

Klimaentwicklung und Hochwasserschutz

H. Bartels, V. Kolokotronis, L. Zimmermann

Einführung

Unter den Klimaforschern ist es weltweit mittlerweile unstrittig, dass die beobachtete globale Temperaturerhöhung nicht nur den natürlichen Klimaeinflüssen und Klimaschwankungen zuzuschreiben, sondern mit als Folge des anthropogenen "Treibhauseffekts" einzustufen ist. Um die Entwicklung des weltweiten und des regionalen Klimas einzuschätzen, rechnen die Klimaforscher Klimaszenarien mit immer leistungsfähigeren Klimamodellen. Alle diese Klimamodelle sagen eine globale Erwärmung voraus und können mit entsprechenden Emissionsszenarien den Temperaturverlauf der letzten 100 Jahre recht gut nachbilden. Die prognostizierte globale Temperaturzunahme der kommenden 50 bis 100 Jahre schwankt je nach Klimamodell und Emissionsszenario zwischen 2 °C und 6 °C (IPCC 2001). Es ist zu erwarten, dass in Folge der zur Verfügung stehenden höheren Wärmeenergie auch der globale Wasserkreislauf intensiviert wird.

Diese Klimaveränderung wird in den verschiedenen Raum- und Zeitskalen mit erheblichen Auswirkungen auf den Wasserhaushalt verbunden sein, insbesondere auf:

- den technischen Hochwasserschutz und die Hochwasservorsorge durch die mögliche Veränderung der Höhe, Dauer und Häufigkeit von Hochwasser,
- die Wasserversorgung durch die Änderung der Grundwasserneubildung mit Auswirkungen auf Verfügbarkeit und Beschaffenheit der Wasservorräte,
- den Gewässerschutz durch die Änderung der jahreszeitlichen Abfluss- und Wassertemperaturverhältnisse mit Auswirkungen auf den Stoffhaushalt der Flüsse und Seen,
- die Bewirtschaftung der Gewässer durch die Änderung der Betriebsweise insbesondere von Wasserspeichern und Wasserkraftanlagen sowie sonstige Gewässernutzungen sowie
- die Planung und Dimensionierung kommunaler Entwässerungssysteme und der Gebäude- und Grundstücksentwässerung durch die mögliche Intensivierung der Starkniederschläge.

Regionale Klimaentwicklung am Beispiel KLIWA

Erkenntnisse über die regionalen Auswirkungen des Klimawandels wurden im Rahmen des Kooperationsvorhabens „Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft (KLIWA)“ gewonnen, das von den Ländern Baden-Württemberg und Bayern gemeinsam mit dem Deutschen Wetterdienst (DWD) durchgeführt wird. Ziel des Vorhabens KLIWA ist es, für die nächsten Jahrzehnte (bis 2050) Aussagen über die möglichen Auswirkungen der Klimaveränderung auf den Wasserhaushalt und die davon abhängigen bzw. beeinflussten Systeme zu erhalten, um auf dieser Basis geeignete Anpassungsstrategien entwickeln zu können.

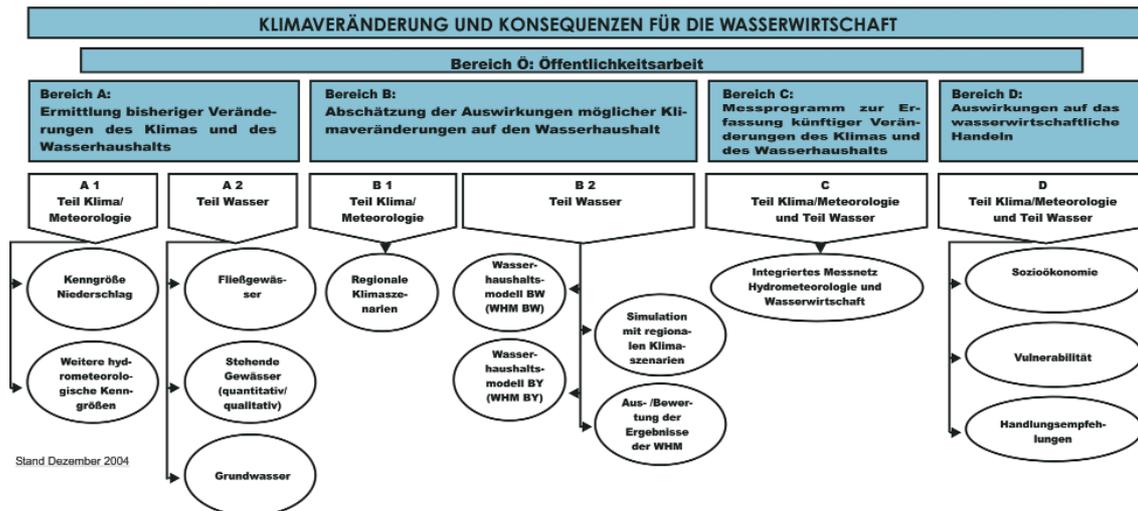


Abb. 1 KLIWA-Vorgehenskonzept - Projektrahmen

In einem 1998 erstmalig erstellten und in regelmäßigen Zeitabständen fortgeschriebenen „Vorgehenskonzept“ KLIWA (Abb. 1) sind verschiedene Themenbereiche festgeschrieben. Der Themenbereich A widmet sich der Ermittlung bisheriger Veränderungen des Klimas und des Wasserhaushalts. Im Themenbereich B geht es um die Ermittlung der zukünftig zu erwartenden Auswirkungen, die mit Hilfe von Modellrechnungen zu regionalen Klimaszenarien mit anschließenden Wasserhaushaltsmodellierungen abgeschätzt werden. Der Themenbereich C ist als dauerhaftes Überwachungsprogramm des Wasserhaushalts für Süddeutschland über ein integriertes Messnetz Hydrometeorologie (DWD) und Wasserwirtschaft (Bayern und Baden-Württemberg) geplant und kann ebenfalls erste Untersuchungsergebnisse aufweisen. Darüber hinaus wurden auch bereits erste Anpassungsstrategien in Form von Handlungsempfehlungen (Themenbereich D) zunächst für den Hochwasserschutz entwickelt.

