

# Standortsinformationen für die Bundeswaldinventur in Niedersachsen

Bernd Ahrends, Paul Schmidt-Walter und Henning Meesenburg

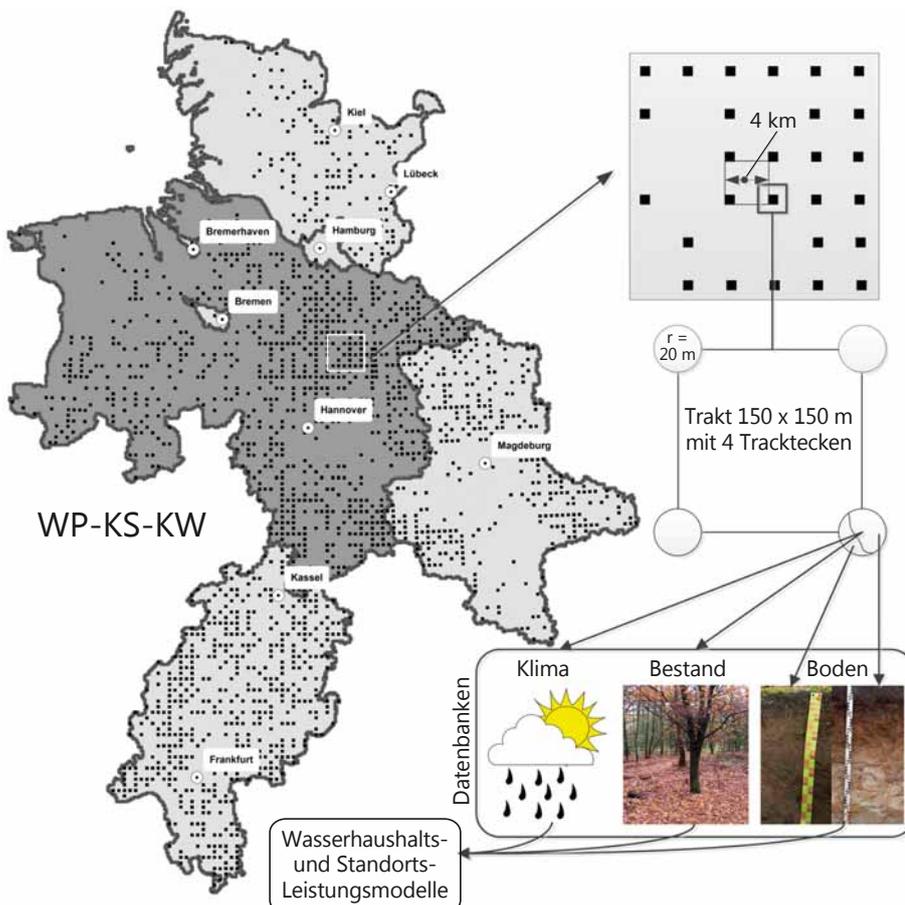
## Das Projekt WP-KS-KW

Im Waldklimafonds-Projekt WP-KS-KW („Waldproduktivität-Kohlenstoffspeicherung-Klimawandel“) wurden länderübergreifend einheitliche Standortsinformationen (Klima, Boden) für die Inventurpunkte der Bundeswaldinventur (BWI) erhoben. Innerhalb des 4 km x 4 km Grundnetzes der BWI werden deutschlandweit alle 10 Jahre an ca. 26.450 Inventurpunkten eine Vielzahl von Bestandesparametern (z. B. Baumartenzusammensetzung, Holzvorräte, Zuwächse, Altersverteilungen) erhoben. Um die Produktivität, die Kohlenstoffspeicherung und weitere Ökosystemleistungen unserer Wälder verlässlicher unter sich verändernden Klimabedingungen prognostizieren zu können, sind detaillierte Standortsinformationen eine wichtige Ergänzung zu diesen Daten.

