

WASSERHAUSHALT RHEINLAND- PFÄLZISCHER WÄLDER – ERHEBLICHE VERÄNDERUNGEN DURCH DEN KLIMAWANDEL ZU ERWARTEN



Wasser ist in unseren rheinland-pfälzischen Waldökosystemen in sehr unterschiedlichem Ausmaß verfügbar. Die Wasserhaushaltsuntersuchungen im Rahmen des Forstlichen Umweltmonitorings zeigen, wo bereits gegenwärtig Wassermangelsituationen auftreten und wie sich die Belastungen unserer Waldökosysteme durch Trockenstress im Zuge des Klimawandels verändern könnten.

Wasser ist von entscheidender Bedeutung für die Funktionsfähigkeit unserer Waldökosysteme. Nahezu alle chemischen und biologischen Prozesse sind an das Vorhandensein von Wasser gebunden. Sinkt die Wasserverfügbarkeit, nehmen das Wachstum und die Produktivität der Wälder ab und wichtige Schutz- und Speicherfunktionen, wie beispielsweise die Kohlenstoffbindung und die Grundwasserneubildung, werden beeinträchtigt. Verändert sich die Wasserverfügbarkeit abrupt, führt dies zu erheblichen Vitalitätseinbußen der Waldbäume.

Der Klimawandel wird sich voraussichtlich erheblich auf den Wasserhaushalt der Waldökosysteme auswirken. Veränderungen in den Niederschlägen, eine mögliche Umverteilung der Niederschläge vom Sommer in den Winter, höhere Temperaturen und die damit verbundene höhere Verdunstung beeinflussen nahezu alle Komponenten des Wasserhaushalts.

Wasserhaushaltsuntersuchungen sind bereits seit Mitte der 1980er Jahre zentraler Bestandteil des rheinland-pfälzischen Forstlichen Umweltmonitorings. So werden an Waldökosystem-Dauerbeobachtungsflächen forstmeteorologische Messungen durchgeführt. Diese liefern Zeitreihen zu den wesentlichen Antriebskräften des Wasserhaushalts wie Niederschlag, Lufttemperatur, Luftfeuchte, Globalstrahlung und Windgeschwindigkeit. Zudem werden in verschiedenen Bodentiefen die Wassergehalte und Saugspannungen, das ist

die Kraft, mit der das Wasser im Boden gebunden wird, kontinuierlich gemessen. Auch werden an den Untersuchungsflächen Daten zur Wasserspeicherfähigkeit im Boden und zur Wurzeltiefe der verschiedenen Baumarten erhoben.

Die Kalkulation der verschiedenen Kenngrößen des Wasserhaushalts, wie Transpiration (produktive Verdunstung), Interzeption (Zurückhalten der Niederschläge in den Kronen der Waldbäume) und Tiefenversickerung erfolgen im Forstlichen Umweltmonitoring mit Hilfe von Wasserhaushaltsmodellen (COUPMODEL, LWF BROOK 90). Nur durch den Einsatz dieser prozessorientierten numerischen Simulationsmodelle können alle Komponenten des Wasserkreislaufs ohne Störung des Ökosystems kontinuierlich in täglichen Zeitschritten erfasst werden.

Da in diese Modelle auch Daten aus Projektionen des möglichen zukünftigen Klimas eingespeist werden können, eignen sie sich in besonderem Maße auch für die Untersuchung möglicher Folgen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt der Waldökosysteme und damit auch zur Abschätzung künftiger Risiken wie beispielsweise durch zunehmenden Trockenstress.

Um landesweite Aussagen treffen zu können, wurden Untersuchungen zum Wasserhaushalt der Waldökosysteme auch an den 165 Aufnahmepunkten des landesweiten Erhebungsrasters der Waldbodenzustandserhebung (BZE) durchgeführt. Für die BZE-Rasterpunkte wurden neben der

aktuellen Situation auch die möglichen Veränderungen im Klimawandel untersucht.