Die Untersuchungen langer Messzeitreihen von Tageswerten hydrometeorologischer und hydrologischer Größen (in der Regel mehr als 70 Jahre) sind ein erster Schritt zur Zielerreichung. Diese Ergebnisse geben Aufschluss über die bisher beobachteten natürlichen Schwankungsbreiten und evtl. erkennbare systematische Veränderungen (Trends). Nachfolgend werden einige wesentliche Erkenntnisse vorgestellt (Günther 2004).

Lufttemperatur

Die Lufttemperatur bestimmt die Aufnahmefähigkeit für Wasserdampf in einer Luftmasse und spielt daher auch für die Niederschlagsbildung eine wesentliche Rolle. Sie kann zudem in den Klimamodellen zur Ermittlung der zukünftigen Klimaentwicklung am besten simuliert werden.

Die vieljährigen Jahresmitteltemperaturen in den Abbildung 2 zu entnehmenden 33 Untersuchungsgebieten von Süddeutschland liegen zwischen 6,4 °C und 9,7 °C. Die insbesondere in den 90er Jahren des letzten Jahrhundert festgestellte Zunahme der Jahresmitteltemperatur ist regional verschieden und zeigt in Süddeutschland Werte zwischen 0,5 °C und 1,2 °C. Auffällig sind die jahreszeitlichen und regionalspe-

zifischen Besonderheiten: Die höchste Zunahme der Monatsmitteltemperatur ergibt sich in den Wintermonaten und dort im Dezember (Abb. 2). Darüber hinaus ist festzustellen, dass die winterlichen Temperaturzunahmen in den unteren Höhenlagen sowie im Westen von Süddeutschland besonders deutlich ausgeprägt sind (KLIWA 2005a).

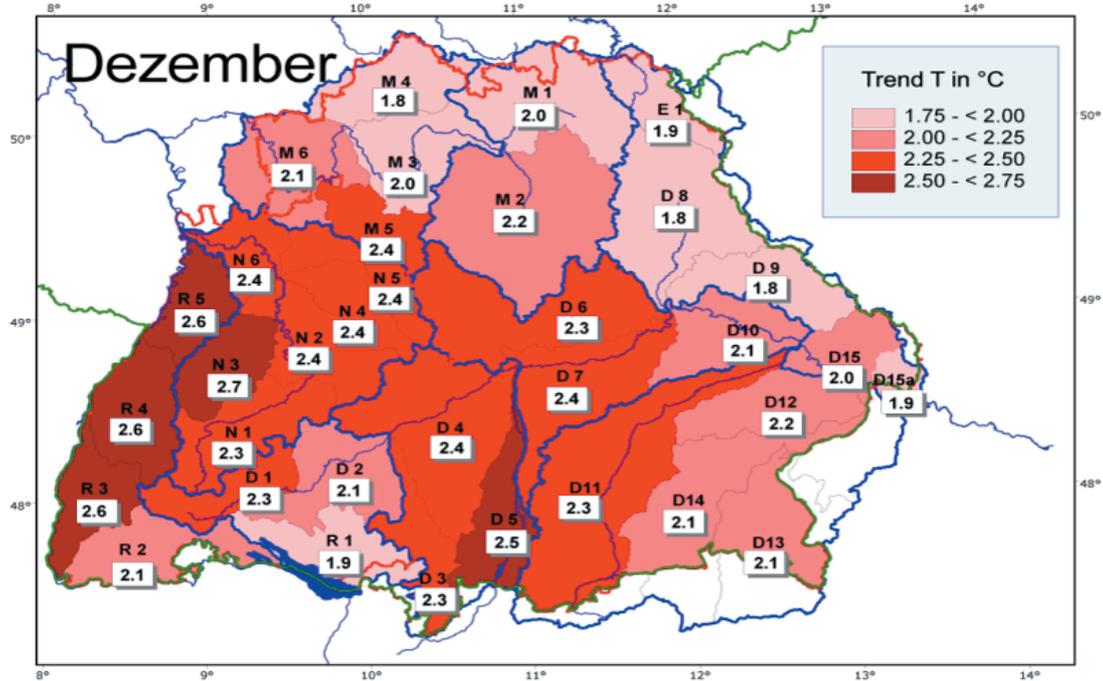


Abb. 2 Zunahme [°C] der Monatsmitteltemperatur Dezember, Gebietswerte in Süddeutschland, Zeitreihe 1931 - 2000 (KLIWA 2005a)

