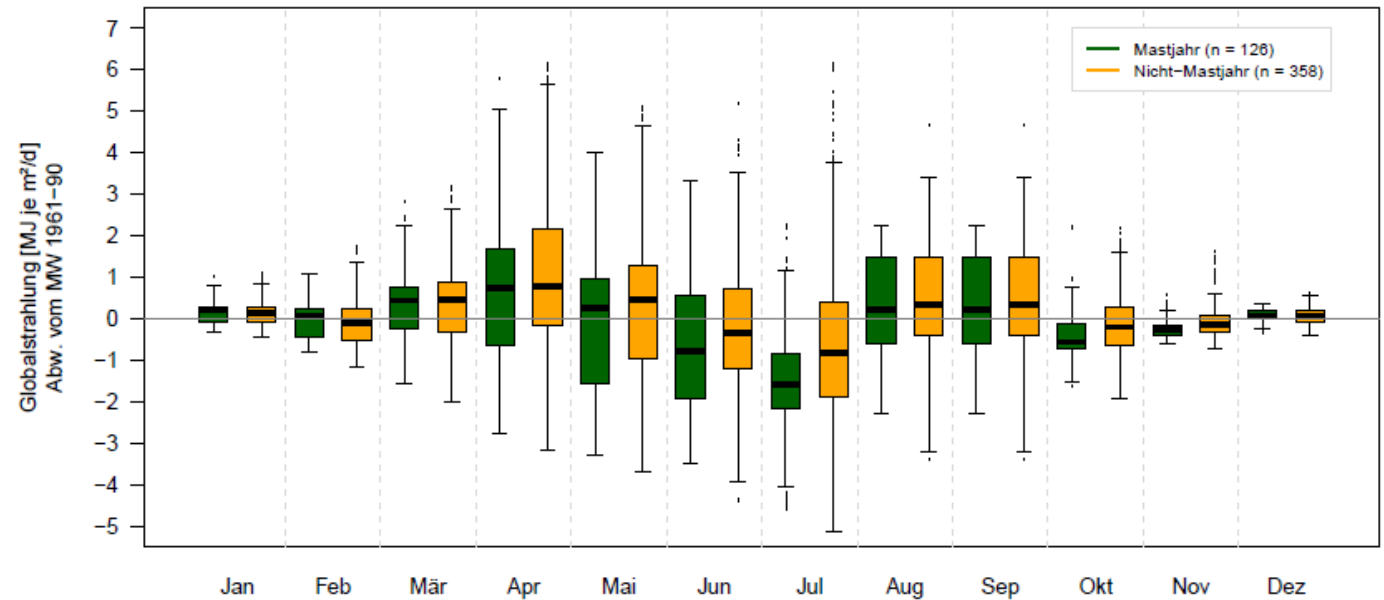
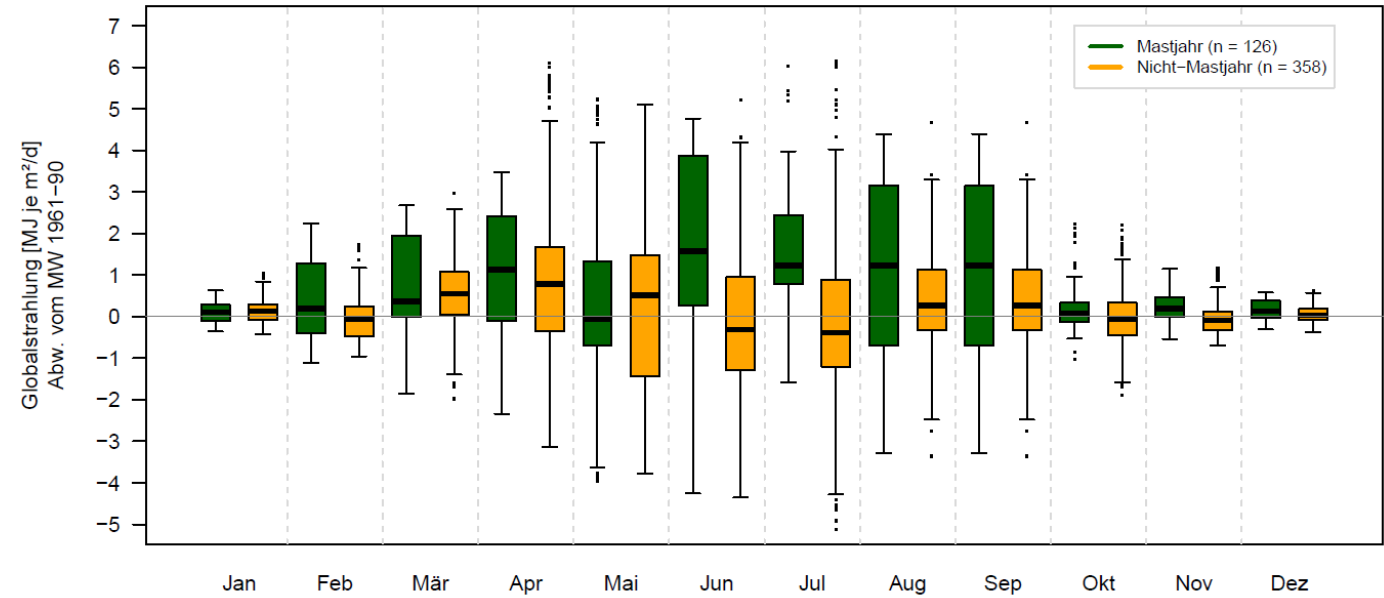
### Zuwachs bei schwacher Fruktifikation



