

---

# Operationelle Abfluss- und Hochwasservorhersage in Quellgebieten - OPAQUE

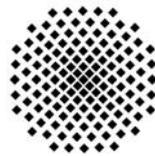
Antrag im Rahmen der BMBF-Förderaktivität  
"Risikomanagement extremer Hochwasserereignisse"



Antragsteller:



Universität Potsdam,  
Institut für Geoökologie



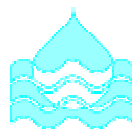
Universität Stuttgart,  
Institut für Wasserbau



Potsdam-Institut für  
Klimafolgenforschung



Geoforschungszentrum  
Potsdam



Dr.-Ing. K. Ludwig  
Beratender Ingenieur



Landestalsperrenverwaltung  
Freistaat Sachsen



Sächsisches Landesamt  
für Umwelt und Geologie -  
Landeshochwasserzentrum



Bayerisches Landesamt  
für Wasserwirtschaft



Landesanstalt für Umwelt-  
schutz Baden-Württemberg,  
Hochwasser-Vorhersage-  
Zentrale

Potsdam, Mai 2005

## I. Ziele

### **Gesamtziel des Vorhabens**

Ziel des Vorhabens ist eine verbesserte operationelle Vorhersage starker Hochwasserereignisse in Oberläufen bzw. Quellgebieten großer Flüsse. Starke, auch extreme, Hochwasserereignisse an großen Flüssen werden zu einem überwiegenden Anteil in diesen Regionen gebildet. Dies ist durch die im Gebirge typischerweise geringmächtigen Böden mit geringem Retentionsvermögen, die hohe Reliefenergie, und die oftmals extremen Niederschlagsmengen und -intensitäten in Quellgebieten zu erklären. Diese Gebiete sind aber nicht nur für die Hochwassergenese der großen Flüsse von besonderem Interesse, sondern auch wegen des großen Schadensrisikos in diesen Gebieten selbst. Hier sind oftmals die Reaktionszeiten kurz und damit die Vorwarnzeiten gering, was zu einem erhöhten Risiko für unterliegende Kommunen und Talsperren aber auch für Leib und Leben führt. Gegenwärtig sind Vorhersagen extremer Hochwasserabflüsse in Quelleinzugsgebieten noch immer mit großen Unsicherheiten behaftet, wie z.B. das Pfingsthochwasser an der oberen Donau und das Sommerhochwasser 2002 im Gebiet der Weißeritz zeigte. Die primären Ursachen hierfür sind die noch immer zu unsicheren Niederschlagsvorhersagen für diese Gebiete, z.T. Defizite der verwendeten hydrologischen Modelle in der Beschreibung der Abflussbildung auf dieser Skala und auch der Mangel an verlässlichen Verfahren zur Identifikation kritischer Gebietszustände wie der Bodenfeuchte auf dieser Skala. Eine Verbesserung der Frühwarnung (bzgl. Ort, Zeit, Menge und Intensität des Ereignisses) und des Hochwassermanagements (bzgl. Speichersteuerung, Schadenswarnung, Alarmplan) in diesen Gebieten verspricht eine besonders effektive Risikominderung.

Die Minderung des Hochwasserrisikos in den Quellgebieten ist nicht nur besonders vielversprechend sondern auch dringend notwendig. Eine verbesserte operationelle Frühwarnung soll einerseits eine um einige Stunden frühere und insbesondere mit geringerer Unsicherheit behaftete Hochwasserwarnung ermöglichen. Aufgrund der geringen Vorwarnzeiten in Quellgebieten kann dies bereits deutlich mehr Spielraum für das Ergreifen von Objektschutzmaßnahmen im Rahmen eines abgestimmten Alarmplans bedeuten. Andererseits soll eine solcherart verbesserte Warnung ein effizienteres Management der HW-Räume der Talsperren und ein (an die verbleibenden Hochwasserabflüsse) angepasstes Management der durch Überschwemmung gefährdeten Flächen entlang der Flüsse dieser Gebiete ermöglichen, denn in den Zielgebieten (Weißeritz, Obere Iller und Donau) liegen bereits detaillierte Überflutungskarten vor. Dies bedeutet eine effiziente und deutliche Reduktion der beiden Komponenten des Risikos, *reduzierte Eintrittswahrscheinlichkeit für wenig zutreffende Vorhersagen und gemindertem Schadenspotential*.