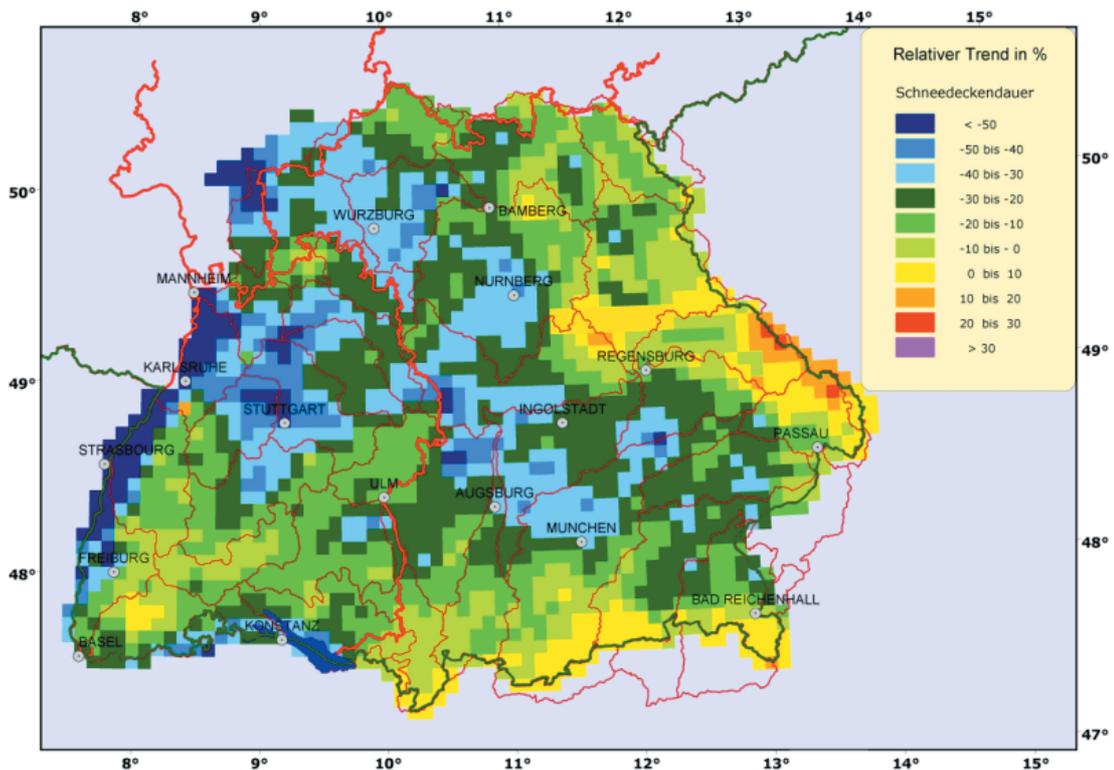


Abb. 3 Relativer Trend [%] der mittleren Schneedeckendauer in Süddeutschland, Zeitreihe 1951/52 bis 1995/96 (KLIWA 2005b)

Schneedeckendauer

Auf Grund der Temperaturerhöhung im Winter tritt der feste Niederschlag mit einer geschlossenen Schneedecke gegenüber dem Schneeregen oder Regen zurück. Die Untersuchungen in Süddeutschland zum Langzeitverhalten der Schneedeckendauer zeigen einen Trend zu schneeärmeren Wintern mit weniger dauerhaften Schneedecken. Dies ist in Abbildung 3 dargestellt, wobei unter der mittleren Schneedeckendauer die Anzahl der Tage mit einer geschlossenen Schneedecke zu verstehen ist. In den tiefen (< 300 m ü. NN) und mittleren Höhenlagen geht die Schneedeckendauer deutlich zurück. Dieser Rückgang tritt auch hier in den westlichen Gebietsteilen von Süddeutschland stärker in Erscheinung als in den östlichen. In höher gelegenen Gebieten (> 800 m ü. NN) ergibt sich nur eine geringe Abnahme der Schneedeckendauer bzw. teilweise sogar eine leichte Zunahme, besonders im östlichen Teil des Untersuchungsgebiets (KLIWA 2005b).

Starkniederschläge und Hochwasserabflüsse

Hochwasserabflüsse entstehen durch Starkniederschläge mit oder ohne Schneeschmelze. Dabei wird mit Starkniederschlag ein Niederschlagsereignis bezeichnet, das im Verhältnis zu seiner Dauer eine hohe Niederschlagsintensität aufweist und daher selten auftritt, z. B. im statistischen Mittel höchstens einmal jährlich. Starkniederschlagshöhen sind damit an den einzelnen Niederschlagsstationen über die Wahrscheinlichkeit ihres Auftretens definiert. In der KLIWA-Untersuchung werden die jeweiligen Höchstwerte einer Zeitspanne (Jahr, Sommer und Winter) verwendet.

Während im Winterhalbjahr die Starkniederschläge in Süddeutschland entsprechend den Ergebnissen aus KLIWA deutlich – wenn auch regional unterschiedlich – zunehmen, sind im Sommer keine markanten Veränderungen festzustellen (Abb. 4). Ursache des Anstiegs der winterlichen Starkniederschlagshöhen ist das häufigere Auftreten von Westwetterlagen mit Zufuhr warmer, feuchter Luftmassen, die gleichzeitig zur

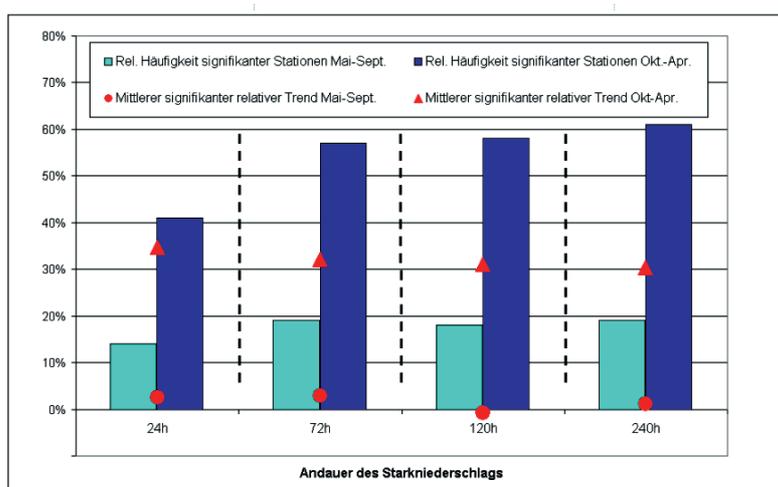


Abb. 4 Relativer Trend [%] der Starkniederschläge in Süddeutschland für Sommer (linker Balken) und Winter (rechter Balken), Zeitreihe 1931 – 2000 (KLIWA 2006)

Schneesmelze führen können und damit eine Abnahme der mittleren Schneedeckendauer bewirken. Diese Veränderungen lassen auch auf Auswirkungen in den Hochwasserabflüssen schließen (KLIWA 2006).

Bei Betrachtung der jährlichen Höchstabflüsse sehr langer Zeitreihen (zwischen 70 und 150 Jahre) sind beim überwiegenden Teil der Pegel keine signifikanten Veränderungen festzustellen. Ab

den 70er Jahren des letzten Jahrhunderts sind jedoch zunehmende Trends sowohl bei den Höchstabflüssen als auch der Häufigkeit von Winterhochwasser zu verzeichnen; ebenso sind die monatlichen Hochwasserabflüsse im Winterhalbjahr höher als in der Zeit davor (Straub 2004, KLIWA 2002).

