

## Regionales Wasserhaushaltsmodell auf Bundesebene übertragbar?

# Klima, Standort, Wald

Von Rainer Schulz und Norbert Asche

*Der Klimawandel wirkt sich auf den Wasserhaushalt forstlicher Standorte aus. Die Herleitung von Wasserhaushaltsstufen wird im Land NRW seit einiger Zeit digital auf Grundlage von Basisdaten des Klimas und des Bodens durchgeführt. Auch Klimavarianten werden dabei berechnet. Es stellt sich die Frage, ob die ursprünglich nur für das Bundesland entwickelte Methode auch auf die Verhältnisse der Bundesrepublik anwendbar ist.*

Seit einigen Jahren gibt es Bestrebungen, die forstliche Standorterkundung mit digitalen Daten und Modellen zu unterstützen. Das Bundesland Bayern beispielsweise nutzt dabei den Weg, für einzelne Baumarten eine Differenz zwischen potenzieller und aktueller Transpiration zu berechnen [18]. In Niedersachsen wurde für das Bergland ein Modell aufgestellt und installiert, das Geländeform- und Bodenfeuchtestufen hervorbringt [16]. Die sächsische Standortkunde aktualisierte die „Rahmenklimawerte“ der Vegetationszeit und der klimatischen Wasserbilanz zur Gliederung Sachsens, nachdem man erkannt hatte, dass viele Klima-Wertepaare nicht mehr in das ältere Gliederungsschema passten.

Welch große klimatische Spanne selbst in nur diesem einen Bundesland angenommen wird verdeutlichen die Bezeichnungen „subkontinental“ bis „stark subozeanisch“ und „submediterrän“ bis „winterkalt“ [9, 8]. Eine Bewertung der bisherigen und künftigen Klimaverhältnisse in Deutschland im Hinblick auf das Vorkommen und Wachstum von Baumarten wird zurzeit vermehrt unter dem Stichwort „Klimahülle“ diskutiert. Die Einbeziehung des Bodens, genauer gesagt seiner Fähigkeit, Wasser zuerst zu speichern und dann dem Bestand über längere Zeit zur Verfügung zu stellen, fehlte dort und wurde eingefordert [11]. Die wichtigen Komponenten Boden, Vegetationszeit und Nie-

derschlag und einige weitere klimatische Werte wurden in einem Standortklassifikationsmodell für Nordrhein-Westfalen zusammengeführt. Für das Bergland in NRW wurde das Modell zusätzlich auch zur Berechnung dreier Klimavarianten angewendet [3]. Die Übertragung auf die Bundesrepublik wird hier vorgestellt, um die Diskussion über nachvollziehbare und vergleichbare Wasserhaushaltsstufen vor dem Hintergrund der Abbildbarkeit eines Klimawandels zu unterstützen.

### Gesamtwasserhaushalt

In der Standortkunde unterscheidet man zwischen Geländewasserhaushalt und Gesamtwasserhaushalt [2]. Letzterer integriert den Geländewasserhaushalt unter Berücksichtigung der Klimaverhältnisse einer regionalen Einheit wie z.B. eines Wuchsbezirkes und resultiert in Bezeichnungen wie „trocken“ oder „sehr frisch“: Das Modell erzeugt Gesamtwasserhaushaltsstufen, womit die Vergleichbarkeit der Ergebnisse im ganzen Raum gegeben ist. Für Standorte, die nicht von Stau- oder Grundwasser geprägt werden (anhydromorph), sind sechs Stufen festgelegt:

- sehr trocken
- trocken
- mäßig trocken
- mäßig frisch
- frisch
- sehr frisch.

Es ist besonders darauf hinzuweisen, dass diese Stufen nicht denen entsprechen, die in den einzelnen Bundesländern in der Vergangenheit kartiert wurden. Vielmehr sind es solche, die sich zuerst auf der Klimaskala des Bundeslandes NRW ergaben und die jetzt teilweise auch für die Bundesrepublik hergeleitet werden. Es ist zu betrachten, welche Wasserhaushaltsstufen in den Räumen, die andere – meist extremere – Klimawertkombinationen aufweisen als in NRW vorkommen, hergeleitet

werden. Hier ist z.B. an den Voralpenraum, den Schwarzwald oder das Ostdeutsche Tiefland zu denken. Dort müssten bei gleichen Bodenverhältnissen relativ mehr „frischere“ bzw. mehr „trockenere“ Wasserhaushaltsstufen resultieren. Daneben müsste sich aber in solchen Räumen bei differenzierten Bodenverhältnissen auch eine deutliche Differenzierung von Stufen ergeben.

Das NRW-Modell bringt auch Stau- und Grundwasserstufen hervor. Sie werden hier vorerst zurückgestellt.