Die klimatischen Bedingungen und Kennwerte des Wasserhaushalts weisen in Rheinland-Pfalz eine sehr große Differenzierung auf. Im landesweiten Raster der Waldbodenzustandserhebung variierten die langjährigen Mittelwerte (Zeitraum 1961 bis 2006) des Jahresniederschlags zwischen 600 und 1300 mm, des Bestandesniederschlags (Kronentraufe und Stammabfluss) zwischen 450 und 1140 mm, der Interzeptionsverdunstung zwischen 130 und 350 mm, der Evaporation zwischen 20 und 80 mm, der Transpiration zwischen 170 und 370 mm und der Tiefensickerung zwischen 110 und 730 mm.

Als Maß für das Wasserdargebot ohne Berücksichtigung von Boden- und Bestandeseigenschaften eignet sich die klimatische Wasserbilanz. Sie wird als Differenz des Freilandniederschlags und der Referenzverdunstung berechnet. Letztere beschreibt die hypothetische Verdunstung einer Grasoberfläche. Im Mittel des Zeitraums 1961 bis 2006 variiert die jährliche klimatische Wasserbilanz an den 165 Rasterpunkten der Waldbodenzustandserhebung zwischen +15 und +700 mm. Geringe Wasserbilanzen sind vornehmlich im Saar-Nahe-Bergland, im Mittelrheintal und im Oberrheinischen Tiefland, hohe klimatische Wasserbilanzen in den Hochlagen der Mittelgebirge zu finden.

Neben Niederschlag, Verdunstung und Sickerung ist die Wasserspeicherung im Boden von großer Bedeutung für die Wasserverfügbarkeit der Vegetation. Die Spanne der Speicherkapazität an für die Pflanzen nutzbarem, das heißt nicht zu fest im Boden gebundenen Wasser reicht von 47 bis 300 mm. Speicherkapazitäten von über 250 mm z.B. auf tiefgründigen Buntsandsteinstandorten und Lössdecklehmen stehen Kapazitäten von weniger als 75 mm auf flachgründigen Tonschieferstandorten gegenüber.

Einfluss des Klimawandels auf den Wasserhaushalt

Das Klima unterlag in der Vergangenheit einem Wandel und wird sich auch in Zukunft ändern.

Veränderungen durch anthropogene Einflüsse, insbesondere durch die Emission von Klimagasen werden aber erheblich beschleunigt ablaufen. Zwischen 1901 und 2008 hat sich die Jahresdurchschnittstemperatur in Rheinland-Pfalz um 1,1° C erhöht. Vor allem die Winter sind regional unterschiedlich um bis zu 2° C wärmer geworden. Westwindwetterlagen sind in den letzten 50 Jahren tendenziell häufiger geworden. Im Sommer sind die Niederschläge in den meisten Regionen zurückgegangen. Die Mehrzahl der regionalen Klimaprojektionen geht davon aus, dass sich dieser Trend weiter fortsetzen wird. Allerdings weisen alle Klimaprojektionen und Folgeauswertungen eine sogenannte „Spanne der Unsicherheit“ auf. So basiert die Betrachtung des Klimawandels auf unterschiedlichen Emissionsszenarien, die von unterschiedlichen Entwicklungen des künftigen Wirtschaftswachstums, der Globalisierung und des Umweltbewusstseins ausgehen. Von den verschiedenen Emissionsszenarien ausgehend werden von zahlreichen Instituten mit einer Vielzahl von Modellen globale und regionale Klimaprojektionen berechnet. Dies führt zu einer erheblichen Spannweite der Ergebnisse hinsichtlich Intensität und Ausprägung des zu erwartenden Klimawandels. Als Beispiel für die „Spanne der Unsicherheit“ können Ergebnisse einer Sensitivitätsanalyse zur Ausprägung des Klimawandels für Forschungsflächen im Forstamt Hinterweidenthal, Pfälzerwald, herangezogen werden. Hierbei wurden 20 verschiedene Klimaprojektionen, die unterschiedliche Emissionsszenarien sowie Global- und Regionalmodelle abbilden, herangezogen. Die Befunde zeigen sehr große Unterschiede in der möglichen Ausprägung des Klimawandels: Bei allen Ansätzen wurde zwar eine Temperaturzunahme bis zum Ende des Jahrhunderts berechnet, allerdings variiert die Spanne zwischen + 2,0 und + 4,2° C. Während einige Projektionen vergleichbare Temperaturzunahmen im Sommer- und Winterhalbjahr aufweisen, zeigen andere eine stärkere Temperaturveränderung im Sommerhalbjahr, andere im Winterhalbjahr. Beim Jahresniederschlag wurde von manchen Szenarien eine Zunahme (max. + 12 %), von anderen eine Abnahme (max. – 7 %) kalkuliert. Allerdings stimmen die Projektionen