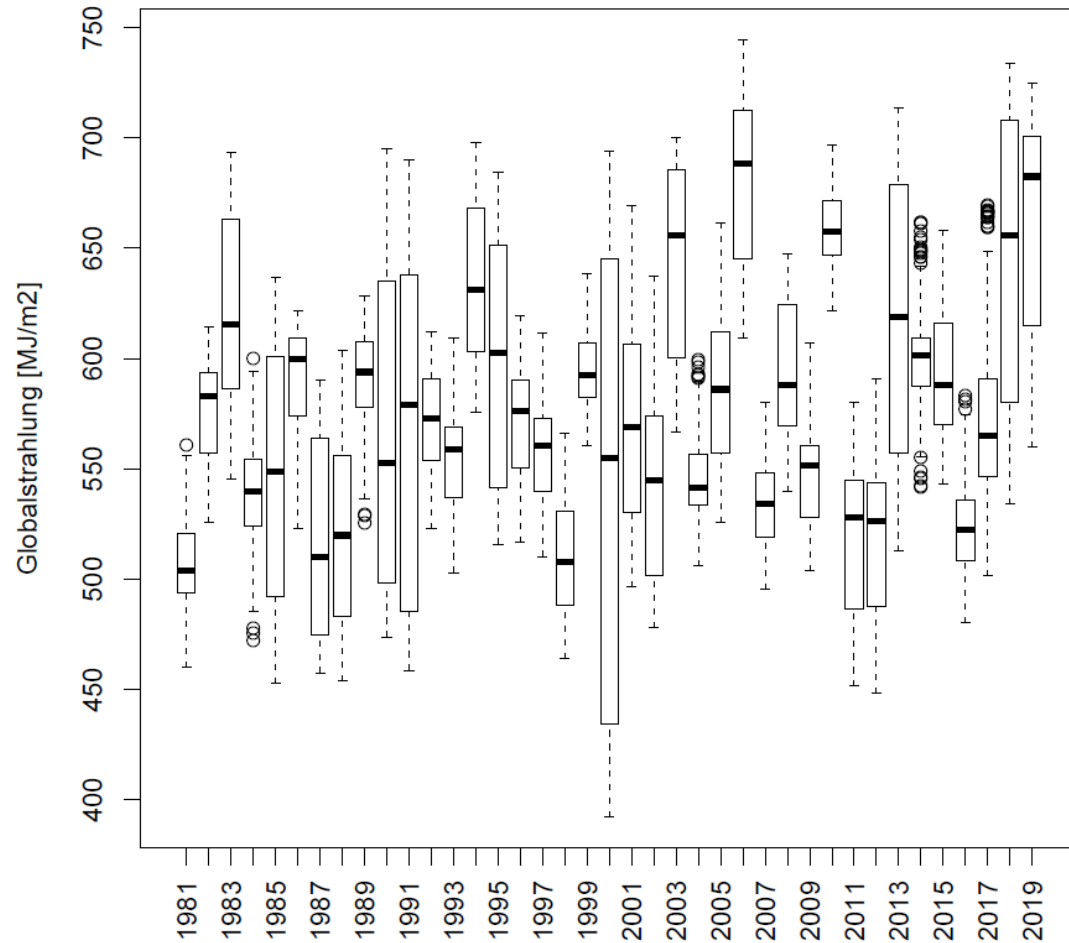
## 3. Welche Witterungskombinationen sind auslösend für eine Mast vor allem bei Buche?

Witterungsanalysen ergaben, dass

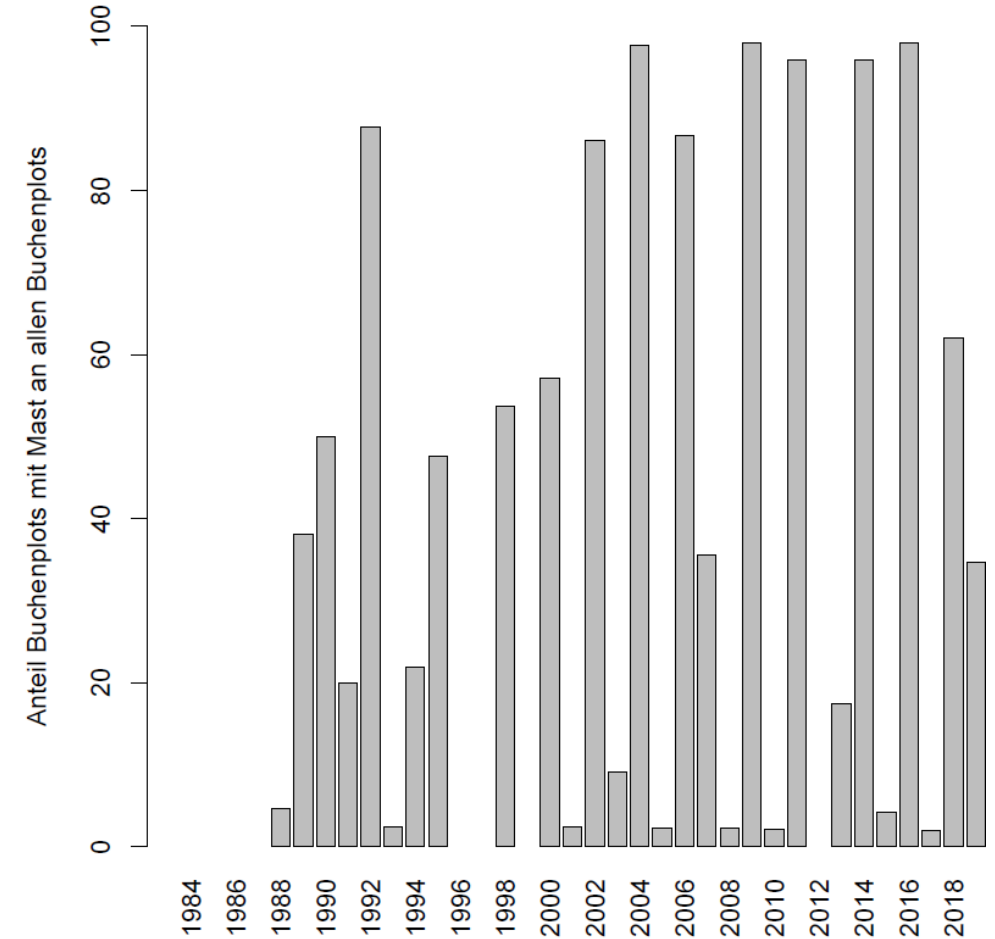
- es Jahr vor einer Mast überdurchschnittlich viel Strahlung im Juni/Juli gab
- Es zwei Jahre vor einer Mast unterdurchschnittlich hohe Strahlung gab