Bewertung der Ergebnisse aus KLIWA

Zusammenfassend ist festzustellen, dass sich die klimatischen Bedingungen in Süddeutschland mit Auswirkungen auf den gesamten Wasserhaushalt im vergangenen Jahrhundert – insbesondere während der letzten zwei bis drei Jahrzehnte und im Winterhalbjahr – erkennbar verändert haben (Günther 2004). Die gefundenen Trends überschreiten jahreszeitlich und regionalspezifisch die bisher aus langen Messzeitreihen bekannte natürliche Schwankungsbreite. Sie legen daher nahe, frühzeitig mit der Entwicklung von Anpassungsstrategien für die verschiedenen Anwendungsgebiete zu beginnen (Themenblock D des Vorgehenskonzepts).

Anpassungsstrategien für den technischen Hochwasserschutz

Starkniederschlagshöhen für Deutschland (Atlas KOSTRA-DWD-2000)

Extremwertstatistische Auswertungen von Starkniederschlagshöhen finden u.a. Anwendung als Bemessungsgrundlage für den technischen Hochwasserschutz (Abb. 5). Auf Grund der Erkenntnisse aus dem Langzeitverhalten der hydrometeorologischen Größen in Süddeutschland hat sich der DWD entschlossen, eine Fortschreibung des im Jahre 1997 publizierten KOSTRA-Atlas „Starkniederschlagshöhen für Deutschland“, basierend auf dem Zeitraum 1951-1980, durch eine Verlängerung des Zeitraums auf 1951 – 2000 vorzunehmen. Durch KOSTRA werden seltene Ereignisse des gesamten Niederschlagsspektrums mit der Auftretenswahrscheinlichkeit verknüpft, ausgedrückt durch die Jährlichkeit. Das Niederschlagsspektrum umfasst dabei alle Niederschlagsereignisse, beginnend mit den Schauerereignissen von nur wenigen Minuten bis hin zum Dauerregen mit einer Andauer über mehrere Tage. Ein weiterer wesentlicher Vorteil von KOSTRA ist darin begründet, dass diese Aussagen aus einem flächendeckend einheitlichen Regionalisierungsverfahren für das gesamte Bundesgebiet abgeleitet werden können. Dabei trägt die Rasterfeldgröße von jeweils 71,5 km² mit ausgewählten Klassenbreiten der Niederschlagshöhe dem Einfluss der räumlichen und zeitlichen Variabilität der Starkniederschlagsereignisse Rechnung. Die Unsicherheit des angewendeten Berechnungsverfahrens der Verteilungsfunktion (Auswahl der jeweils höchsten Jahres- oder Halbjahreswerte) werden durch entsprechende Toleranzgrenzen in Abhängigkeit von der Jährlichkeit berücksichtigt.

Die Erweiterung auf den Zeitraum 1951-2000 kommt zudem der gewachsenen Sensibilisierung der Bevölkerung für das Niederschlagsgeschehen in den letzten Jahrzehnten des vergangenen Jahrhunderts durch die teilweise spektakulären Hochwasserereignisse nach. Durch die Anpassung der Extremwerte in Form einer Verteilungsfunktion innerhalb des Zeitraums 1951 – 2000 wird es möglich, Aussagen zur Auftretenswahrscheinlichkeit von Ereignissen verschiedener Dauerstufen abzuleiten, die bspw.

T	0,5		1		2		5		10		20		50		100	
n	2,00		1,00		0,50		0,20		0,10		0,05		0,02		0,01	
D	hN	RN	hN	RN	hN	RN	hN	RN	hN	RN	hN	RN	hN	RN	hN	RN
5 min	7,6	251,7	8,7	290,8	9,9	329,8	11,4	381,5	12,6	420,5	13,8	459,6	15,3	511,2	16,5	560,3
10 min	9,1	151,5	11,1	184,3	13,0	217,1	15,6	260,4	17,6	293,2	19,6	326,0	22,2	369,3	24,1	402,1
15 min	10,0	111,5	12,7	141,1	15,4	170,1	18,9	209,8	21,5	239,4	24,2	269,0	27,7	308,2	30,4	337,8
20 min	10,7	89,2	14,0	116,8	17,3	144,3	21,7	180,7	25,0	208,2	28,3	235,7	32,7	272,1	36,0	299,7
30 min	11,6	64,6	16,1	89,4	20,6	114,3	26,5	147,1	31,0	172,0	35,4	196,8	41,3	229,7	45,8	254,5
45 min	12,4	46,0	18,5	68,5	24,5	90,9	32,6	120,6	38,6	143,0	44,7	165,4	52,7	195,1	58,7	217,5
60 min	12,9	35,8	20,4	56,7	27,9	77,5	37,8	105,1	45,3	126,0	52,9	146,8	62,8	174,4	70,3	195,3
90 min	14,4	26,8	22,2	41,1	29,9	55,4	40,1	74,3	47,8	88,6	55,6	102,9	65,8	121,8	73,5	136,1
2 h	15,6	21,7	23,5	32,7	31,4	43,6	41,8	58,1	49,7	69,0	57,6	80,0	68,0	94,5	75,9	105,4
3 h	17,5	16,2	25,6	23,7	33,7	31,2	44,4	41,1	52,5	48,6	60,6	56,1	71,3	66,0	79,4	73,5
4 h	18,9	13,1	27,1	18,8	35,4	24,6	46,3	32,2	54,6	37,9	62,9	43,7	73,8	51,3	82,1	57,0
6 h	21,0	9,7	29,5	13,7	38,0	17,6	49,2	22,8	57,7	26,7	66,2	30,7	77,5	35,9	86,0	39,8
9 h	23,3	7,2	32,0	9,9	40,8	12,6	52,4	16,2	61,1	18,9	69,9	21,6	81,4	25,1	90,2	27,8
12 h	25,1	5,8	34,0	7,9	42,9	9,9	54,7	12,7	63,7	14,7	72,6	16,8	84,4	19,5	93,3	21,6
18 h	27,0	4,2	37,1	5,7	47,2	7,3	60,5	9,3	70,6	10,9	80,6	12,4	93,9	14,5	104,0	16,0
24 h	29,0	3,4	40,2	4,7	51,4	6,0	66,2	7,7	77,4	9,0	88,7	10,3	103,5	12,0	114,7	13,3
48 h	34,0	2,0	47,5	2,7	61,0	3,5	78,8	4,6	92,3	5,3	105,9	6,1	123,7	7,2	137,2	7,9
72 h	37,6	1,4	52,4	2,0	67,2	2,6	86,9	3,4	101,7	3,9	116,5	4,5	136,2	5,3	151,0	5,8