darin überein, dass bis zum Ende des 21. Jahrhunderts mit einer Umverteilung der Niederschläge vom Sommer- in das Winterhalbjahr zu rechnen ist. Auch bei der relativen Luftfeuchte (- 8 % bis + 1 %), der Globalstrahlung (- 7 bis + 7 %) und der Windgeschwindigkeit (- 4 bis + 3 %) gehen die Berechnungen der einzelnen Szenarien für die zukünftige Entwicklung weit auseinander. Diese Unterschiede in der kalkulierten Klimaentwicklung schlagen sich auch in den Befunden der Wasserhaushaltssimulationen für zukünftige Zeiträume nieder. Die Simulationen wurden für drei Klimaszenarien durchgeführt, die die Spannweite der möglichen zukünftigen Klimaveränderung an diesem Standort vermutlich abdecken (Ensemble-Ansatz):

- DMI_ECHAM5: wenig Erwärmung, Zunahme des Niederschlags
HC3QO: starke Erwärmung, sommertrocken
WETTREG: wenig Erwärmung, starke Umverteilung der Niederschläge vom Sommer- ins Winterhalbjahr.

Die Simulationen erfolgten jeweils für 8 unterschiedliche Waldökosysteme (Buche, Eiche, Kiefer, Douglasie im Rein- und Mischbestand). Alle drei Szenarien zeigen für jeden Bestockungstyp einen Anstieg der Evaporation und der Transpiration. Demgegenüber entwickeln sich die Interzeption und die Tiefensickerung je nach Bestockung und Klimaprojektion unterschiedlich. Auch die Entwicklung des Trockenstressrisikos wird unterschiedlich vorhergesagt: Während sich beim Szenario DMI_ECHAM5 nur geringe Verän-