Anstieg der Strahlung in den Monaten Juni und Juli in Hessen seit 1981 um ca. 44 MJ/m<sup>2</sup>

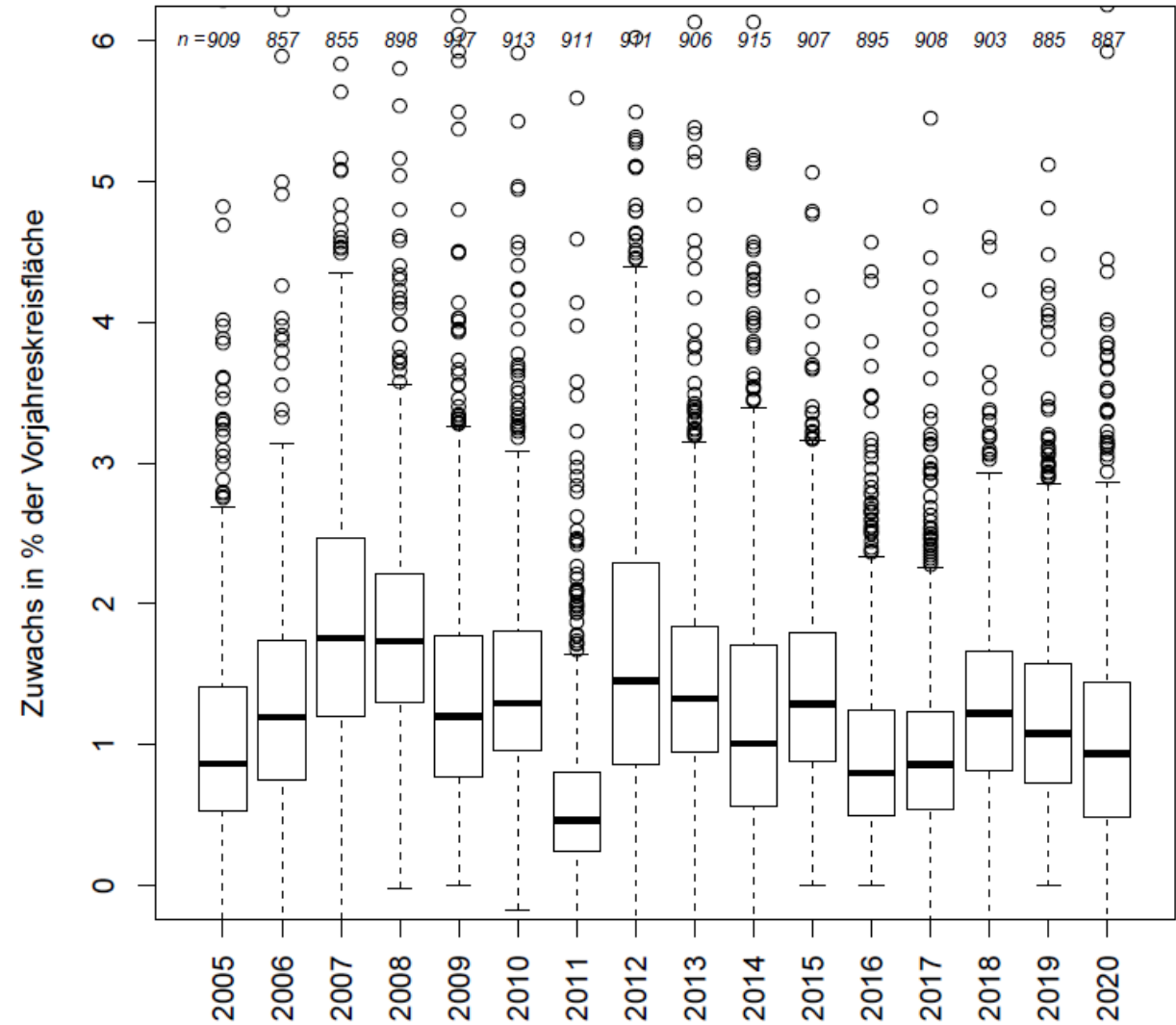


Mastjahre: Anstieg der Häufigkeit und Intensität in Hessen:



