

# Bäume für die Zukunft: Baumartenwahl auf wissenschaftlicher Grundlage

Anbaurisikokarten jetzt um Boden- und Reliefparameter ergänzt

Wolfgang Falk, Karl Mellert, Ute Bachmann-Gigl und Christian Kölling

**Die Forstwirtschaft kann auf den Klimawandel vor allem durch die Schaffung klimatoleranter Mischbestände mit der Einbringung angepasster Baumarten reagieren. Die bisherigen provisorischen Klima-Risikokarten der Forstverwaltung wurden umfassend überarbeitet und um Boden- und Reliefparameter ergänzt. Die neuen Karten enthalten Anbaurisiko-Einschätzungen für 21 Baumarten. Mit den neuen Karten verfügt die Forstverwaltung über ein hochwertiges Beratungsinstrument, das die Beratung der Waldbesitzer und deren letztendliche Eigentümerentscheidung im klimagerechten Waldumbau auf eine neue wissenschaftliche Basis stellt.**

Die Forstwirtschaft ist wie kaum ein anderer Wirtschaftszweig von Umweltbedingungen abhängig, daher ist sie auch von einer Klimaerwärmung stärker als andere Wirtschaftszweige betroffen. Das schon von Wilhelm Pfeil (1783–1859) formulierte »eiserne Gesetz des Örtlichen«, nachdem der Standort entscheidend für den waldbaulichen Erfolg ist, behält seine Gültigkeit auch unter sich ändernden Klimabedingungen: Erfolgreich kann nur gewirtschaftet werden, wenn Standort und Ansprüche der Baumart über die gesamte Umtriebszeit – und sofern die Naturverjüngung genutzt werden soll auch darüber hinaus – zusammenpassen. Daher ist es notwendig, abzuschätzen, ob angesichts der prognostizierten Erwärmung die vorhandenen oder geplanten Baumarten noch zum Standort passen. Andernfalls steigt das Anbau-Risiko vor allem aufgrund von Dürre- und Hitzeschäden oder Schädlingsbefall stark an.

Aus der heutigen Verbreitung der Baumarten lassen sich Regeln ableiten, die voraussichtlich auch künftig gelten werden. Da wir nicht direkt in die Zukunft schauen können, er-

folgt der »Blick« in eine wärmere Zukunft dadurch, dass eine heute schon wärmere Region betrachtet wird (»Raum-für-Zeit«-Ansatz). Wenn für Bayern eine Erwärmung von ungefähr 2 °C bis zum Ende des Jahrhunderts vorhergesagt wird (optimistisches Szenario B1, Spekat et al. 2007), muss überprüft werden, wo in Europa heute schon diese Bedingungen bestehen und ob die betrachtete Baumart dort zurechtkommt. Ein exakt übereinstimmendes Klima wird man dabei zwar nicht immer finden, dennoch ist der Zusammenhang meist sehr klar und die klimatischen Verbreitungsgrenzen werden deutlich.

## Baumartenverbreitungsmodelle

Technisch wird der oben beschriebene Ansatz mit Hilfe von Artverbreitungsmodellen (Franklin 2009; Falk und Mellert 2011) realisiert. Dazu werden Inventurdatensätze (Abbildung 1) wie die Europäische Kronenzustandserhebung (Level I) oder die bayerischen Bundeswaldinventur (BWI)-Daten verwendet und an jedem Inventurpunkt das Vorkommen oder Fehlen einer Baumart festgestellt. Um das Verbreitungspotenzial der Baumarten zu beschreiben, wurden die Inventurdaten um Experteneinschätzungen bezüglich der Verbreitung ergänzt. Für die europäischen Daten wurden Vegetationskarten (Bohn et al. 2003) verwendet und an den bayerischen BWI-Traktecken Erkenntnisse zur potenziell natürlichen Vegetation herangezogen (Walentowski et al. 2001). Das Expertenwissen korrigiert also das Fehlen einer Baumart im Datensatz dort, wo es auf menschlichen Einfluss (Forstwirtschaft) und nicht auf den Standort zurückgeht. Den Verbreitungsdaten werden anschließend Umweltdaten, wie Temperatur- und Niederschlagswerte, Angaben zum Boden wie beispielsweise Basensättigung oder nutzbare Feldkapazität, die das Wasserspeichervermögen eines Bodens beschreibt, angefügt. Diese Daten werden genutzt, um statistische Zusammenhänge zwischen dem Vorkommen der Baumarten und den am Ort des Vorkommens herrschenden Umweltbedingungen zu ermitteln. Im Projekt KLIP3 »Bäume für die Zukunft« wurden dafür besondere Regressionsmethoden benutzt, sogenannte generalisierte additive Modelle (GAM). Die Berechnung der Verbreitungsmodelle fand zum einen auf eu-