Insbesondere zeitlich und räumlich hochaufgelöste Klima- und Bodendaten fehlten bislang für die Inventurpunkte der BWI oder waren in einer sehr uneinheitlichen und unbefriedigenden Auflösung vorhanden. Beispielsweise waren Wasserhaushaltssimulationen mit prozessorientierten Modellen zur Abbildung des Standortwasserhaushaltes und der Trockenstresssituation durch fehlende Informationen zu bodenphysikalischen Eigenschaften der Bodenprofile an den BWI-Traktecken bis zu diesem Projekt in einer bundesweit einheitlichen Form nicht durchführbar. Für diese Mammutaufgabe ist es den zwölf Projektpartnern aus ganz Deutsch-



Foto: M. Schmidt



Schematische Darstellung der Ableitung von Umweltinformationen (Klima, Boden) für Traktecken der BWI

land gelungen, eine deutlich verbesserte Datengrundlage zu schaffen. Hierdurch ist es nun möglich, für die Traktecken der BWI belastbare Erklärungen des Zusammenhangs zwischen Standort und Waldwachstum zu erhalten, z. B. durch eine genauere Ableitung von Kenngrößen des Wasserhaushaltes, welche für die Standort-Leistungs-Modellierung verwendet werden können.

## Boden-Leitprofile für BWI-Traktecken

Ziel war es, für jede Traktecke des Grundnetzes der BWI Leitprofile mit bodenphysikalischen Grundlagendaten zu erstellen. Eine wichtige Datengrundlage bilden hierbei die in den Bundesländern zur Verfügung stehenden Informationen aus der Standorts- und Bodenkartierung. In den jeweiligen Bundesländern erfasst jedoch die traditionelle forstliche Standortskartierung Bodeninformationen in sehr unterschiedlicher Intensität und Qualität. Diese Ausgangslage erforderte ein länderspezifisches Vorgehen, das durch einheitliche Vorgaben in einem homogenen bundesweiten Datensatz mündete. In der niedersächsischen forstlichen Standortskarte werden die Ergebnisse der Standortskartierung als Standortstypen ausge-

# Standortsinformationen für die Bundeswaldinventur in Niedersachsen

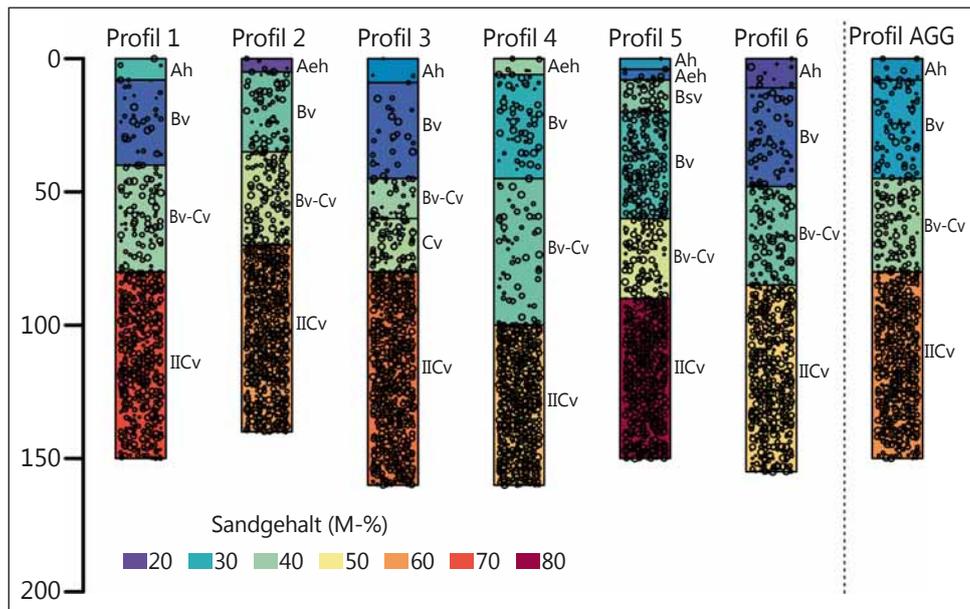
wiesen. Diese in Kategorien eingeteilten „Standortstypen“ sind ökologische Einheiten, die Informationen zum Geländewasser- und Nährstoffhaushalt und zum Ausgangsmaterial der Bodenbildung eines Standortes zusammenfassen. Allerdings lassen sich diese Informationen im Gegensatz zu flächendeckend vorhandenen bodenkundlichen Kartenwerken nicht direkt in metrische Werte einzelner bodenphysikalischer oder -chemischer Parameter übersetzen. Solche Informationen sind jedoch notwendig, z. B. für die Ableitung der nutzbaren Feldkapazität (nFK) oder von Verwitterungsraten zur Ermittlung der nachschaffenden Kraft eines Standortes.

