

Waldbau im Klimawandel

Zu den Risiken des Klimawandels für die Wälder in Brandenburg

Was ist zu tun?

...aus der Sicht
der
Ökophysiologie

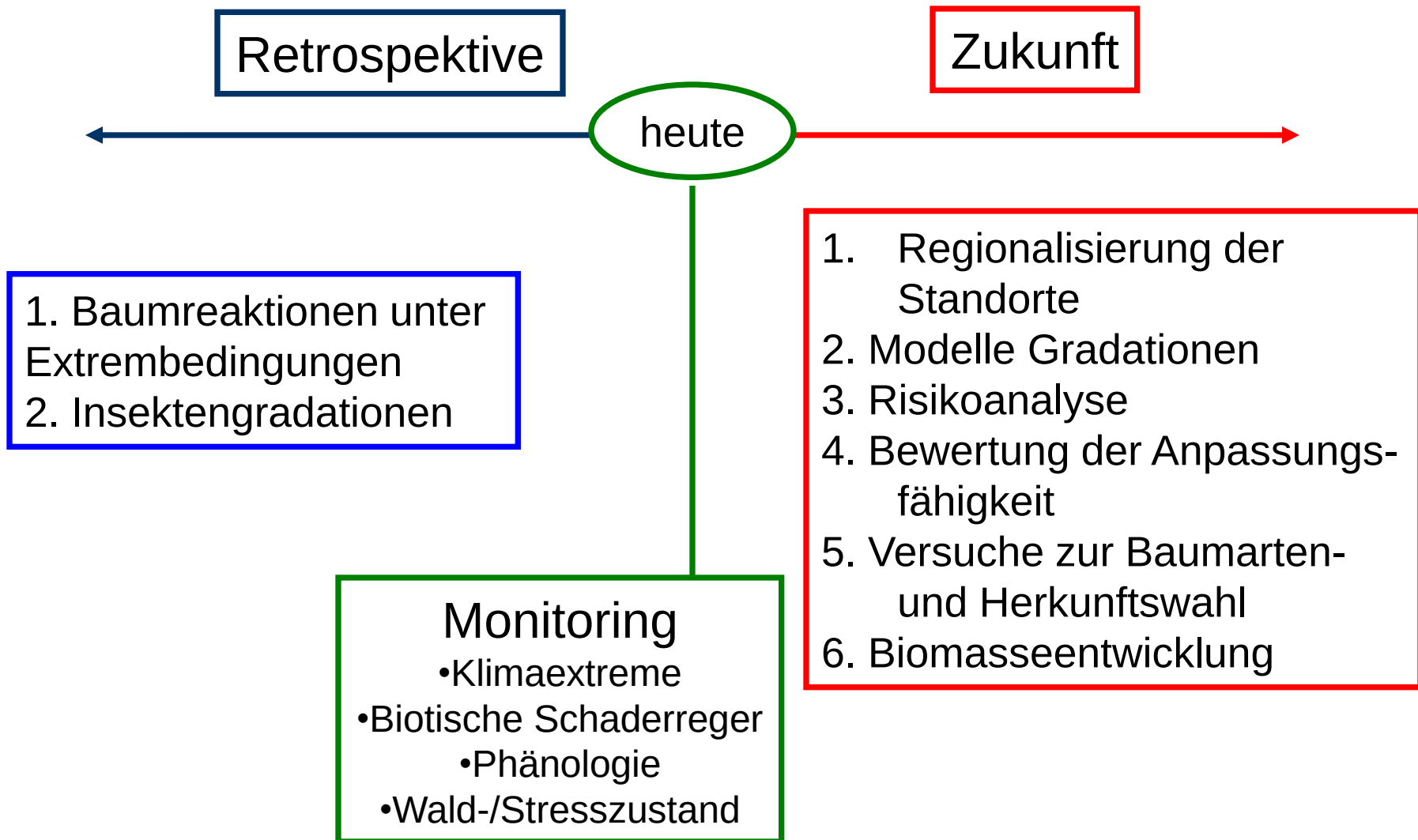
Ralf Kätzel

Was Sie erwartet:

1. Sichtbare Wirkungen des Klimawandels
2. Grenzen des Wissens
3. Regionalisierung und Risikoanalyse
 - Waldbrand
 - Trockenheit
 - Sturmgefährdung
3. Handlungsempfehlungen
4. Kriterien für die Baumartenwahl und Beispiele
5. Schlussfolgerungen



Ausrichtung der Klimafolgenforschung



Informationen zum Waldzustand BB

www.forstliche-umweltkontrolle-bb.de



Waldmonitoring Bericht 2016



2. Zustands-/Wirkungsindikatoren
2.2 Vitalität
2.2.1 Stressparameter Biotorgone
2.2.2 Kronenzustandserhebung
2.2.2c Kronenzustands-Index
2.2.3 Ernährungszustand

Stichtag 31.12.2016
Stand: 31.12.2016
Periode: Jahr
Beginn: 1998

2.2.2c2

Kronenzustandsindex Baumartengruppe

Methodik:
Die Waldzustandserhebung wird jährlich in der Hauptvegetationszeit zum Höhepunkt der Blaubündelung an allen auf Wald fallenden Probestellen eines festen Rasters mit jeweils 24 hirschenreichen Bäumen (Klassen 1-3) durchgeführt. Die Netzfläche war von 1991-2004 bei 4 km x 4 km, von 2005-2008 wurde die Aufnahme von Kiefern-Hainbuchen auf 8 km x 8 km reduziert. Ab 2009 wird die VZE an BVI-Traktanten A im 16 km x 16 km Netz durchgeführt. Der Kronenzustandsindex B fest die bewerteten Merkmale der Kronenzustandserhebung (mittlere Kronenverlängerung, Schädeldichten 24, Monstrat, Fruktifikation, todtliche Schäden) in einem Mittelwert zusammen. Er integriert damit die Merkmale zum Kronenzustand in einem Kennwert. Das Merkmal Vergütung wird nicht einbezogen, da es gegenwärtig keinen Indikatorwert erkennen lässt. Die Merkmale zur Fruktifikationskontrolle sind ab 1994 aufgenommen und über einen 5-jährigen Zeitraum integriert bewertet werden, beginnt die Zeitreihe des Kronenzustandsindex B mit dem Jahr 1998.

Ergebnis:

Der Kronenzustandsindex B über alle Baumartengruppen weist im Zeitraum seit 1998 einen guten, kurzzeitig auch einen sehr guten Vitalitätszustand des Waldes in Brandenburg aus. Im Zeitraum 2002 bis 2003 war eine reduzierte Vitalität vor allem in den Baumartengruppen Eiche und anderen Laubbäumen fest zu stellen. Auch die Kiefern und etwas zehnerseitig die Buchen reagierten in diesem Zeitraum wahrscheinlich auf Witterungsstress. Während ab 2009 bei anderen Laubbäumen, Buche und anderen Nadelbäumen eine Erholung einsetzte, blieb der beeinträchtigte Kronenzustand der Eichen bestehen, bzw. traten noch verstärkte Schäden auf. Die Kiefern hatten 2013 einen merklichen Nadelverlust durch Insekten. Hier ist eine Tendenz bisher nicht absehbar.

Wertung:

Der Kronenzustand von Buche und anderen Nadelbäumen ist aktuell als sehr gut einzuschätzen. Die Kiefern und andere Laubbäume weisen einen guten Zustand auf. Problematisch zeigt sich der Kronenzustand der Eichen, die seit 2003 zwischen beeinträchtigt und beschädigt eingeordnet werden.

Maßnahmen zur Zielerreichung:

>150 Indikatoren

To do

- **Regionalisierung** der Probleme
- **Ganzheitliches Management** gegen Störungen (Insekten, Feuer, Sturm, Trockenheit): vom Erkennen bis Holzlagerung (Klimawandel ein Managementproblem?)
- **Grenzen des Handels** festlegen (Kosten-Nutzen-Analysen!)
- **Information sichern**: Monitoring gewinnt an Bedeutung mit regionalen Schwerpunkten
- Sicherung einer **dauerhaften Bestockung**
- **Pufferkapazität** (Resilienz) der Wälder auf allen Ebenen erhöhen (Individuenreichtum, Waldaufbau)
- **Heterogenität auf allen Ebenen** (Waldstruktur, Biodiversität als Funktionsvielfalt, Waldgesellschaften, Denken)
- **Sekundäre Risikofaktoren mindern** (Pflanzenfresser, N, Luftschadstoffe)
- Kapitalentwicklung an Unsicherheit anpassen (z.B. Preisverfall nach Störungen)
- **Multifunktionalität** der Waldbewirtschaftung erhalten (Heterogenität)
- **Forstliche Steuerung** der Waldentwicklung flächendeckend gewährleisten (Personal- und Informationsbedarf)

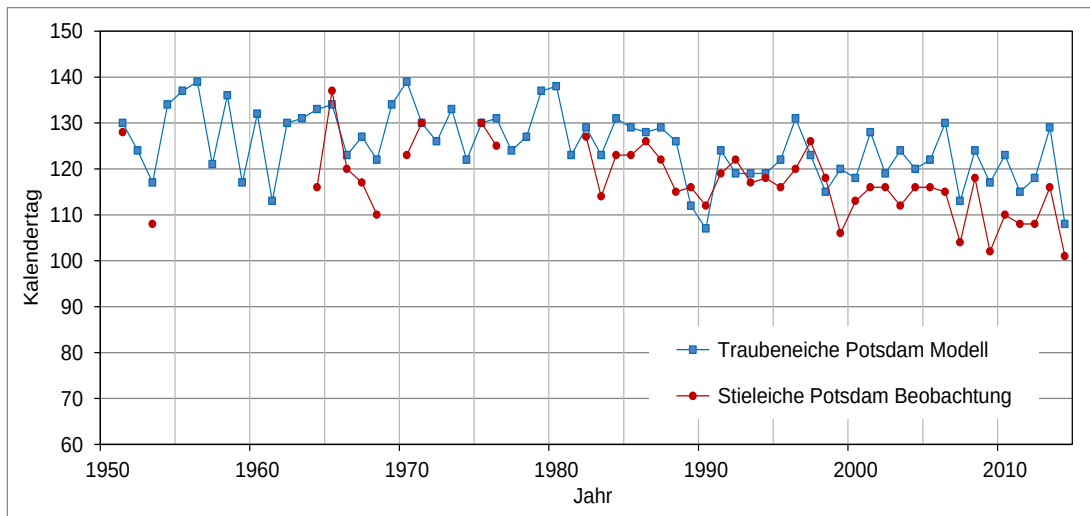
Not to do

- Aktionismus
- Passivität, Zeitspiel
- Überschätzung der Stabilität (Kiefer?)
- statische Leitbilder (pnV?, „Naturnähe“, Wildnis)
- Aufgabe von Flexibilität (Personal?, Rechtsgrundlagen)
- Akzeptanz von Informationsverlusten (Monitoring)
- Langfristige Planungszeiträume
- Idiologisierung/ Wunschvorstellungen gegen naturwissenschaftliche Prozesse (Biodiversität, FFH etc.)
- Rettung der Welt für alle Zeit