Leichter Wachstumsrückgang seit 2005  
um 0,4 Prozentpunkte in 15 Jahren

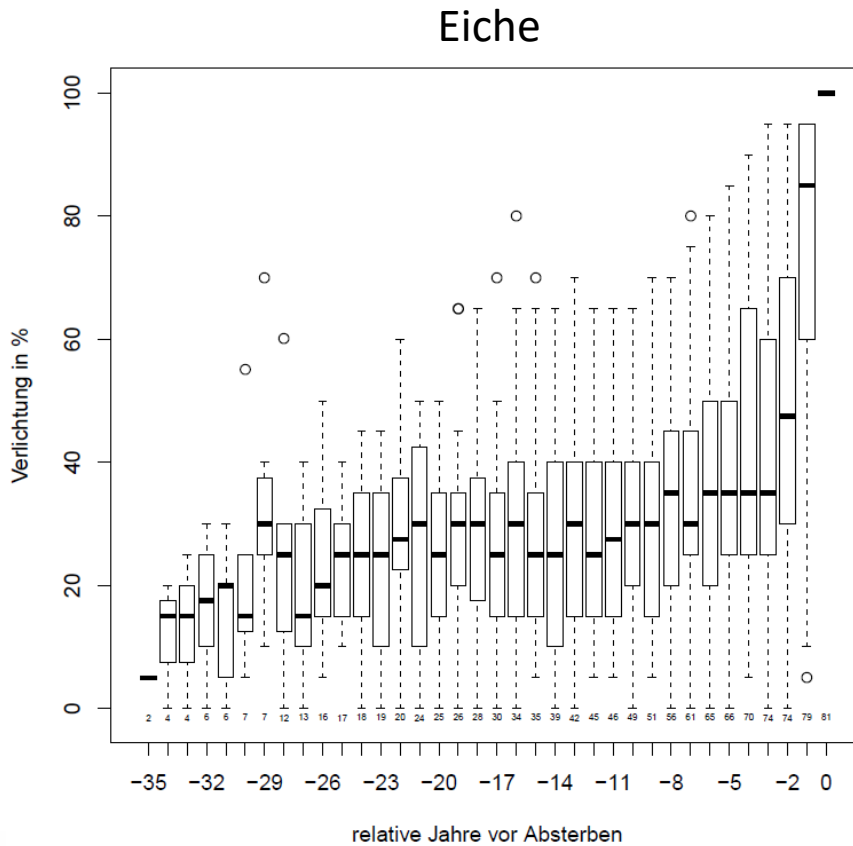
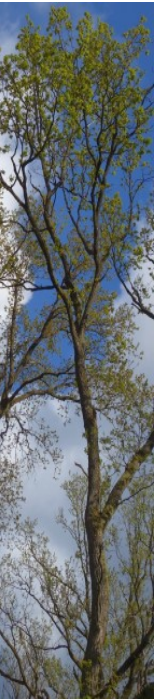
Keine Wachstumsinformationen aus  
dem Zeitraum vor 2005!