Bemessung von Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke DIN 1986-100:2002-03

Bemessung der Rigolenversickerung ATV A 138

Bemessung von Regenrückhalteräumen ATV A 117

Bemessung von Hochwasserschutzbauten mit Hilfe extremer Niederschläge unterschiedlicher Dauer

Abb. 5 Anwendungsgebiete für standortbezogene Starkniederschlagshöhen nach KOSTRA

– statistisch gesehen – nur einmal in 100 Jahren zu beobachten sind. Um sicher zu stellen, dass für jeden Ortspunkt in Deutschland eine Tabelle der ‚Niederschlagshöhen und –spenden in Abhängigkeit von der Dauer und Jährlichkeit‘ ermittelt werden kann, ist ergänzend die Anwendung eines geeigneten Regionalisierungsverfahrens zur Übertragung der Messpunkte auf die Fläche erforderlich (KOSTRA-DWD-2000, 2005).

Vergleich der Zeiträume 1951 – 2000 und 1951 – 1980

In der Klimatologie ist für die Mittelwertbildung ein Zeitraum von 30 Jahren gebräuchlich. Zur Bewertung der unterschiedlichen 30-jährigen Zeiträume benötigt man einen Bezugszeitraum, dessen Mittelwerte weltweit klimatologisch verglichen werden können. Dieser Bezugszeitraum wird von der Weltorganisation für Meteorologie festgelegt und umfasst derzeit die Jahre 1961 – 1990. Der Bezugszeitraum des KOSTRA-Atlas (Bartels et al. 1997) umfasste die Jahre 1951 – 1980. Für Extremwertuntersuchungen, insbesondere wenn es sich um Jährlichkeiten von 50 a und mehr handelt, sind 30 Jahre zu kurz. Die Varianzen zwischen den Stationen (Messpunkten) und die Veränderungen von Jahr zu Jahr verfälschen die Aussagekraft der Auswertung. Über- und Unterschätzungen sind die mögliche Folge.

Zur Dokumentation und zur Erleichterung späterer Interpretationen ist es daher wichtig, die Auswirkungen der Verlängerung des Bezugszeitraums auf die Ergebnisse zu kennen. Im Vergleich der Zeiträume 1951 – 1980 mit 1951 – 2000 sind deshalb charakteristische Unterschiede in den Starkniederschlagshöhen in Abhängigkeit von der Dauer und Jährlichkeit aufzudecken, zu interpretieren und mögliche Konsequenzen zu diskutieren (KOSTRA-DWD-2000 2005).

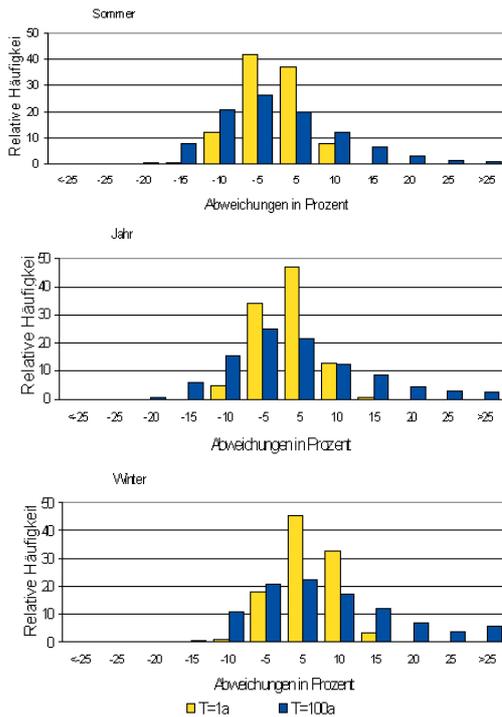


Abb. 6 Abweichungen der Starkniederschlagshöhen KOSTRA-DWD-2000 des Zeitraums 1951 – 2000 zu 1951 – 1980 für die Dauerstufe $D = 24$ h, Jährlichkeiten $T = 1$ a (gelber Balken) und $T = 100$ a (blauer Balken) für Jahr, Sommer und Winter (KOSTRA-DWD-2000, 2005)

In Abbildung 6 sind die Unterschiede der Starkniederschlagshöhen der beiden Zeiträume für die Jährlichkeiten 1a und 100 a und die Zeitspannen Jahr, Sommer und Winter – bezogen auf die Werte von 1951 – 1980 (als jeweiligem 100%-Wert) gegenübergestellt. In allen Zeitspannen kann man an Hand der Häufigkeitsverteilungen über die Gesamtfläche von Deutschland eine Tendenz zur Zunahme der Starkniederschlagshöhen erkennen. Diese ist besonders im Winterhalbjahr und bei der Jährlichkeit 100 a ausgeprägt. Im Sommerhalbjahr findet man im verlängerten Bezugszeitraum bei den 100-jährlichen Starkniederschlagsereignissen sowohl positive als auch negative prozentuale Abweichungen gegenüber dem Zeitraum 1951 – 1980.

Der neue und auch längere Bezugszeitraum 1951 – 2000 zeigt also besonders bei den selteneren Ereignissen einen Trend zur Anhebung der Niederschlagshöhen. Dies bestätigt den in der öffentlichen Diskussion artikulierten Verdacht, dass sich das Niederschlagsgeschehen verstärkt hat.