### Grundlagendaten

Wichtige Eingangsgröße ist die tatsächliche (reale) Dauer der Vegetationszeit (VZ) in Tagen. Im Modell des Landes NRW wird sie über die Temperatur der einzelnen Monate explizit berechnet; Tage mit einer mittleren Temperatur von  $> 10\text{ °C}$  werden als VZ aufgefasst. In einem vereinfachten Ansatz hier für Deutschland wurden die minimalen und maximalen VZ-Längen der etwa 600 Wuchsbezirke verwendet [7]. Da die für die VZ maßgebliche Temperatur weitgehend von der Höhenlage bestimmt wird, wurde die VZ-Spanne auf die Höhenwerte eines digitalen Geländemodells [15] transformiert. Nur im Grenzbereich von großen Tieflandbezirken im Nordwesten führt diese Methode zu sichtbar wechselnden Ergebnissen (Abb. 2a und 2f), ansonsten zu einer moderaten Anpassung. Die Entscheidung fiel bei dieser und den anderen Grundlageninformationen auf eine Rastergröße von  $300 \times 300\text{ m}$ , da damit die Grundzüge des Reliefs noch ausreichend einbezogen werden können. Der z.B. mit  $600\text{ m}$  höchste Ort in einem Wuchsbezirk weist so die kürzeste VZ von 130 Tagen auf, der niedrigste ( $400\text{ m}$ ) hingegen die längste von 150 Tagen.

Für die reale Vegetationszeit wird im NRW -Modell der Niederschlag anhand der beteiligten Kalendertage berechnet. Er ist im warm-trockenen Tiefland *relativ* niedrig, aber *absolut* hoch: Die Niederschläge vieler VZ-Tage addieren sich zu einer hohen Summe. Im kühl-feuchten Bergland ist es umgekehrt. Wie bei der VZ wurde der Niederschlag aus den Minima und Maxima der Wuchsbezirke über eine

*Dr. R. Schulz ist wiss. Mitarbeiter in der Abteilung für Ökoinformatik, Biometrie und Waldwachstum an der Univ. Göttingen. Dr. N. Asche betreut die Forstliche Standortkunde im Landesbetrieb Wald und Holz Nordrhein-Westfalen*

**Rainer Schulz**

rschulz@ufobi6.uni-forst.gwdg.de

Transformation der Wuchsbezirke über eine Transformation der Geländehöhenwerte berechnet, allerdings zuerst nur für die forstliche Vegetationsperiode Mai bis September (153 Tage). Dann fand eine Gewichtung mit der realen VZ statt, wobei auch berücksichtigt wurde, dass die zentralen Monate der VZ, d.h. Juni, Juli und August, absolut höhere Niederschläge aufweisen als die ggf. einzubeziehenden Anfangs- und Endmonate.

Abb. 1 zeigt die Kombination von VZ und Niederschlag in der VZ im Wuchsbezirk „Oberes Gäu und Heckengäu“ in Baden-Württemberg, der sich etwa von 300 bis 600 m ü.NN erstreckt. Die Niederschlagspanne verengt sich durch die Berechnung auf Grundlage der realen VZ anstatt der forstlichen VZ Mai bis September.

Im NRW-Modell werden von den Niederschlägen der realen VZ einige klimatische und geländeklimatische Größen, berechnet auf 10 x 10 m Rasterflächen, abgezogen oder hinzugerechnet:

- Wind,
- Einstrahlung,
- Exponiertheit,
- Temperatur in der realen VZ,
- atlantische/kontinentale Tönung.

Auf dem Betrachtungsmaßstab für ganz Deutschland sind die Größen Wind, Einstrahlung und Exponiertheit weniger bedeutsam, weil modellhaft eine ebene Fläche bzgl. des Wasserhaushalts eingestuft werden soll. Außerdem können sie ohne ein genaueres Höhenmodell ohnehin nicht lokal berechnet werden. Daher wurden diese drei Größen flächenhaft konstant in Orientierung an Erfahrungen aus dem NRW-Modell eingebracht.

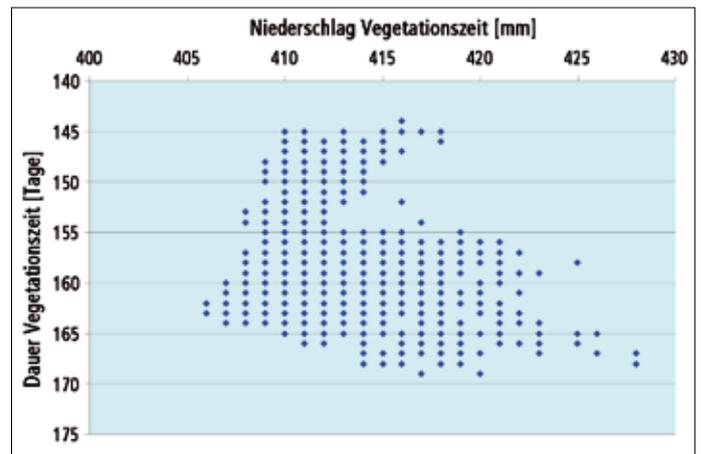
Die Temperatur in der realen VZ und die Klimatönung (Atlantizität) hingegen wurden in Form von Zu- bzw. Abschlägen als mm-Niederschlags-Beträge im Sinne ihrer standörtlichen Bedeutung einbezogen:

- **VZ-Temperatur:** Je 1 °C Abweichung von 11 °C: -5 mm Abschlag; d.h.: je wärmer die VZ, desto weniger Wasser steht dem Bestand zur Verfügung. In den kühlen Hochlagen gibt es daher kaum Abschlag.
- **Atlantizität, Nordwest-Südost-Gradient:**  
Je 1 km weiter nördlich: + 0,075 mm  
Je 1 km weiter westlich: + 0,150 mm  
d.h. je weiter nordwestlich ein Ort ist, desto stärker ist der Zuschlag zum Niederschlag.