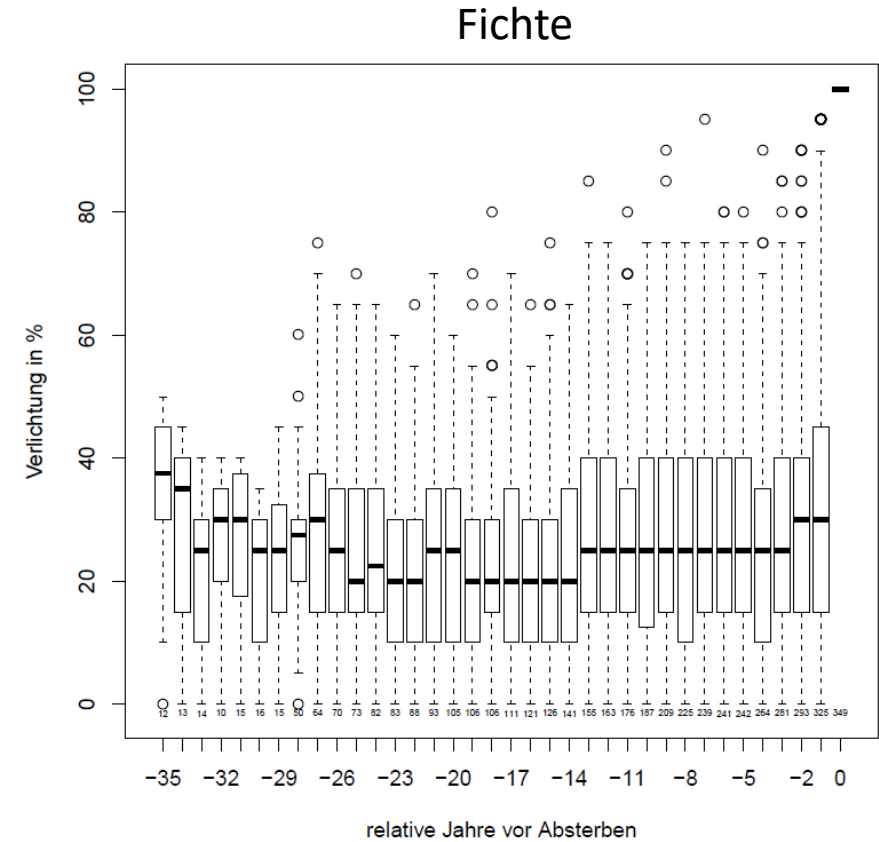
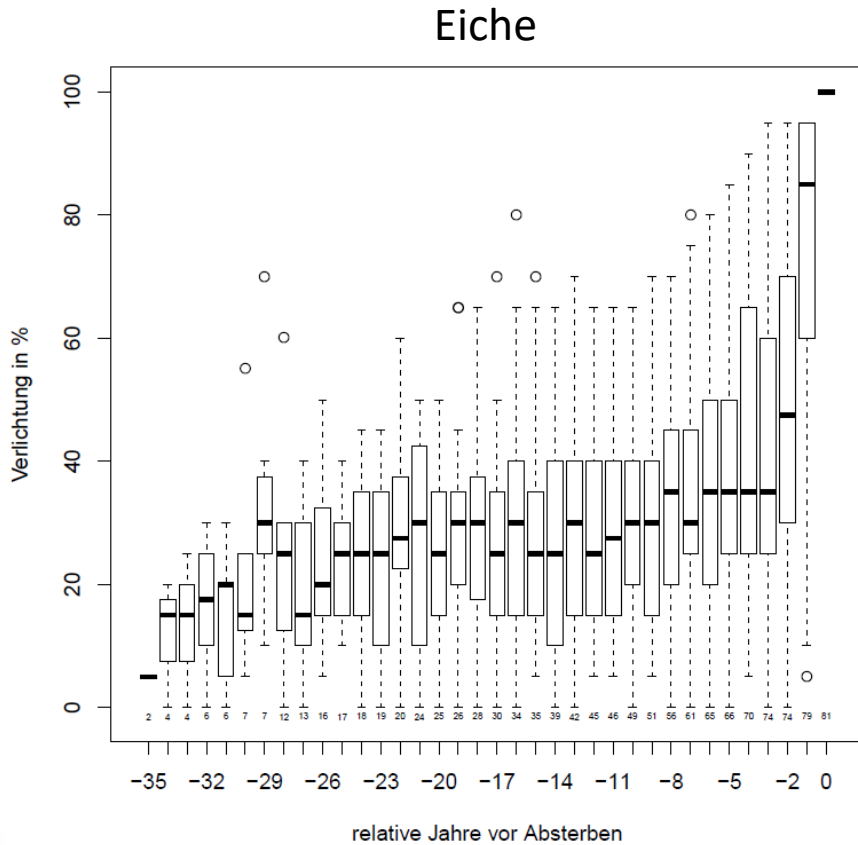
#### 4. Ist die Kronenverlichtung vor dem Absterben erhöht?

- Buche und Eiche: oft allmählicher Anstieg der Kronenverlichtung vor dem Absterben (zwei Jahre vorher deutlich)
- Kiefer: ähnlich, Spannweite im Vorjahr größer



## 4. Ist die Kronenverlichtung vor dem Absterben erhöht?

- Buche und Eiche: oft allmählicher Anstieg der Kronenverlichtung vor dem Absterben (zwei Jahre vorher deutlich)
- Kiefer: ähnlich, Spannweite im Vorjahr größer
- Fichte: kann sehr schnell absterben (innerhalb eines Jahres)
- Umkehrschluss gilt nicht zwingend: Regeneration stark verlichteter Kronen in gewissem Rahmen möglich, aber erhöhtes Absterberisiko.
- Zusammenhang bestätigt die Eignung der Kenngröße als Indikator für Baumvitalität



## Erkenntnisse bis zum Dürrejahr 2018:

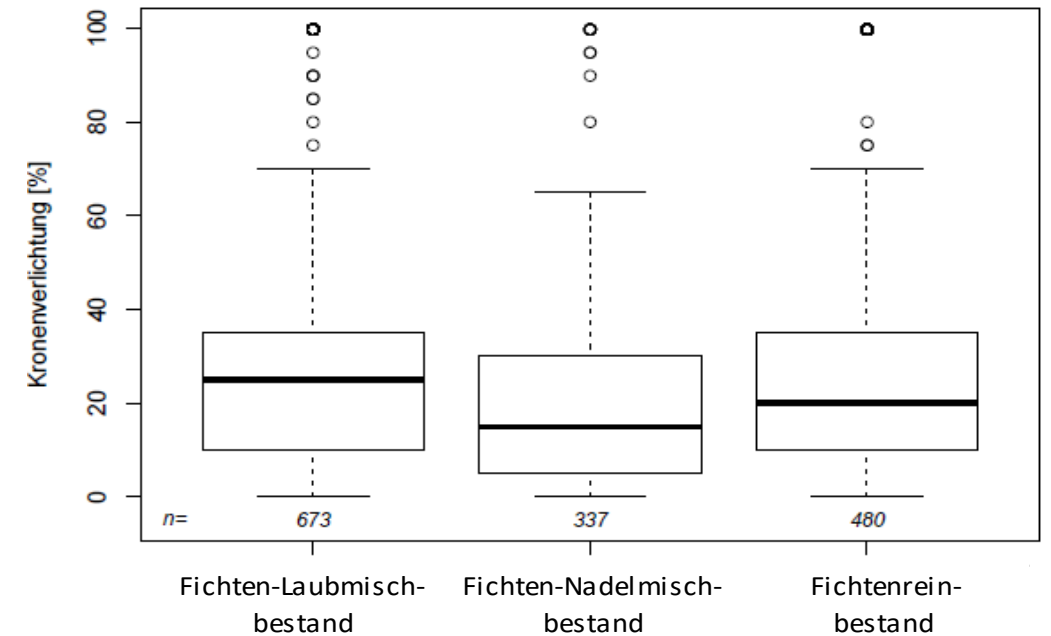
- Buche: stabilste Baumart, geringste Ausfallraten trotz höchster Kronenverlichtungswerte. Zunahme der Mastjahre und verringertes Dickenwachstum in Jahren starker Fruktifikation
- Fichte: sehr anfällig gegenüber Sturm und nachfolgend oft Borkenkäfern (Bsp. 2007)
- Eiche: Hauptproblem sind Fraßgesellschaften, bei zu starkem Fraß auch Vitalitätsverlust bis zum Absterben
- Kiefer: regional sehr verschieden. Ausfälle insektenbedingt oder Mistelbefall, anfällig gegenüber zu viel Stickstoff – ungeklärt