Als Grundlage für die Erstellung von so genannten Leitprofilen für forstliche Standortstypen dienten über 6000 Bodenprofile aus der Standortkartierung. Diese Profile wurden anhand des zugewiesenen forstlichen Standortstyps gruppiert und horizontbezogene Bodenparameter wie Bodenarten, Skelett- und Humusgehalte und Trockenroh-dichten aggregiert.

Die Abbildung links oben zeigt schematisch eine entsprechende Aggregation von sechs Profilen und ein sich daraus ergebendes Profil (Profil\_AGG) für den jeweiligen forstlichen Standortstyp. Das Ergebnis sind konkrete Profile, wie z. B. in der Abbildung links unten dargestellt, auf deren Grundlage

dann für Standortstypen wichtige ökologische Kennwerte, wie z. B. die nutzbare Feldkapazität oder die potenzielle Kationenaustauschkapazität, mittels so genannter Pedotransferfunktionen berechnet werden können.

Für die Zuordnung der standortkundlichen Kartiereinheiten zu den BWI-Traktecken wurde eine Kreisfläche mit einem Radius von 20 m (vgl. Abb. Seite 24) um die Traktecke betrachtet. Innerhalb dieser Kreisfläche wurden die zwei flächenmäßig bedeutendsten Standorteinheiten (Flächenanteil > 20 %) berücksichtigt.



Schematische Darstellung der Ableitung von Leitprofilen (Profil\_AGG) für forstliche Standortstypen in Niedersachsen.