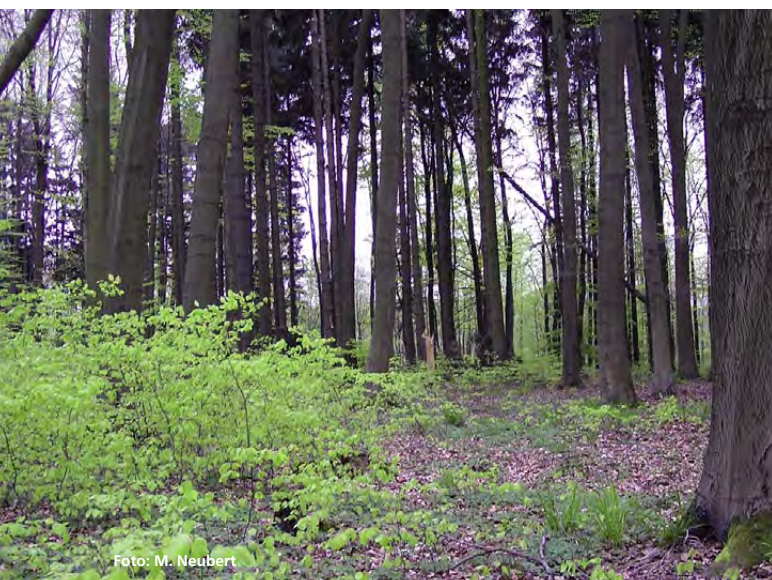
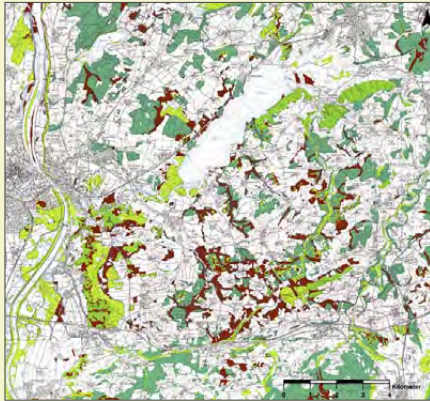


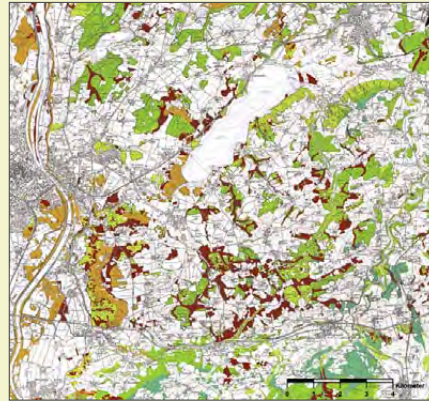
Foto: M. Neubert

Abbildung 1: Sturmwurf gefährdeter Fichten-Buchenbestand an einer Traktecke der Bundeswaldinventur. Die Daten der zweiten Inventur sind Grundlage für die Modellierung.