## Erkenntnisse bis zum Dürrejahr 2018:

- Buche: stabilste Baumart, geringste Ausfallraten trotz höchster Kronenverlichtungswerte. Zunahme der Mastjahre und verringertes Dickenwachstum in Jahren starker Fruktifikation
- Fichte: sehr anfällig gegenüber Sturm und nachfolgend oft Borkenkäfern (Bsp. 2007)
- Eiche: Hauptproblem sind Fraßgesellschaften, bei zu starkem Fraß auch Vitalitätsverlust bis zum Absterben
- Kiefer: regional sehr verschieden. Ausfälle insektenbedingt oder Mistelbefall, anfällig gegenüber zu viel Stickstoff – ungeklärt

## Ab 2018:

- Absterberate ist bei Buche, Fichte und Kiefer so hoch wie nie
- Eiche: auch erhöht, aber keine Maximum
- Fichte: ist abgestorben in Rein- UND Mischbeständen. Unterschied: Bei Mischbeständen weiterhin Wald vorhanden, bei Reinbeständen aktuell Kahlfächen
- Buche: nach wie vor die niedrigste Absterberate der 4 Hauptbaumarten

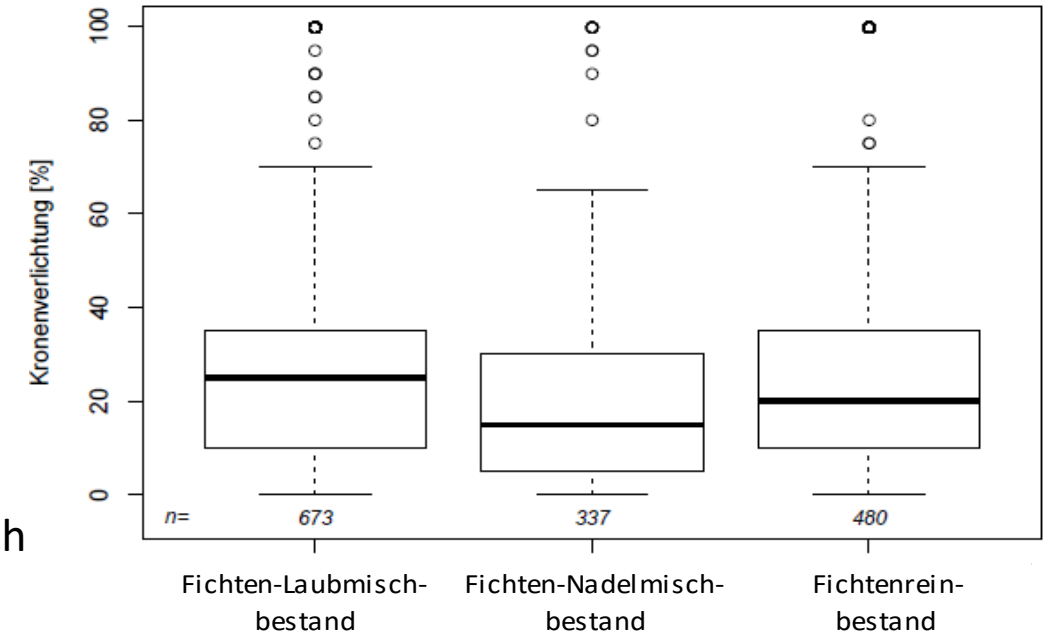


## Erkenntnisse bis zum Dürrejahr 2018:

- Buche: stabilste Baumart, geringste Ausfallraten trotz höchster Kronenverlichtungswerte. Zunahme der Mastjahre und verringertes Dickenwachstum in Jahren starker Fruktifikation
- Fichte: sehr anfällig gegenüber Sturm und nachfolgend oft Borkenkäfern (Bsp. 2007).
- Eiche: Hauptproblem sind Fraßgesellschaften, bei zu starkem Fraß auch Vitalitätsverlust bis zum Absterben
- Kiefer: regional sehr verschieden. Ausfälle insektenbedingt oder Mistelbefall, anfällig gegenüber zu viel Stickstoff – ungeklärt

## Ab 2018:

- Absterberate ist bei Buche, Fichte und Kiefer so hoch wie nie
- Eiche: auch erhöht, aber keine Maximum
- Fichte: ist abgestorben in Rein- UND Mischbeständen. Unterschied: Bei Mischbeständen weiterhin Wald vorhanden, bei Reinbeständen aktuell Kahlfächen
- Buche: nach wie vor die niedrigste Absterberate der 4 Hauptbaumarten