<b>Standortstyp:</b> 10.3.2.1 <b>Wasserhaushalt:</b> Mäßig frische bis kaum frische Standorte der Ebenen, sehr flache Hänge, breite Rücken und Plateaus <b>Nährstoffgehalt:</b> Mäßig mit Nährstoffen versorgt <b>Substrat:</b> Basenarme Silikatgesteine mit sandigen Bodenarten																																																
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Horizont</th> <th>Tiefe (cm)</th> <th>Bodenart</th> <th>Skelett (Vol.-%)</th> <th>TRD (g cm³)</th> <th>nFK (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ahe</td> <td>0-3</td> <td>mittel schluffiger Sand</td> <td>6</td> <td>1,16</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>Aeh</td> <td>3-14</td> <td>schluffig-lehmiger Sand</td> <td>1</td> <td>1,05</td> <td>27</td> </tr> <tr> <td>Bhv</td> <td>14-38</td> <td>schluffig-lehmiger Sand</td> <td>14</td> <td>1,04</td> <td>52</td> </tr> <tr> <td>Bv</td> <td>38-85</td> <td>mittel lehmiger Sand</td> <td>14</td> <td>1,21</td> <td>73</td> </tr> <tr> <td>Cv</td> <td>85-132</td> <td>schwach schluffiger Sand</td> <td>20</td> <td>1,40</td> <td>56</td> </tr> </tbody> </table>	Horizont	Tiefe (cm)	Bodenart	Skelett (Vol.-%)	TRD (g cm³)		nFK (mm)	Ahe	0-3	mittel schluffiger Sand	6	1,16	7	Aeh	3-14	schluffig-lehmiger Sand	1	1,05	27	Bhv	14-38	schluffig-lehmiger Sand	14	1,04	52	Bv	38-85	mittel lehmiger Sand	14	1,21	73	Cv	85-132	schwach schluffiger Sand	20	1,40	56											
Horizont	Tiefe (cm)	Bodenart	Skelett (Vol.-%)	TRD (g cm³)	nFK (mm)																																											
Ahe	0-3	mittel schluffiger Sand	6	1,16	7																																											
Aeh	3-14	schluffig-lehmiger Sand	1	1,05	27																																											
Bhv	14-38	schluffig-lehmiger Sand	14	1,04	52																																											
Bv	38-85	mittel lehmiger Sand	14	1,21	73																																											
Cv	85-132	schwach schluffiger Sand	20	1,40	56																																											
<b>Standortstyp:</b> 37.4.3.7 <b>Wasserhaushalt:</b> Schwächer wechselfeuchte bis staufrische Standorte mit geringem bis mäßigem Wechsel zwischen Vernässung und abnehmender Feuchte bei tiefer sitzender Stauansäure <b>Nährstoffgehalt:</b> Ziemlich gut versorgt; gut mesotroph <b>Substrat:</b> Geschiebesande mit Lehmunterlagerung																																																
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Horizont</th> <th>Tiefe (cm)</th> <th>Bodenart</th> <th>Skelett (Vol.-%)</th> <th>TRD (g cm³)</th> <th>nFK (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ah</td> <td>0-4</td> <td>mittel schluffiger Sand</td> <td>3</td> <td>0,91</td> <td>9</td> </tr> <tr> <td>Aeh</td> <td>4-6</td> <td>schwach lehmiger Sand</td> <td>3</td> <td>1,13</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>Bv</td> <td>6-52</td> <td>mittel schluffiger Sand</td> <td>5</td> <td>1,22</td> <td>92</td> </tr> <tr> <td>Sw</td> <td>52-90</td> <td>schwach lehmiger Sand</td> <td>7</td> <td>1,38</td> <td>56</td> </tr> <tr> <td>Swd</td> <td>90-120</td> <td>stark sandiger Lehm</td> <td>4</td> <td>1,30</td> <td>49</td> </tr> <tr> <td>Sd</td> <td>120-161</td> <td>sandig-toniger Lehm</td> <td>3</td> <td>1,32</td> <td>64</td> </tr> <tr> <td>Cv</td> <td>161-300</td> <td>stark sandiger Lehm</td> <td>4</td> <td>1,22</td> <td>228</td> </tr> </tbody> </table>	Horizont	Tiefe (cm)	Bodenart	Skelett (Vol.-%)	TRD (g cm³)		nFK (mm)	Ah	0-4	mittel schluffiger Sand	3	0,91	9	Aeh	4-6	schwach lehmiger Sand	3	1,13	3	Bv	6-52	mittel schluffiger Sand	5	1,22	92	Sw	52-90	schwach lehmiger Sand	7	1,38	56	Swd	90-120	stark sandiger Lehm	4	1,30	49	Sd	120-161	sandig-toniger Lehm	3	1,32	64	Cv	161-300	stark sandiger Lehm	4	1,22
Horizont	Tiefe (cm)	Bodenart	Skelett (Vol.-%)	TRD (g cm³)	nFK (mm)																																											
Ah	0-4	mittel schluffiger Sand	3	0,91	9																																											
Aeh	4-6	schwach lehmiger Sand	3	1,13	3																																											
Bv	6-52	mittel schluffiger Sand	5	1,22	92																																											
Sw	52-90	schwach lehmiger Sand	7	1,38	56																																											
Swd	90-120	stark sandiger Lehm	4	1,30	49																																											
Sd	120-161	sandig-toniger Lehm	3	1,32	64																																											
Cv	161-300	stark sandiger Lehm	4	1,22	228																																											

Beispielhafte Darstellung von zwei Bodenprofilen an forstlichen Standorteinheiten in Niedersachsen und verfügbare Profilinformationen (Auszug). TRD: Trockenroh-dichte.

