

Anpassungsstrategien für Stauanlagen an den Klimawandel

Juni 2014



Anpassungsstrategien für Stauanlagen an den Klimawandel

Juni 2014

Gemeinsamer Themenband
der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e. V. (DGGT),
des Deutschen Talsperrenkomitees e. V. (DTK)
der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA)



Herausgabe und Vertrieb:
Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
Theodor-Heuss-Allee 17 · 53773 Hennef · Deutschland
Tel.: +49 2242 872-333 · Fax: +49 2242 872-100
E-Mail: info@dwa.de · Internet: www.dwa.de

Die Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA) setzt sich intensiv für die Entwicklung einer sicheren und nachhaltigen Wasser- und Abfallwirtschaft ein. Als politisch und wirtschaftlich unabhängige Organisation arbeitet sie fachlich auf den Gebieten Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall und Bodenschutz.

In Europa ist die DWA die mitgliederstärkste Vereinigung auf diesem Gebiet und nimmt durch ihre fachliche Kompetenz bezüglich Regelsetzung, Bildung und Information sowohl der Fachleute als auch der Öffentlichkeit eine besondere Stellung ein. Die rund 14 000 Mitglieder repräsentieren die Fachleute und Führungskräfte aus Kommunen, Hochschulen, Ingenieurbüros, Behörden und Unternehmen.

Impressum

Herausgeber und Vertrieb:

DWA Deutsche Vereinigung für
Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
Theodor-Heuss-Allee 17
53773 Hennef, Deutschland
Tel.: +49 2242 872-333
Fax: +49 2242 872-100
E-Mail: info@dwa.de
Internet: www.dwa.de

Satz:

DWA

Druck:

druckhaus köthen GmbH & Co KG

ISBN:

978-3-944328-40-9

Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier

© DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef 2014

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieser Publikation darf ohne schriftliche Genehmigung des Herausgebers in irgendeiner Form – durch Fotokopie, Digitalisierung oder irgendein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsmaschinen, verwendbare Sprache übertragen werden.

Vorwort

Die Forschungsergebnisse zum Klimawandel lassen in den kommenden Jahrzehnten bis zum Ende des Jahrhunderts Änderungen erwarten, die signifikante Auswirkungen auf das Temperatur-, Niederschlags- und Abflussgeschehen in Deutschland nach sich ziehen werden. Der Wasserhaushalt und die Wasserwirtschaft werden so beeinflusst, dass – sicherlich regional unterschiedliche – Anpassungsstrategien entwickelt werden müssen, die für die Gesellschaft und die Natur nachteilige Folgen kompensieren oder zumindest lindern helfen.

Stauanlagen, wie Talsperren, Hochwasserrückhaltebecken, Staustufen und sonstige Wasserspeicher, sind bedeutsame Bestandteile der wasserwirtschaftlichen Infrastruktur. Ihre wirtschaftliche Nutzungsdauer beträgt in der Regel 80 bis 100 Jahre, ihre technische Lebensdauer reicht noch weit darüber hinaus. Insoweit werden Stauanlagen zwangsläufig von weit in die Zukunft projizierten Klimaänderungen betroffen sein.

Stauanlagen werden von diesen zu erwartenden Klimaänderungen in technischer und vor allem auch in bewirtschaftungsseitiger Hinsicht unmittelbar selbst tangiert. Sie bieten jedoch dank vielfältiger Anpassungsmöglichkeiten zugleich gute Voraussetzungen, ungünstige Auswirkungen des Klimawandels auf die wasserwirtschaftlichen Verhältnisse in der jeweiligen Region kompensieren zu können.

Es ist das Anliegen dieses Themenbandes, erstmalig eine in sich geschlossene Abhandlung zu Anpassungsstrategien für Stauanlagen an den Klimawandel vorzulegen, die, ausgehend von einer gebietsbezogenen Beschreibung der aktuellen Erkenntnisse zum Klimawandel und seiner hydrologischen Folgen, hinführt zu den potenziellen Klimawandelauswirkungen auf Stauanlagen und den daraus abzuleitenden Anpassungserfordernissen und -möglichkeiten. Abgerundet wird der Themenband mit – soweit möglich – konkreten Hinweisen und Handlungsempfehlungen an die Praxis.