Für die Steuerung von Stauanlagen soll zudem geprüft werden, ob sich durch klimatologisches Downscaling eine bessere Langfristvorhersage (> 3 Tage) über zu erwartende Starkniederschläge für Stationen im Gebiet ableiten lassen. Denn eine Vorabsenkung des Wasserspiegels, ohne dass es unterstrom zu Schäden durch zu hohe Abflüsse/ Wasserstände kommt, erfordert durchaus mehrere Tage (Beispiel Hochwasser 2002 an der Weißeritz). Dadurch soll die *Eintrittswahrscheinlichkeit extremer Abflüsse* unterhalb der Stauanlagen reduziert werden. Zudem kann eine frühere und weniger unsichere Warnung für die Überschwemmungsbereiche eine wichtige *Minderung des Potentials für Sachschäden und der Gefahr für Leib und Leben* bedeuten und die Grundlage für einen geeigneten Alarmplan darstellen. Das Produkt aus verringerter Eintrittswahrscheinlichkeit extremer Abflüsse und verringertem Schadenspotential bedeutet letztlich eine insgesamt bedeutende Minderung des Hochwasserrisikos in diesen Gebieten.

Hinzu kommt die Wichtigkeit einer verbesserten operationellen Vorhersage der Quellgebiete auch für die flussabwärts gelegenen größeren Flussgebiete, etwa Elbe, Neckar oder Donau. Bei der Betrachtung von Talsperren in diesem Zusammenhang ist zudem deren Multifunktionalität (z. B. außer Hochwasserschutzfunktion noch Rohwasserbereitstellung für die öffentliche Trinkwasserversorgung mit hohen Anforderungen an die Qualität des gestauten Wassers) angemessen Rechnung zu tragen.

Das Hauptziel des Vorhabens ist somit die (Weiter-)Entwicklung und Anpassung von Werkzeugen zur operationellen Hochwasserwarnung und -vorhersage. Die verbesserten Vorhersagen liefern die Grundlage für ein auf die aktuelle Lage angepasstes (integriertes) Hochwassermanagement und die operationelle Talsperrensteuerung. Die Bereitstellung von Schulungseinheiten, in deren Folge die entwickelten Werkzeuge zur Vorhersage, Warnung und Talsperrensteuerung zur Umsetzung gelangen, stellt den dritten Teil des Hauptziels dar.

### **Bezug des Vorhabens zu den förderpolitischen Zielen**

Das Vorhaben bezieht sich hauptsächlich auf Punkt 2.1 der Ausschreibung ("Integrative Konzepte für das Hochwasserrisikomanagement"), da es naturwissenschaftliche, wasserwirtschaftliche und ökonomische (Schadenspotential) Aspekte verbindet, und insbesondere durch eine verbesserte HW-Warnung in Kombination mit darauf abgestimmtem HW-Management eine effiziente Risikominderung anstrebt. Aber auch zu den anderen Themenbereichen (2.2: "technischer Hochwasserschutz") und 2.3 ("Querschnittsaktivitäten") gibt es durch die Themen Talsperrensteuerung bzw. Schulungseinheiten direkte Bezüge.

### **Wissenschaftliche und technische Ziele des Vorhabens**

Das oben genannte Gesamtziel einer zuverlässigeren operationellen Hochwasserwarnung/-vorhersage in Quellgebieten umfasst die Arbeit zu drei Hauptkomponenten :

1. Operationelle Hochwasserwarnung und –vorhersage sowie Vorwarnung
2. HW-Management insbesondere Optimierung von Talsperrensteuerung auf Basis verbesserter Frühwarnung und Vorwarnung
3. Bereitstellung von Schulungseinheiten und von Grundlagen zur operationellen Umsetzung für ein verbessertes Risikomanagement.