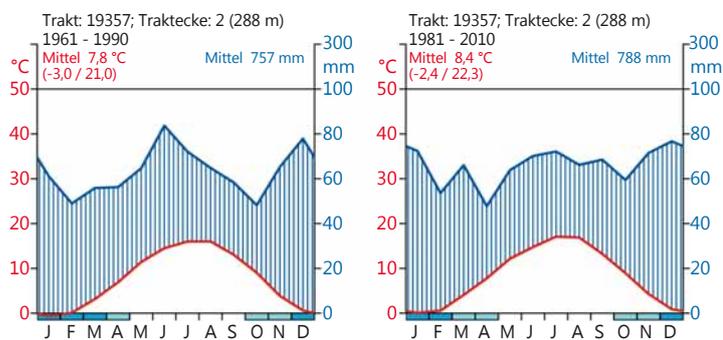


Foto: M. Schmidt

# Standortsinformationen für die Bundeswaldinventur in Niedersachsen

## Klimadaten für die Bundeswaldinventur

Das Klima ist eine entscheidende Einflussgröße für das standörtliche Leistungsvermögen und das Risiko von biotischen Schädigungen der Bestände. Entsprechend sind zur Bewertung der vergangenen und zukünftigen Wachstumsbedingungen unserer Wälder räumlich und zeitlich hoch aufgelöste Klimadaten eine wichtige Grundlage. Eine klimasensitive Berechnung der Vegetationsperiode oder der Einsatz von prozessorientierten Wasserhaushaltsmodellen erfordert in der Regel Klimadaten in täglicher Auflösung. Entsprechende Zeitreihen wurden am Institut für Geographie der Universität Hamburg an 26.450 BWI-Punkten für acht Klimagrößen entwickelt (Kawohl et al. 2017). Die Zeitreihen umfassen dabei sowohl eine retrospektive Betrachtung (ab 1961) als auch die Projektion von mehreren Klimaszenarien bis zum Jahr 2100. Mit dieser Datengrundlage können zum einen einfache Auswertungen in monatlicher Auflösung zur klimatischen Charakterisierung der einzelnen Traktecken der BWI durchgeführt werden und zum anderen Tagesdaten als Antrieb von komplexen Modellen verwendet werden. Die Abbildung unten zeigt so genannte Walter/Lieth-Klimadiagramme beispielhaft für eine Traktecke. Es ergeben sich zwischen den retrospektiven Zeiträumen (1961-1990 und 1981-2010) ein Temperaturanstieg von 0,6 °C und ein leichter Niederschlagsanstieg von 31 mm. Während bei der Niederschlagsverteilung 1961-1990 zwei ausgeprägte Maxima (Juni und Dezember) zu beobachten waren, zeigte sich im Zeitraum von 1981 bis 2010 eine ausgeglichene Verteilung.



Klimadiagramme auf Grundlage der generierten Klimazeitreihen für die Traktecke 2 des Traktes 19357 für die Zeiträume 1961-1990 (links) und 1981-2010 (rechts).



Foto: M. Spielmann



Foto: M. Schmidt

Die so für die BWI generierten Klimadaten können zusammen mit den Bodenprofilen verwendet werden, um mit Hilfe von Wasserhaushaltsmodellen zeitlich hochaufgelöste Kenngrößen des Wasserhaushaltes (z. B. Trockenstressindikatoren) zu ermitteln und mit der Wasserhaushaltseinstufung der Standortskartierung zu vergleichen (vgl. folgendes Kapitel). Außerdem bilden sie eine wichtige Grundlage für ein verbessertes Verständnis der Standort-Leistungsbeziehungen und möglicher Prognosen im Klimawandel.

## Der Trockenstress nimmt zu

Für insgesamt 24.610 Traktecken der Bundeswaldinventur (BWI) wurde der Wasserhaushalt von Buchen- und Fichtenbeständen für den Zeitraum von 1961 bis 2013 berechnet. Verwendet wurde das Modell LWF-Brook90, welches die Verdunstung, die Bodenwasserflüsse einschließlich Sickerwasserspense sowie die Bodenwasserverfügbarkeit von Wäldern in täglicher Auslösung berechnet. Grundlage für die Berechnungen sind unter anderem die vorab beschriebenen bodenkundlichen und klimatischen Eingangsdaten. Für jede Traktecke wurden die Berechnungen jeweils für Modellbestände von Buche und Fichte durchgeführt, um den Einfluss der flächenhaft bedeutendsten Nadel- und Laubbaumart auf den Wasserhaushalt abzuschätzen und deren Standorteignung zu beurteilen. Aus den Modellergebnissen wurden verschiedene Trockenstressindikatoren abgeleitet, welche Einschränkungen der Wasserverfügbarkeit an den BWI-Traktecken beschreiben. Ein häufig verwendeter Indikator ist beispielsweise die relative pflanzenverfügbare Bodenwasserspeicherfüllung (REW). Diese wird als Verhältnis aus aktueller Bodenwasserspeicherfüllung und der maximalen pflanzenverfügbaren Bodenwassermenge berechnet und quantifiziert somit die Bodenwasserverfügbarkeit. Unterschreitet dieser Indikator 40 % der nutzbaren Feldkapazität, wurden in zahlreichen Studien Wachstumseinschränkungen in Waldbeständen beobachtet (z. B. Granier et al. 1999; 2007). Um die Dauer und Intensität einer solchen Unterschreitung zu berücksichtigen, kann die Defizitsumme unterhalb des 40 %-Schwellenwertes für die Vegetationsperiode berechnet werden (DREW).