Bei der Befassung mit den potenziellen Folgen des Klimawandels für Stauanlagen werden auch die mit den Klimaprojektionen verbundenen Unsicherheiten deutlich aufgezeigt. Es wird herausgearbeitet, dass generell möglichst flexible Lösungen angestrebt werden müssen, um auf Veränderungen nach allen Richtungen reagieren zu können. In Anbetracht der vielfältigen Nutzungs- und Steuerungsmöglichkeiten von Stauanlagen wird eingeschätzt, dass deren Bedeutung vor allem in Gebieten mit angespanntem Wasserhaushalt zunehmen wird. Da einer multifunktionalen Nutzung von Stauanlagen für konkurrierende Bedürfnisse (Hochwasserrückhalt versus Wasserspeicherung) Grenzen gesetzt sind, rücken auch der Ausbau vorhandener und die Errichtung neuer Stauanlagen (insbesondere Hochwasserrückhaltebecken) in das Blickfeld. Insoweit befasst sich der Themenband auch mit der Wahrnehmung der Bedeutung von Stauanlagen in der Öffentlichkeit.

Mit dem vorgelegten Themenband wird im Kontext zu Stauanlagen die Zielstellung der DWA weiter verfolgt, Meilensteine zu setzen bei den klimawandelbedingten Herausforderungen und Lösungsansätzen für die deutsche Wasserwirtschaft.

Pirna, im Januar 2014

Hans-Ulrich Sieber

Verfasser

Der Themenband wurde von den nachfolgend genannten Mitgliedern der DWA-Arbeitsgruppe WW-4.6 „Anpassungsstrategien für Stauanlagen an den Klimawandel“ im DWA-Fachausschuss WW-4 „Talsperren und Flusssperrern“, einem gemeinsamen Fachausschuss mit der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik (DGGT) sowie dem Deutschen Talsperren Komitee (DTK), erstellt.

FRANKE, Johannes	Dr. rer. nat., Technische Universität Dresden, Institut für Hydrologie und Meteorologie, Tharandt
GANZ, Tanja	Dr. techn., INROS LACKNER AG, München
HILLE, Henry	Dipl.-Ing. (Univ.) Dipl.-Wirt.-Ing. (FH), EDR GmbH, München
IHRINGER, Jürgen	Dr.-Ing., Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Wasser und Gewässerentwicklung, Karlsruhe
KOCH, Franziska	Dipl.-Geogr., Ludwig-Maximilians-Universität München, Institut für Geografie, München
POHL, Reinhard	Prof. Dr.-Ing. habil., Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik, Dresden
POPP, Martin	Dipl.-Ing., Regierung von Niederbayern, Abt. Wasserwirtschaft und Wasserbau, Landshut
RUDOLF, Andreas	Dipl.-Ing., Talsperrenbetrieb Sachsen-Anhalt AöR, Blankenburg
SCHLENKHOFF, Andreas	Prof. Dr.-Ing., Bergische Universität Wuppertal, Lehr- und Forschungsgebiet „Wasserwirtschaft und Wasserbau“, Wuppertal
SCHULZ, Arndt	Dipl.-Ing., Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN), Betriebsstelle Süd/Standort Braunschweig
SIEBER, Hans-Ulrich	Dr.-Ing., Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen, Pirna (Sprecher)
STRAßER, Karl-Heinz	Dipl.-Ing., E.ON Kraftwerke GmbH, Landshut

Projektbetreuer in der DWA-Bundesgeschäftsstelle:

SCHRENK, Georg J. A.	Dipl.-Geogr., Hennef Abteilung Wasser- und Abfallwirtschaft
----------------------	--