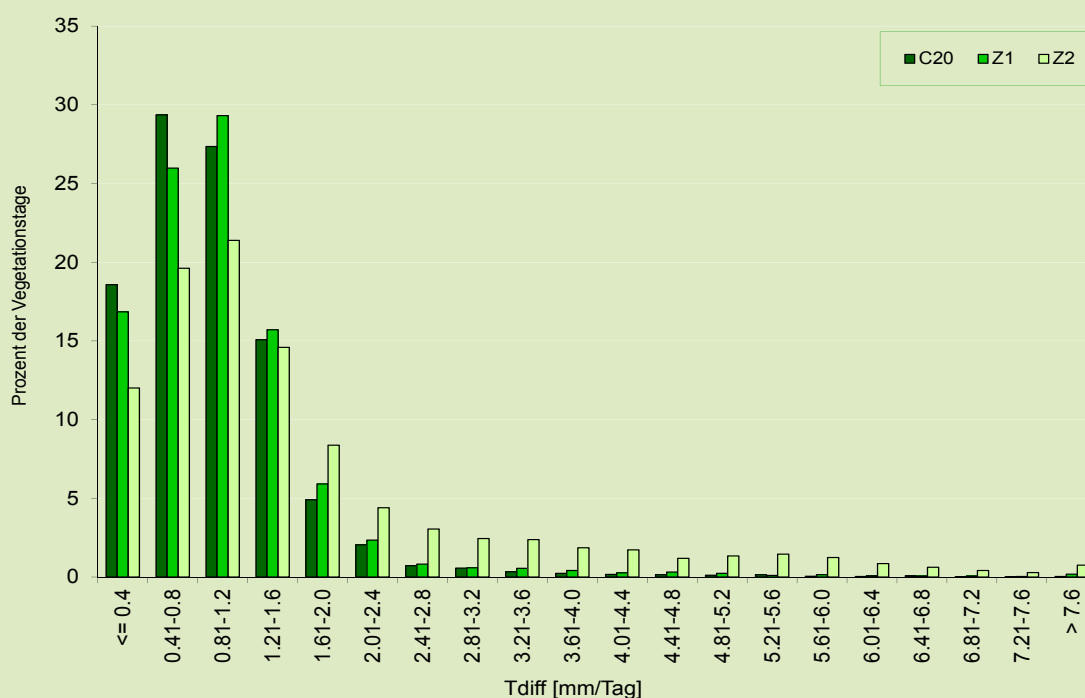
Weitere Informationen zu „Wasserhaushaltsuntersuchungen im Rahmen des Forstlichen Umweltmonitorings und bei waldbaulichen Versuchen in Rheinland-Pfalz“ sowie zu „Untersuchungen zu Wasserhaushalt und Klimawandel an ausgewählten forstlichen Monitoringflächen in Rheinland-Pfalz“ finden sie als download auf den Webseiten der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft:
<http://www.fawf-wald-rlp.de/index.php?id=2601>

derungen oder sogar ein Rückgang der Anzahl der Tage mit Trockenstress ergibt, weisen die Kalkulationen für die beiden anderen Klimaszenarien bei allen Bestockungstypen eine deutliche Zunahme des Trockenstressrisikos auf. Diese Befunde zeigen, dass wir gegenwärtig die Ausprägung des Klimawandels und dessen Folgen für den Wasserhaushalt der Ökosysteme sowie die Risiken für die Waldlebensgemeinschaften nur mit großen Unsicherheiten einschätzen können. Daher ist eine Fortführung der intensiven Umweltbeobachtung im Wald (Forstliches Umweltmonitoring), weitere Forschung zur Ausprägung des Klimawandels und dessen Folgen und in der forstlichen Praxis eine Risikostreuung bei der Waldbewirtschaftung, zum Beispiel durch ein möglichst großes Baumartenspektrum und den Aufbau von Mischbeständen, unverzichtbar.