Da für die Bundesrepublik keine Monatstemperaturen zur Verfügung standen, wurde die Atlantizität über diesen Gradienten eingebracht und im Gegensatz zum NRW-Modell nicht über die Differenz zwischen Juli- und Januar-temperatur.

Grundlage für die Einbeziehung des Bodens ist die nutzbare Feldkapazität (nFK in mm).

Abb. 1: Niederschlag (mm) und VZ (Tage) im Wuchsbezirk „Oberes Gäu und Heckengäu“



### Wertungsregularien

Das Regelwerk der Wertung der wichtigsten Eingangsgrößen und somit der Stufenbildung ist zweigeteilt. Der Nenner 3 steht dabei für einen angenommenen Wasserverbrauch eines Bestandes von 3 mm/Tag:

- a) ((Niederschlag in der realen VZ [mm] +/- geländeklimatische Zu-/Abschläge [mm] + nFK [mm]) dividiert durch 3) - VZ [Tage]

Die Bestandesversorgung wird definiert durch die addierten Komponenten Niederschlag und Boden. Erste Wertung in sechs Stufen. Boden und Niederschlag gleichwertig.

- b) nutzbare Feldkapazität [mm]/3.  
Bestandesversorgung definiert nur durch die Komponente Boden.  
Zweite Wertung innerhalb der sechs Stufen der ersten Wertung, ggf. Umstufung in Richtung „sehr frisch“ oder „sehr trocken“. Betonung des Bodens.

Für das Durchspielen von angenommenen Klimaszenarien ist es wichtig, die Wasserhaushaltsstufen auf numerisch-quantitativem Wege herzuleiten [3, 18, 11]. Nur so kann die Wirkung der Änderung von Eingangsgrößen nachvollziehbar aufgezeigt werden. Voraussetzung für Szenarien ist aber auch eine sinnvoll strukturierende Berechnung unter Annahme der Klimaverhältnisse der letzten Jahrzehnte. Dies ist für die NRW-Fläche der Fall, denn dort ergeben sich die „sehr frischen“ und vor allem die „trockenen“ und „sehr trockenen“ Standorte auf kleinerer Fläche, während die Mehrheit auf „frisch“, „mäßig frisch“ und „mäßig trocken“ entfällt.

### Wertespanssen und Szenarien

Das Modell ist darauf ausgelegt bzgl. des erwarteten Klimawandels

- Temperaturerhöhung in Monaten,
- damit Temperaturerhöhung in der VZ,
- eine Verlängerung der VZ
- und die Verminderung/Erhöhung des Niederschlags in der VZ

in moderaten Spannen zu verwenden.

Das Niveau, in dem sich der Klimawandel in den nächsten Jahrzehnten mutmaßlich abspielen wird, liegt bei etwa 2 °C Temperaturzunahme und einer Niederschlagsverminderung im Sommer um ca. 15 % [1]. Andere Autoren betonen das Auftreten von Witterungsextremen, auf die sich die Baumarten einstellen müssen und verweisen auf die großen vorhergesagten Spannen der erwarteten Erwärmung [5].

Dass eine Temperaturdifferenz von nur etwa 1°C in der VZ forstlich bedeutsam ist, wird beispielsweise aus der Gliederung des Bundeslandes Hessen (liegt in der Mitte Deutschlands) ablesbar: Temperaturgrenzwerte zur Definition von höhenorientierten Wuchszonen werden in 1°- oder 1,5°-Schritten von 12,5 bis 16 °C für die VZ angegeben [10].

Bei Temperaturerhöhungen in den einzelnen Monaten um 1° ergibt sich etwa eine VZ-Verlängerung um 14 Tage, bei 2° um etwa 28 Tage. Damit wären viele Orte der Bundesrepublik in den heute wärmsten bzw. längsten Temperatur- und VZ-Bereich gerutscht [vgl. 8]. Eine VZ-Spanne von etwa 90 bis 200 Tagen und VZ-Temperaturen von 10 bis 18 °C sollten allerdings einbeziehbar sein. Deutlich größere Temperaturzunahmen würden bedeuten, dass wir uns klimatisch und damit standörtlich in Richtung mediterraner Verhältnisse bewegen [13]. Falls dabei auch andere Niederschlagsverteilungen auftreten, würde es einen anderen Modelltyp erfordern.

Der Boden kann Klimaverhältnisse bzw. deren Änderungen verschärfen oder puffern [8]. Ein Boden mit sehr geringer nFK liefert dem Bestand auch dann nicht immer genügend Wasser, wenn er sich in einem feucht-kühlen Wuchsraum befindet. Denn auch dort kann es in Extremjahren zu Trockenphasen kommen, während denen das Bodenwasser bald vollends verbraucht ist. Ein Boden mit sehr hoher nFK hingegen liefert dem Bestand auch dann noch lange

