

Langzeitverhalten von Schneedeckenparametern Ergebnisse aus KLIWA

Thilo Günther und Martin Rachner
Deutscher Wetterdienst, Geschäftsfeld Hydrometeorologie, Berlin

1. Einleitung, Bedeutung der Schneedecke

In der Schneedecke werden feste Niederschläge über längere Zeiträume gespeichert. Für hydrologisch-wasserwirtschaftliche Belange sind besonders die zeitliche Verzögerung und die veränderte Intensität, mit der die in der Schneedecke gespeicherten Niederschläge abflusswirksam werden, von Bedeutung. Für einen Standort im Mittelgebirge (Abb. 1a-c, s. nachfolgende Seite) wird dies beispielhaft für die Winterperiode 1983/84 dargestellt. Deutlich erkennbar sind die Unterschiede in der Verteilung der gemessenen Niederschlagshöhe (Abb. 1b) und des hydrologisch wirksamen Niederschlagsdargebots (Abb. 1c) in der Schneedeckenzeit. Als Niederschlagsdargebot (WP) wird nachfolgend die Summe aus flüssigem Niederschlag (PI) und der Schmelzwasserabgabe aus der Schneedecke (WA) verstanden. Die Speicherung des Niederschlags in der Schneedecke über mehrere Monate (Abb. 1a) verursacht zwischen Anfang Januar bis Ende Februar 1984 – mit eintägiger Unterbrechung – eine aus hydrologischer Sicht ca. 60-tägige „Trockenperiode“ mit allen Konsequenzen für das Abflussgeschehen. Die in dieser Periode gespeicherten Wasseräquivalente werden dann in intensiven Schmelzperioden abgebaut mit Wasserabgaberraten (verstärkt durch Regen) bis zu 243 mm in 10 Tagen.

Welche Bedeutung der Schmelzwasseranteil z. B. an der Ausbildung von hohen Niederschlagsdargeboten hat, zeigt das Beispiel für die Station Klippeneck (Abb. 2)

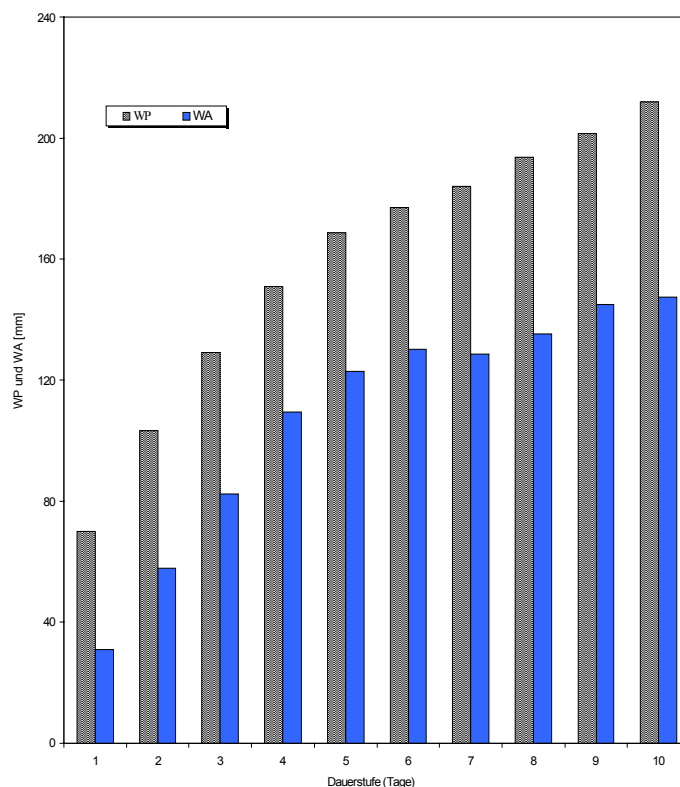
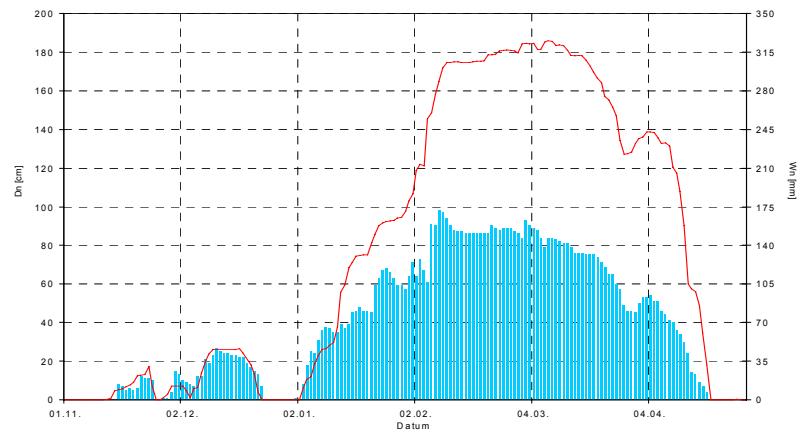
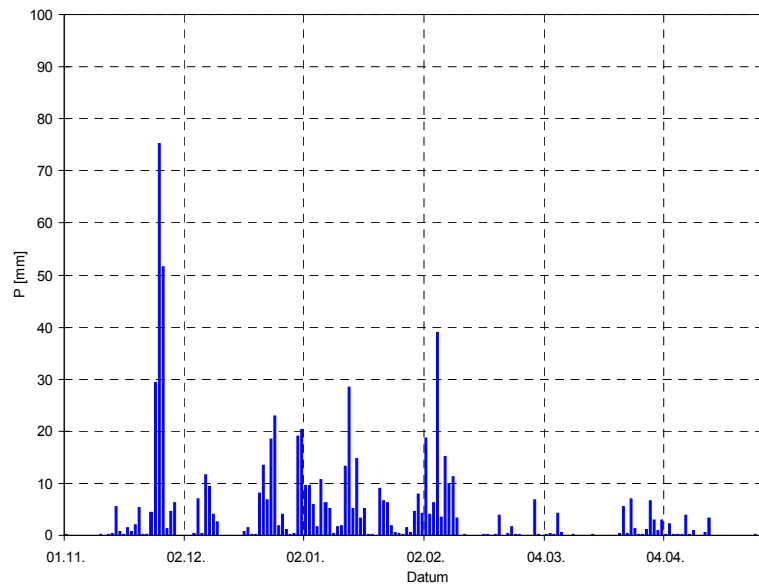