## Schlussfolgerungen:

- Fichte: Anteil wird sich auch weiterhin erheblich reduzieren – nur noch in höheren Lagen mit guter Wasserversorgung
- Risikostreuung durch
- Förderung baumartenreicher Wälder – Mischwälder bevorzugt
- Förderung ungleichaltriger Wäldern: viele Risiken sind altersabhängig

## Vorträge/Projektvorstellungen

- Klinck, C. Scheffer, D., Paar, U., Eichhorn, J. (2018): Zur Vitalität der Buche: Reaktionsmuster über den Zeitraum 1984-2016. FoWiTa Göttingen, 2018
- Projektvorstellung im Forstamt Wolfhagen mit anschließender Diskussion
- Austausch mit Klima- und Waldökosystemforschern der Universität Sopron

## Masterarbeiten

- Untersuchungen zum Ausfall von Probestämmen in der Waldzustandserhebung: Engelhard, T., Jan 2020
- Untersuchung der Resilienz von Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.) und Stiel- (*Quercus petraea*) sowie Traubeneiche (*Quercus robur*) anhand der Kronenstruktur. Wulf, R., Mai 2020
- Untersuchung der Abhängigkeit der Fruktifikation bei Buche und Fichte vom Nadel-/Blattgehalt auf BZE-Plots in Hessen, Niedersachsen und Sachsen-Anhalt. Hendricks, J., Juli 2020
- Untersuchungen zur Eichenvitalität, Standorteigenschaften und Eichenfraßgesellschaft in der Waldzustandserhebung. Honekamp, Chr., Febr. 2021
- Modellierung von Einflussfaktoren auf die Kronenverlichtung der Buche (*Fagus Sylvatica* L.), Gröning, A., Sept. 2021

## Publikationen

- Auswirkungen der vergangenen Trockenjahre auf die Vitalität von Buchen (in Bearbeitung)
- Projektendbericht

## Folgeprojekt

- Klimasensitive Forstwirtschaft mit Breitenwirkung. Auswirkungen der extremen Witterung 2018 und 2019 (und 2020) auf die Vitalität und Produktivität der Eichen-, Buchen-, Fichten- und Kiefernwälder in Hessen. Projektträger: Hess. Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz

## Teil 2

# Stabilisierung des Anwuchsverhaltens standortgemäßer Kiefer und Hainbuche im Forstamt Lampertheim durch Biochar (ANWUCHS)

Projektlaufzeit: 01.10.2013 bis 31.07.2018

Bearbeitung: M. Listing, J. Eichhorn

- klimatische Veränderungen → Häufung von Trockenperioden prognostiziert
- Wasserspeicherkapazität des Bodens bleibt aber konstant, problematisch vor allem auf sandigen Standorten mit geringer Wasserspeicherkapazität
- Idee: Erhöhung der Wasserspeicherkapazität von Böden durch Biokohle gemäß dem Anwendungsbeispiel „Terra preta“ im brasilianischen Regenwald (Glaser 1999)



- klimatische Veränderungen → Häufung von Trockenperioden prognostiziert
- Wasserspeicherkapazität des Bodens bleibt aber konstant, problematisch vor allem auf sandigen Standorten mit geringer Wasserspeicherkapazität
- Idee: Erhöhung der Wasserspeicherkapazität von Böden durch Biokohle gemäß dem Anwendungsbeispiel „Terra preta“ im brasilianischen Regenwald (Glaser 1999)

### Warum Biokohlen?

- besitzen durch ihr sehr hohes Porenvolumen eine hohe Speicherfähigkeit für Wasser und Nährstoffe (Piccolo et al. 1996, Lehmann 2007)



Quelle: <https://pyreg.com/de/going-circular/biochar>

- klimatische Veränderungen → Häufung von Trockenperioden prognostiziert
- Wasserspeicherkapazität des Bodens bleibt aber konstant, problematisch vor allem auf sandigen Standorten mit geringer Wasserspeicherkapazität
- Idee: Erhöhung der Wasserspeicherkapazität von Böden durch Biokohle gemäß dem Anwendungsbeispiel „Terra preta“ im brasilianischen Regenwald (Glaser 1999)

### Warum Biokohlen?

- besitzen durch ihr sehr hohes Porenvolumen eine hohe Speicherfähigkeit für Wasser und Nährstoffe (Piccolo et al. 1996, Lehmann 2007)

### Umsetzung

- Kulturversuch: Kohleeinbringung und Pflanzung von Waldbäumen
- Analyse von Ursache – Wirkungsbeziehungen zwischen
  1. Biokohle und Boden-Wasserhaushalt
  2. Biokohle und Vitalität der Pflanzen