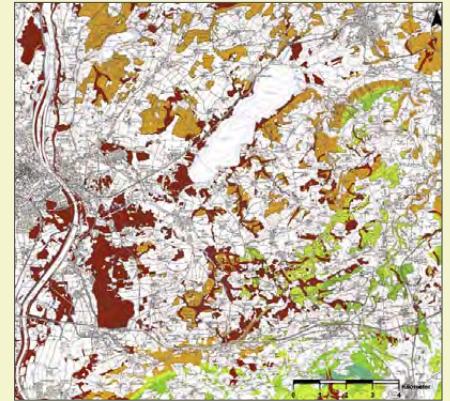
Bezugsperiode 1971–2000



Bezugsjahr 2050



Bezugsperiode 2071–2100

**Risiko-Klasse**

- |   |   |
|---|---|
| <span style="color: green;">■</span> sehr geringes Risiko (als führende Baumart möglich)                                      | <span style="color: yellow;">■</span> erhöhtes Risiko (als Mischbaumart in mäßigen Anteilen möglich)      |
| <span style="color: lightgreen;">■</span> geringes Risiko (als führende Baumart mit hohen Anteilen an Mischbaumarten möglich) | <span style="color: orange;">■</span> hohes Risiko (als Mischbaumart in geringen Anteilen möglich)        |
|   | <span style="color: red;">■</span> sehr hohes Risiko (als Mischbaumart in sehr geringen Anteilen möglich) |

Abbildung 2: Anbafrisiko der Fichte in einem Ausschnitt östlich von Rosenheim. Die zeitliche Entwicklung des Anbafrisikos ergibt sich aus Veränderungen der Temperatur- und Niederschlagsverteilung nach dem WETTREG B1-Szenario.

© Datengrundlage Topographische Karte: Bayerische Vermessungsverwaltung

ropäischer Ebene statt, um die gesamte Verbreitung aber auch den Verbreitungsrand einer Baumart in warmen Klimaregionen zu beschreiben. Zum anderen wurden Modelle mit bayerischen Daten erstellt, die eine höhere räumliche Auflösung und damit eine größere Genauigkeit haben. Die bayerischen Daten haben den Vorteil, dass sie im Gegensatz zu den europäischen Daten auch Boden- und Lageparameter enthalten, die in die Modelle integriert wurden. Am Ende wurden die beiden Modellergebnisse gewichtet verrechnet.

Die Modelle beschreiben die Vorkommens- oder Auftretenswahrscheinlichkeit einer Baumart an einem bestimmten Standort. Diese Wahrscheinlichkeiten wurden in ein Anbafrisiko übersetzt (Abbildung 2). Unter Standortbedingungen, bei denen es nach der Datenlage äußerst unwahrscheinlich ist, eine bestimmte Baumart anzutreffen, gehen wir davon aus, dass der Anbau der Art risikoreich ist und entsprechende Vorsorge getroffen werden muss.

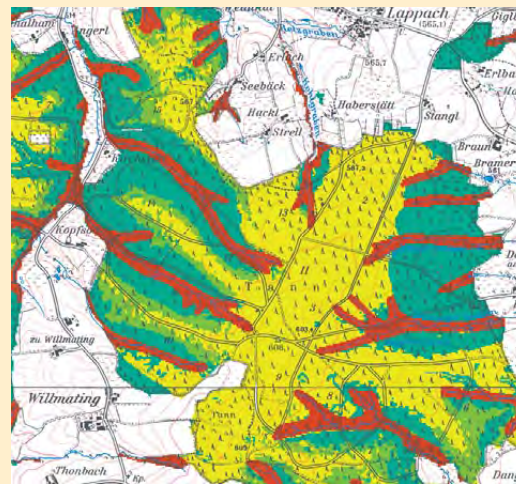
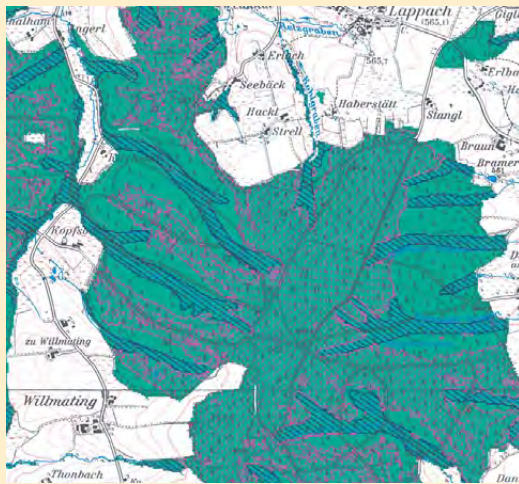
### Überprüfung im Gelände, Korrekturverfahren