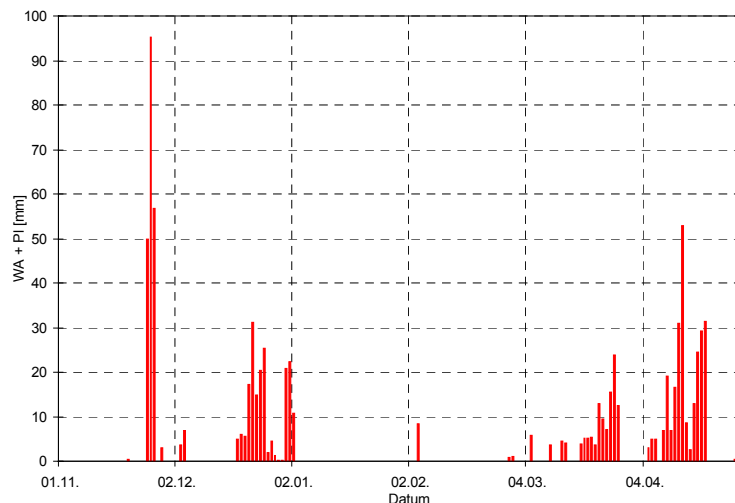
Abb.2: Extreme Niederschlagsdargebote (WP) und Wasserabgabe aus der Schneedecke (WA) für 10 Dauerstufen (Tage), Wiederkehrzeit 100 Jahre



1 a. Schneedeckenhöhe (Dn, Balken) und Wasseräquivalent der Schneedecke (Wn, Linie), Winter 1983/84



1 b. Niederschlagshöhe (P) Winter: 1983/84



1 c. Niederschlagsdargebot (WP = WA + PI) Winter: 1983/84

Abb.1 a – c: Schneedeckenhöhe und Wasseräquivalent (a); Niederschlagshöhe (b); Niederschlagsdargebot (c), Winter 1983/84

Für die dargestellten Dauerstufen (1 bis 10 Tage) ist mit Werten des extremen Niederschlagsdargebotes bei einer Wiederkehrzeit von $T = 100$ Jahren zwischen 80 und 200 mm zu rechnen. Die Schmelzwasseranteile erreichen dabei die beträchtliche Höhe von ca. 40 bis 140 mm. Wie gravierend durch die Schneedeckenentwicklung die Extremwertverteilung der Niederschlagsdargebote (Schmelzwasser plus Regen) in den Wintermonaten modifiziert wird, verdeutlichen die für Süddeutschland in der Abb. 3 dargestellten überwiegend positiven Abweichungen im Vergleich zu den Werten im KOSTRA-Atlas (Günther, Th. und Matthäus H., 2001).

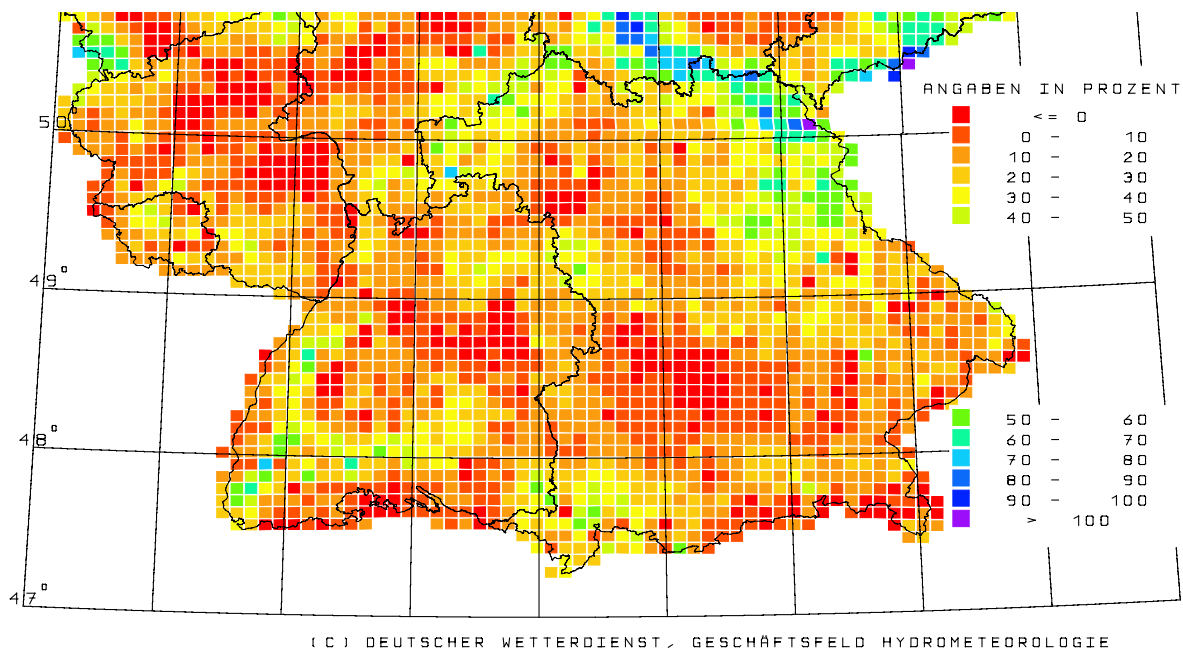


Abb.3: Rasterbezogene Differenzen zwischen den Extremwerten des Niederschlagsdargebots (Schmelzwasser plus Regen) und den Starkniederschlagshöhen nach KOSTRA in Prozent; Ausschnitt Süddeutschland, Winterhalbjahr, Dauerstufe D = 72 h Wiederkehrzeit $T = 100$ a, Zeitraum 1951/80

Die höheren Extremwerte bzw. veränderten Eintrittswahrscheinlichkeiten, bedingt durch die Wasserabgabe aus der Schneedecke, müssen bei der Bemessung von wasserwirtschaftlichen Anlagen sowie bei hydrologischen Extremwertbetrachtungen unbedingt berücksichtigt werden.

2. Datengrundlage und Methodik

Durch umfangreiche Nacherfassungen bisher nicht elektronisch gespeicherter Daten konnte die Anzahl geeigneter Datenreihen der Schneedeckenbeobachtung des Deutschen Wetterdienstes im Land Baden-Württemberg von 47 auf 192 erhöht werden. Mit dieser vergrößerten Stationsauswahl wird eine flächendeckend dichte Verteilung gewährleistet (eine Station für ca. 180 km² Fläche, mittlerer Stationsabstand ca. 13 bis 14 km). Dieser Aspekt wird noch durch eine regional weitgehend ausgewogene Anordnung der Stationen unterstützt (Abb. 4).