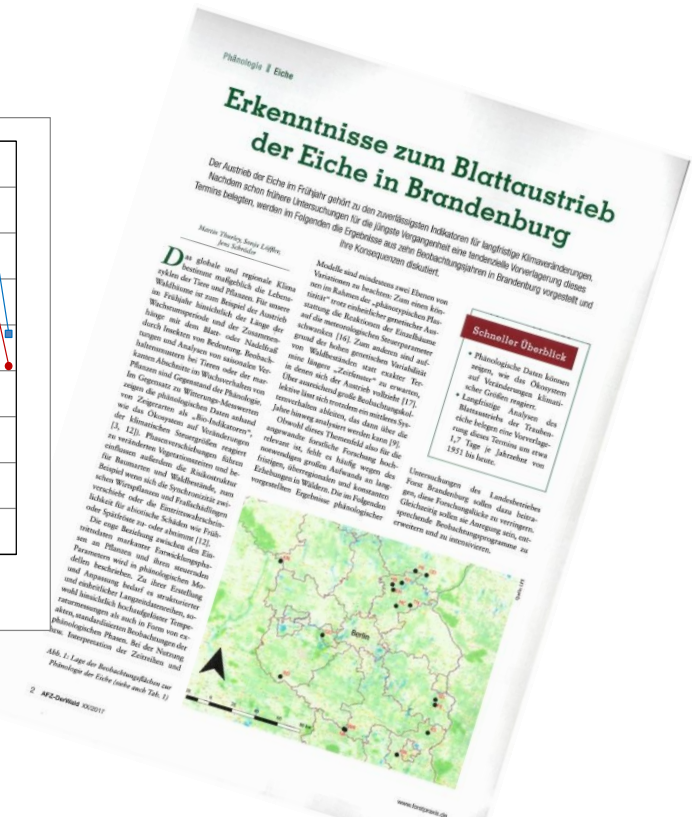
1. Zeigt der Klimawandel Wirkung?

Ja

Phänologie: Vorverlegung des Blattaustriebs



Beobachteter Austrieb der Stiel-Eiche in Potsdam im Vergleich mit den Modellschätzungen für die Trauben-Eiche auf Basis der Witterungsdaten für die Station Potsdam 1951-2014.



Verschiebung des Blühbeginns

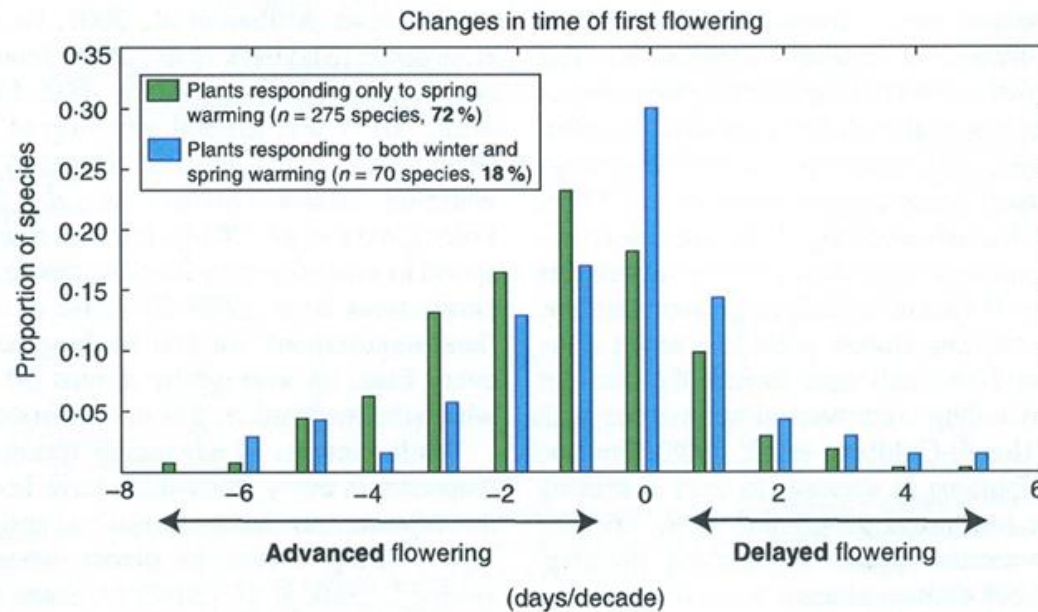
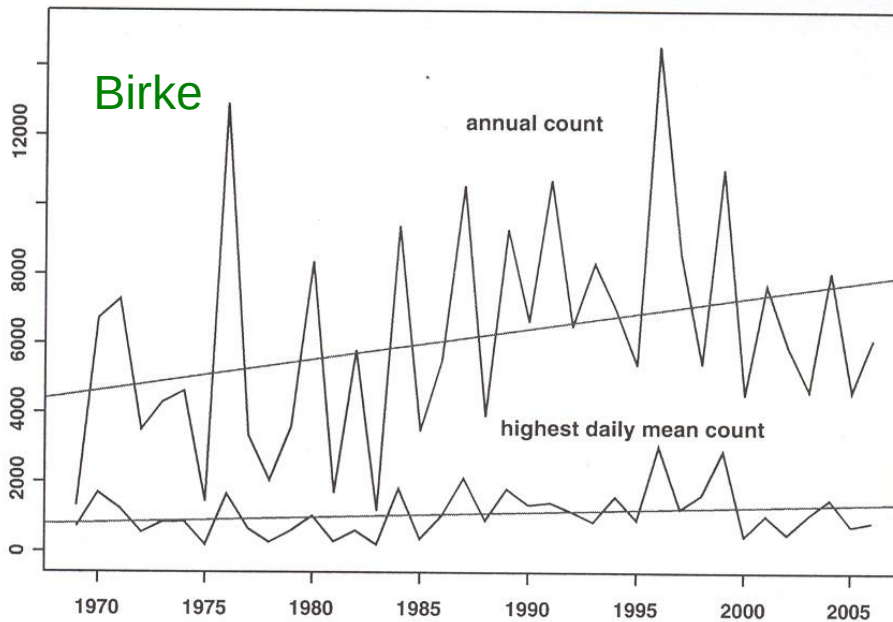


FIG. 1. Changes in flowering phenology (timing of first flowering) from 1954 to 2000 for plant species in northern England. Green bars are species that showed sensitivity only to spring temperatures; blue bars are species that showed sensitivity to both spring and autumn/winter temperatures. Modified from Cook *et al.* (2012).

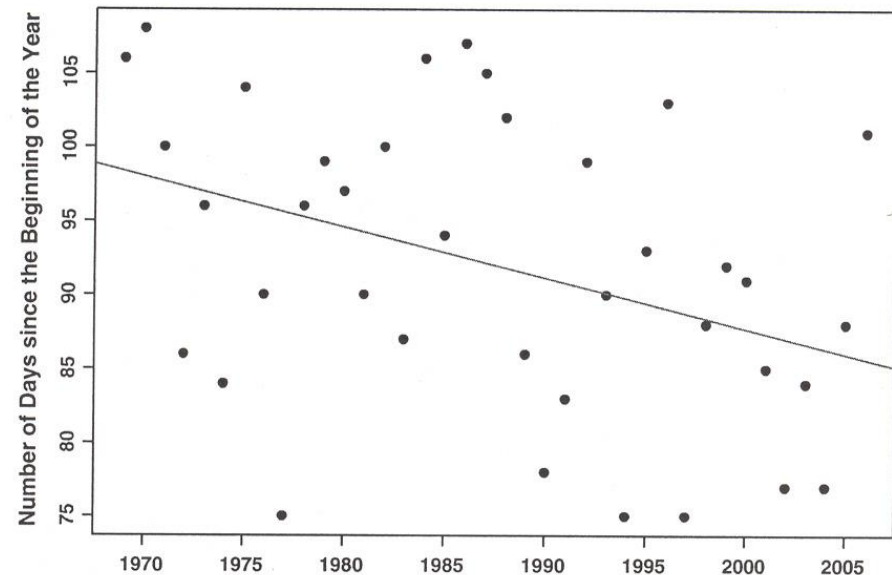
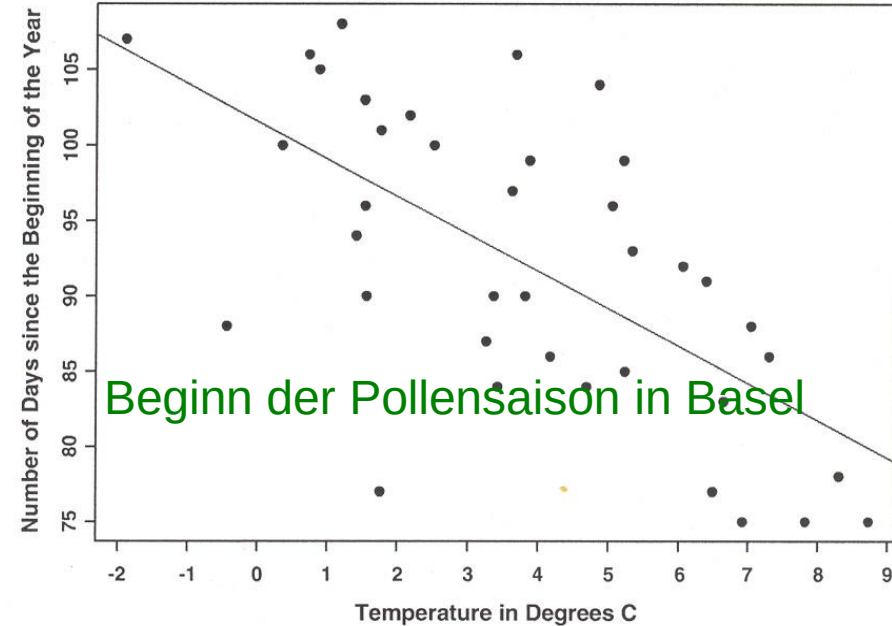
Quelle: Parmesan & Hanley (2015): Plants and climate change: complexities and surprises.
Ann. Botany 116: 849-864.