Inhalt

Vorwort	.....	3
Verfasser	.....	4
Bilderverzeichnis	.....	6
Tabellenverzeichnis	.....	8
1	Einführung	9
2	Gebietsbezogene Beschreibung des Klimawandels	14
2.1	Rezente Klimavariabilität im globalen Maßstab	14
2.2	Rezente Klimavariabilität für Deutschland	15
2.3	Hygroklimatische Gliederung Deutschlands	18
2.4	Klimaprojektionen.....	19
2.4.1	Werkzeuge der Klimamodellierung	19
2.4.2	Ausgewählte Ergebnisse aus der Klimamodellierung.....	20
2.4.2.1	Erkenntnisse im globalen Maßstab.....	20
2.4.2.2	Erkenntnisse für Deutschland.....	23
2.4.3	Unsicherheiten	27
2.4.3.1	Ursachen und Quellen.....	27
2.4.3.2	Umgang mit Unsicherheiten.....	28
2.5	Risiken des Klimawandels für den Wasserhaushalt	29
3	Hydrologische Folgen des Klimawandels	30
3.1	Hinweise zum Erkenntnisstand	30
3.2	Modellketten und deren Anwendung sowie Auswertung	32
3.3	Erkenntnisse aus Projekt- und Untersuchungsgebieten	33
3.3.1	Hochwasserabfluss.....	33
3.3.2	Mittlerer Abfluss	42
3.3.3	Niedrigwasserabfluss	45
3.4	Folgerungen in Bezug auf Stauanlagen	49
4	Nutzung, Betrieb und Bewirtschaftung von Stauanlagen unter Berücksichtigung des Klimawandels	50
4.1	Potenzielle Auswirkungen des Klimawandels.....	50
4.1.1	Nutzung von Stauanlagen	50
4.1.2	Veränderungen maßgeblicher Klimaelemente.....	51
4.1.3	Auswirkungen auf Bewirtschaftung und Betrieb von Stauanlagen	52
4.1.4	Wirkungen auf Bauwerke und Betriebseinrichtungen	55
4.1.4.1	Absperrbauwerke	55
4.1.4.2	Betriebseinrichtungen	57
4.1.4.3	Messtechnische Ausrüstungen.....	58
4.1.4.4	Datenerfassung im Einzugsgebiet.....	58
4.2	Anpassungsstrategien.....	59
4.2.1	Optimierung und Anpassung der Wassermengenbewirtschaftung und/oder der Betriebsweise bestehender Stauanlagen.....	59
4.2.2	Optimierung/Anpassung der Wassergütebewirtschaftung bestehender Stauanlagen	63
4.2.3	Verbundbewirtschaftung von Stauanlagen.....	65
4.2.4	Hochwassersteuerung von Stauanlagen	66

4.2.5	Organisatorisch-administrative Maßnahmen	68
4.2.6	Ausbau- und Nachrüstungsmöglichkeiten	68
4.2.7	Umwidmung, Erweiterung, Neubau von Stauanlagen	69
4.2.8	Zusammenfassung	69
5	Die technische Sicherheit von Stauanlagen unter den Bedingungen des Klimawandels	70
6	Wahrnehmung der Bedeutung von Stauanlagen in der Öffentlichkeit	74
6.1	Gegenwärtige Wahrnehmung in der Öffentlichkeit	74
6.2	Wahrnehmungsänderungen infolge des Klimawandels	74
6.3	Neue Konfliktpunkte bei Anpassung von Stauanlagen an den Klimawandel.....	76
6.4	Konsequenzen aus der veränderten Bewirtschaftung	76
6.5	Mittel zur verbesserten Wahrnehmung in der Öffentlichkeit.....	77
7	Hinweise und Empfehlungen für die Praxis	77
Literatur	.....	81
Technische Regeln	.....	81
Weiterführende Literatur	.....	81

Bilderverzeichnis

Bild 1:	Vulnerabilität von Stauanlagen gegenüber Klimawandel	9
Bild 2:	Naturräume in Deutschland	10
Bild 3:	Interessenkonflikt zwischen Wasserbereitstellung und Hochwasserschutz	11
Bild 4:	Oberharzer Wasserregal: Teichkaskade Bärenbrucher Teich – Ziegenberger Teich – Sumpfteich bei Clausthal-Zellerfeld	12
Bild 5:	Übersicht zur Revierwasserlaufanstalt Freiberg (Erzgebirge) als Beispiel für die Anpassungsfähigkeit historischer wasserwirtschaftlicher Systeme	13
Bild 6:	Lineare Trendstrukturen der bodennahen Jahreslufttemperatur in (°C) pro Jahrhundert für 1901-2005.....	14
Bild 7:	Lineare Trendstrukturen des Jahresniederschlags in (%) pro Jahrhundert für 1901-2005 vs. 1961-1990....	15
Bild 8:	Unterschied der Lufttemperatur (°C) für 1981-2010 vs. 1961-1990 in Deutschland	16
Bild 9:	Unterschied des Niederschlags (%) für 1981-2010 vs. 1961-1990 in Deutschland.....	17
Bild 10:	Änderung der Überschreitungswahrscheinlichkeit in (%) für Regenhöhen $\geq 0,1$ mm pro Tag, 1991-2010 vs. 1961-1990, Messstationen: Artern und Brocken	18
Bild 11:	Hygroklimatische Gliederung für 1981-2010 in Deutschland	19
Bild 12:	Schematische Positionierung der SRES-Storylines.....	20
Bild 13:	Globale Temperaturanomalien (°C) und deren Unsicherheitsbereiche im 20. und 21. Jahrhundert vs. 1980-1999, IPCC-Ensemblemittel	20
Bild 14:	Änderungen der Jahresmittel von Wasserhaushaltskomponenten für 2080-2099 (A1B Szenario) vs. 1980-1999 (Kontrolllauf), IPCC-Ensemblemittel (Punkte: ≥ 80 %ige Signalkonsistenz bzgl. des Vorzeichens, b) und c): ≥ 10 Modelle)	21
Bild 15:	Globale Änderungen des Niederschlagsintensitäts-Indexes und Trockenindexes für 2080-2099 (A1B Szenario) vs. 1980-1999 (Kontrolllauf), IPCC-Ensemblemittel (Punkte bedeuten ≥ 50 % der Modelle zeigen übereinstimmend Signifikanz); die simulierten Jahreszeitreihen wurden als Anomalie gegenüber ihrem Mittel 1980-1999 abgebildet und nach einer Trendbereinigung mit ihrer Standardabweichung 1960-2099 normiert	22
Bild 16:	Von den regionalen Klimamodellen REMO, CLM, WETTREG 2006 und STAR für das A1B Emissionsszenario für den Zeitraum 2021-2050 und 2071-2100 im Vergleich zur Periode 1971-2000 projizierte Änderung der Temperatur.....	24