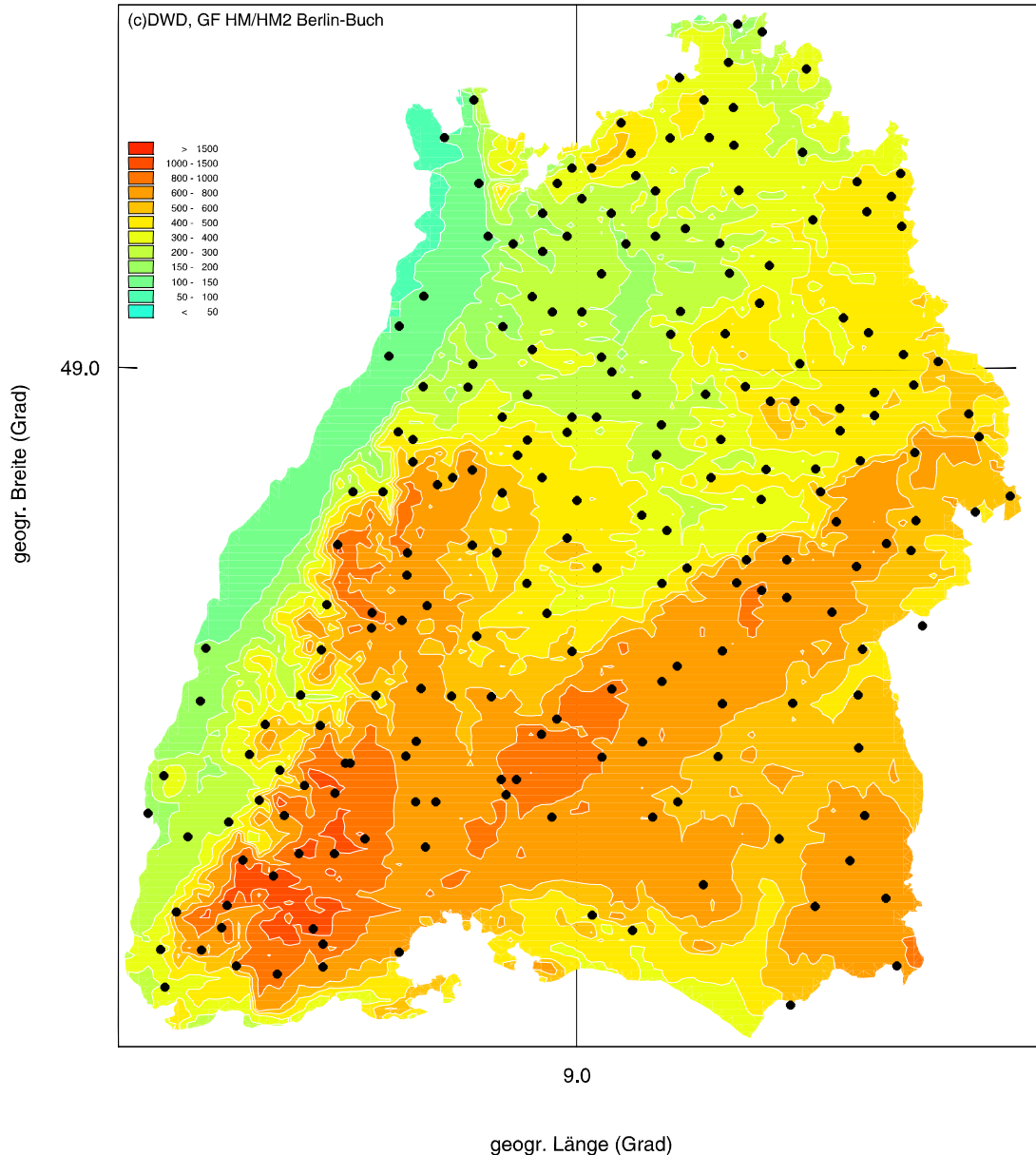


Abb. 4: Lage der verwendeten Stationen im Land Baden-Württemberg (Reihe 1951/52 bis 1995/96; Anzahl der Stationen: 192)

Für Langzeituntersuchungen (> 50 Jahre) der Schneedecke, d. h. der das Andauer- und Häufigkeitsverhalten beschreibenden Parameter der Schneedecke, sind leider nur wenige Stationen geeignet. Ausfälle als Folge der Kriegseinwirkungen erstrecken sich vielfach über mehrere Jahre. Diese flächendeckenden Defekte lassen es nicht zu, insbesondere auch wegen der hohen Variabilität der Schneedeckenparameter, Ergänzungen vorzunehmen. Als Beginn der verwendeten Bezugsperiode wurde deshalb für alle Datenreihen die Winterperiode 1951/52 gewählt. Erst von diesem Zeitpunkt an kann von einer weitgehenden Stabilisierung des Messnetzes und der Datengewinnung gesprochen werden (vgl. Abb. 5). Mit dieser Festlegung ist einerseits der Vorteil verbunden, für die Trenduntersuchungen lückenlose Datenreihen zur Verfügung zu haben, zugleich aber folgt daraus die einschneidende Beschränkung auf lediglich 45 Winterperioden.

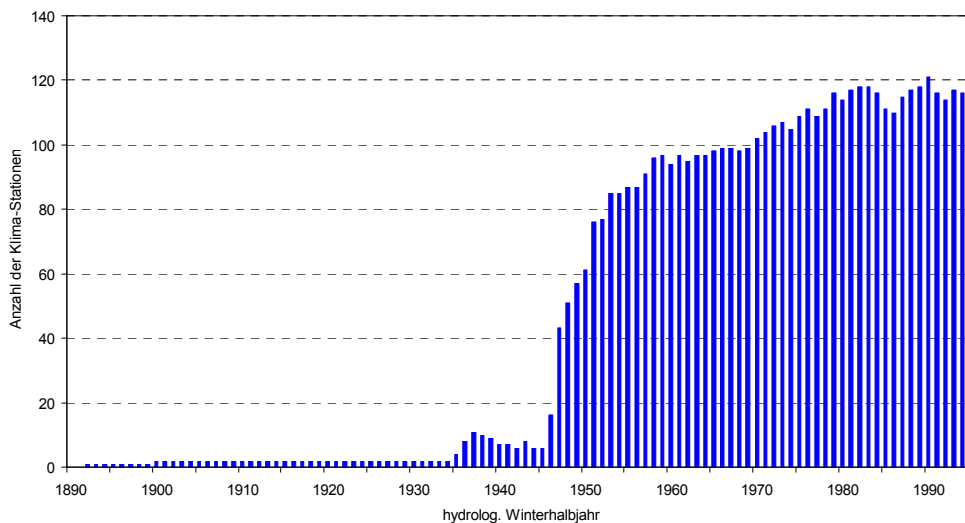


Abb. 5: Anzahl der Klima-Stationen mit vollständigen Datenreihen (DWD/Regionale Messnetzgruppe Stuttgart)

Um die langfristigen Schwankungen und Änderungen der Schneedeckenverhältnisse sichtbar zu machen und darzustellen, sind die Parameter, die das Andauerverhalten umfassend und sensibel beschreiben, am besten geeignet. Im Rahmen des KLIWA-Projektes werden folgende Größen analysiert:

- Die Schneedeckendauer spielt eine besondere Rolle, da sie direkt aus Beobachtungen bzw. gemessenen Daten ermittelt wird. Sie ist definiert als Anzahl der Schneedeckentage in einer bestimmten Zeitspanne.
- Die Schneedeckenzeit wird aus den Daten des Auftretens der ersten bzw. der letzten Schneedecke ermittelt.
- Die Schneedeckenperiode trägt zusammen mit den vorgenannten Größen dazu bei, die jeweiligen Besonderheiten der Schneedecke einzelner Winterperioden bzw. regionale Unterschiede zu präzisieren. Im KLIWA-Projekt wird die maximale, d.h. die am längsten andauernde Schneedeckenperiode betrachtet und als „Winterdecke“ bezeichnet.
- Das Datum des Eintritts der maximalen Schneedeckenhöhe ist ein markanter Punkt zur Einschätzung der Dynamik der Schneedeckenentwicklung sowie deren räumlicher und zeitlicher Veränderungen.
- Die „Beständigkeit“ der Schneedecke ist eine abgeleitete Größe und geeignet, Änderungen im Andauerverhalten zu charakterisieren.
- Die „Erhaltung der Winterdecke“ hat eine ähnliche Bedeutung wie die vorgenannte Größe.