Zunahme der Pollenproduktion



Jährliche Zunahme der
Pollenproduktion

Frei und Gassner (2008): Int J
Biometeorol 52: 667-674



Was bedeutet der Klimawandel für den Wald/Gehölze?

(Gruppierung nach ökophysiologischer Relevanz)

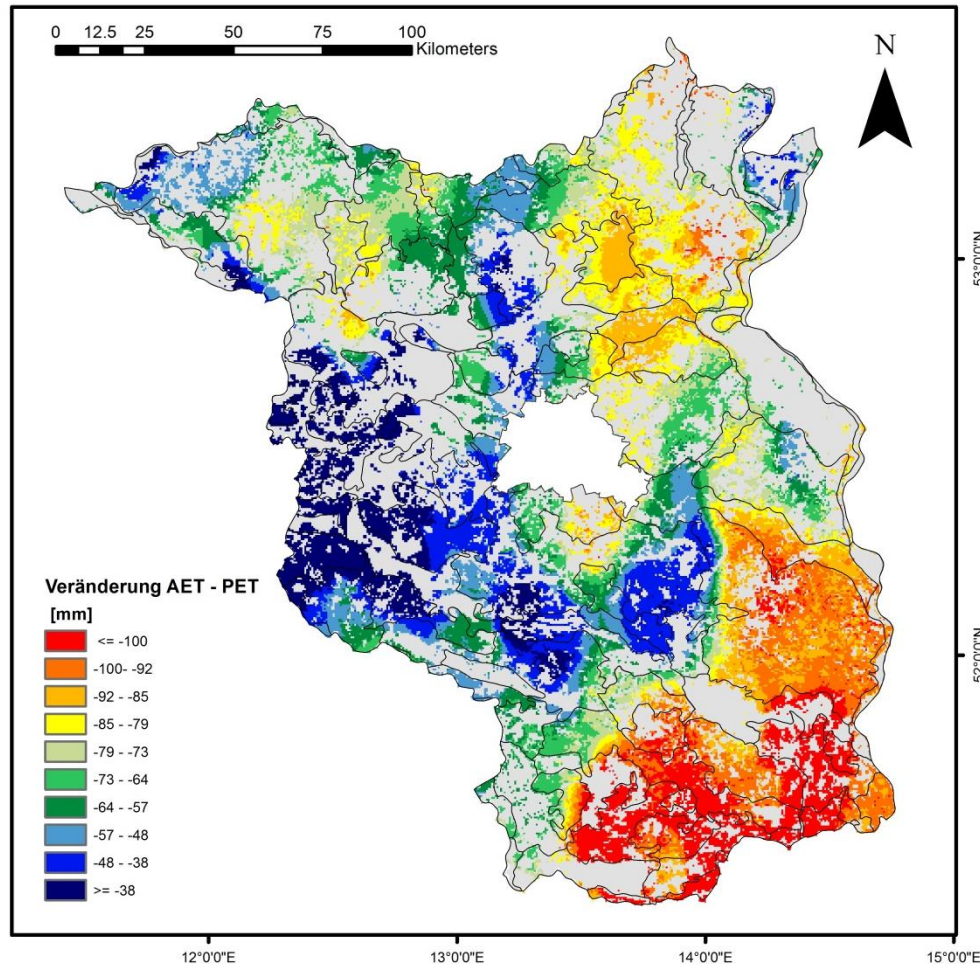
- Waldbrände
- Orkane
- Überflutung
- Starkregen

- Anaerobie
- Stürme
- Ozonbildung
- Nassschnee

- warme Winter
- Sommerhitze
- Spätfröste
- Insektengradationen
- Trockenheit in der Vegetationsperiode

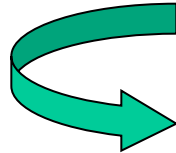
2. Veränderung des Wasserdefizits 2005->2095

Auswirkungen sind regional verschieden!



Zentrale Frage:

Reicht das Anpassungspotenzial der gegenwärtigen und künftigen Waldbestände an die prognostizierten Klimaänderungen aus?



- Nachweis von Vitalitätszuständen, Stressreaktionen, Anpassungsprozessen
- Messungen von äußerlich nicht erkennbaren Risikopotenzialen
- Einsatz von Frühindikatoren

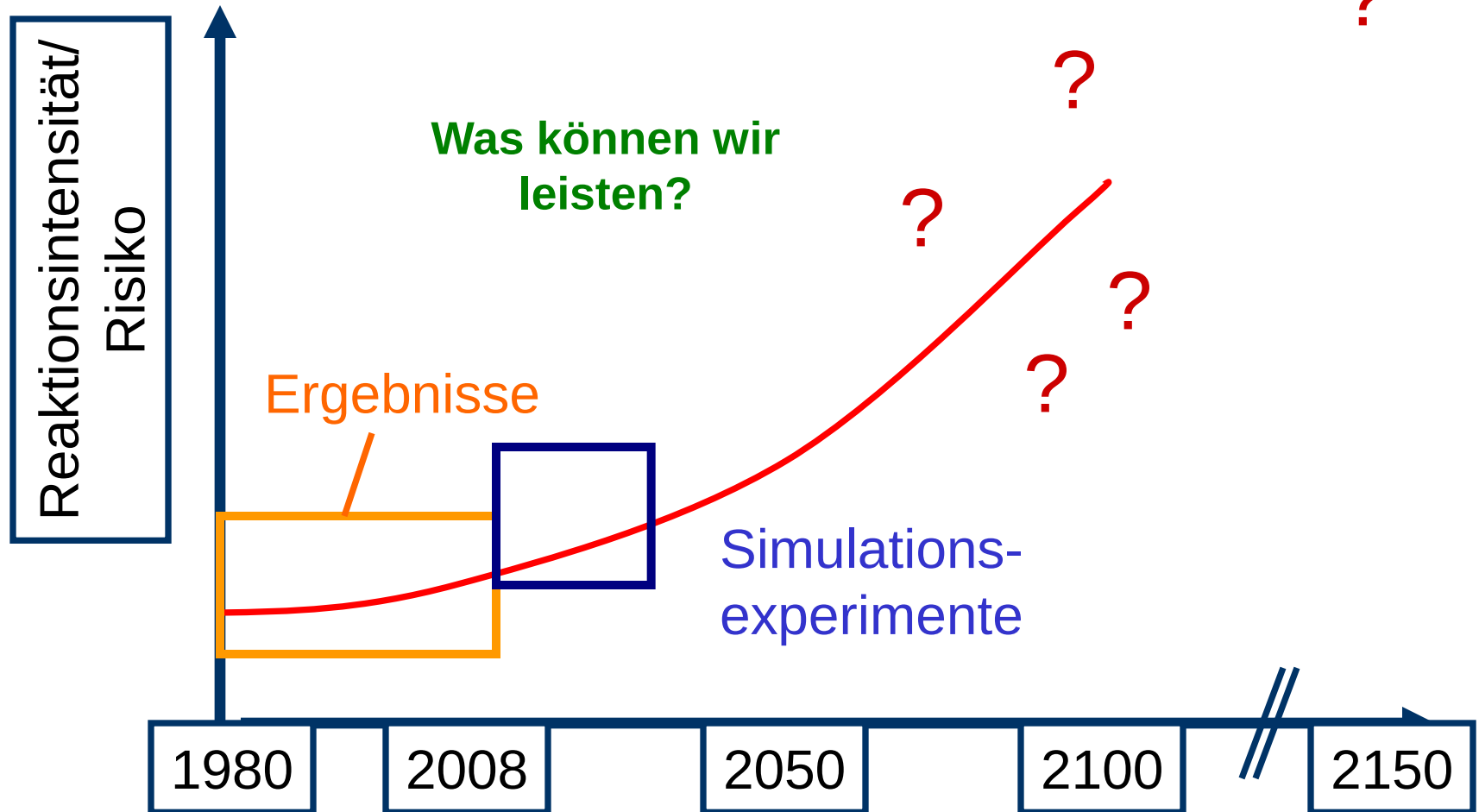
Was wissen wir?

- Vitalitätsdaten der Hauptbaumarten seit 1985
- Mortalitätsdaten der Hauptbaumarten
- Zuwachsdaten seit max. 450 Jahren
- Blattanalysen (Biomarker) und andere seit 20-30 Jahren
- Beobachtungen zu Insektengradationen seit > 100 Jahren
- Experimente
- sehr viel Literatur

Was wissen wir nicht?