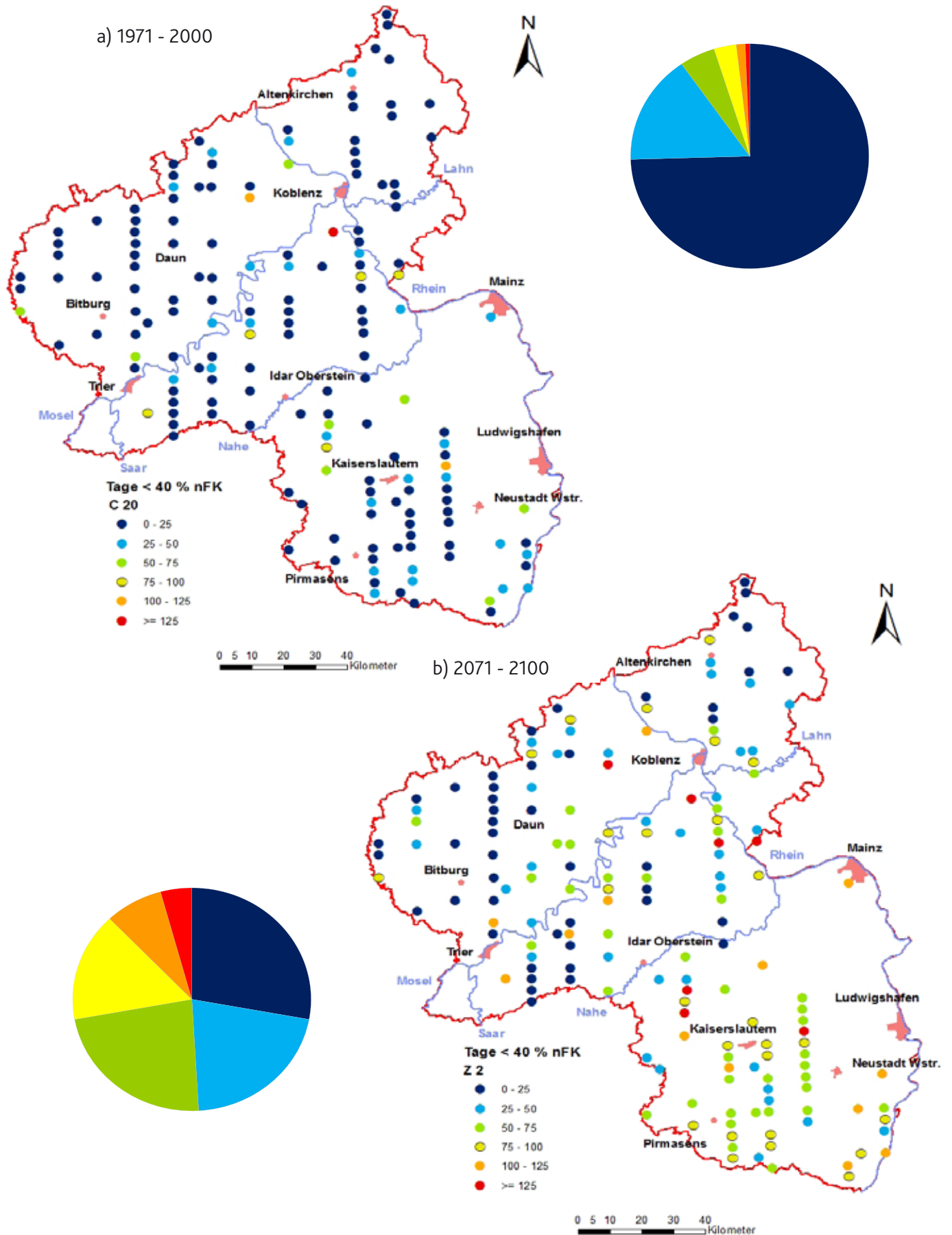
Trockenstress

Von Trockenstress spricht man, wenn die Waldbäume aufgrund eines unzureichenden Wasserangebots im Boden zum Schutz vor Austrocknung gezwungen sind, die Transpiration durch teilweises oder vollständiges Schließen der Spaltöffnungen einzuschränken. Dies ist mit einer Reduktion der Photosynthese verbunden. Ein länger anhaltender Trockenstress reduziert das Wachstum und vermindert die Abwehrkraft gegenüber Schadorganismen. Über Wasserhaushaltssimulationen können verschiedene Indikatoren für potentiellen Trockenstress hergeleitet werden. Ein wichtiger Kennwert ist die relative Wasserverfügbarkeit. Hierbei wird über das Wasserhaushaltsmodell täglich der aktuelle Bodenwassergehalt im Wurzelraum kalkuliert und in Relation zur maximalen Speicherfähigkeit an pflanzenverfügbarem Wasser im Boden (nutzbare Feldkapazität, nFK) betrachtet. Verschiedene Untersuchungen haben gezeigt, dass das Wachstum von Bäumen bei einer Unterschreitung von 40 % der nFK stark eingeschränkt ist oder eingestellt wird. Die Anzahl der Tage, an denen diese Schwelle unterschritten wird, ist somit ein Maß für die Trockenstressgefährdung. Die Karten zeigen für die 165 Rasterpunkte der Waldbodenzustandserhebung Kalkulationen der Anzahl der Tage mit Trockenstress im Mittel des Zeitraums 