Gestützt auf eigene Erfahrungen und auf verschiedene Quellen (Conrad, V. und Winkler, M. 1931, Rachner, M. 1969, Fojt, W. 1974, Rachner, M. und Schneider, G., 2000) kann davon ausgegangen werden, dass entsprechend der geografischen Gliederung des Landes Baden-Württemberg und abhängig von Höhenlage und Exposition einzelner Regionen Unterschiede des Schneedeckenregimes auftreten. Für die Untersuchungen des Andauerverhaltens wird in Anlehnung an natürliche Grenzen eine Gliederung des Bearbeitungsgebietes wie folgt vorgenommen:

- Donaugebiet (Flächenanteile Baden-Württemberg)
- Oberrhein/Schwarzwald
- Neckar-West
- Neckar-Ost (mit Flächenanteil Tauber)

Für die Beschreibung der räumlichen und zeitlichen Variabilität der Schneedeckenparameter werden statistische Maßzahlen verwendet. Die verschiedenen Möglichkeiten, zeitliche Entwicklungen einer Klimagröße durch eine Maßzahl auszudrücken, wurden von Rapp, J. und Schönwiese, C.-D. 1996 ausführlich beschrieben. Als ein besonders zweckmäßiges Maß ist dabei der lineare Trend, der die Veränderungen eines Klimazustandes im Laufe eines bestimmten Zeitraumes beschreibt, zu nennen. Er wird in dieser Untersuchung ermittelt und interpretiert. Dabei ist festzustellen, dass streng genommen erst aus der Untersuchung sehr langer, säkularer Reihen einigermaßen gesicherte Erkenntnisse über Veränderungen einer Größe in eine bestimmte Richtung (Trend) abgeleitet werden können. Dennoch sind auch Ergebnisse aus kürzeren Reihen wertvoll und aufschlussreich, wenn sie mit der notwendigen Sorgfalt interpretiert werden. Dem ist noch hinzuzufügen, dass nicht nur langfristig wirkende, sondern auch kürzere, aber doch über mehrere Jahre andauernde Phasen mit gleichsinnigen z. T. sehr stark vom Mittel abweichenden Zuständen nachhaltige Auswirkungen auf Hydrologie und Wasserwirtschaft haben können.

Zur Gewährleistung eines gleichartigen methodischen Herangehens bei der Zeitreihenanalyse im Projekt KLIWA wurden die ausgewählten Testverfahren (Homogenitätsprüfung: Alexandersson, Buishand-Test; Signifikanzprüfung Trend: Mann-Kendall-Test) auch auf die Reihen der Schneedeckendaten angewendet.

3. Ergebnisse

Die Schneedeckendauer ist, wie an anderer Stelle bereits erwähnt, eine wichtige, unmittelbar aus Messungen und Beobachtungen ermittelte Grundgröße zur Beschreibung der Schneedeckenverhältnisse. Aus diesem Grunde wird diese Größe vorrangig genutzt, um nach einer Bestätigung der vermuteten schneehydrologisch relevanten regionalen Unterschiede im Untersuchungsgebiet zu suchen. Wie erwartet ergaben die Untersuchungen für die ausgewiesenen Teilgebiete jeweils stark ausgeprägte Abhängigkeiten von der Geländehöhe. Für die Darstellungen, die das Gesamtgebiet betreffen, wurde eine sehr hohe Korrelation ($R = 0,96$) und eine geringe Standardabweichung ermittelt (vgl. Abb. 6). Daraus kann gefolgert werden, dass regionale Unterschiede zwar vorhanden, jedoch statistisch nicht signifikant sind. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Regionen im Vergleich zum „Mittel“ (Gesamtgebiet) sind nur gering. Die größten regionalen Unterschiede in der Höhenabhängigkeit treffen auf engstem Raum im Schwarzwald aufeinander. Den höchsten Wert des gesamten Gebietes, ermittelt auf der Westseite (Zunahme der Andauer um 12 bis 13 Tage je 100 m Höhenzunahme), stehen knapp 10 Tage je 100 m auf der Ostseite gegenüber. Ausnahmslos für alle Höhenbereiche werden die geringeren regionalen Unterschiede der mittleren Andauerwerte durch das Ausmaß der Streuung übertroffen.



Hinsichtlich der regionalen Differenzierung und der Abhängigkeit von der Geländehöhe gelten für die übrigen Schneedeckenparameter sinngemäß die gleichen Feststellungen, die bezüglich der Schneedeckendauer getroffen wurden.

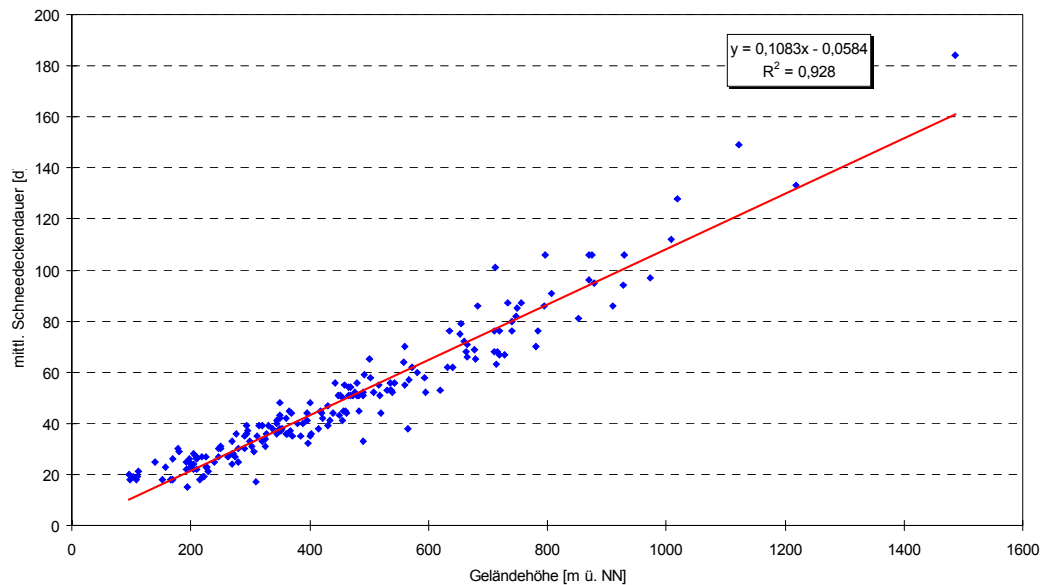


Abb.6: Mittlere Schneedeckendauer in Abhängigkeit von der Geländehöhe Baden-Württemberg (Gesamtgebiet), Reihe 1951/52 bis 1995/96