Bild 17:	Von den regionalen Klimamodellen REMO, CLM, WETTREG 2006 und STAR für das A1B Emissionsszenario für den Zeitraum 2021-2050 und 2071-2100 im Vergleich zur Periode 1971-2000 projizierte Änderung des Niederschlags	26
Bild 18:	Kaskade der Unsicherheiten bei der Bewertung der Auswirkungen des Klimawandels	27
Bild 19:	Beurteilung von Klimaänderungssignalen bezüglich ihrer Robustheit	28
Bild 20:	Lage ausgewählter Gebiete in Deutschland mit Erkenntnissen über die Veränderung von Abflüssen unter dem Einfluss des Klimawandels	31
Bild 21:	Mittlere monatliche Hochwasserabflüsse am Pegel Schwaibach/Kinzig und zugehörige Halbjahresmittelwerte für den Ist-Zustand (1971-2000) und den Zukunfts-Zustand (2021-2050)	34
Bild 22:	Extremwertstatistik für die jährlichen Abflusshöchstwerte HQ(J) am Pegel Schwaibach/Kinzig für die Abflussberechnung mit den meteorologischen Messdaten sowie den Daten des Klimamodells für den Ist-Zustand und den Zukunfts-Zustand	35
Bild 23:	Räumlich differenzierte Klimaänderungsfaktoren in Baden-Württemberg für Hochwasserabflüsse	36
Bild 24:	Entwicklung der Hochwasserabflüsse im Einzugsgebiet der Oberen Donau für den Zeitraum 2036-2060 im Vergleich zum Zeitraum 1971-2000	37
Bild 25:	Jahresgang der mittleren monatlichen Hochwasserabflüsse für das Basisszenario, sowie für das Zukunfts-Szenario (2071-2100)	38
Bild 26:	Extremwertstatistische Auswertung der Jahreshöchstwerte des Abflusses HQ(J) für die Zuflüsse zur Möhnetalsperre und zur Biggetalsperre für den Ist-Zustand sowie für den Zukunfts-Zustand abgeleitet aus WETTREG und REMO	39
Bild 27:	Variabilität der prozentualen Veränderung von mittleren monatlichen Hochwasserabflüssen zwischen dem Zukunfts-Zustand und dem Ist-Zustand	41
Bild 28:	Einfluss des Klimawandels auf mittlere Abflüsse des Winterhalbjahres und des Sommerhalbjahres in Baden-Württemberg für den Projektionszeitraum 2021-2050	43
Bild 29:	Zeitliche Entwicklung des mittleren Abflusses (MQ) für den Zeitraum 1971-2000 sowie für die verwendeten GLOWA-Danube Klimaszenarien (2011-2060)	44
Bild 30:	Vergleich der Niedrigwasserstatistiken für die Niedrigwasserabflüsse des Jahres NQ(J), abgeleitet aus den Berechnungen auf Basis der gemessenen meteorologischen Daten sowie den Berechnungen auf Basis des Klimamodells für den Ist-Zustand und den Zukunfts-Zustand am Pegel Rockenau/Neckar	46
Bild 31:	Einfluss des Klimawandels auf die mittleren jährlichen Niedrigwasserabflüsse MNQ im Untersuchungsgebiet von KLIWA für den Projektionszeitraum 2021-2050	46
Bild 32:	Einfluss des Klimawandels auf die 100-jährlichen Niedrigwasserabflüsse NQ ₁₀₀ im Untersuchungsgebiet von KLIWA für den Projektionszeitraum 2021-2050	47
Bild 33:	Einfluss des Klimawandels auf die mittleren jährlichen Niedrigwasserdauern MND im Untersuchungsgebiet von KLIWA für den Projektionszeitraum 2021-2050	47
Bild 34:	Entwicklung der Niedrigwasserabflüsse im Einzugsgebiet der Oberen Donau	48
Bild 35:	Sylvensteinspeicher mit stark abgesenktem Stauspiegel im Trockenjahr 2003	53
Bild 36:	Klimawandelfolgen und Überlagerungsprozesse im Bereich der öffentlichen Trinkwasserversorgung	55
Bild 37:	Vorausschauende Planung eines erhöhungs-fähigen Staudammes	56
Bild 38:	Erhöhung des Hochwasserrückhaltebeckens Glashütte (Sachsen) um 9 m, Dammquerschnitt und im Bau	57
Bild 39:	Konkurrierende Nutzungen/Anforderungen und deren Zielfunktionen hinsichtlich des Beckenwasserstandes in wasserwirtschaftlichen Speichern	59
Bild 40:	Übergang von starren zu adaptiven Talsperrenbewirtschaftungsregeln	60
Bild 41:	Schematische Darstellung von möglichen Optimierungsverfahren bei Zielgrößen gleicher und unterschiedlicher Maßeinheiten	60
Bild 42:	Vergrößerung der gewöhnlichen Hochwasserrückhalteräume an bestehenden Stauanlagen in Sachsen nach dem Augusthochwasser 2002 zu Lasten der Wasserbereitstellung	61
Bild 43:	Nutzungserweiterung von Stauanlagen	62
Bild 44:	Einbau einer Fischbauchklappe in die Hochwasserentlastungsanlage der Talsperre Königshütte	64
Bild 45:	Trinkwassertalsperren-Verbundsystem in Sachsen	65
Bild 46:	Hochwasserüberlauf mit ca. HQ ₅₀₀ im August 2002 an der Talsperre Malter	66