- **Klimaentwicklung** für das 22. Jahrhundert
- Tatsächliche Witterungs**extreme** für das 21. Jhd.
- **Grenzen** der Anpassung der heutigen Baumarten
- **Potenziale** der Anpassungsfähigkeit
- Verhalten fremdländischer **Alternativbaumarten** in unserer Region
-

Zeitspanne der Betrachtung



3. Bewertung der Risiken für Brandenburger Wälder

Positive Nachrichten aus dem Wald

- Große Variabilität der Anpassungsfähigkeit zwischen und innerhalb der Baumarten
- Geringe Mortalität nach Extremereignissen
- (rasche) Erholung nach Stress
- Große (kleinstandörtliche) Variabilität im Gefährdungspotenzial (Impact)

Anfälligkeit

...des Ökosystems gegenüber Klimaänderungen ergibt sich aus der **Stärke der Einwirkung** und der **Sensitivität/Stabilität/Elastizität des Systems** (der Objekte)



- Baumartenzusammensetzung
 - Standortgerechtigkeit
- Genetische Reaktionsnorm der Einzelbäume und Populationen
- Lage des Areals im Verbreitungsgebiet bzw. der Ökologischen Nische
 - Begleitende Stressfaktoren

Waldbrandstatistik Deutschland

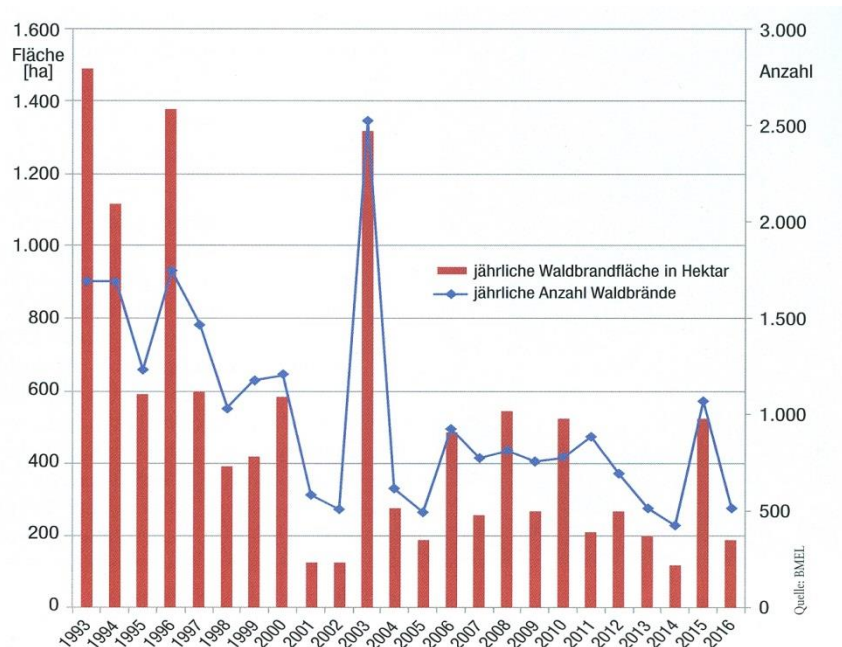


Abb. 1: Das Waldbrandgeschehen ist beherrschbar: Anzahl und Fläche der Waldbrände in Deutschland in den Jahren 1993 bis 2016

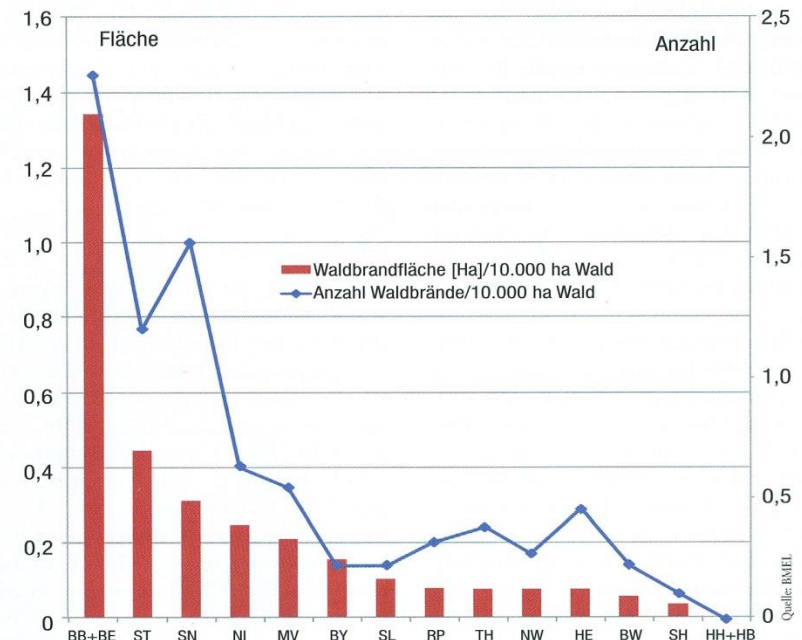
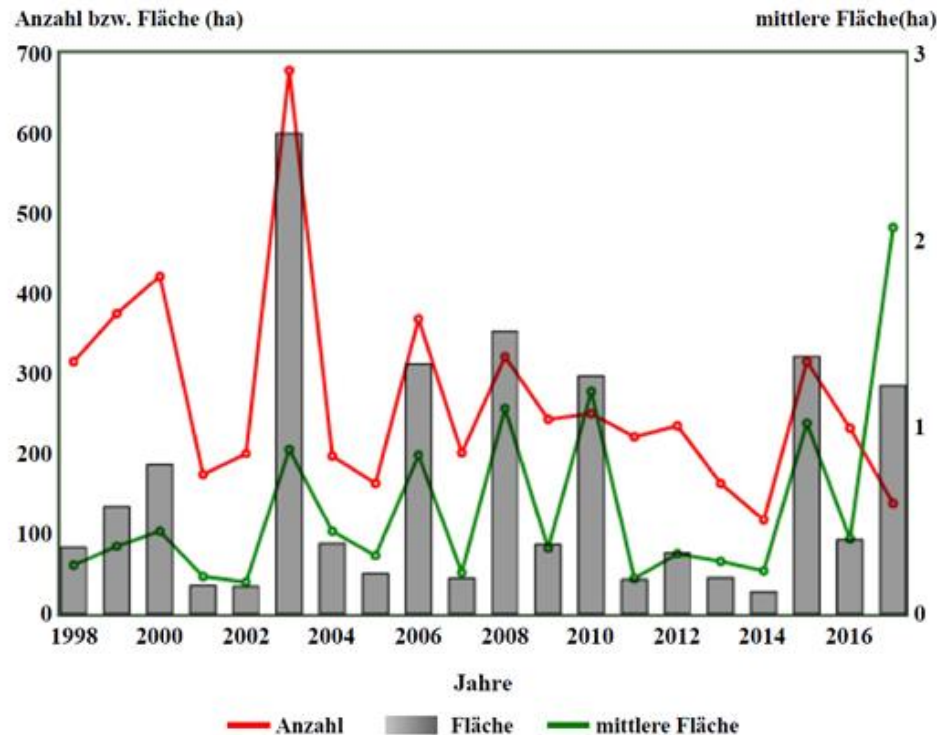


Abb. 2: Regionaler Waldbrand-Schwerpunkt Brandenburg: mittlere jährliche Anzahl und Fläche der Waldbrände nach Ländern pro 10.000 ha Wald in den Jahren 2004 bis 2016

20 Jahre Waldbrandstatistik Brandenburg

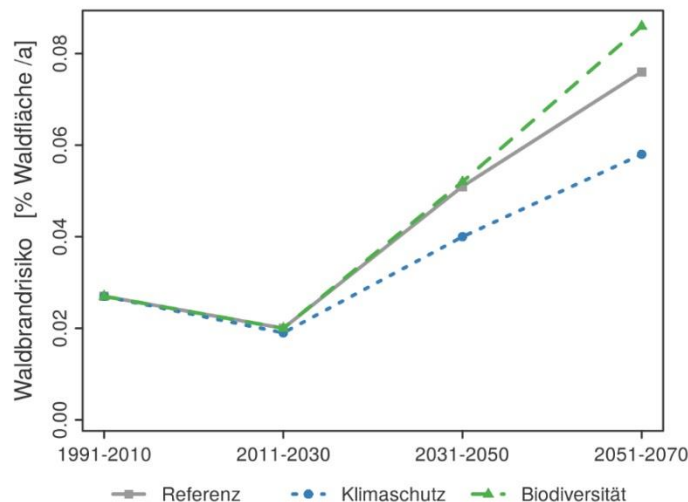


↑ Faktoren: Dürre, Selbstentzündung von Altmunition u.a. auf ehemaligen TÜP dann Löschrückmeldung (Befahrung), häufige Ursache Brandstiftung → Trockenheit entscheidet über Flächengröße

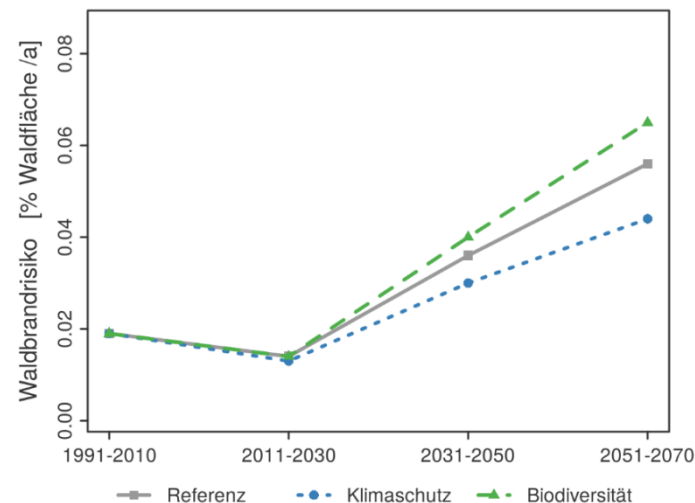
↓ schnelle Meldung bei Bränden durch Kameraüberwachung und auch Handys

Waldbrandrisiko

Fläming



Oder-Spree



Unterschiedliche Zündanfälligkeit der Bestandestypen gemäß Waldschutzmeldungen 2008-2013 im Fläming

Quelle: Teil-Bericht F1(unveröffentlicht): S. 46

Bestandestyp (BT)	Eiche	Buche	Birke	Fichte	Douglasie	Kiefer	Lärche
Brandfläche [ha]	7,1	0,4	104,8*	0,9	1,1	83,1	0,5
Gesamtfläche des BT (NI. + ST [ha])	188.857	211.217	90.813	262.719	30.050	576.908	54.331
Anteil a. d. BT-Fläche [‰]	0,037	0,002	1,154*	0,003	0,035	0,144	0,009

Waldbrand –Management

Was ist zu tun ?