Der Trend sollte möglichst für eine Vielzahl von Zeitreihen und für verschiedene Bezugszeiträume analysiert werden. Wegen der nur 45-jährigen Bezugsreihe ist eine Gliederung in Teilreihen nicht durchführbar. Dank der ca. 200 Zeitreihen ist jedoch eine detaillierte räumliche Darstellung möglich. Die Abb. 7 zeigt flächendeckend für das gesamte Untersuchungsgebiet Baden-Württemberg die Veränderung (absoluter Trend) der Schneedeckendauer in Tagen im Bezugszeitraum 1951/52 bis 1995/96. Die Darstellung ist aussagekräftig, weil sie die tatsächlich eingetretenen Änderungen der Schneedeckendauer dokumentiert. Wenngleich Bezüge zur Orografie nicht zu übersehen sind (Schwarzwald und Alb heben sich überwiegend deutlich von den tiefer gelegenen Gebieten ab), sind regionale Besonderheiten dennoch nicht eindeutig abzugrenzen. Abgesehen von wenigen Ausnahmen ist nahezu flächendeckend eine Abnahme (negativer Trend) der Schneedeckendauer im vieljährigen Gang zu beobachten. Es ist dabei eine deutliche Abschwächung des negativen Trends mit zunehmender Geländehöhe feststellbar, vereinzelt wurde auch ein „gegenläufiger“ (positiver) Trend beobachtet, jedoch überwiegend in großen Höhen in der Schwarzwaldregion. So beträgt der Rückgang der mittleren Schneedeckendauer in der Bezugsperiode 1951/52 bis 1995/96 in den unteren Höhenlagen 40 % und mehr, in den mittleren Lagen verringert er sich auf 20 bis 30 % und sinkt in den Kamm- und Gipfelbereichen im Mittel auf Werte unter 10 %.

Eine zutreffende Interpretation der Trendwerte ist ohne Informationen über ihre statistische Signifikanz nicht möglich. Als ein geeignetes Verfahren zur Prüfung der Trends signifikanz hat sich der Test nach Mann-Kendall erwiesen. Bei der Untersuchung der langfristigen Veränderungen der Schneedeckendauer mit diesem Testverfahren wurden für insgesamt 36 Stationen (das sind ca. 18 % aller verwendeten Stationen) signifikante Trendwerte ($V > 90\%$) ermittelt. Etwa 60 % dieser 36 Standorte befinden sich in den unteren Lagen des Gebietes (< 300 m ü. NN). Während dort nahezu jede zweite Station signifikante Rückgänge der Andauer zu verzeichnen hat, trifft das in den mittleren und höheren Lagen nur für ca. 10 % der Stationen zu. Dieses Ergebnis, insbesondere die höhenabhängige Differenzierung, korrespondiert mit den an anderer Stelle zitierten prozentualen Rückgängen der Andauerwerte im Bezugszeitraum.

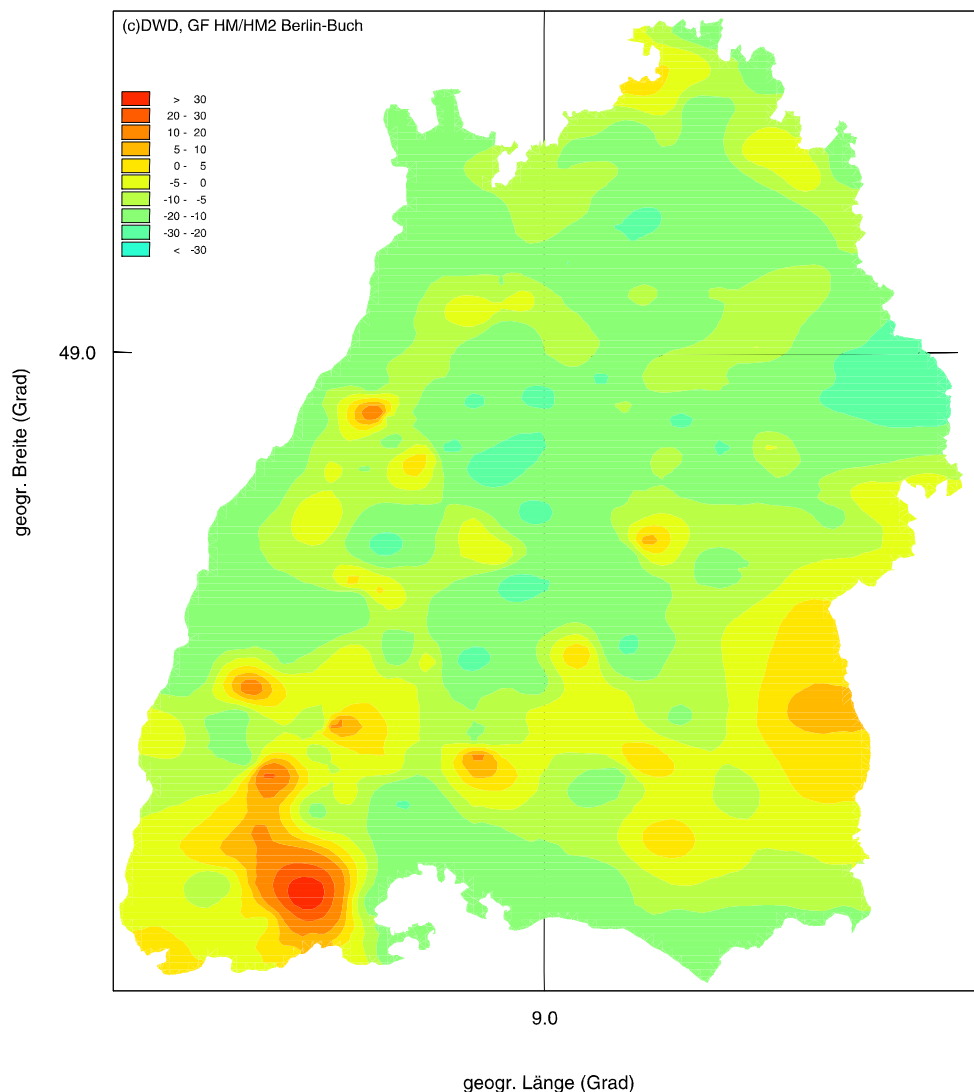


Abb.7: Veränderung der mittleren Schneedeckendauer (in Tagen) in Baden-Württemberg; Reihe 1951/52 bis 1995/96

Es bleibt noch anzumerken, dass im vorliegenden Fall der anspruchsvollere Mann-Kendall-Test höhere Signifikanzwerte lieferte als die Prüfung mit Hilfe des Trend-Rausch-Verhältnisses, bei der für keine Station Signifikanz des Trends nachgewiesen werden konnte.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass ungeachtet der Tatsache, dass nur knapp 20 % aller Stationen Trends signifikanz aufweisen, auch allen übrigen Ergebnissen eine reale Bedeutung beigemessen werden muss. Die dargestellten Veränderungen im Bezugszeitraum lassen sich bezüglich ihrer Größenordnung und „Richtung“ widerspruchsfrei den in anderen vergleichbaren Regionen nachgewiesenen Sachverhalten zuordnen.