Mit Hilfe der im Projekt KLIP4 »Karten für die Zukunft« erstellten und bayernweit flächig vorliegenden Standortinformationen (Osenstetter et al., S. 12–17 in diesem Heft) wurden die Modelle auf die gesamte Waldfläche Bayerns angewendet. Dabei wird aus der an jedem Waldort gegebenen Konstellation der Standortfaktoren (Klima und Boden) überprüft, wie wahrscheinlich dort das Auftreten der einzelnen Baumarten ist und welches Anbafrisiko damit gegeben ist. Die Ergebnisse dieser Risikoschätzungen wurden sowohl datengestützt als auch im Gelände auf zahlreichen Flächen überprüft:

- Vergleich mit Baumarteneignungstabellen der Standortskarten im Staatswald (15 Flächen)
- Experteneinschätzung zur Baumarteneignung auf Grundlage der Standortskarten im Staatswald (28 Flächen)
- Experteneinschätzung zu den Anbau-Chancen und -Risiken der Baumarten auf Grundlage der Ergebnisse KLIP4 (200 Einzelstandorte)

Bei der Auswahl der Prüfflächen wurde auf eine möglichst gleichmäßige Verteilung über alle Wuchsgebiete (geologische Großeinheiten) und Klimabereiche Bayerns geachtet. Darüber hinaus wurden gezielt Prüfgebiete ausgewählt, die standörtliche Besonderheiten bzw. Extreme aufweisen (z.B. kleinräumige Substratwechsel, Staunässestandorte) und/oder klimatische Randbereiche für die Eignung bestimmter Baumarten darstellen (z.B. warm-trocken). Die Überprüfung hatte zwei Ziele: Zum einen ist die Ableitung von Grenzen für die Klassen des Anbafrisikos erforderlich, damit das als kontinuierlicher Wert berechnete Anbafrisiko kartografisch in fünf Klassen dargestellt werden kann. Zum anderen sollten standörtliche Besonderheiten (z.B. Moore), die die Modelle nicht abbilden, herausgearbeitet werden. Aus den Prüfergebnissen wurden Regeln abgeleitet, mit denen die Modelle nachträglich verbessert wurden (z.B. erhöhtes Risiko bei starker Grund- oder Wechselfeuchte bei der Baumart Buche, vgl. Abbildung 3). Die Verbesserung war notwendig, da die Datensätze, mit denen die Artverbreitungsmodelle erstellt wurden, nicht alle kleinräumigen Besonderheiten abbilden konnten. Zusätzlich wurden die Modelle mit möglichst wenigen Variablen erstellt, damit sie eine große Allgemeingültigkeit haben. Nur wenn diese Eigenschaft vorhanden ist, kann mit den Modellen in die Zukunft gerechnet werden (hohe Übertragbarkeit auf ein anderes Klima oder auch eine andere Region). Außerdem werden kleinräumige Effekte des Bodens von großräumigen Klimaeffekten überprägt, so dass ein zweistufiges Verfahren wie bei der Standortkartierung (weitere Differenzierung innerhalb eines Wuchsgebietes aufgrund von Bodeneigenschaften und Lage)