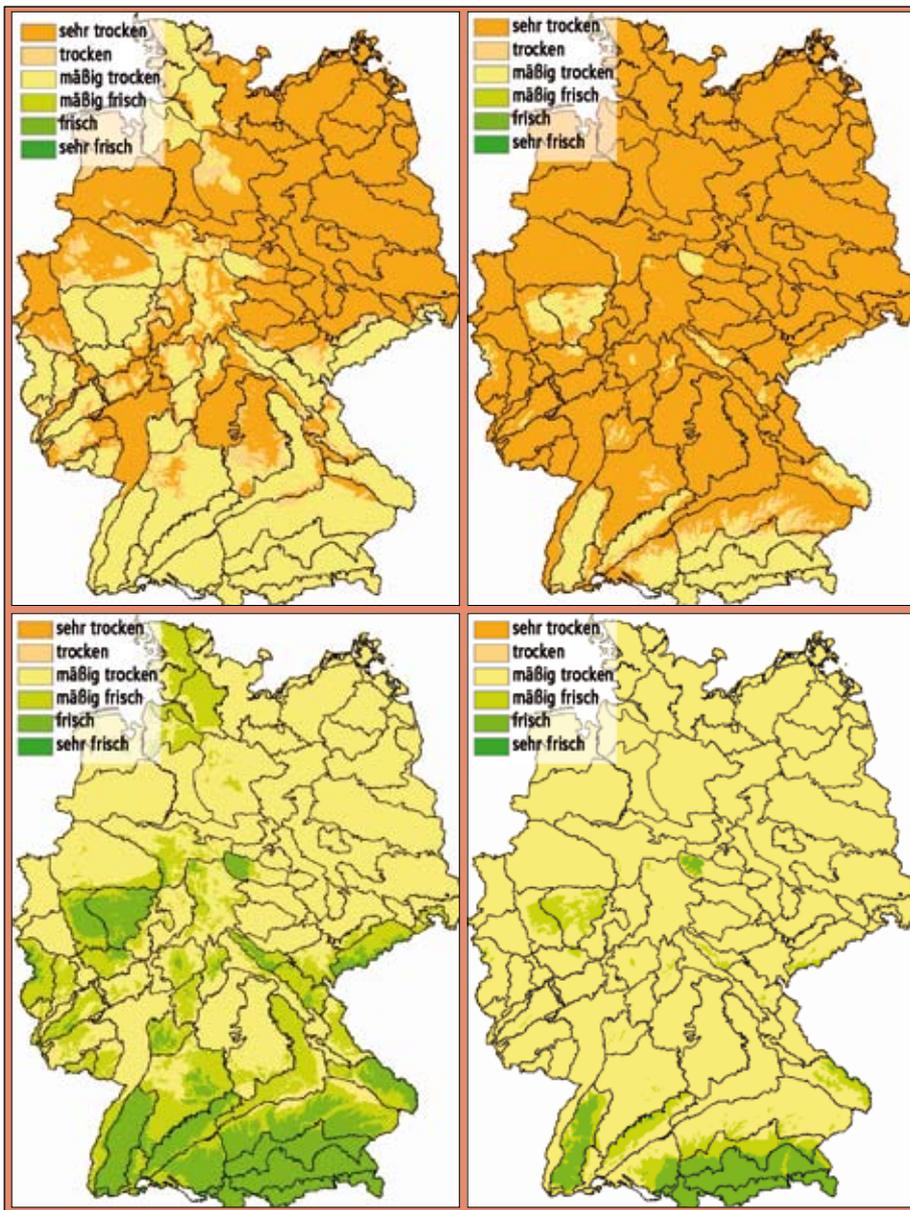


Abb. 2a und b (oben, von links): Wasserhaushaltsstufen bei angenommener nFK von 40 mm, mit Wuchsgebieten nach bisherigem Klima (a) und angenommener Klimaänderung mit + 2,0° Temperaturerhöhung und -20 % weniger Niederschlag (b)

Abb. 2c und d (unten, von links): Wasserhaushaltsstufen bei angenommener nFK von 100 mm, mit Wuchsgebieten nach bisherigem Klima (c) und angenommener Klimaänderung mit + 2,0° Temperaturerhöhung und -20 % weniger Niederschlag (d)

genügend Wasser, wenn er sich in einem warm-trockenen Wuchsraum befindet und auch wenn in Extremjahren Trockenphasen auftreten: Nur am Ende von solchen Phasen ist das Bodenwasser vollends verbraucht. Die Spanne einbeziehbarer nFK-Werte ist demnach so weit wie auch

die der Gegebenheiten im Gelände; die Wertungsregularien fangen die Wirkung extrem flachgründiger und tiefgründiger Böden ab.

Für die Herleitung von lokal gültigen Wasserhaushaltsstufen müsste die nFK aus digitalen Bodeninformationen des

Maßstabsniveaus 1 : 5 000 bis 1 : 50 000 abgeleitet werden [17]. Für den Test der Klimasensitivität des Gesamtmodells kann sie aber flächenhaft konstant eingesetzt sein. Somit wird das Ergebnis leicht interpretierbar. Erst durch die Eingabe unterschiedlicher nFK-Werte wird die unterschiedliche Wirkung des Bodens auf den Wasserhaushalt erkennbar.

Um das Modell im Rahmen der vorgenannten Eingangsgrößen zu testen, wurden viele verschiedene Eingangswerte eingesetzt. Davon werden folgende ausgewählte Szenarien abgebildet (Abb. 2a bis 2h): Vier Abbildungen beziehen sich also auf die bis heute reichenden Klimaverhältnisse, vier beziehen sich auf Verhältnisse bei deutlich ansteigender Temperatur und sehr deutlich verringertem Niederschlag (Tab. 1).