Die Darstellung des Langzeitverhaltens in Ganglinienform, ist eine wichtige und die Darstellung der räumlichen Veränderlichkeit (Karte) ergänzende Komponente der Analyse, die die zeitabhängige Variabilität in die Betrachtung einbezieht. Ein Nachteil besteht allerdings darin, dass immer nur ausgewählte Stationen (Stichproben) dargestellt werden können. Um eine möglichst repräsentative Auswahl zu treffen, wurden Standorte in verschiedenen Höhenlagen und unterschiedlichen Regionen untersucht. Der Vergleich lässt größere Ähnlichkeiten



im vieljährigen Gang zwischen den Stationen im Lee des Schwarzwaldes (Neckar einschl. Kocher, Jagst sowie Tauber) einerseits und denen im Luvbereich des Schwarzwaldes erkennen. Beispielhaft sind die Zeitreihen der Schneedeckendauer für die Stationen Pleidelsheim (Abb. 8) und Elzach-Oberprechtal (Abb. 9) dargestellt. Die große Veränderlichkeit der Daten wird in allen Gangliniendarstellungen sichtbar. Die erheblichen Schwankungen von Jahr zu Jahr müssen erst durch mehrjährige übergreifende Mittelung geglättet werden, damit die charakteristischen Eigenheiten des langfristigen Schwankungsverhaltens überhaupt hervortreten können.

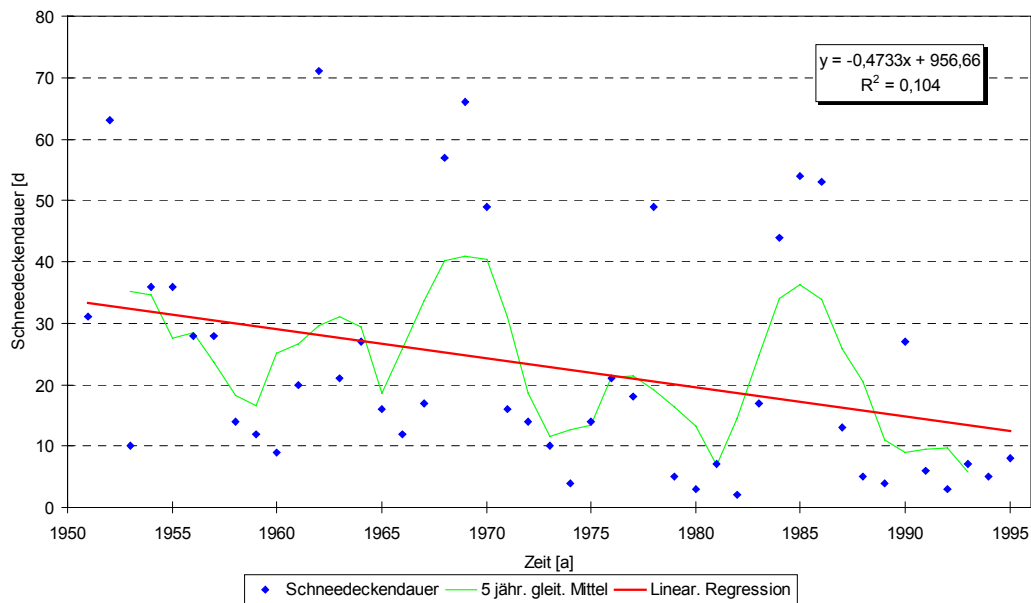


Abb.8: Ganglinie der Schneedeckendauer mit linearem Trend
Station: Pleidelsheim, Höhe: 192 m ü. NN; Reihe 1951/52 bis 1995/96

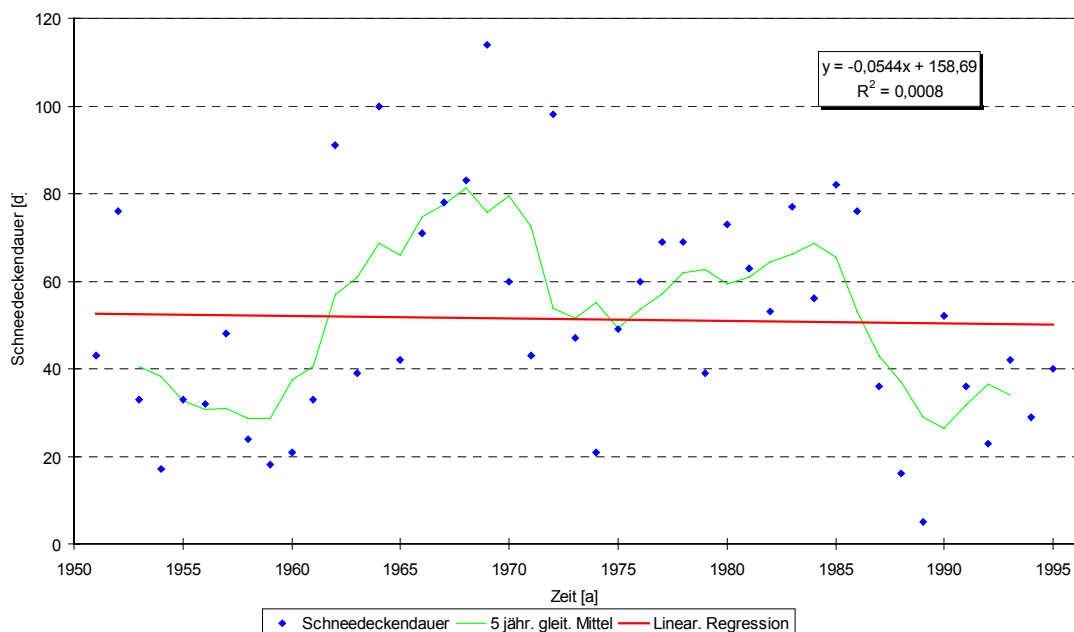


Abb.9: Ganglinie der Schneedeckendauer mit linearem Trend
Station: Elzach-Oberprechtal, Höhe: 480 m ü. NN; Reihe 1951/52 bis 1995/96