Bild 47:	Einbau eines Schützes in die Hochwasserentlastungsanlage der Talsperre Saidenbach.....	67
Bild 48:	Demografische Entwicklung in Sachsen bis 2025	75
Bild 49:	Tendenzielle Entwicklung der Kapazitätsauslastung in den sächsischen Trinkwassertalsperren.....	75
Bild 50:	Stauanlagen im Fokus des Ausgleichs	78

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Simulierte Änderungen der global gemittelten bodennahen Lufttemperatur für 2090-2099 vs. 1980-1999 unter Annahme der IPCC-Emissionsszenarien A2, A1B, B1	21
Tabelle 2:	Beispielhafte Auswahl von unterschiedlichen Modellketten anhand der Untersuchungen KLIWA, Ruhr-EZG, GLOWA-Danube, Sachsen-Anhalt (ST) und CEDIM.....	33
Tabelle 3:	Änderung der Klimaelemente und Auswirkungen auf Staubecken	53
Tabelle 4:	Checkliste für die Überprüfung der technischen Sicherheit von Stauanlagen im Hinblick auf mögliche Auswirkungen des Klimawandels.....	71
Tabelle 5:	Klimaänderungsfaktoren in Baden-Württemberg und Bayern für Hochwasserabflüsse unterschiedlicher Jährlichkeiten (T)	79

1 Einführung

Es ist zwingende Notwendigkeit, sich mit den Auswirkungen des Klimawandels auf klimasensitive Systeme zu beschäftigen und bei Bedarf darauf zu reagieren. In den kommenden Jahrzehnten werden Klimaänderungen signifikante Auswirkungen auf das Temperatur-, Niederschlags- und Abflussgeschehen nach sich ziehen. Die regionalen Ausprägungen und Betroffenheiten in Deutschland werden unterschiedlich sein. Änderungen des Wasserhaushaltes und damit einhergehend der wasserwirtschaftlichen Verhältnisse in den betreffenden Flussgebieten sind jedoch überall vorgezeichnet.