1971 bis 2000 (Kontrolllauf) und die ferne Zukunft (2071 bis 2100) bei einer möglichen Ausprägung des Klimawandels (WETTREG 2007, A1B - normale Realisation - , DMI_ECHAM5). An der Mehrzahl der Rasterpunkte nimmt die Anzahl der Tage mit Trockenstress zum Ende des Jahrhunderts deutlich zu. Ein weiterer Indikator für Trockenstress ist die Transpirationsdifferenz (Tdiff). Hier erfolgt eine tägliche Berechnung der Differenz von potentieller (nicht durch den Bodenwassergehalt eingeschränkter) und realer (gegebenenfalls durch Bodentrockenheit eingeschränkter) Transpiration mit anschließender Mittelwertbildung für die Vegetationszeit. Hohe Werte der Transpirationsdifferenz zeigen an, dass der Baum die Spaltöffnungen in den Blättern häufig wegen Bodentrockenheit schließen musste. Auch der Kennwert Tdiff zeigt bei der ausgewählten Klimaprojektion eine deutliche Zunahme der Trockenstressrisiken für den Wald.

Mögliche, zukünftige Veränderung der Transpirationsdifferenz (Tdiff) an der Level II Fläche Schaidt (Bienwald); WETTREG 2007, A1B -normale Realisation; C20: Kontrolllauf 1971 – 2000, Z1: nahe Zukunft 2021 – 2050, Z2: ferne Zukunft 2071 - 2100



Relative Wasserverfügbarkeit (40% nFK) im BZE II-Kollektiv;
 a) WETTREG - Kontrolllauf 1971 bis 2000 (C20);
 b) WETTREG - ferne Zukunft 2071 bis 2100 (Z2)