Als weiterer Schneedeckenparameter wurde die längste Zeitspanne von ununterbrochen aufeinanderfolgenden Schneedeckentagen, die in einer winterlichen Periode auftritt, untersucht. Für diesen auch als „Winterdecke“ bezeichneten Parameter besteht wie für die Schneedeckendauer eine ausgeprägte Abhängigkeit von der Geländehöhe. Abweichend von der Schneedeckendauer scheint für die Winterdecke eine größere regionale Differenzierung charakteristisch zu sein. Eine besonders stark ausgeprägte Zunahme mit der Geländehöhe ist auch hier für das Gebiet Oberrhein/Schwarzwald festzustellen (ca. 10 Tage je 100 m Höhenzunahme, gegenüber ca. 5 Tagen für das Neckargebiet). Die Winterdecke weist von allen untersuchten Schneedeckenparametern die höchste Variabilität auf. Hinsichtlich des Trendverhaltens im Bezugszeitraum 1951/52 bis 1995/96 ergaben sich, von ganz eng begrenzten regionalen Ausnahmen abgesehen, für alle Höhenlagen dominierend, negative Änderungen (vgl. Abb. 10). Lediglich knapp 10 % aller Stationen haben einen schwach ausgeprägten positiven Trend. Zum Langzeitverhalten der Winterdecke ist zusammenfassend festzuhalten, dass es zusammen mit den Befunden zur Schneedeckendauer Schlüsse auf die Veränderung des Charakters der Winterperioden im Bezugszeitraum zulässt. Besonders in den unteren und mittleren Höhenlagen wird dies durch dramatische Rückgänge (Verkürzung) der Winterdecke dokumentiert. Der Rückgang beträgt verbreitet 30 bis 50 %, stellenweise sogar mehr, bezogen auf die Mittelwerte des Bezugszeitraums. Der in der Literatur (Fliri, G. 1992) beschriebene Trend zu so genannten „kernlosen“ Wintern scheint darin eine Bestätigung zu finden.

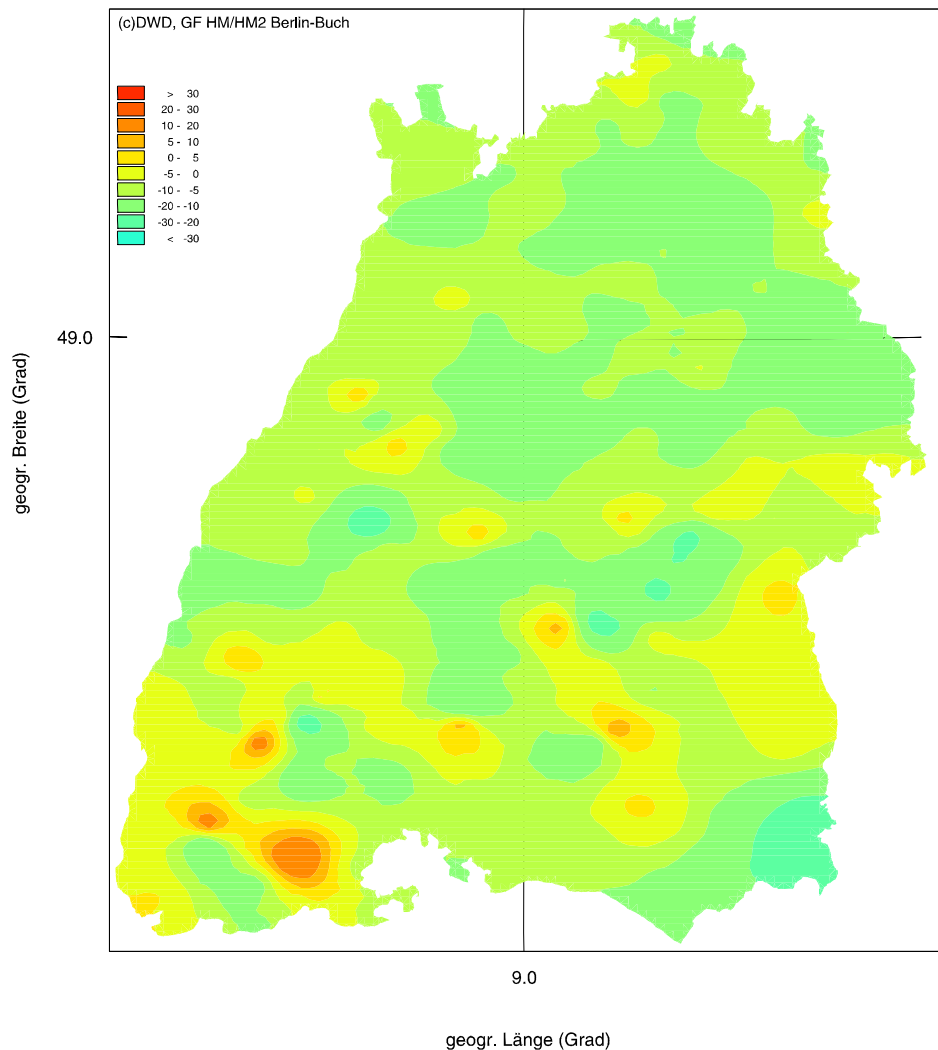


Abb.10: Veränderung der mittleren Dauer der Winterdecke in Baden-Württemberg (in Tagen, Reihe 1951/52 bis 1995/96)



Die Ergebnisse der Zeitreihenanalysen für die weiteren untersuchten Parameter, wie z. B. das Eintrittsdatum der maximalen Schneedeckenhöhe, die Beständigkeit der Schneedecke und die Erhaltung der Winterdecke, signalisieren in gleicher Weise wie für die oben beschriebenen Parameter Tendenzen einer systematischen Veränderung winterlicher Witterungsabläufe.

Informationen zum Andauerverhalten der Schneedecke sind für viele Bereiche von großer Bedeutung. Besonders für die Hydrologie und Wasserwirtschaft sind jedoch darüber hinaus auch Aussagen zum Wasseräquivalent der Schneedecke unerlässlich. Messungen dieser Größe werden lediglich an ausgewählten Stationen und festgelegten Terminen (3 mal wöchentlich) durchgeführt, aber nur dann, wenn vorgegebene Bedingungen (Schneedeckenhöhe ≥ 5 cm) erfüllt sind. Die Messdaten eignen sich deshalb nicht für statistische Untersuchungen zum Langzeitverhalten. Um diese Lücke zu schließen, wurde die Modellvariante SNOW-K entwickelt (Rachner, M., Matthäus, H. und Schneider, G., 1992). Auf der Grundlage von Tageswerten gemessener meteorologischer Größen war es damit möglich, den Entwicklungsgang der Schneedecke nachzubilden und lückenlose Zeitreihen auch für das Wasseräquivalent bereitzustellen. Das Modell ist insbesondere auch gut geeignet für die Simulation von Szenarien, zur Nachbildung möglicher Auswirkungen von Klimaveränderungen (oder einzelner meteorologischer Größen) auf die Schneedeckenentwicklung.