## Standörtliches Anbaurisiko – Boden und Klima



- Buche** Rastergröße 10 m x 10 m
- Risiko-Klasse**
- sehr geringes Risiko (als führende Baumart möglich)
  - geringes Risiko (als führende Baumart mit hohen Anteilen an Mischbaumarten möglich)
  - erhöhtes Risiko (als Mischbaumart in mäßigen Anteilen möglich)
  - hohes Risiko (als Mischbaumart in geringen Anteilen möglich)
  - sehr hohes Risiko (als Mischbaumart in sehr geringen Anteilen möglich)
- Patch-Daten**
- 40 cm Grundfeuchte
  - 60 cm Grundfeuchte
  - 80 cm Grundfeuchte
  - mäßig wechselfeucht
  - stark wechselfeucht
  - Fels, Block und Schutt
  - Moor

Abbildung 3: Anbauriskokarte der Buche vor (links) und nach (rechts) dem Korrekturverfahren, den sogenannten Patches (to patch: engl. für etwas flicken, einsetzen). In der Abbildung links sind neben dem Anbaurisiko noch die Korrekturdaten bezüglich

Grundfeuchte und Wechselfeuchte angegeben. Die Grundfeuchte hat zur stärksten Korrektur geführt, mäßig und starke Wechselfeuchte zu entsprechend abgestuften Korrekturen.

© Datengrundlage Topographische Karte: Bayerische Vermessungsverwaltung

zielführend erschien. Die Verfahrensregel lautet: Ausschlusskriterien aufgrund lokaler, kleinräumiger Effekte schränken die großräumigen Klimateffekte ein.

Zusätzliche ausschließende oder einschränkende Kriterien wurden aus den Expertenmeinungen für jede Baumart einzeln abgeleitet. Beispiele, die für zahlreiche Baumarten gelten sind:

- Moore
- Felsen, Block- und Schuttstandorte
- regelmäßig überflutete Bereiche (Weichholzaue)
- selten, nur bei sehr hohen Hochwässern überflutete Bereiche (Hartholzaue)
- Vergleyung (differenziert nach Tiefenlage des ganzjährig wassergesättigten Horizonts)
- Wechselfeuchte (differenziert nach der Tiefenlage des stauenden Horizonts)
- Basenausstattung
- Trockenstressgefährdung (differenziert über nutzbare Feldkapazität und Niederschlag)

### Nutzung der Karten

Der Forstverwaltung werden Karten für 21 Baumarten insbesondere für die Beratung und die Förderung des Waldumbaus zur Verfügung stehen. Neben der Kartenansicht für die Gegenwart (Klimaperiode 1971–2000) und die Zukunft (Klimaperiode 2071–2100, WETTREG Szenario B1) wurden die Karten für die Baumarten Fichte und Kiefer noch gemittelt und als Karte 2050 bereitgestellt (Abbildung 2). Da die Klimaerwärmung nicht linear verläuft, ist dies nur eine Schätzung der Situation im Jahr 2050. Neben der Darstellung der einzelnen Karten kann mittels eines virtuellen »Durchstichs« durch alle Baumarteneignungskarten an einem bestimmten Standort

das Anbaurisiko in Gegenwart und Zukunft in Form einer tabellarischen Übersicht abgefragt werden (Abbildung 4). Dadurch ist es möglich, auf einen Blick die Entwicklung des Anbaurisikos für bestimmte Baumarten abzuschätzen und miteinander zu vergleichen. Damit bekommt die Beratung nach dem gegenwärtigen Kenntnisstand optimale, wissenschaftlich fundierte Grundlagen für die Zusammenstellung eines krisensicheren und risikominimierten Baumartenportfolios an die Hand (Kölling et al. 2010). Dem Waldbesitzer obliegt es im Rahmen einer sachgemäßen Waldbewirtschaftung zu entscheiden, welches Risiko er einzugehen bereit ist und welche Elemente er seinem Baumartenportfolio hinzufügen will und welche nicht. Mit den neuen Karten hat man die nötigen Hilfsmittel, um die vom Klimawandel hervorgerufenen Anbaurisiken zu verteilen, zu streuen oder zu vermeiden. Auch Kombinationen von Risikostreuung und -vermeidung sind denkbar. Wichtig ist nur, dass die Entscheidungen zur Baumartenwahl nicht aus dem Bauch heraus, sondern mit umfassender Kenntnis der aktuellen wissenschaftlichen Grundlagen getroffen werden.