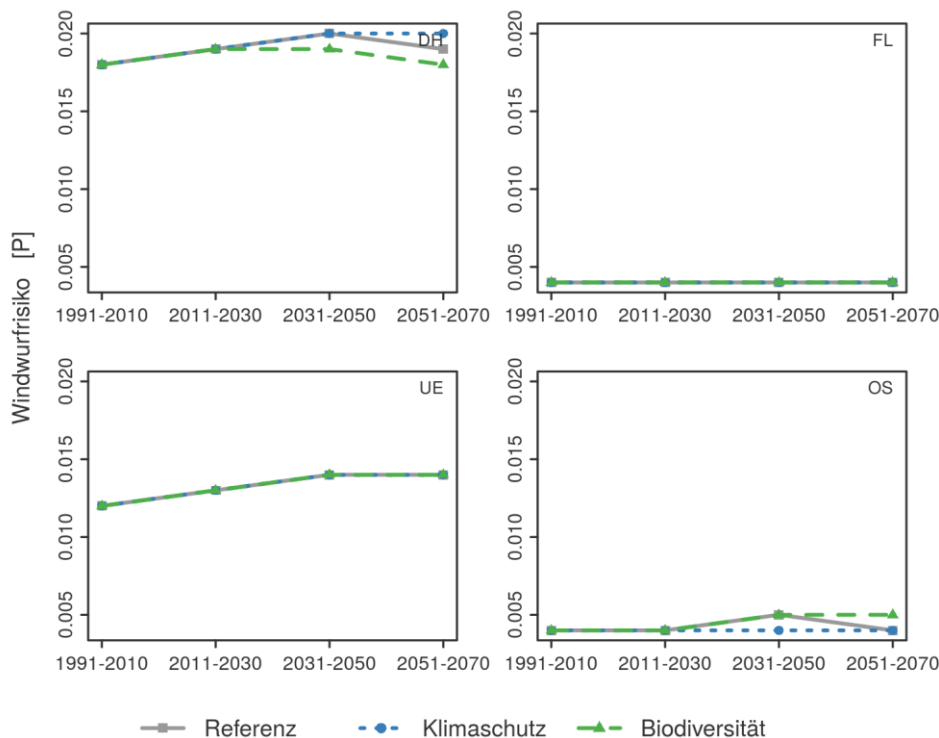
- Aufrechterhaltung der Waldbrandüberwachung
- Aufrechterhaltung der Brandbekämpfung
- Wegebau, Fördermittel, Erreichbarkeit von Wäldern mit der Feuerwehr
- Feuerlöschteiche
- Waldstrukturen (Baumarten, Waldbrandstreifen)
- Munitionsberäumung

Windwurf-Risiko

Aus DWD-Daten abgeleitete Wahrscheinlichkeit [%] eines Sturmereignisses innerhalb einer 10-Jahresperiode. Die Spreitung wird durch das 1. und 3. Quantil der Häufigkeitsverteilung bestimmt.

Modellregion	Sturmwahrscheinlichkeit [%]
Diepholz	40 - 50
Uelzen	20 - 30
Fläming	< 10
Oder-Spree	< 10

Diepholz



Fläming

Uelzen

Oder-Spree

Windwurf-Risiko (aktuell)

Fläming

Eintrittswahrscheinlichkeit	1	0,05	0,14	0,24	0,33	0,43	0,52	0,62	0,71	0,81	0,90
	0,9	0,04	0,13	0,21	0,30	0,38	0,47	0,55	0,64	0,72	0,81
	0,8	0,04	0,11	0,19	0,26	0,34	0,41	0,49	0,56	0,64	0,71
	0,7	0,03	0,10	0,16	0,23	0,29	0,36	0,42	0,49	0,55	0,62
	0,6	0,03	0,08	0,14	0,19	0,25	0,30	0,36	0,41	0,47	0,52
	0,5	0,02	0,07	0,11	0,16	0,20	0,25	0,29	0,34	0,38	0,43
	0,4	0,02	0,05	0,09	0,12	0,16	0,19	0,23	0,26	0,30	0,33
	0,3	0,01	0,04	0,06	0,09	0,11	0,14	0,16	0,19	0,21	0,24
	0,2	0,01	0,02	0,04	0,05	0,07	0,08	0,10	0,11	0,13	0,14
	0,1	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
Schadensausmaß											

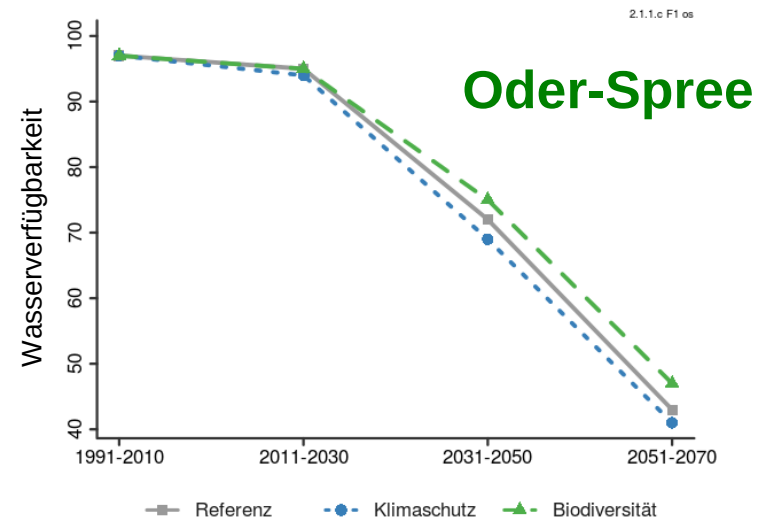
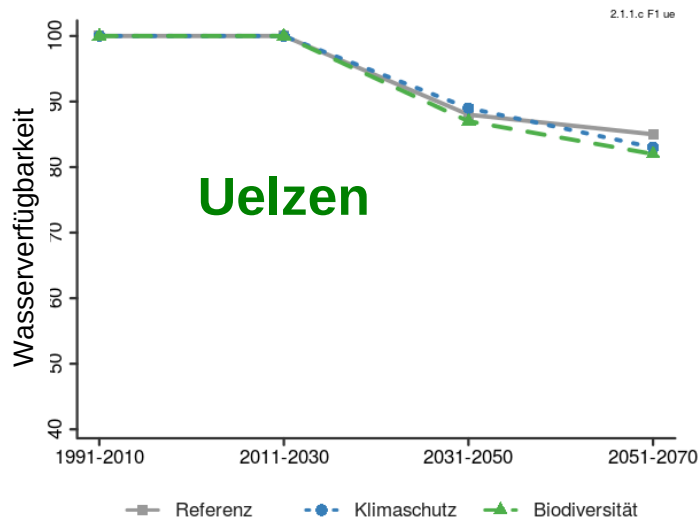
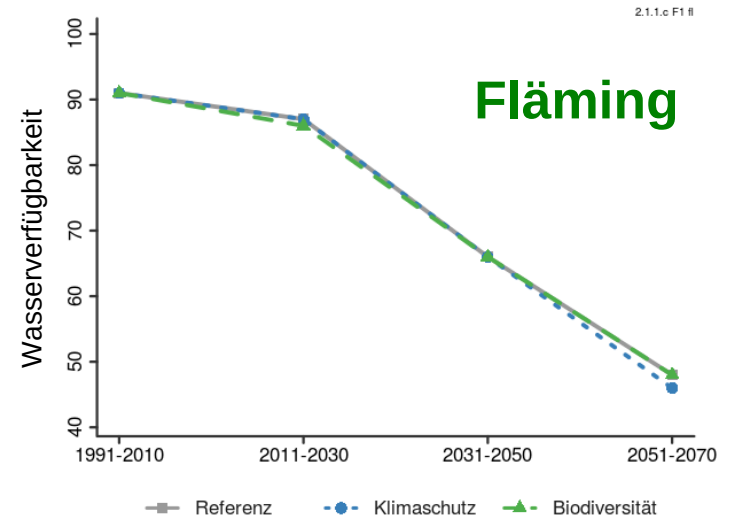
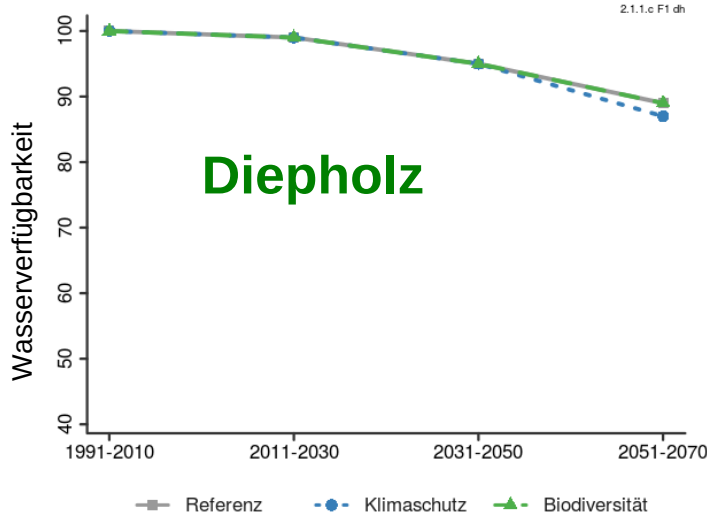
Risikowert	0,020
Bezugsebene	Bestand
Schutzgut	Bestandesvorrat
Zeitraumen	10 Jahre
A (min-max)	0,4-0,5
W (min-max)	<0,1

Oder-Spree

Eintrittswahrscheinlichkeit	1	0,05	0,14	0,24	0,33	0,43	0,52	0,62	0,71	0,81	0,90
	0,9	0,04	0,13	0,21	0,30	0,38	0,47	0,55	0,64	0,72	0,81
	0,8	0,04	0,11	0,19	0,26	0,34	0,41	0,49	0,56	0,64	0,71
	0,7	0,03	0,10	0,16	0,23	0,29	0,36	0,42	0,49	0,55	0,62
	0,6	0,03	0,08	0,14	0,19	0,25	0,30	0,36	0,41	0,47	0,52
	0,5	0,02	0,07	0,11	0,16	0,20	0,25	0,29	0,34	0,38	0,43
	0,4	0,02	0,05	0,09	0,12	0,16	0,19	0,23	0,26	0,30	0,33
	0,3	0,01	0,04	0,06	0,09	0,11	0,14	0,16	0,19	0,21	0,24
	0,2	0,01	0,02	0,04	0,05	0,07	0,08	0,10	0,11	0,13	0,14
	0,1	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
Schadensausmaß											

Risikowert	0,015
Bezugsebene	Bestand
Schutzgut	Bestandesvorrat
Zeitraumen	10 Jahre
A (min-max)	0,3-0,5
W (min-max)	<0,1

Wasserverfügbarkeit Wald



Welche Faktoren beeinflussen die Trockenstresstoleranz ?

Was muss passieren, damit es gefährlich wird?