## Ergebnisse

Zur besseren Anschaulichkeit („Karte“) werden die Ergebnisse ganzflächig abgebildet, eine Beschränkung auf die Waldfläche würde den Eindruck und das Verständnis in waldarmen Gebieten schwerlich zulassen. Wegen der großen Unterschiede der Waldanteile in den Regionen müsste sich aber eine tabellarische Zusammenstellung auf den Wald beschränken. Um Missverständnisse zwischen Karte und Tabelle zu vermeiden, wurde auf die Tabellenform verzichtet.

Auf den ersten Blick erschrecken die flächenhaften Ergebnisse, denn die ungünstigen Standorte „trocken“ und „sehr trocken“ nehmen (je nach angenommenem Bodenwasserpotenzial) große Flächen ein. Hierbei muss aber auf die angestrebte Erfassung der Klimaverhältnisse ganz Deutschlands abgehoben werden: In diesem Raum von etwa 700 x 900 km Ausdehnung und Höhen vom Meeresniveau bis deutlich über 1 000 m auch ohne die Alpen und angesichts einer Vorgabe von sechs Stufen sollte das Ergebnis etwa so variieren, wie es die Karten zeigen. Außerdem ist zu beachten, dass die einzelnen Baumarten unterschiedlich tolerant gegenüber Trockenheit sind und dass trockenere Standorte nicht unbedingt den Ausschluss für bestimmte Baumarten bedeuten, sondern allenfalls schlechtere Wuchsleistungen und höhere Kalamitätsrisiken. Hier stellt sich die Frage der Standortgerechtigkeit von Baumarten (vgl. Ausblick).

Im Einzelnen: Bei geringer nFK von 40 mm sind die Standorte im Tiefland oftmals „sehr trocken“, denn die VZ ist lang und trockenphasengefährdet, die Temperaturen sind hoch und die Niederschläge gering; der Boden kann diese Mängel nicht

Tab. 1: Kombination der Veränderung von Niederschlag und Temperatur in der VZ und angenommener nFK					
Niederschlag VZ	Temperatur VZ	nutzbare Feldkapazität			
%	°C	40 mm	100 mm	160 mm	220 mm
+/- 0	+/- 0	Abb. 2a	Abb. 2c	Abb. 2e	Abb. 2g
-20	+2,0	Abb. 2b	Abb. 2d	Abb. 2f	Abb. 2h

ausgleichen. Berglandstandorte werden dagegen weitestgehend als „mäßig trocken“ eingestuft, da in der dort kürzeren VZ relativ mehr Niederschlag fällt und auch der Wasserverbrauch wegen geringerer Temperatur nicht so hoch ist. Eine Verschlechterung der Klimaverhältnisse (wärmer, trockener, Tab. 1) bewirkt in den Hochlagen beispielsweise des Sauerlands und der Schwäbischen Alb und anderen vergleichbaren Hochlagen noch keine Verschlechterung, die Standorte liegen dort klimatisch noch im sicheren Bereich. In den unteren Lagen der Berglandwuchsgebiete wachsen allerdings „sehr trocken“ und „trocken“ an. Solche Wuchsgebiete wie „Fränkischer Keuper und Albvorland“ in Bayern wären bei dieser sehr geringen nFK ganz in Stufe „sehr trocken“ angesiedelt (Abb. 2a und 2b).

Bei absolut gesehen wenig besserer nFK von 70 mm (keine Abb.) sind die WH-Stufen schon viel günstiger: Im Bergland meist „mäßig frisch“, im Tiefland im Osten noch „trocken“, aber im sonstigen Tiefland schon „mäßig trocken“. Regularien, die zu solch einer Wertung führen, wurden eingebaut, da im Wertebereich geringer nFK schon kleinere Zuschläge als wertvoller betrachtet werden können, da kürzere Trockenperioden, die häufig vorkommen, mit dem verbesserten Speicher schon überbrückt werden können. Bei 90 mm nFK sind bereits alle Standorte in Deutschland „mäßig trocken“ oder besser eingeordnet, auch „frisch“ kommt weitflächig dann vor.

Bei zugrunde gelegten 100 mm nFK (Abb. 2c und 2d) sind Standorte im östlichen Saar-Nahe Bergland, im tiefsten Neckarland, im nördlichen Bayern, im tief gelegenen zentralen Hessen und Rheinland-Pfalz und westlichen Tiefland von NRW bereits zumeist als „mäßig trocken“ eingestuft. In den östlichen Bundesländern sind unter diesen Bodenverhältnissen nur die feuchteren Lagen im südlichen Thüringen und Sachsen frischer und somit besser beurteilt. Andere Bergländer und auch Teile von Nordwestdeutschland sind „mäßig frisch“ oder besser eingeschätzt.

Betrachtet man die bei nFK 100 mm überwiegend modellierte Stufe „mäßig trocken“ im Wuchsbezirk „Waldsässener Schiefergebiet und Wiesauer Senke“ (Wuchsgebiet Oberpfälzer Wald), so mag diese Einstufung zuerst überraschen, da der Ortsunkundige mit diesem Wuchsbezirk in einer Höhenlage zwischen 400 und 600 m im Bergland nahe Tschechien nichts „trockenes“ assoziiert. Ein Vergleich aber mit der Beschreibung der „Waldökologischen Naturräume Deutschlands“ [7] informiert über „trockenes ... Klima mit ...