Bei der Nutzung der Karten ist zu beachten, dass sie den aktuellen Stand des Wissens und der zugrunde gelegten Daten darstellen. Verbesserungsfähig ist die räumliche Auflösung, die abhängig von den verwendeten Eingangsdaten begrenzt ist. Bei der Interpretation ist immer forstliche Expertise gefragt, da die Modelle nicht alle kleinräumigen Standortinformationen abbilden können, die im Gelände auftreten. Außerdem berücksichtigen die Modelle nicht alle Faktoren, die die Verbreitung einer Baumart bestimmen, da nicht alle Faktoren wie z. B. typische Frostlagen und -häufigkeit oder Phosphorvorräte und -verfügbarkeit in Form von flächigen Daten vorliegen. Schließlich sollte immer ein größerer Geländeaus-

schnitt betrachtet werden, um regionale Trends ableiten zu können. Die alleinige Betrachtung eines einzelnen Flurstücks ist bei der räumlichen Auflösung der Ausgangsdaten nicht zielführend. Und natürlich können die Karten nicht den Ausgangsbestand berücksichtigen. Wenn diese Einschränkungen beachtet werden, sind die Karten ein hervorragendes Hilfsmittel für die Abschätzung des standörtlichen Anbaurisikos und ermöglichen einen möglichst objektiven Blick in die Zukunft, der bisher in dieser Qualität nicht möglich war. Die Anwendung der Karten wird im laufenden Jahr mit Hilfe der Waldbautrainer und Experten des KLIP4-Teams innerhalb der Forstverwaltung im Rahmen des Waldbautrainings geschult.

**Literatur**

Bohn, U.; Neuhäusl, R.; Gollub, G.; Hettwer, C.; Neuhäuslová, Z.; Raus, T.; Schlüter, H.; Weber, H. (2003): *Map of the Natural Vegetation of Europe, Scale 1: 2 500 000. Parts 1-3.* Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup

Falk, W.; Mellert, K.H. (2011): *Species distribution models as a tool for forest management planning under climate change: Risk evaluation of Abies alba in Bavaria.* Journal of Vegetation Science 22, S. 621–634

Franklin, J. (2009): *Mapping Species distributions.* Cambridge University Press, 320 S.

Kölling, C.; Beinhofer, B.; Hahn, A.; Knoke, T. (2010): »Wer streut, rutscht nicht« – Wie soll die Forstwirtschaft auf neue Risiken im Klimawandel reagieren? AFZ-DerWald Jg. 65(5): S. 18–22

Spekat, A.; Enke, W.; Kreienkamp, F. (2007): *Neuentwicklung von regional hoch aufgelösten Wetterlagen für Deutschland und Bereitstellung regionaler Klimaszenarios auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit dem Regionalisierungsmodell WETTREG auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit ECHAM 5/MPI-OM T63L31 2010 bis 2100 für die SRES-Szenarios B1, A1B und A2.* Forschungsbericht. Umweltbundesamt, FKZ 204 41 138, 140 S.

Walentowski, H.; Gulder, H.-J.; Kölling, C.; Ewald, J.; Türk, W. (2001): *Die regionale natürliche Waldzusammensetzung Bayerns.* LWF Bericht 32, 99 S.