Quelle: <https://pyreg.com/de/going-circular/biochar>

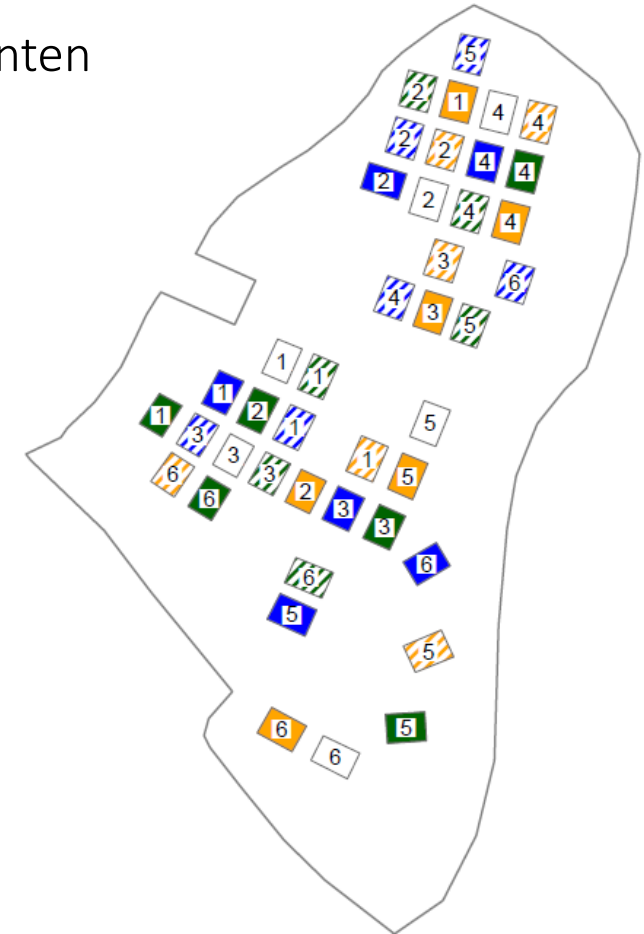
- Verschiedene Holzkohlen: Holzkohle, Spelzenkohle (40t/ha)
- Unterschiedliche Behandlung der Kohle: ohne, Stickstoff, Kompost (+ Stickstoff)
- Kontrollparzellen
- Zwei Baumarten:  
Hainbuche



Kiefer



7 Varianten



- Topfversuche im Gewächshaus
- Extraktionsversuch (Mineralisierungsdynamik der Kohle)

## Biokohle und Wasserhaushalt

- Erhöhung der pflanzenverfügbaren Wassermenge durch Biokohle 16-25 %
- + 36 mm bedeuten etwa 10 Tage längere Transpiration in Trockenperioden
- Voraussetzung ist Aufsättigung der Kohlesubstrate zu Beginn der Vegetationszeit bzw. zum Pflanzzeitpunkt

### Mögliche Risiken

- Erhöhung der hydrophoben Bodeneigenschaften durch Biokohle kann Aufsättigung hemmen! (Atkinson et al. 2010, Kinney et al. 2012)
- Absenkung der Trockenrohdichte durch Kohlesubstrat und Einarbeitungsprozess – Bodensetzung bis zum Pflanzzeitpunkt
- Dichtere Begleitvegetation mit höherer Konkurrenzwirkung

## Biokohle und Stickstoffverfügbarkeit

sehr hohes Stickstofffixierungspotenzial durch Kohlen

- Austrag etwa 8 % des Eintrages in ersten zwei Jahren (Variante „N+Ko“)
- Sorptionsmechanismen
  - Sehr große innere Oberflächen, negative Ladungsüberschüsse – Kationenbindung (Downie et al. 2009)
  - Anionenbindung durch physikalische Sorption (Joseph et al. 2018)

langfristige Entwicklung nicht abschätzbar

Priming-Effekt → höhere Mineralisierung auch bei reinen Kohlenvariante im Vergleich zur Nullvariante (HKpur)

- Bindung von nitrifikationshemmenden Substanzen (Phenole)
- Kohle bietet Habitat für nitrifizierende Mikroorganismen (Rogovska et al. 2011)

## Vitalität

- hohe Abhängigkeit der Vitalität (z.B. Mortalität) von der Stickstoffverfügbarkeit
- Ammoniumpräferenz von Kiefer und Buche (Flaig und Mohr 1992, Paar 1994)
  - höhere Netto-Stickstoffaufnahme mit geringerer Feinwurzelmasse
  - Veränderte Kohlenstoffallokation (höheres Spross/Wurzel-Verhältnis)
  - Nachteil während Trockenperioden, herabgesetzte Trockenresistenz
- Kiefer reagiert sensitiver als Hainbuche auf Stickstoffverfügbarkeit (Clough 1989, Elmlinger und Mohr 1992)
- unterschiedliche Phasen sind anhand der Indikatoren abgrenzbar
  - Störungsphase 2014/15: Schwellenwerte der Pflanzen für Stickstoffverfügbarkeit überschritten (Variante „N+Ko“) – hohe Mortalitäten
  - Stabilisierungsphase ab 2017 mit stabilem Wuchsverhalten von Hainbuche und Kiefer

beobachtete Effekte der Biokohlen deuten sich als längerfristig wirksam an

- Jahrhunderte andauernder Prozess, Beispiel „Terra preta“-Schwarzerde im Amazonas

Analyse von Ursache – Wirkungsbeziehungen zwischen

- Biokohle und Boden-Wasserhaushalt
  - Erhöhung der nutzbaren Feldkapazität um bis zu 25 % mit Risiken
- Biokohle und Stickstoffverfügbarkeit
  - Nachbehandlung verursacht hohe Austräge während Anfangsphase, aber hohes Immobilisierungspotenzial
  - pure Kohlen fördern Mineralisierung
- Biokohle und Vitalität der Pflanzen
  - Pflanzen der Nullvariante und HKpur zeigen ähnliche Vitalitätsmuster (Überleben, Blatt/Nadelzustand)

→ Biokohle nicht förderlich für Anwuchserfolg

A photograph of a forest in autumn. In the foreground, there is a large, neat stack of cut logs. The ground is covered with fallen brown leaves and some green grass. Several tall, slender trees with light-colored bark stand in the mid-ground. The background is filled with a dense forest of trees, some with yellow and orange autumn foliage, and others that are evergreen. The sky is a clear, pale blue.

Vielen Dank!