# Standortsinformationen für die Bundeswaldinventur in Niedersachsen

Dieser Indikator wurde für zwei verschiedene Zeiträume der jüngeren Vergangenheit für Niedersachsen ausgewertet (vgl. Abb. unten), da neuere Untersuchungen darauf hindeuten, dass Abweichungen von den langjährigen Witterungsbedingungen eine zentrale Bedeutung für das bestandsspezifische Trockenstressrisiko haben (Choat et al. 2012). Mit Ausnahme der sehr frischen Standorte korrespondiert die Defizitsumme des REW bei Unterschreitung der 40 %-Grenze gut mit den Feuchtestufen der Standortkartierung. Bäume auf trockenen Standorten leiden demnach stärker an Trockenstress als Bäume auf frischen Standorten. Bei den sehr frischen Standorten gibt es anscheinend eine nicht unwesentliche Anzahl von Punkten, die in den Sommermonaten häufiger unter Trockenstress leidet. Die Fichte weist in allen Feuchtestufen insgesamt höheren Trockenstress auf als die Buche. Des Weiteren wird ersichtlich, dass die mittlere Defizitsumme bei beiden Baumarten im Zeitraum 1981 bis 2010 gegenüber 1961 bis 1990 in den meisten ökologischen Feuchtestufen signifikant angestiegen ist und sich somit das mittlere Trockenstressniveau erhöht hat. Bei den mäßig trockenen Standorten geht der Anstieg des Trockenstress für die Fichte so weit, dass sie 1981 bis 2010 im Mittel sogar stärker an Trockenstress leiden als noch im Zeitraum von 1961 bis 1990 die trockenen Standorte. Diese Ergebnisse sind zwar aufgrund des äußerst geringen Stichprobenumfangs der trockenen Standorte mit einer gewissen Vorsicht zu interpretieren, sie decken sich jedoch mit einer bundesweiten Auswertung (Schmidt-Walter et al. 2017). Für diese Stand-

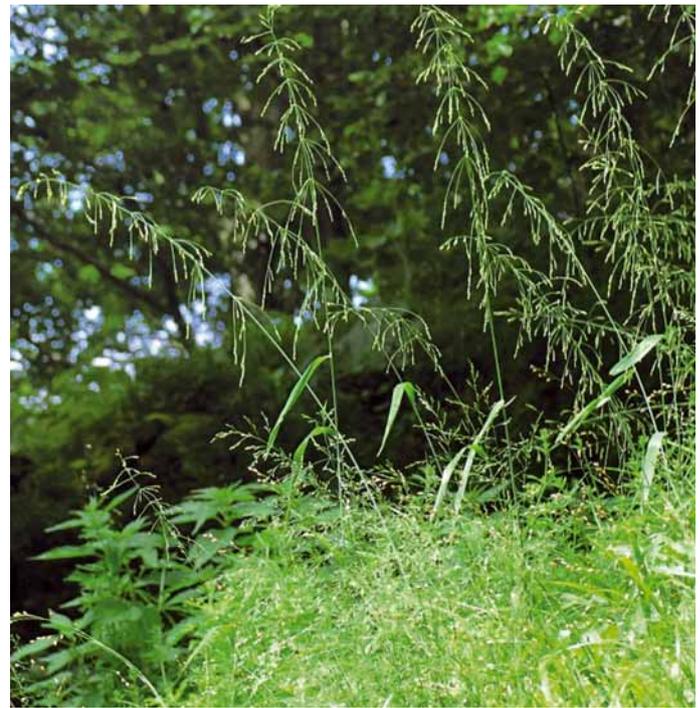
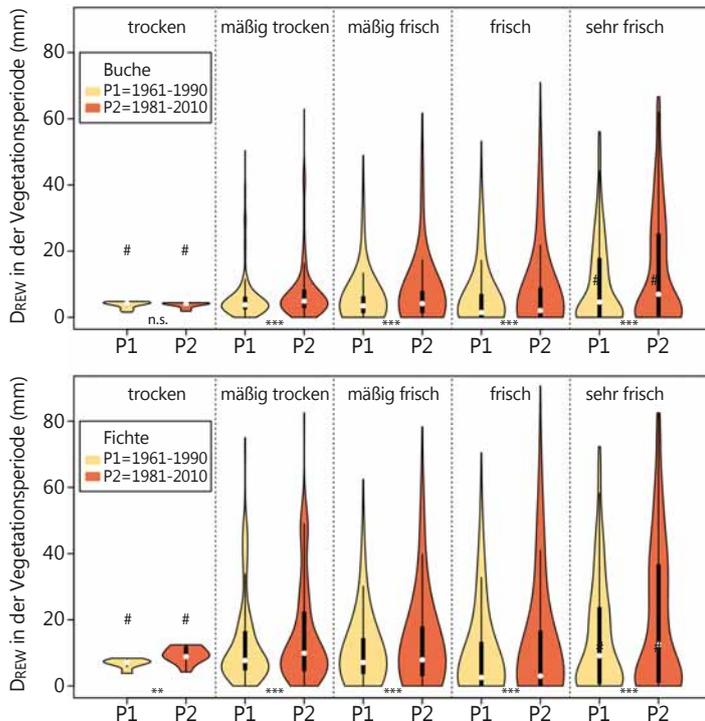