Bauminterne Faktoren

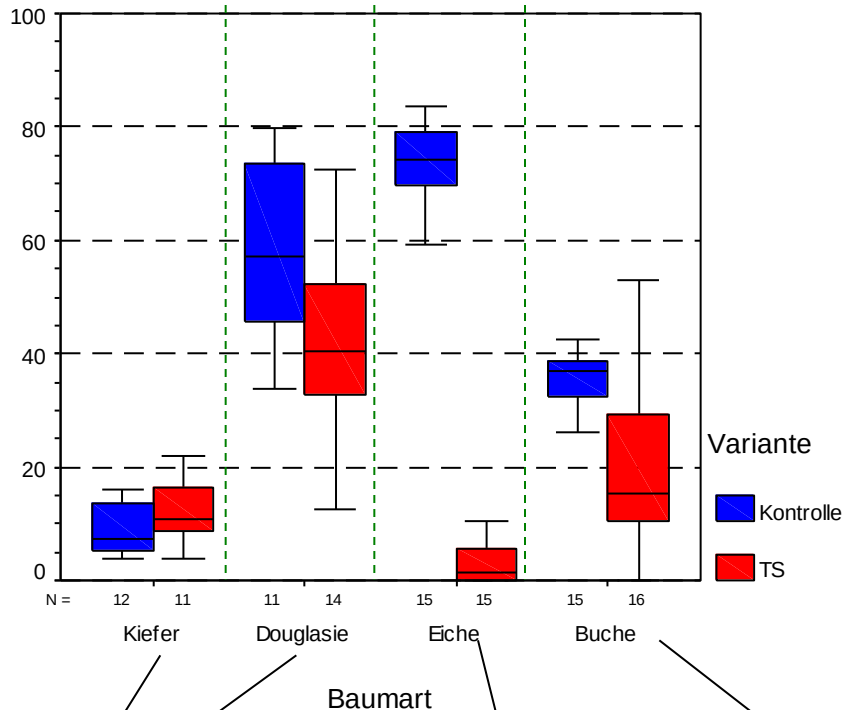
- Strategietyp (an-/isohydrisch)
- Ressourcen (Wasserspeicher, Kohlenhydrate, ATP)
- Genotyp
- Konditionierung, Memory-Effekte, Epigenetik
- Alter

Baumexterne Faktoren

- Begleitfaktoren (Konkurrenz, Hitze, Fraß...)
- Häufigkeit der Aufeinanderfolge von Ereignissen
- Zeitliche Abfolge von Ereignissen

Beispiel 2: Trockenstressversuche

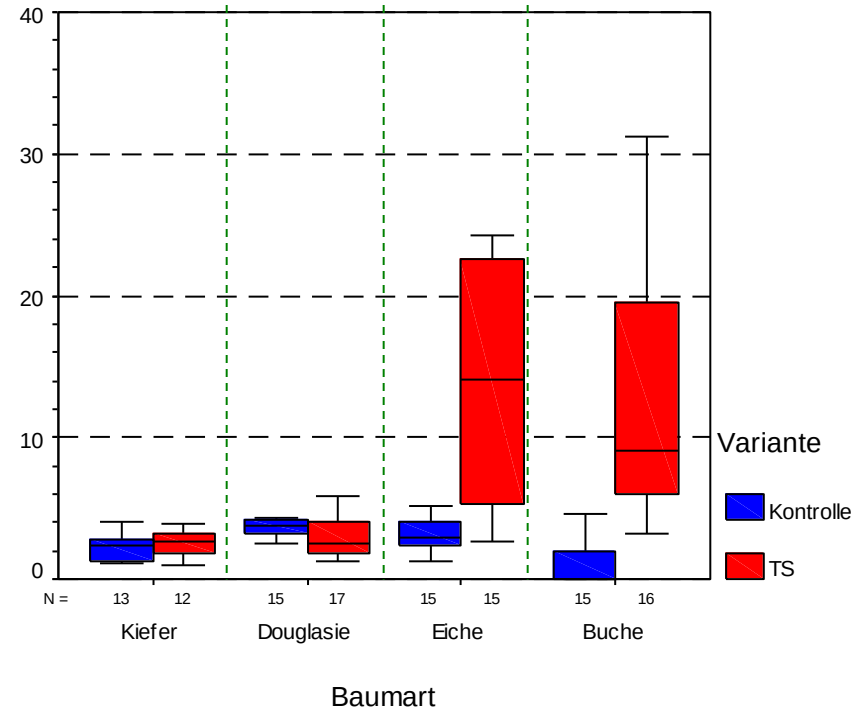
Versuch 2013: Trockenstress nach **4 Wochen**



Mortalität: 0 %

Mortalität: 60 %

Mortalität: 0 %, nach Überwinterung: 47 %



Trockenstress (aktuell, RBU + TEi)

Fläming

Eintrittswahrscheinlichkeit	1	0,05	0,14	0,24	0,33	0,43	0,52	0,62	0,71	0,81	0,90
	0,9	0,04	0,13	0,21	0,30	0,38	0,47	0,55	0,64	0,72	0,81
	0,8	0,04	0,11	0,19	0,26	0,34	0,41	0,49	0,56	0,64	0,71
	0,7	0,03	0,10	0,16	0,23	0,29	0,36	0,42	0,49	0,55	0,62
	0,6	0,03	0,08	0,14	0,19	0,25	0,30	0,36	0,41	0,47	0,52
	0,5	0,02	0,07	0,11	0,16	0,20	0,25	0,29	0,34	0,38	0,43
	0,4	0,02	0,05	0,09	0,12	0,16	0,19	0,23	0,26	0,30	0,33
	0,3	0,01	0,04	0,06	0,09	0,11	0,14	0,16	0,19	0,21	0,24
	0,2	0,01	0,02	0,04	0,05	0,07	0,08	0,10	0,11	0,13	0,14
	0,1	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05
Schadensausmaß											

Oder-Spree

Eintrittswahrscheinlichkeit	1	0,05	0,14	0,24	0,33	0,43	0,52	0,62	0,71	0,81	0,90
	0,9	0,04	0,13	0,21	0,30	0,38	0,47	0,55	0,64	0,72	0,81
	0,8	0,04	0,11	0,19	0,26	0,34	0,41	0,49	0,56	0,64	0,71
	0,7	0,03	0,10	0,16	0,23	0,29	0,36	0,42	0,49	0,55	0,62
	0,6	0,03	0,08	0,14	0,19	0,25	0,30	0,36	0,41	0,47	0,52
	0,5	0,02	0,07	0,11	0,16	0,20	0,25	0,29	0,34	0,38	0,43
	0,4	0,02	0,05	0,09	0,12	0,16	0,19	0,23	0,26	0,30	0,33
	0,3	0,01	0,04	0,06	0,09	0,11	0,14	0,16	0,19	0,21	0,24
	0,2	0,01	0,02	0,04	0,05	0,07	0,08	0,10	0,11	0,13	0,14
	0,1	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05
Schadensausmaß											

Risikowert	0,09
Bezugsebene	Bestand
Schutzgut	Mittel- bis alte Laubwälder
Zeitraumen	10 Jahre
A (min-max)	0,4-0,5
W (min-max)	0,3

Risikowert	0,12
Bezugsebene	Bestand
Schutzgut	Mittel- bis alte Laubwälder
Zeitraumen	10 Jahre
A (min-max)	0,3-0,5
W (min-max)	0,4

4. Handlungsempfehlungen Grundsatzstrategie

„No regret“

statt
Aktionismus

„Eberswalder Erklärung“ von 2008

Eberswalder Erklärung vom 18. April 2008
zum Waldmanagement im Klimastress

- Schaffung einer Kommunikationsplattform zwischen Landnutzern und Akteuren aus Politik, Wirtschaft, Wissenschaft und Naturschutz
- Schaffung von Rahmenbedingungen zur vorrangigen stofflichen Nutzung des Waldholzes und Bereitstellung von Energieholz aus Kurzumtriebsplantagen bzw. Agro-Forstsystemen
- Weiterentwicklung des Waldmonitorings und Intensivierung der Waldforschung im Hinblick auf den Klimawandel
- Konsequente Fortführung des Waldumbaus zur Risikostreuerung unter Einbeziehung einheimischer und etablierter fremdländischer Baumarten
- Tiefgreifende Änderung und Ausrichtung des Wildtiermanagements auf die Erfordernisse der Anpassung der Wälder an den Klimawandel

- Kommunikation
- Stoffliche Nutzung >> energet. Nutzung
- Waldmonitoring
- Waldumbau + Fremdländer
- Wildtiermanagement
- Förderung
- Integrativer Naturschutz
- Bewirtschaftungskonzepte weiterentwickeln
- Entscheidungsgrundlagen (z.B. StEK)
- Fachpersonal

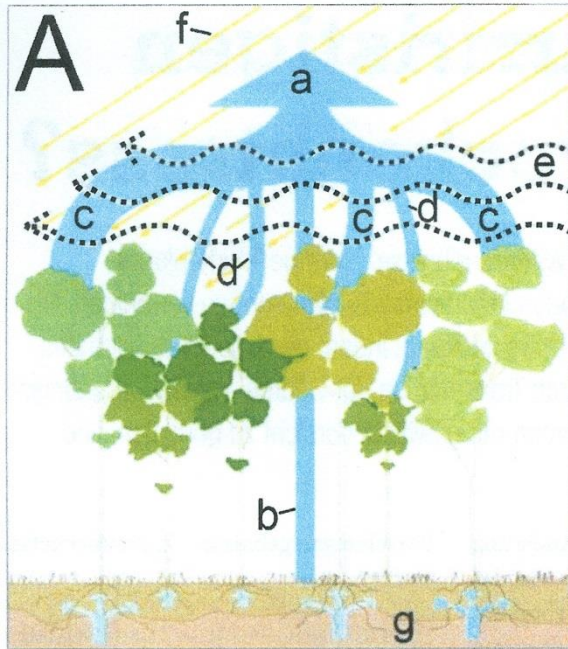
- Zielorientierte Weiterentwicklung der Förderinstrumente zur ökologischen Stabilisierung der Wälder und der langfristigen Kohlenstoff-Bindung
- Beibehaltung des integrierten Naturschutzes und Honorierung von Naturschutzleistungen der Forstwirtschaft
- Landnutzungsübergreifendes Wassermanagement und Honorierung der wasserwirtschaftlichen Leistungen der Forstwirtschaft
- Kontinuierliche Anpassung und Weiterentwicklung bestehender Bewirtschaftungskonzepte an den Klimawandel
- Schaffung von an den Klimawandel angepassten Planungs- und Entscheidungsgrundlagen (z. B. Standortserkundung)
- Aufstockung des Fachpersonals in Wissenschaft und Praxis zur Bewältigung der vermutlich drastischen Folgen des Klimawandels