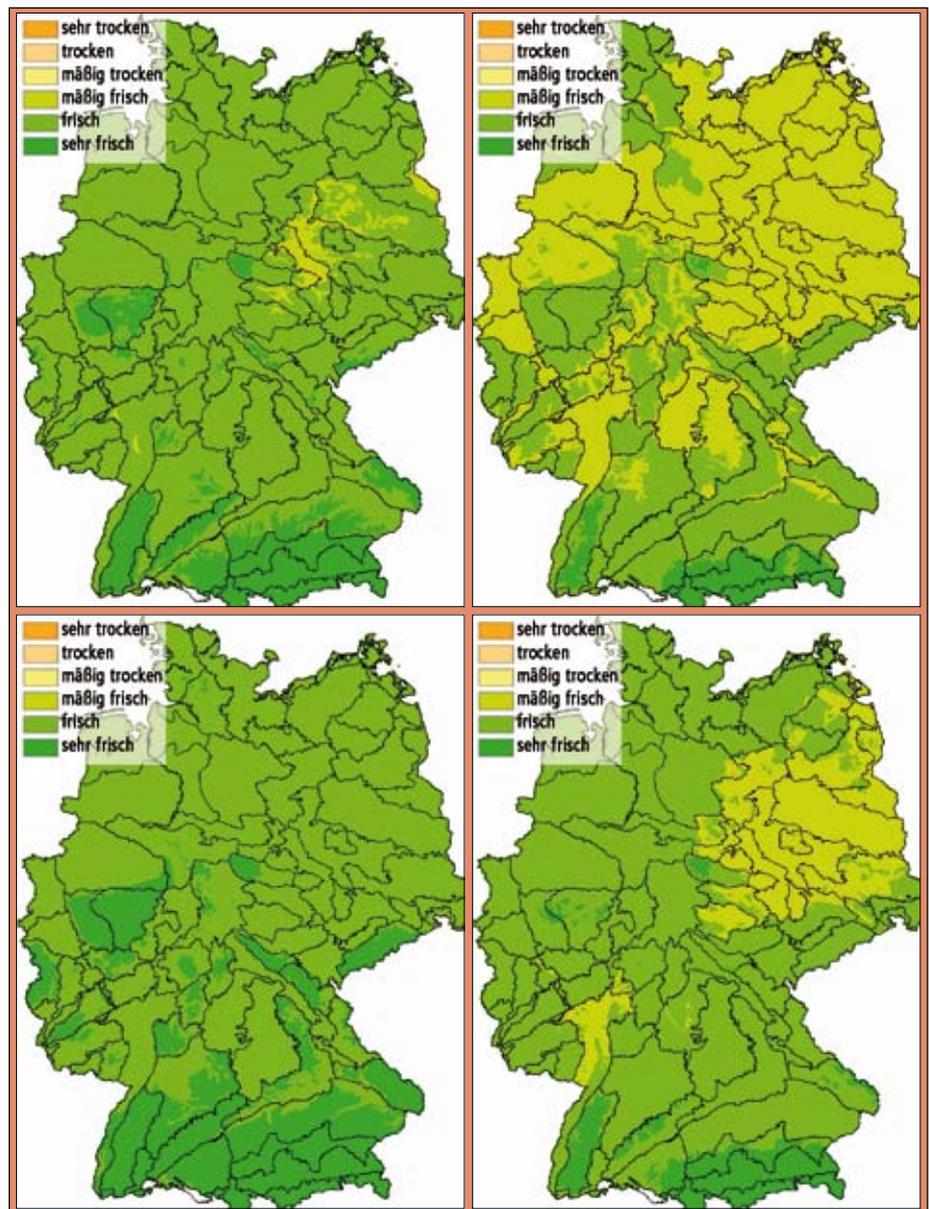


Abb. 2e und f (oben, von links): Wasserhaushaltsstufen bei angenommener nFK von 160 mm, mit Wuchsgebieten nach bisherigem Klima (e) und angenommener Klimaänderung mit + 2,0° Temperaturerhöhung und -20 % weniger Niederschlag (f)

Abb. 2g und h (unten, von links): Wasserhaushaltsstufen bei angenommener nFK von 220 mm, mit Wuchsgebieten nach bisherigem Klima (g) und angenommener Klimaänderung mit + 2,0° Temperaturerhöhung und -20 % weniger Niederschlag (h)

kurzer Vegetationszeit“. Auch korrespondiert die Einschätzung bei [12] einer „trocken-warmen Klimaregion“ und bei [13] „bis 2100 zunehmendes Anbaurisiko“ für Fichte mit dieser WH-Stufe.

Unter Annahme der Temperaturerhöhung um 2° und der Niederschlagsreduzierung um 20 % wird es auch in den unteren Berglandbereichen ungünstiger: Teilweise resultiert „mäßig trocken“, oftmals „mäßig frisch“; nur die höchsten Lagen weisen „frisch“ auf. Im Tiefland träfe man nur noch auf „mäßig trockene“ Standorte.