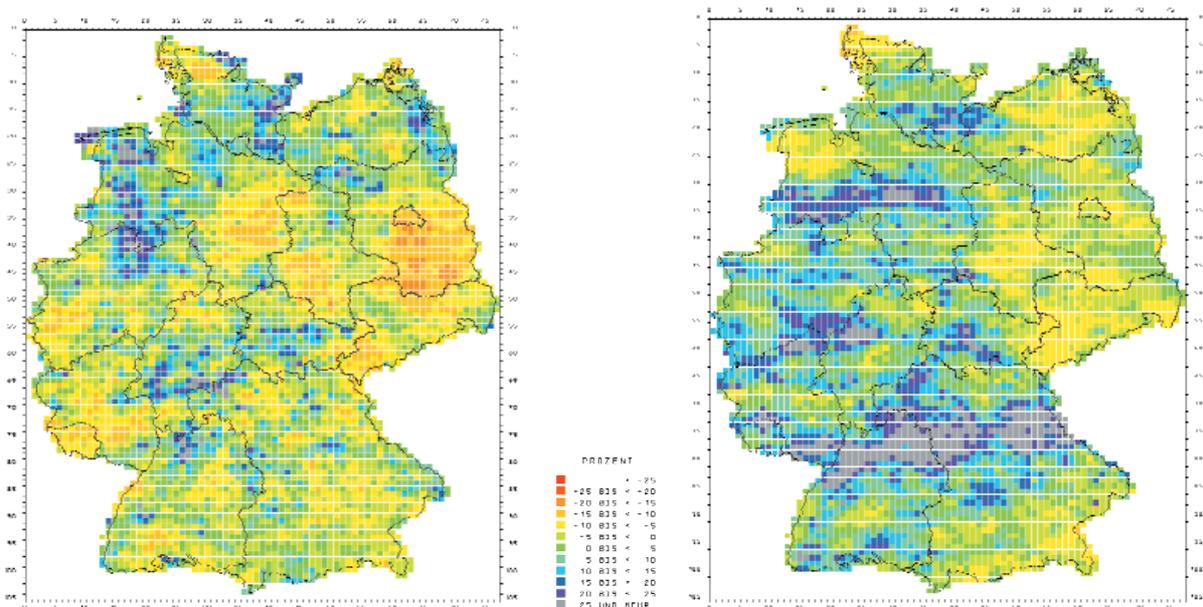


Abb. 7 Felder der prozentualen Abweichungen der Starkniederschlagshöhen KOSTRA-DWD-2000 des Zeitraums 1951 – 2000 zu 1951 – 1980 Dauerstufe $D = 24$ h und Jährlichkeit $T = 100$ a für Sommer (links) und Winter (rechts) (KOSTRA-DWD-2000, 2005)

In Abbildung 7 ist die räumliche Verteilung der seltenen Starkniederschlagshöhen im Sommer (links) und im Winter (rechts) für die 100-jährlichen Ereignisse wiedergegeben. Im Winterhalbjahr zeigt sich eine deutliche Zone zunehmender Starkniederschlagsereignisse über den Mittelgebirgsregionen Deutschlands. Die Veränderungen im Sommerhalbjahr sind wesentlich kleinräumiger und unruhiger: Gebiete mit deutlichen Zunahmen grenzen direkt an Regionen mit stärkeren Abnahmen. Besonders die hohen Jährlichkeiten ähneln einem ‚Flickenteppich‘. Die Ursache ist darin zu suchen, dass im Sommer auch die Dauerstufe $D = 24$ h erheblich von Schauerniederschlägen mit hoher räumlicher Variabilität beeinflusst ist (KOSTRA-DWD-2000 2005).

Bewertung der Kurzzeitniederschläge

Da die Bemessung von Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke insbesondere auf kurze Dauerstufen mit sommerlichen Schauerniederschlägen abhebt, wurden gezielt mehr als 40 Stationen – verteilt über Deutschland – für den Zeitraum 1981 – 2000 aus Analogregistrierungen des Niederschlags nachdigitalisiert und extremwertstatistisch ausgewertet. Die Vergleichsergebnisse verschiedener 30-jähriger Zeiträume (u.a. auch 1961 – 1990) sowie die von 1951 – 1980 und 1951 – 2000 sind der Abbildung 8 zu entnehmen. Es zeigt sich, dass fast alle beobachteten Kurzzeitereignisse der verschiedenen Zeiträume innerhalb der Vertrauensgrenzen liegen. Diese Zusatzauswertungen liefern den Beweis, dass die bisher geltenden sommerlichen Starkniederschlagshöhen beibehalten werden können.

Da die Niederschlagsmessnetze aber nur punktuelle Messungen liefern, ist die Gefahr, dass Schauer nicht von den Niederschlagsstationen erfasst werden – auch bei längeren Messzeitreihen - durchaus gegeben. Eine räumlich besser abgesicherte extremwertstatistische Auswertung der Kurzzeitniederschläge bleibt dem zukünftigen Einsatz von flächendeckenden, radargestützten Bodenniederschlagsverteilungen (z.B. durch RADOLAN (RADAR-Online-Aneichung)) (RADOLAN 2004) vorbehalten. Um einer möglichen zukünftigen sommerlichen Intensitätsverstärkung der Starkniederschläge entgegen treten zu können, wird erwogen, in diesem Kurzzeitbereich für Bemessungsfragen an Stelle von Niederschlagshöhen, die einmal in zwei Jahren beobachtet werden, auf solche, die einmal in 100 Jahren auftreten, über zu gehen.

Regionale Klimaszenarienrechnungen bis 2050 für Süddeutschland

Die in KOSTRA-DWD-2000 durch die Fortschreibung erzielten Ergebnisse basieren auf den klimatischen Bedingungen des Bezugszeitraums 1951 – 2000 und werden statistisch über Verteilungs- bzw. Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen bis zu den seltenen Starkniederschlagsereignissen, die einmal in 100 Jahren auftreten, extrapoliert. Da es sich aber bei den Wetterprozessen und ihren komplexen Wechselwirkungen um nicht-lineare und zeitlich veränderliche Abläufe handelt, können die in den Langzeituntersuchungen gefundenen Trends nur bedingt in die Zukunft extrapoliert werden. Erste Untersuchungsergebnisse zum Überwachungsprogramm des „Integrierten Messnetzes“ von KLIWA (Themenblock C) zeigen allerdings am Beispiel der Untersuchungsgebiete Kocher (N4) und Isar (D11), dass die Winterniederschläge weiter zunehmen und die Sommerniederschläge rückläufig sind.