Wolfgang Falk und Karl Mellert arbeiten in der Abteilung »Boden und Klima« an der LWF mit den Schwerpunkten Standortkunde und Artverbreitungsmodellierung. Ute Bachmann-Gigl war Projektbearbeiterin in den Projekten KLIP3 und KLIP4 mit den gleichen Arbeitsschwerpunkten und arbeitet jetzt in der Abteilung »Forsttechnik, Betriebswirtschaft, Holz«. Dr. Christian Kölling leitet die Abteilung »Boden und Klima«. *Wolfgang. Falk@lwf.bayern.de*

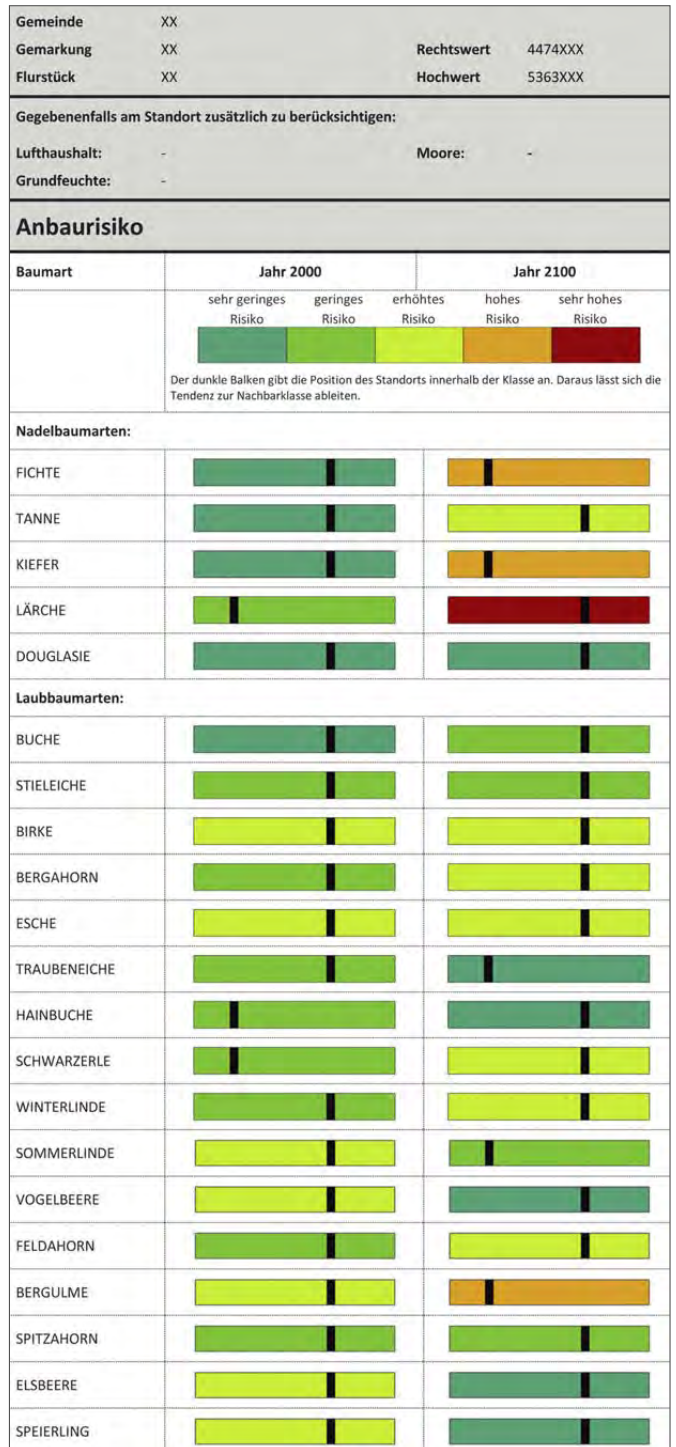


Abbildung 4: Durchstich durch den Kartenstapel der Klima-Risiko-karten für 21 Baumarten an einem Standort. Es werden in einigen Fällen zusätzliche Hinweise auf standörtliche Besonderheiten gegeben, die bei der Bewertung des Anbaurisikos zu berücksichtigen sind. Der schwarze Strich zeigt die Tendenz innerhalb der Klasse an: je weiter rechts, desto näher an der benachbarten Klasse mit höherem Risiko, je weiter links desto näher an der Klasse mit geringerem Risiko.