Die z.T. ungünstige Verteilung ergibt sich schon bei immerhin 100 mm nFK ohne Klimaänderung, einem Wert, der in ver-

schiedenen Übersichten in der Anleitung zur Standortskartierung durchaus im frischeren Bereich angesiedelt ist [2]. Um das Problem der richtigen Einstufung zu lösen, muss man sich die Spanne der möglichen Werte der wichtigen Eingangsgrößen vor Augen führen. Bei der Komponente Boden ist eine Spanne von 30 (z.B. sehr flachgründige Rendzina) bis 300 mm nFK (z.B. tiefgründige Parabraunerde) realistisch. Also muss ein Boden mit 200 mm günstiger eingestuft werden als ein Boden mit nur 100 mm, sofern man davon ausgeht, dass in Trockenphasen ein Boden mit 100 mm nFK früher Versorgungsdefizite im Bestand auslöst. ▶

Eine nFK von  $\geq 130$  mm (keine Abb.) führt nach den Kriterien von Rheinland-Pfalz bereits zur Einschätzung „sehr frisch bis äußerst frisch“ [2]. Dies erscheint etwas zu günstig, denn in einer sehr warmen Trockenphase verbraucht ein Bestand eventuell mehr als 3 mm Wasser pro Tag, d.h., bei einem Verbrauch von etwa 4 mm wäre eine optimale Versorgung nur etwa einen Monat gewährleistet. In Anbetracht der Erwartung häufigerer Trockenphasen (man denke an den Sommer 2003 oder das Frühjahr 2007) ist es angebracht, nur den vonseiten der nFK sehr günstigen Standorten die sehr günstige Frische-Stufe „sehr frisch“ zuzuweisen.

Vor diesem Hintergrund werden die Standorte erst ab etwa 150 mm als „sehr frisch“ eingestuft, und das auch nur bei ausreichender Klimafeuchte.

Eine nFK in dieser Größenordnung, nämlich 160 mm, liegt den Abb. 2e und 2f zugrunde. In den trocken-wärmsten Bereichen des Rheintals und auch in den klimatisch ungünstigen Gebieten östlich des Harzes ergeben sich nur „mäßig frische“ Verhältnisse. In den Hochlagen des Weserberglandes, der Eifel und des Odenwalds und allen höher gelegenen und mindestens genauso feucht-kühlen Bereichen ist die Einstufung „sehr frisch“. Klimatisch dazwischen positionierte Bereiche sind „frisch“.

Reduziert sich der Niederschlag und erhöht sich die Temperatur, so dehnt sich die Stufe „mäßig frisch“ im Tiefland deutlich aus, im Bergland schrumpft „sehr frisch“ auf die hohen Lagen zugunsten von „frisch“ zurück (Abb. 2f).

Bei hoher nFK von etwa 220 mm findet eine positive vereinheitlichende Wirkung durch die Bodenkomponente statt: Die Stufen sind großflächig günstig, im Bergland fast überall „sehr frisch“, im Tiefland überall schon „frisch“ (Abb. 2g). Dieses

Bild wird im Fall der Klimavariante -20 % Niederschlag und +2° Temperatur etwas gespreizt, denn in den trocken-warmen Räumen ist die Einstufung dann nur noch „mäßig frisch“, in den Hochlagen von Harz, Sauerland, Schwarzwald und anderen vergleichbaren Bergländern bleiben die Standorte „sehr frisch“ (Abb. 2h).

### Fazit und Ausblick

Das Gefüge aus digitalen Klima- und Bodeninformationen und Wertungsregularien, das auf die Verhältnisse von NRW ausgelegt worden war und Eingang in die Praxis gefunden hat, ergibt auch auf der Ebene der Bundesrepublik ein sinnvoll strukturierendes Bild. Die Gesamtwasserhaushaltsstufen stellen sich so dar, wie man es für die waldökologischen Naturräume Deutschlands erwartet.

An die Kombination aus Wasserhaushaltsstufe und Vegetationszeit lassen sich Wertungen der Standortgerechtigkeit von Waldbaumarten anbinden [4]. Bestimmte Baumarten erfordern eine bestimmte Mindestvegetationszeit, sie gedeihen nur optimal bei bestimmten Wasserverhältnissen. Im Sinn einer Anwendung von „Klimahüllen“ kann man z.B. die Temperatur in der VZ noch als Kriterium hinzuziehen.

Es können relativ leicht Klimavarianten und zwischen ihnen Differenzen berechnet werden. Differenzkarten der Wasserhaushaltsstufen können künftige Risikoräume je Baumart ausweisen helfen. Angesichts des Klimawandels wird z.B. in Thüringen die Frage gestellt, ob die dort „gegenwärtig avisierte scharfe Flächenreduktion“ der Kiefer überdacht werden müsse [6], ob also eine trockenheitstolerante Baumart entgegen der allgemeinen Forderung nach mehr Laubholz weiter Schwerpunkt des Waldbaus

bleiben sollte. Wie vielschichtig solch eine Diskussion ist, zeigt die Aussage, die Kiefer sei in Deutschland im Sinn einer Klimahüllentheorie dagegen eine Baumart mit hoher Anfälligkeit [11]. Karten des Gesamtwasserhaushalts und der Differenzen zwischen Varianten können Grundlage für eine sachliche regionale Diskussion und Planung sein. Werden ortsspezifische nFK-Daten eingesetzt, so lässt sich auch der lokale Wasserhaushalt und seine Wirkung auf die Baumarten abbilden.