Foto: M. Schmidt

orte hat demnach bereits ein Sprung von mehr als einer Wasserhaushaltstufe stattgefunden. Da das Klima die einzige veränderliche Größe in den Wasserhaushaltssimulationen ist, kann der Anstieg des Trockenstressniveaus auf die Klimaänderungen, insbesondere auf die angestiegenen Temperaturen innerhalb der letzten 50 Jahre, zurückgeführt werden. Es ist zu erwarten, dass sich im Zuge des prognostizierten Klimawandels die Trockenstresssituation an vielen BWI-Traktecken durch trockenere und wärmere Bedingungen weiter verschärft.



Mittlere Defizitsumme ( $D_{REW}$ ) des relativen pflanzenverfügbaren Bodenwassers bei Unterschreitung von 40 % der nutzbaren Feldkapazität in der Vegetationsperiode der Buche (oben) und Fichte (unten) für zwei Zeiträume gruppiert nach ökologischen Feuchtestufen. Signifikant verschiedene Werte zwischen den Zeiträumen sind durch Sternchen gekennzeichnet. Die Anzahl der Sterne beschreibt das Signifikanzniveau (\*\*\*)  $< 0.001$ , \*\*  $< 0.01$ ; #: äußerst geringer Stichprobenumfang. Das „Violinen“-Diagramm ist sehr ähnlich zum Boxplot. Die Breiten der „Violine“ zeigen zusätzlich an, wie viele Fälle in dem jeweiligen Wertebereich vorliegen.

## Fazit

Im Projekt WP-KS-KW konnten für die Traktecken im 4 km x 4 km Grundnetz der Bundeswaldinventur umfangreiche Datensätze mit Umweltdaten erhoben und abgeleitet werden. Diese Datengrundlagen erlauben eine Analyse des Zusammenhangs zwischen Standort und Waldwachstum und somit eine bessere Einschätzung der zukünftigen Waldentwicklung. Aber auch die Wasserhaushaltseinstufung der Standortkartierung kann hinsichtlich ihrer Konstanz, bzw. Dynamik bewertet werden. Die durch die Klimaänderungen der jüngeren Vergangenheit bedingte Zunahme der Trockenstressintensität zeigt, wie wichtig eine klimasensitive Einschätzung des Standortwasserhaushalts zur Anpassung unserer Wälder an den Klimawandel zukünftig sein wird. Dies muss bei der Baumartenwahl und der Bewirtschaftung der Bestände berücksichtigt werden. Die Dynamik des Bodenwasserregimes und die damit verbundenen Einschränkungen der Wasserverfügbarkeit stehen direkt mit der Produktionsfunktion unserer Wälder und der zukünftigen Standortseignung der Baumarten in Verbindung. Die im Projekt erarbeiteten Wasserhaushalts- und Trockenstressgrößen eröffnen nun erstmals die Möglichkeit, Zusammenhänge zwischen Produktionsfunktion und Wasserverfügbarkeit großflächig zu analysieren.