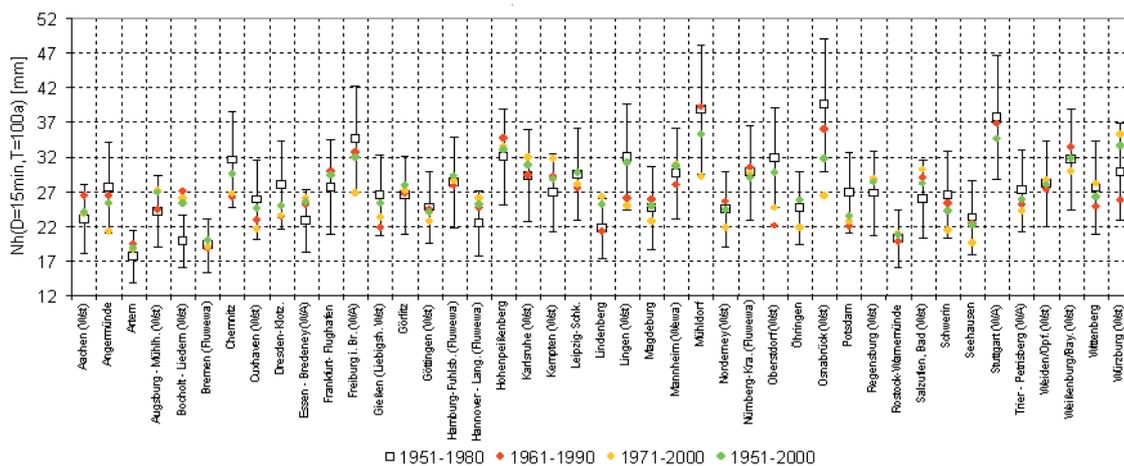


Abb. 8 Ergebnisse der extremwertstatistischen Auswertungen für 43 Niederschlagsschreiberstationen mit Daten bis zum Jahr weiße Kästchen: Zeitraum 1951-1980; roter Punkt: 1961-1990; gelber Punkt: 1971-2000; grüner Punkt: 1951-2000
Fehlerbalken: Spannen der Vertrauensgrenzen bei einer statistischen Sicherheit von 95% nach KOSTRA-DWD

Da die beiden Halbjahre diesen gegenläufigen Trend aufweisen, nähern sich die Halbjahreswerte immer mehr einander an (Dietzer 2006).

Der Themenbereich B „Abschätzung der Auswirkungen möglicher Klimaveränderungen auf den Wasserhaushalt“ im Vorhaben KLIWA sieht daher Simulationen des zukünftig zu erwartenden Klimas vor. Um den in regionalen Klimaszenarienrechnungen noch enthaltenen Unsicherheiten gerecht zu werden, wurden verschiedene Forschergruppen beauftragt, die folgenden Modellansätze anzuwenden:

- statistisches Downscaling-Verfahren mittels Clusteranalyse (Potsdamer Institut für Klimafolgenforschung/PIK)
- statistisch-dynamisches Downscaling-Verfahren mittels Wetterlagenklassifikation (Meteo Research/MR)
- regionales, dynamisches Klimamodell REMO (Max-Planck-Institut für Meteorologie/MPI).

Die Vergleichbarkeit der Ergebnisse war durch die Vorgabe einheitlicher Randbedingungen weitgehend gewährleistet: Globales Klimamodell ECHAM4, IPCC-Emissionsszenario B2, Zukunftsszenarienzeitraum 2021 – 2050, mit Messdaten 1951 – 2000, Verifikationszeitraum 1971 – 2000 und klimatologischen Kennzahlen (Bartels 2004).

Erwartungsgemäß wurde eine Bandbreite von Ergebnissen für das zukünftige Klima ermittelt, wobei sich aber ähnliche Charakteristika – wenn auch mit unterschiedlicher Ausprägung – herauskristallisierten. Der den weiteren Untersuchungen zu Grunde gelegte Modellansatz MR liefert für den Zeitraum 2021 – 2050 im Vergleich zum Zeitraum 1971 – 2000 für Süddeutschland im

- *Winterhalbjahr:*
Zunahme der mittleren Lufttemperatur nahezu einheitlich um ca. 2 °C,

verbunden mit einer um die Hälfte reduzierten Anzahl der Eistage (Tage mit $T_{\max} < 0 \text{ °C}$). Die mittlere für die Hochwasser bedeutsame Niederschlagshöhe nimmt um rund 20% zu, wobei deutlich ein West-Ost-Gefälle von rund 35% bis ca. 10% zu verzeichnen ist.

- Sommerhalbjahr:

Trotz geringerer Zunahme der mittleren Lufttemperatur von ca. 1.4 °C findet man in weiten Teilen Süddeutschlands eine Verdoppelung der Anzahl heißer Tage ($T_{\max} \geq 30 \text{ °C}$). Der Niederschlag nimmt geringfügig ab.

Von diesen Veränderungen wird auch der Wasserhaushalt, insbesondere die Abflüsse in den Gewässern, zukünftig erheblich betroffen sein. Die Entwicklung von geeigneten Anpassungsstrategien ist daher unerlässlich.

„Lastfall Klimaänderung“ für Hochwasserschutzplanungen

Im Vorhaben KLIWA wird an Hand der Ergebnisse der Wasserhaushaltsberechnungen auf der Basis der Klimaszenarien im Themenbereich B die Schlussfolgerung gezogen, dass eine deutliche Zunahme der mittleren Hochwasser, aber auch der extremen Abflüsse in Süddeutschland zu erwarten ist, so dass von einer Hochwasserverschärfung durch die Klimaveränderung bis 2050 auszugehen ist (Hennegriff et al. 2006).