Differenzkarten eines solchen quantitativ arbeitenden Ansatzes können unabhängig von einem bereits durchgeführten Kartierungs-Länderverfahren anzeigen, ob sich unter veränderten Klimabedingungen Standorte in dem Landesspektrum verschoben, sofern ein ähnliches Spektrum kartiert wurde. Eine direkte Parallelisierung von kartierten Wasserhaushaltsstufen der Bundesländer und den vorgestellten Stufen ist aber schwierig, weil die meisten Länderverfahren zweiphasig aufgebaut sind und mit teils unterschiedlichen Stufen arbeiten. Somit ist auch die direkte Zuordnung von Waldentwicklungstypen der Länder, wie sie z.B. im LÖWE-Programm formuliert sind [14], nicht möglich. Eine auf Erfahrungswissen und Messreihen zum Bestandeswachstum beruhende Definition von Standortgerechtigkeit der Baumarten bzgl. solcher überregional modellierten Wasserhaushaltsstufen ist daher anzustreben.

#### Literaturhinweise:

[1] AMMER, C.; KÖLLING, C. (2007): Klima macht dem Wald zu schaffen. Land & Forst, Nr. 37, S. 40 - 41. [2] Arbeitskreis Forstliche Standortskartierung in der Arbeitsgemeinschaft Forsteinrichtung (2006): Forstliche Standortaufnahme. [3] ASCHÉ, N., SCHULZ, R. (2006): Waldstandorte und Klimawandel. Eine Fallstudie für die Eifel in Nordrhein-Westfalen. AFZ-DerWald, Nr. 11, S. 587-591. [4] ASCHÉ, N. (2001): Standortgerechte Baumartenwahl in Nordrhein-Westfalen – eine Entscheidungshilfe. AFZ-DerWald, Nr. 16, S. 826-829. [5] BOLTE, A. (2005): Die Zukunft der Buche in Mitteleuropa. AFZ-DerWald, Nr. 20, S. 1077-1078. [6] ECKART, L.; ARENHÖVEL, W. (2006) Waldbau und Waldumbau in Thüringen – eine Bilanz nach 15 Jahren. AFZ-DerWald, Nr. 24, S. 1339-1342. [7] GAUER, J.; ALDINGER, E. (Hrsg.) (2005): Forstökologische Naturräume Deutschlands. Mitt. d. Vereins f. Forstliche Standortskunde und Forstpflanzenzüchtung, Nr. 43. [8] GEMBALLA, R.; SCHLUTOW, A. (2007): Überarbeitung der forstlichen Klimagliederung Sachsens. AFZ-DerWald, Nr. 15, S. 822-826. [9] HANTZSCHEL, J.; FRANKE, J.; GEMBALLA, R.; BERNHOFER, C. (2006): Forstliche Klimagliederung Sachsens im Klimawandel. AFZ-DerWald, Nr. 15, S. 830-832. [10] Hessisches Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Forsten (Hrsg.) (2002): Hessische Anweisung für Forsteinrichtungsarbeiten. [11] KÖLLING, C.; ZIMMERMANN, L. (2007): Die Anfälligkeit der Wälder Deutschlands gegenüber dem Klimawandel. Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft, Nr. 67(6), S. 259-268. [12] KÖLLING, C.; AMMER, C. (2006): Waldumbau unter dem Vorzeichen des Klimawandels. AFZ-DerWald, Nr. 20, S. 1086-1089. [13] KÖLLING, C.; ZIMMERMANN, L.; WALENTOWSKI, H. (2007): Klimawandel: Was geschieht mit Buche und Fichte? AFZ-DerWald, Nr. 11, S. 584-588. [14] Niedersächsisches Ministerium für den ländlichen Raum, Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2004): Langfristige ökologische Waldentwicklung. Richtlinie zur Baumartenwahl. Aus dem Walde, Nr. 54. [15] SCHNEIDER, U. (2000): Space shuttle Endeavour kartiert Erde mit Radar. Geogr. Rundschau, Nr. 52(5), S. 59-60. [16] SCHULZ, R. (2003): Flächenbezogene Modelle zur Unterstützung der forstlichen Standortskartierung im Niedersächsischen Bergland. Göttingen, Univ. Diss. [17] SCHULZ, R.; ASCHÉ, N. (2006): Die Nutzung der BK50 bei der forstlichen Standorterkundung in NRW. Mitt. d. Dt. Bodenkdl. Ges., Nr. 108, S. 52-53. [18] SCHULTZE, B.; KÖLLING, C.; DITTMAR, C.; RÖTZER, T.; ELLING, W. (2005): Konzept für ein neues quantitatives Verfahren zur Kennzeichnung des Wasserhaushalts von Waldböden in Bayern. Forstarchiv, Nr. 76, S. 155-163.

## Liebe Leser,

bitte beachten Sie folgende Beilagen:

- **Holzabsatzfonds**  
Godesberger Allee 142, 53175 Bonn  
Tel. 0228-30838-0, Fax 0228-30838-30  
info@holzabsatzfonds.de
- **Deutsche Baumpflegetage**  
Birkachstr. 95, 86830 Schwabmünchen  
Tel. 08204-2987-01 /; Fax 08204-2987-04  
augsbuerg@forum-baumpflegetage.de

Sollte jemand vor Ihnen die Beilagen bereits entnommen haben, wenden Sie sich doch bitte an das Unternehmen. Gern wird man Ihnen die Unterlagen direkt zuschicken.