Im Allgemeinen werden dabei, wie auch bei den folgenden Untersuchungen zwar plausible, aber nur sehr vereinfachende Annahmen getroffen. Die in der Wirklichkeit ablaufenden vielfachen Wechselwirkungs- und Rückkopplungseffekte, die aus den Änderungen einzelner meteorologischer Größen folgen, können nicht annähernd berücksichtigt werden. Trotz einer Vielzahl entsprechender Untersuchungen liegen über diesen Mechanismus kaum konkrete Ergebnisse vor (Leavesley, G.H., 1994).

Für die Abschätzungen wurden Stationen ausgewählt, die die verschiedenen Regionen in Baden-Württemberg bestmöglich repräsentieren. Es wurden folgende Varianten gerechnet und verglichen:

Szenario I: Originalmesswerte der met. input-Größen (Reihe 1951/52 bis 1995/96)

Szenario II: Die input-Größe Lufttemperatur wird konstant um 1,5 K erhöht. Alle übrigen input-Größen bleiben unverändert.

Die Ergebnisse der Berechnung sind in der folgenden Tabelle 1 zusammengefasst:

Station (m ü. NN)	Szenario I	Szenario II	Veränderung (%)
	\overline{W}_n	\overline{W}_n	Szen. II gegenüber Szen. I
Karlsruhe (112)	7,0	3,5	50
Öhringen (276)	11,2	5,3	53
Gschwend (492)	24,3	11,5	53
Ulm (567)	16,0	7,7	52
Stötten (734)	48,4	23,4	52

Tab. 1: Veränderung des mittleren Wasseräquivalents (\overline{W}_n in mm);
Simulationswerte SNOW-K

Trotz der genannten Einschränkungen liefern die Ergebnisse der Szenario-Rechnungen wichtige Informationen. Voraussagen können daraus aber nicht abgeleitet werden. Es darf allenfalls angenommen werden, dass sich bei weiterer winterlicher Erwärmung die Schnee-verhältnisse (eingeschlossen die Wasseräquivalente) deutlich verringern werden. Unter den angenommenen wirklichkeitsnahen Voraussetzungen im Mittel um ca. 50 % , auch in den höheren Lagen. In ähnlicher Weise (im Mittel ca. 40 %) verringern sich auch die Maximalwerte des Wasseräquivalents.

4. Zusammenfassung, Folgerungen

Veränderungen des Schneedeckenregimes haben nachhaltige Auswirkungen auf den Wasserhaushalt (Grundwasserneubildung) und das Abflussregime (Hochwasserbildung).

Langzeituntersuchungen der Schneeverhältnisse verdienen besondere Beachtung, weil als Folge von Klimaveränderungen auch Änderungen der Schneedeckenhäufigkeit erwartet werden können.

Alle untersuchten Schneedeckenparameter, besonders diejenigen, die das Andauerverhalten beschreiben, weisen im Mittel straff korrelierte Beziehungen zur Geländehöhe auf. Die regionalen Unterschiede dieser Beziehungen sind im Untersuchungsgebiet jedoch nur gering.

Alle Schneedeckenparameter weisen in der Bezugsperiode (1951/52 bis 1995/96) fast ausnahmslos und flächendeckend einen Rückgang (negativen Trend) auf.

Mit zunehmender Geländehöhe ist für die Schneedeckendauer, die Schneedeckenzeit und die Dauer der Winterdecke eine Abschwächung des negativen Trends feststellbar. Bezogen auf die mittlere Schneedeckendauer in der Bezugsperiode erreicht deren Rückgang in den unteren Lagen des Gebietes 40 % und mehr, er verringert sich in den mittleren Lagen auf 20% bis 30 %. In den höheren Lagen werden im Mittel auch Werte unter 10 % beobachtet.

Wegen der großen Variabilität der Schneedeckenparameter ist der Nachweis der statistischen Signifikanz der gefundenen Trends nur vereinzelt möglich.

Wenngleich die Auswirkungen von Klimaveränderungen auf das Schneedeckenregime statistisch nicht zweifelsfrei nachweisbar sind, so kann aus dem flächendeckend übereinstimmenden Trendverhalten der verschiedenen Größen die Existenz realer Veränderungen als gesichert angenommen werden.

Die Variantenrechnungen mit Hilfe von Simulationsmodellen zeigen, dass vor allem eine Erhöhung der Lufttemperatur deutliche Auswirkungen auf das Schneedeckenregime haben würde. Die im Szenario „1,5 K erhöhte Lufttemperatur“ nachgezeichneten Verhältnisse entsprechen annähernd den Änderungen des winterlichen thermischen Regimes im Bezugszeitraum 1951/52 bis 1995/96.



5. Literatur

- Alexandersson, H. (1986): A Homogeneity Test Applied to Precipitation Data. *Journal of Climatology*, Vol. 6, S. 661-675
- Buishand, T.A. (1982): Some Methods for Testing the Homogeneity of Rainfall Records, *Journal of Hydrology* 58, S. 11-27
- Conrad, V. und Winkler, M. (1931): Beitrag zur Kenntnis der Schneedeckenverhältnisse in den österreichischen Alpenländern. *Gerlands Beiträge zur Geophysik*, Bd. 34, S. 473-511
- Fliri, F. (1992): Der Schnee in Nord- und Osttirol 1895-1991. Ein Graphik-Atlas in 2 Bänden, Innsbruck. 1124 S.
- Günther, Th. und Matthäus, H. (2001): Extreme Niederschlagsdargebote aus Regen und Schneeschmelze für Deutschland, *Klimastatusbericht 2000*, Herausgeber: Deutscher Wetterdienst (im Druck)
- Leavesley, G.-H. (1994): Modeling the Effects of Climate Change on Water Resources. A review. *Climatic Change* 28, S. 159-177
- Mann, H.B. (1945): Nonparametric Tests Against Trend, *Econometrica* 13 (1945), S. 245-259
- Rachner, M. (1969): Der Wasserhaushalt der Schneedecke und seine Bedeutung im Rahmen des Gebietswasserhaushalts der oberen Bode/Harz. *Abhandlungen des MD der DDR*, Bd. XII, Nr. 90
- Rachner, M.; Matthäus, H. und Schneider, G. (1992): Vorhersage der Schmelzwasserabgabe aus der Schneedecke. Gegenwärtiger Stand und weitere Vorhaben im DWD. *Symposium Hochwasservorhersage Karlsruhe 06.11.1992, Tagungsband*, S. 86-97
- Rachner, M. und Schneider, G. (2000): Mittleres Andauerverhalten der Schneedecke, Thematische Karte 2.10 in *Hydrologischer Atlas von Deutschland*, herausgegeben vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.