Aus diesen Erkenntnissen sind daher Handlungsempfehlungen für den technischen Hochwasserschutz abzuleiten, die zwar den möglichen Klimaveränderungen der nächsten Jahrzehnte Rechnung tragen, aber auch die Unsicherheiten der Klimaszenarienrechnungen berücksichtigen. Vor diesem Hintergrund erweist es sich als notwendig, den bisherigen Weg bei der Festlegung von Bemessungsabflüssen zu modifizieren und ergänzend zu den geltenden Bemessungsgrundlagen einen „Lastfall Klimaänderung“ einzuführen, z.B. würde sich der 100jährige Hochwasserabfluss regional unterschiedlich zwischen 15% und 25% erhöhen. An Hand von Fallbeispielen kann nachgewiesen werden, dass eine Berücksichtigung der Auswirkungen des Klimawandels bei technischen Hochwasserschutzmaßnahmen in den meisten Fällen zu relativ moderaten Kostensteigerungen geführt hätte, wenn dieser Lastfall bereits bei der Planung berücksichtigt und beim Bau zumindest entsprechende Vorkehrungen für eine spätere Anpassung getroffen worden wäre. Nachträgliche Anpassungen sind hingegen meist mit sehr hohen Kosten verbunden (Katzenberger 2004, LfU-BW 2005).

Das nachfolgende Beispiel soll verdeutlichen, wie unter dem Aspekt erhöhter Bemessungswerte - also der Berücksichtigung des Lastfalls Klimaänderung - bei der Planung eines Hochwasserdammes vorgegangen werden kann: Der Damm wird nach derzeit geltenden Vorgaben gebaut; es werden jedoch zusätzliche Maßnahmen vorgesehen, die nach bisherigen Planungsgesichtspunkten nicht erforderlich wären. Zum Beispiel wird zusätzlich ein Geländestreifen auf der zugänglichen Dammseite abgegrenzt und freigehalten, so dass eine zukünftig ggf. notwendige Dammerhöhung ohne zusätzliche Probleme möglich wird.

Ausblick

Ausgehend von den Erkenntnissen der Langzeituntersuchungen hydrometeorologischer und hydrologischer Größen in Süddeutschland hat das breit angelegte Untersuchungsprogramm KLIWA nicht zuletzt unter Vorsorgegesichtspunkten schon zu konkreten Konsequenzen geführt. Dazu gehört die Verbesserung und Einbeziehung zukünftiger Klimaveränderungen in der Festlegung des Bemessungshochwassers für Anlagen des technischen Hochwasserschutzes z.B. durch:

- die Anwendung des fortgeschriebenen KOSTRA-Atlas in KOSTRA-DWD-2000 und
- die Einführung eines „Lastfall Klimaänderung“ bei Hochwasserschutzplanungen.

Mit den Fortschritten der weltweiten Klimaforschung und der Verbesserung der Modellierungsinstrumente werden sich die bisherigen Erkenntnisse auch fortentwickeln. Die Einrichtung eines dauerhaften Überwachungsprogramms über das „Integrierte Messnetz KLIWA“ sowie die Untersuchung der Auswirkungen des Klimawandels auf die zukünftige Entwicklung der Niedrigwasserabflüsse und der Grundwasserneubildung werden zur Absicherung der Wasserressourcen als nächstes angegangen,

Literatur

- Bartels, H. (2004): Vergleich regionaler Klimaszenarienrechnungen für Süddeutschland. KLIWA-Berichte, Heft 4, München
- Bartels, H., G. Malitz, S. Asmus, F.M. Albrecht, B. Dietzer, T. Günther, H. Ertel, 1997: Starkniederschlagshöhen für Deutschland (KOSTRA). Selbstverlag des DWD, Offenbach.
- Dietzer, B. (2006): Erste Untersuchungen zur Veränderung des Niederschlags in Bayern und Baden-Württemberg im Rahmen des „Integrierten Messnetzes“ von KLIWA, DWD, unveröffentlicht
- Günther, T. (2004): Langzeitverhalten der hydrometeorologischen Größen, KLIWA-Berichte, Heft 4, München
- Hennegriff, W., Kolokotronis, V., Weber, H., Bartels, H. (2006): Klimawandel und Hochwasser – Erkenntnisse und Anpassungsstrategien beim Hochwasserschutz. Korrespondenz Abwasser (in Druck).
- IPCC (2001): Climate change 2001, Summary for Policymakers, Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge
- Katzenberger B.: Bisherige Erkenntnisse aus KLIWA-Handlungsempfehlungen, KLIWA-Berichte Heft 4, München
- KLIWA (2002): Langzeitverhalten der Hochwasserabflüsse in Baden-Württemberg und Bayern, KLIWA-Berichte, Heft 2, Karlsruhe
- KLIWA (2005a): Langzeitverhalten der Lufttemperatur in Baden-Württemberg und Bayern, KLIWA-Berichte, Heft 5, München
- KLIWA (2005b): Langzeitverhalten der Schneedecke in Baden-Württemberg und Bayern KLIWA-Berichte, Heft 6, München
- KLIWA (2005): Langzeitverhalten des Gebietsniederschlags in Baden-Württemberg und Bayern, KLIWA-Berichte, Heft 7, München
- KLIWA (2006): Langzeitverhalten der Starkniederschläge in Baden-Württemberg und Bayern, KLIWA-Berichte, Heft 8 (in Vorbereitung), München
- KOSTRA-DWD-2000 (2005): Starkniederschlagshöhen für Deutschland, Fortschreibungsbericht und Grundlagenbericht, www.dwd.de/KOSTR-DWD-2000
- Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (2005): Leitfaden „Festlegung des Bemessungshochwassers für Anlagen des technischen Hochwasserschutzes“, Karlsruhe
- RADOLAN (2004): Routineverfahren zur Online-Aneicherung der Radarniederschlagsdaten mit Hilfe von automatischen Bodenniederschlagsstationen (Ombrometer), Abschlussbericht, www.dwd.de/RADOLAN
- Straub H. (2004): Langzeitverhalten von hydrologischen Größen, KLIWA-Berichte Heft 4, München