Handlungsprinzipien

Handlungsprinzip	Handlungsphase		
	Verjüngung	Jungwuchspflege	Durchforstung
Erhöhung der Baumartenvielfalt mit zukunftsfähigen Arten			
Erhöhung der Strukturvielfalt			
Erhöhung der genetischen Vielfalt			
Erhöhung der Stabilität der Einzelbäume			
Reduktion der Umtriebszeit/Zieldurchmesser bzw. vorzeitige Verjüngung			

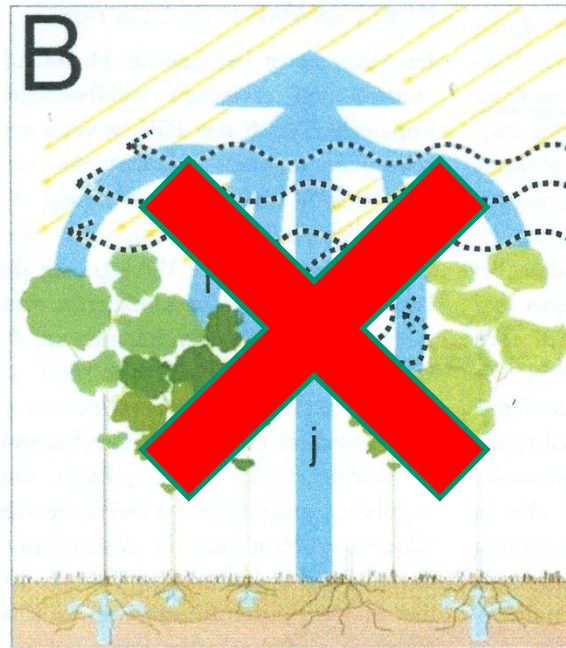
Auflichten oder nicht?

Waldverdunstungsprozesse



Mehrschichtiger
Hochwald

a, c, d -Bestandestranspiration
b - Bodenverdunstung
e - Luftströmung an Grenzschicht
g - Wasserverteilung im Boden



Hiebsmaßnahme im
Oberstand:

- Starke Luftturbulenzen
- „Wäscheleineffekt“
- Zunahme der Verdunstung (2,5x; aus Boden und Bestand)
- Verlust hydraulischer Gradienten durch Tiefwurzler

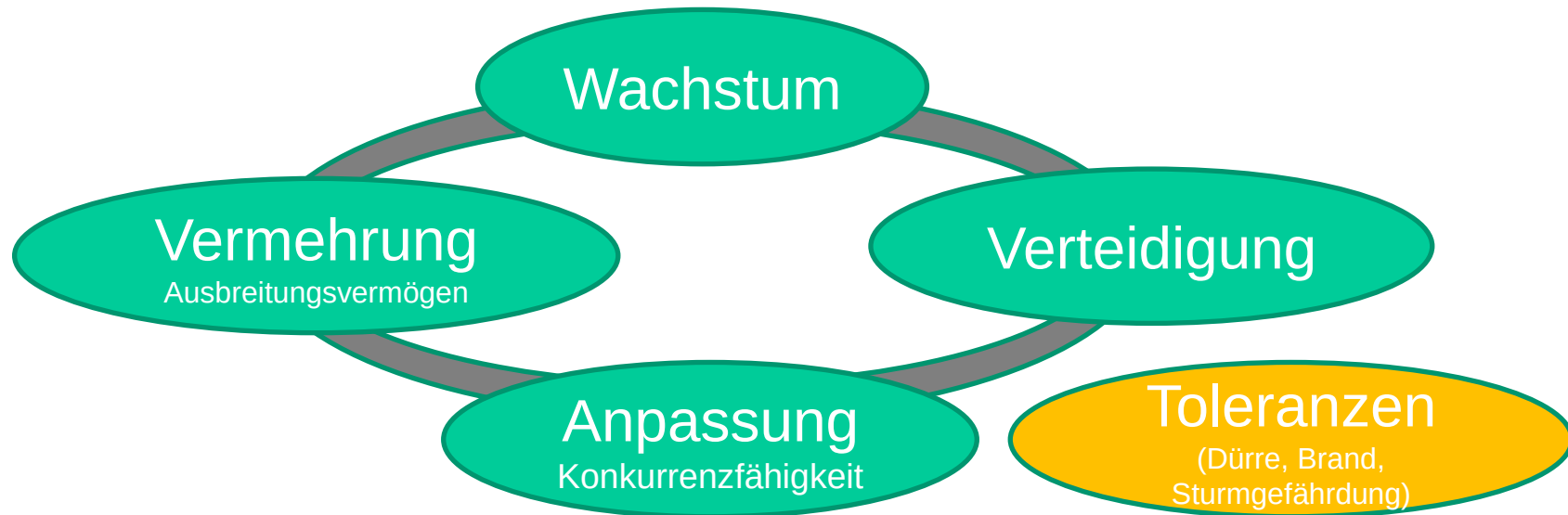


Entfernung
unterständiger
Bäume

Drei Strategien zur Baumarten/- Herkunftswahl

1. Physiologische Amplituden der **heute hier vorkommenden** Baumarten ausloten
2. Fremde **Herkünfte** heimischer Baumarten testen
3. Fremdländische Baum**arten** aus wärmeren/trockneren Klimaregionen testen (1. aus Deutschland und 2. Ursprungsorten)

Welche Kriterien sind entscheidend?



Aber:

Zuwachsleistung und Überlebenswahrscheinlichkeit müssen nicht korrespondieren!

Beispiel: „Growth or defense“-These

Wer die Wahl hat...

Entscheidung	beeinflusst:
Nadel- oder Laubbaum	Risiko, Gewinn
Tracheiden oder Tracheen / ring- oder zerstreutporig	Gefahr für Embolismen (Trockengebiete)
Tief- oder Flachwurzler	Sturmgefährdung, Trockenstress
Früh- oder Spättreiber	Spätfrostgefahr
Wachsen oder Überleben	Risiko, Gewinn
qualitatives oder quantitatives Abwehrsystem	Abwehr gegenüber Insekten
isohydrisch oder anisohydrisch	TS-Strategie
r- oder K-Strategie	Risiko, Lebensdauer
Welcher Genotyp?	
Vorkonditionierung? (Epigentyp)	
Nebenprodukte (Saatgut, Inhaltsstoffe)	

Indikatoren

Physiologische Parameter zur Baumartenwahl

Kriterien	Indikatoren	Zielgröße	Beispiele
Wachstum	Nettophotosynthese/Zuwachs	hoch	Douglasie, Thuja, Robinie, Pappel, Rot-Eiche, Zerr-Eiche
	Atmungsrate	gering	Acer, Pinus, Abies
	WUE	hoch	Douglasie, „Evergreens“
	Vegetationsperiode	lang	immergrüne Gehölze, Stein-Eiche
	Kulminationspunkt	zeitig	Pioniergehölze
Vermehrung	Fruchtifikationsalter	10-20	Robinie, Birke, Pappel, Robinie
	Fruchtifikationshäufigkeit	jährlich	Birke, Pappel, Robinie
	Samenmenge	hoch	Aspe, Birke, Schwarzerle u.v.a.
	r-/K-Strategie	r	Aspe u.v.a
	Bestäubungsart	Wind/Generalisten	z.B. Birke, Balsam-Pappel
Anpassung	Verbreitungsgebiet/gen.Div.	groß	Kiefer
	Ortslage im Verbreitungsgebiet	zentral ?	Buche, Eiche, Wildobstarten
	Isohydrisch/Anisohydrisch		Kiefer, Buche/Eiche
	Embolismusresistenz	Tracheiden	Gymnospermae, zerstreutporige Baumarten
	Früh- o. Spätaustreiber/Frost		Herkunfts-u. Individualebene
	Nährstoffbedarf	gering	Kiefer, Birke, Robinie, Rot-Eiche
	Wurzelsystem	tief	Tanne, Eibe, (Kiefer), Eiche, Ulme
Abwehr	Qualitatives/quantitatives Abwehrsystem	qualitativ	Gymnospermae, Buche, Esskastanie
	Generalist/Spezialist	Generalist	Kiefer, Birke, Robinie, Ahorn
			Fremdländische Baumarten ohne Erregerspektrum

Kriterien zur Beurteilung der genetischen Anpassungsfähigkeit

Evolution begünstigt Genotypen, die sich mit minimalem Aufwand und hoher Individuenzahl reproduzieren.

- Verbreitungsareal über verschiedene Klimaregionen der Erde
- Ausgangsindividuenzahl
- Bestäubungs- und Befruchtungsmechanismen
- Fruktifikationsalter, Generationsdauer
- Fruktifikationshäufigkeit
- Saatgutmenge/Baum und Mast
- ökolog. Generalisten
- sekundäre Gefährdungsursachen
- Wanderungsgeschwindigkeiten

Vermehrungspotenziale

Baumart	Fruchtifikations- alter	Häufigkeit Vollernten/ Jahrzehnt	Samenmenge	Bewer- tung
Robinie	10-15	5	71.000-141.000***	1
Flatter-Ulme	30-40	4	48.000-538.000**	2
Esche	20-25	3	450*	2
Winter-Linde	20-25	3	250*	2
Gem. Birke	10-15	3	49.000-90.000*	1
Schwarz-Erle	10-20	3	10.000.000****	1
Hainbuche	15-20	3	300.000***	2
Aspe	10	6	50.000*	1
Buche	40-50	1	360-520*	3
Eiche	40-50	1	150*	3

* Angabe nach Rohmeder (1972) in Anz./m²

** Angabe nach Küßner (2002) in Anz. pro Baum in Abhängigkeit vom BHD

*** Angabe nach Schütt (1994) in Anz. pro Baum

**** Angabe nach Schirmer (2003) in Anz. pro Baum

Auf der Suche nach klimaangepassten Baumarten

3 Gruppen:

- **Heimische seltene/Misch- Baumarten** (Elsbeere, Weiß-Tanne, Winter-Sommer-Linde, Spitz-Ahorn, Sand-Birke, Vogel-Kirsche, Eibe)
- **Fremdländer mit Anbauerfahrung in BB** (Rot-Eiche, Robinie, Riesenlebensbaum, Douglasie, Zerr-Eiche, Gelb-Kiefer, Flaum-Eichen-Hybriden, Baum-Hasel)
- **Fremdländer ohne/wenig Anbauerfahrung in BB** (Ungarische Eiche, Orient-Buche, Libanon-Zeder, Silber-Linde,)