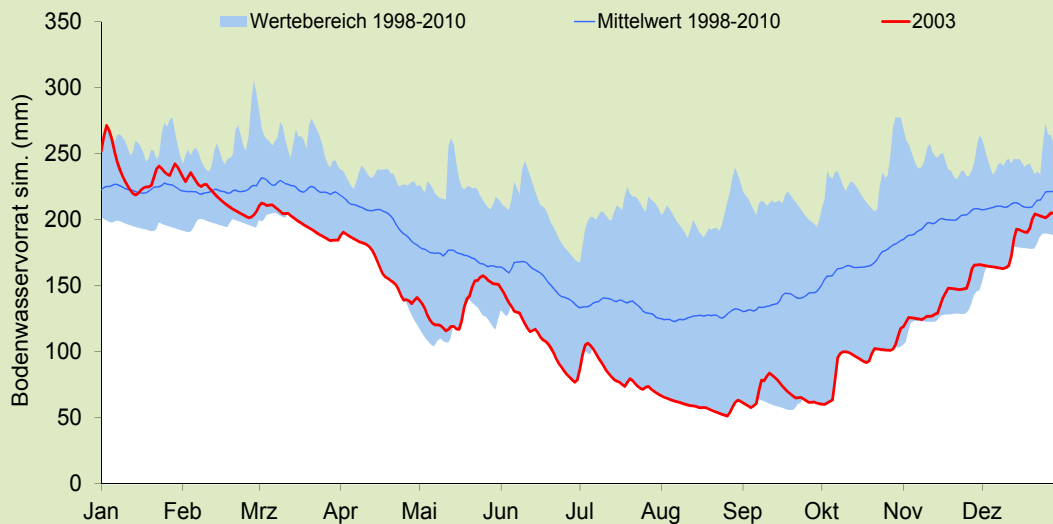


Extremjahr 2003

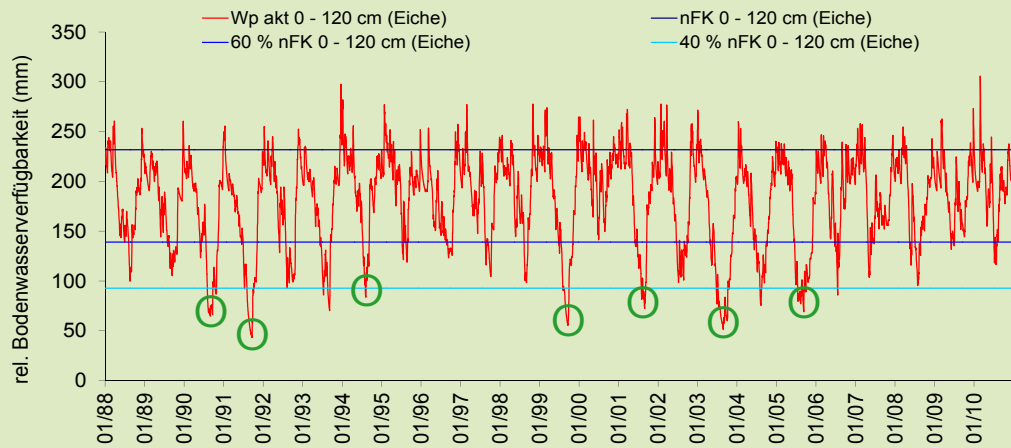
An den Intensivuntersuchungsflächen des Forstlichen Umweltmonitorings (Level II) werden seit 1988 die Bodenwasserverfügbarkeit und das Auftreten von Wasserstress kontinuierlich überwacht.

Der Bodenwassergehalt zeigt einen ausgeprägten Jahresgang mit meist hohen Wasservorräten im Winter und im frühen Frühjahr sowie meist niedrigen Vorräten im Sommer und im frühen Herbst. Die einzelnen Jahre unterscheiden sich dabei beträchtlich. Das Jahr 2003 zeigte die seit dem Beginn der Messreihe ausgeprägteste Bodentrockenheit. Die Wasserverfügbarkeit (pflanzenverfügbare Bodenwasservorrat im Wurzelraum) nahm im Jahr 2003 bereits ab Anfang Juni rasch ab und erreichte an allen Untersuchungsorten am 27./ 28. August Minimalwerte. An der Level II-Fläche Merzalben wurde der Trockenstresskennwert „< 40 % nFK“ (Erläuterung siehe Kasten Trockenstress) an 101 Tagen unterschritten; im Durchschnitt der 23 Jahre umfassenden Zeitreihe war dies dagegen bislang jährlich nur an 19 Tagen der Fall. Weitere, weniger ausgeprägte Trockenjahre waren 1990, 1991, 1993, 1999, 2001, 2005 und 2006.

Jahresverlauf des Bodenwasservorrates im Wurzelbereich im Traubeneichen-Buchemischbestand der Level II-Fläche Merzalben auf Mittlerem Buntsandstein im Pfälzerwald. Neben dem langjährigen Wertebereich sind der Mittelwert des Messzeitraums und der Verlauf im Extremjahr 2003 dargestellt



Verlauf der Bodenwasserverfügbarkeit im Wurzelbereich der Level II-Fläche Merzalben von 1988 bis 2011. In den markierten Jahren (grüne Kreise) traten mehrwöchige Trockenstressphasen auf



kwis-rlp: Klimawandelinformationssystem Rheinland-Pfalz

Informationen zum gegenwärtigen Klima, dem detaillierten Witterungsverlauf seit 1951, zu Projektionen des möglichen, zukünftigen Klimas in Rheinland-Pfalz, den möglichen Folgen des Klimawandels, Forschungsprojekten und Hintergrundinformationen zu den Themen Klima, Klimawandel und Klimawandelfolgen sowie Forschungsprojekten finden Sie im Internet unter www.kwis-rlp.de.