Stauanlagen, wie Talsperren, Hochwasserrückhaltebecken, Staustufen und sonstige Wasserspeicher, sind wesentliche Elemente in den Flussgebieten und bedeutende wasserwirtschaftliche Anlagen. Ihre Rolle im wasserwirtschaftlichen Wirkungsraum gewinnt mit zunehmender Anlagenvernetzung, zum Beispiel durch Überleitungen oder Beileitungen, noch weiter an Bedeutung.

Stauanlagen sind von den eingangs genannten Änderungen klimatischer Größen sowohl in technischer als auch in bewirtschaftungsseitiger Hinsicht unmittelbar selbst betroffen. Sie bieten aber zugleich die Möglichkeit, Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt und auf die Wasserwirtschaft kompensieren zu helfen. Stauanlagen sind also „klimasensitive Systeme“ nach WALKENHORST & STOCK (2009) in jeder Hinsicht. Die Vulnerabilität von Stauanlagen gegenüber dem Klimawandel ist danach abhängig von der Größenordnung und Rate des Klimawandels („Klimastimulus“), ihrer eigenen Sensitivität gegenüber diesem Stimulus und ihren Anpassungsmöglichkeiten und -fähigkeiten. Sie ist aber auch abhängig von Überlagerungseffekten. Dazu zählen zivilisatorische Einflüsse wie Bevölkerungsab- oder -zunahme, technologischer Fortschritt und Entwicklung des Wassergebrauchs. Im Bild 1 sind diese Ursache-Wirkungs-Beziehungen einschließlich Rückkoppelungsschleifen schematisch dargestellt.

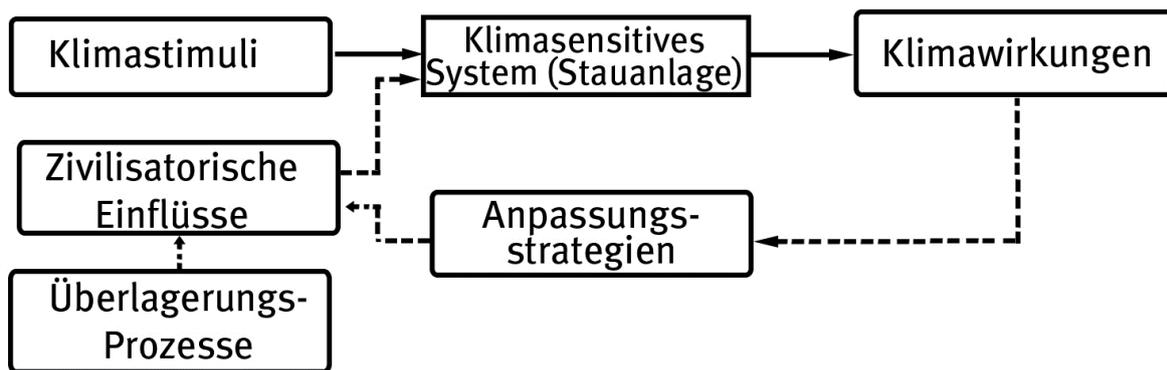


Bild 1: Vulnerabilität von Stauanlagen gegenüber Klimawandel (in Anlehnung an WALKENHORST & STOCK (2009))

Im Rahmen der Forschung zum anthropogen überprägten Klimawandel werden auf der Grundlage von unterschiedlichen Klimaszenarien und unter Anwendung verschiedener regionaler Klimamodelle Klimaprojektionen für die nächsten rund 100 Jahre erstellt. Mit Hilfe derartiger Klimamodelle ist es heute möglich, eine horizontale Auflösung von ca. 10 km × 10 km zu erreichen. Insoweit sind regionale flussgebietsbezogene oder sogar einzugsgebietsbezogene Betrachtungen und Einschätzungen des klimasensitiven Systems „Stauanlage“ möglich. Sie sind wegen der unterschiedlichen regionalen Anfälligkeit gegenüber Klimaänderungen auch geboten. So wird in BMU (2008) z. B. darauf hingewiesen, dass nach Untersuchungen des Umweltbundesamtes „Südwestdeutschland (Oberrheingraben), die zentralen Teile Ostdeutschlands (nordostdeutsches Tiefland, südostdeutsche Becken und Hügel), die Küstenregion und die Alpen im Vergleich zu anderen deutschen Regionen sehr anfällig gegenüber Klimaänderungen sind“.

In Bild 2 werden die Naturräume Deutschlands dargestellt, für die regionale Klimaänderungen mit Hilfe des Klimamodells WETTREG untersucht worden sind.