Angepasstheit als Grundlage zur Bewertung der Baumarteneignung

3. **KlimaArtenMatrix (KLAM):** Toleranz von Baumarten gegenüber Hitze-, Trockenresistenz, Frosthärte für vier Standortsbereiche (Notensystem)

A. Roloff/B. Grundmann (2008): 15 Baumarten für trockene bis sehr trockenen Standorte

Acer campestre, A. platanoides
Betula pendula, Carpinus betulus
Pinus nigra, **P. sylvestris**, P. strobus
Quercus petraea
Robinia pseudoacacia
Tilia cordata
Sorbus aria, S. domestica, S. torminalis

Sehr geeignet

Ergebnisse des Monitorings

hohe Amplitude der Angepasstheit
hohe Anpassungsfähigkeit auf Populationsebene

Robinie
Birke
Hainbuche

hohe Amplitude der Angepasstheit, großes Verbreitungsgebiet
hohe Anpassungsfähigkeit auf Ebene der Individuen und Populationen
starke Gefährdung durch Insekten, Mistel, westliche Verbreitungsgrenze

Wald-Kiefer

hohe Konkurrenzkraft,
hohe individuelle Anpassungsfähigkeit
eingeschränkte Anpassungsfähigkeit des genetischen Systems

Rot-Buche

Stiel-Eiche
Trauben-Eiche

eingeschränkte individuelle Angepasstheit,
eingeschränkte Anpassungsfähigkeit des genetischen Systems

Kriterien für die Suche nach Alternativbaumarten

1. Klimawandel angepasst: Verbreitung, Ökologie, Standortbindung
2. Wuchsleistung
3. Bekannt als Wirtschaftsbaumart im Herkunftsland?
4. Verwendungsmöglichkeiten (Holzeigenschaften, Verwendung)
5. Risiken (Frost, Invasivität, Schaderregerspektrum)
6. Anbauerfahrung (Arboreten, Parks..)
7. Saatgutbeschaffung, Gesetzgebung

Es gibt seit ca. 60 Jahren keine forstlichen
Anbauversuche mit „neuen“ fremdländischen
Baumarten in BB!

Kriterien der Baumartenwahl

Kriterium	Artverbreitungsmodelle	Klima-Analogien	Anbauversuche	Herkunftsversuche
Fragestellung	Ökologische Ansprüche einer Art, räumliche und zeitliche Vorhersage der Verteilung	Artzusammensetzung, Herkunft, Waldbau, Wirtschaftlichkeit	Artempfehlungen (Überleben und Leistungsvermögen, Resistenzen)	Herkunftseignung, (Überleben und Leistungsvermögen, Resistenzen)
Eingangsgrößen	Forstinventuren, Klima- & Bodenparameter, Klimaszenarien	Forstinventuren, Klima- & Bodenparameter, Klimaszenarien	Versuchsflächendaten	Versuchsflächendaten, Herkunftsinformationen
Zielvariable	Vorkommenswahrscheinlichkeit einer Art	Regionen, Klimaähnlichkeitsindizes	Überlebensraten, Wachstum, phänotypische Eigenschaften, Resistenzen	Überlebensraten, Wachstum, phänotypische Eigenschaften, Resistenzen
Zeitlicher Horizont der Analyse	kurzfristig (1 bis 3 J.)	kurzfristig (1 bis 3 J.)	mittel- bis langfristig (5 bis 80 J.)	mittel- bis langfristig (5 bis 80 J.)
Räumlicher Horizont der Ergebnisse	kontinental	regional	lokal – regional	lokal – regional
Stärken	Ökologische Ansprüche einer Art; räumliche und zeitliche Vorhersage der Verteilung	weiterführende, praxisrelevante Informationen zu einer Art	einfacher Versuchsaufbau; konkrete Standortsaussagen	Aussagen über einen konkreten Standort möglich; größte Informationsqualität über Provenienz und Leistung sowie Anbaueignung
Grenzen	Abbildung von unterschiedlichen Ansprüchen innerhalb einer Art (Provenienzen); anthropogener und biotischer Einfluss schwer von klimatischem unterscheidbar	ökologische Besonderheiten der Arten	Aussagekraft wird vermindert durch die Vernachlässigung der Provenienz; Standortveränderung durch Klimawandel	sehr planungsintensiv, hoher Flächenbedarf und teuer; erste gesicherte Aussage nach 10 Jahren bis mehreren Jahrzehnten; Standortveränderung durch Klimawandel

Tab. 1: Übersicht über die vier Forschungsansätze

Baumartenempfehlungen für Anbauversuche

Gattung	Art	Dt.	Herkunft	Erfahrungen
<i>Pinus</i>	<i>taeda*</i> <i>echinata*</i> <i>ponderosa</i> <i>aleppo</i>	Weihrauch-Kiefer Fichten-Kiefer Gelb-Kiefer Aleppo-Kiefer	USA (SO) USA (SO) USA Spanien, It	BB
<i>Quercus</i>	<i>macrocapa*</i> <i>cerris</i>	Großfruchtige-(Burr-) Eiche Zerr-Eiche	USA Ungarn u.a.	BB
<i>Fagus</i>	<i>orientalis</i>	Orient-Buche	EU (SO)	
<i>Fraxinus</i>	<i>pennsylvanica*</i>	Rot-Esche	USA	HU, Mittlere Elbe
<i>Populus</i>	<i>deltoides</i>	Kanad. Schwarz-Pappel	Nordamerika	D
<i>Acer</i>	<i>saccharinum*</i>	Zucker-/Silber-Ahorn	USA	
<i>Corylus</i>	<i>colurna</i>	Baumhasel	Kleinasien	Sauen
<i>Cedrus</i>	<i>libani</i>	Libanon Zeder	Kleinasien / Libanon	
<i>Tilia</i>	<i>tomentosa</i>	Silber-Linde	Kleinasien	HU, EIP

Anbau-, Versuchsstrategie

Saatgutquellen ?

Kombinierte Anbau-/Herkunftsversuche

Je Baumart: 3 Versuchsflächen mit 6 Herkünften (3x 6 ha)

Begleitung und Auswertung min. 20 Jahre

Anbauempfehlung

**Umwandlung in
Samenplantage**

Ernte ab
>2060

5. Schlussfolgerungen (1)

- Bäume besitzen ein **enormes Anpassungspotenzial** zum Überleben (zumindest für die nächsten Jahrzehnte)
- Risiken sind **regional stark differenziert**
- Klimawandel als „**Prozess ohne Ende**“ begreifen
- Klimasensitivität zeigt sich in phänologischen und Wachstumsreaktionen (Assimilation und C-Partitioning)
- Die tatsächlichen (variablen) physiologischen Grenzen der Anpassung sind für Waldbäume noch unbekannt (z.B. LT 50).

Schlussfolgerungen (2)

- **Waldbrand** hat höchstes Risikopotenzial, Sturmgefahr deutlich geringer
- **Trockenstress** wirkt vor allem als disponierender Faktor
- Entwicklung **biotischer Schaderreger/Pathogene** bleibt unkalkulierbar
- (Spät)**Frosttoleranz** bleibt entscheidendes Selektionskriterium
- Problematisch sind **kombinierte** Stressfaktoren und **aufeinander folgende** Stressereignisse
- Es gibt ein umfangreiches Maßnahmenarsenal um Klimarisiken zu mindern (**Zeit gewinnen!**)
- Es gibt kein Risikomanagementkonzept, das gegen alle direkten und indirekten Klimaextreme gleichzeitig erfolgreich ist.
- **Sekundäre Risikofaktoren mindern** (Pflanzenfresser, N, Luftschadstoffe), d.h. PSM-Einsätze/-Forschung gewinnen an Bedeutung

Schlussfolgerungen (3)

- Proaktive Anpassung: **genetische Vielfalt der Herkünfte**, Populationen/Saatgutbestände, Einzelbäume nutzen
- Sie brauchen die „**Baumschule ihres Vertrauens**“ als Partner (Saatgutbeschaffung, Herkunftssicherheit)
- **Zeit gewinnen**: Kritische Bewertung von Saatgutbeständen hinsichtlich Anpassungskapazität und ggf. genet. Vielfalt -> ggf. Neuauswahl
- „**Der Evolution Futter geben**“: Markierung (und Vermehrung) von stresstoleranten Einzelbäumen -> „Physiologische Z-Bäume“
- Überleben nach Selektion auf Populationsebene ermöglichen (höhere Individuenzahlen)
- Selektion innerhalb des vorhandenen Genpools (<- **Einflussmöglichkeiten**)
- Ohne **Kunstverjüngung** geht es nicht!

Schlussfolgerungen (4)

- Festhalten an **pnV-Arten** und heutige „**Naturnähekonzepthen**“ ist nicht plausibel (siehe auch WAGNER, 2001)
- stärkere Berücksichtigung von kurzlebigen **Pionierbaumarten** (r-Strategen) in waldbaulichen Konzepten
- Die meisten *Gymnospermae* (Nadelbaumarten) haben klaren Vorteil bei Trockenstress.
- Versuche mit neuen Alternativbaumarten sind ein Gebot der Stunde (**citizien science im Forstlichen Versuchswesen?**)

Was ist zu empfehlen?

1. Mehr auf **Sicherheit** als auf Gewinn/Risiko setzen
2. **Risikovorsorge**: Brand, Sturm
3. Artenreiche Wald**ränder** entwickeln
4. Persönliches **Monitoring**: Vitalität, Kalamitäten
5. Konsequente Kronenpflege/Kronenentwicklung:
Kohlenhydrate!
6. Kritische Prüfung: **Baumschule meines Vertrauens** als Partner gewinnen (hier investieren!)
7. **Individuenreiche Verjüngung**, aber keine einzelbaumweisen Mischungen
8. Mischungen mit **nur wenigen Baumarten** (interspez. Konkurrenz!)
9. **Kleinflächige Experimente** mit fremdländischen Baumarten
10. **Kurze Umtriebszeiten**, schnelle Reaktionsmöglichkeiten
11. Wissen: Informiert bleiben!