Der Schwerpunkt für die Arbeiten in der **Hauptkomponente 1** wird auf die Verbesserung der Schätzung des Niederschlages, die verbesserte Erfassung des Gebietsvorzustandes und dessen Parametrisierung in den Modellen und die auf beidem beruhende verbesserte Vorhersage der Abflussbildung bei Starkniederschlägen gelegt. Daraus ergeben sich folgende Bearbeitungsschwerpunkte:

- verbesserte operationelle Schätzung von Starkniederschlagsfeldern für den Simulations- und den Vorhersagebetrieb durch Kombination von Niederschlagsbeobachtungen am Boden und Niederschlagsradar;
- verbesserte Beobachtung des Bodenfeuchtezustands durch Einsatz innovativer TDR-Technologie in Kombination mit Georadar, Fernerkundung und einem Landoberflächenmodell;
- verbesserte Ermittlung von Ausdehnung und Zustand der Schneedecke durch Kombination von Fernerkundung, Bodenbeobachtungen und einem Schneemodell;
- verbesserte operationelle Vorhersage der Abflussbildung und -konzentration, durch Integration von Informationen über räumliche Niederschlagsfelder, Bodenfeuchte und Zustand der Schneedecke.

Allerdings ist dies nur der erste Schritt in Richtung eines integrierten Schutzkonzeptes zur Minimierung von Hochwasserschäden in diesen Gebieten. Gerade für Gemeinden in diesen kleineren Flusseinzugsgebieten ist ein umfassender technischer Hochwasserschutz gegen "extreme Ereignis-

nisse" aus finanziellen Gründen und aus Gründen des Landschaftsschutzes oft nicht realisierbar. Daher ist neben einer zuverlässigen operationellen Hochwasserwarnung und -vorhersage ein Hochwassermanagement für Siedlungsgebiete, insbesondere durch eine optimierte Hochwassersteuerung insbesondere von Talsperren oder auch in Form von an die Vorhersagen angepasste Alarmpläne und rechtzeitig umsetzbaren Objektschutzmaßnahmen von eminenter Wichtigkeit. Da die spezifische Erarbeitung von Alarmplänen und planerische Aspekte des Hochwasserrisikomanagement für die Weißeritz bereits durch das Projekt „Kooperatives Hochwasserrisikomanagement unter Verwendung eines Umweltinformationssystems – am Beispiel des Flusseinzugsgebietes der Weißeritz“ (IÖR Dresden) erfolgen, beschränkt sich dieses Vorhaben auf die Bereitstellung der verbesserten Werkzeuge zur Hochwasservorhersage, die Quantifizierung der Vorhersageunsicherheit, und die Frage der Talsperrensteuerung. Neben einer verbesserten und frühzeitigeren Warnung und Steuerung sollen damit auch die Fehlwarnungen vermindert werden, da diese die Akzeptanz für künftige Warnungen untergraben.

Besonders wichtig für eine optimierte Talsperrensteuerung ist neben der Quantifizierung der Unsicherheiten der operationellen Niederschlag-Abflussvorhersagen auch die verbesserte langfristige Vorhersage von Niederschlägen (3-5 Tage), da Fehleinschätzungen und falsche Steuerung für den Betreiber aufgrund der Mehrfachnutzung mit erheblichen Kosten verbunden sind. Die Ziele in der Bearbeitung von **Hauptkomponente 2** sind daher:

- Möglichkeiten einer besseren Langfristvorhersage von Starkniederschlägen (> 3 Tage) für wichtige Stationen im Gebiet aus Mittelfristvorhersagen des ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecast, UK) und des GME (Globales Modell Deutscher Wetterdienst) durch klimatologisches Downscaling;
- Quantifizierung der Schäden, die durch die Talsperrensteuerung im Hochwasser für Anlieger unterstrom entstehen;
- Ableitung synthetischer Niederschlagsreihen für das „Training“ der Talsperrensteuerung für kritische Wetterlagen.

Durch die Überführung neuer Mess- und Modellmethoden (z.B. Radarmessungen, Fernerkundungsinformationen, Downscaling, flächenverteilte hydrologische Modellierung) in die Praxis in **Hauptkomponente 3** ist ein besonders starker Fortschritt hinsichtlich einer Risikominderung im Falle extremer Hochwässer zu erwarten. Dies gilt für die Integration der entwickelten meteorologischen und hydrologischen Verfahren in die operationelle Anwendung bei den Projekt- und Kooperationspartnern und insbesondere für die Kopplung (Rückkopplung) von Speichersteuerung und Hochwasservorhersage, sowie der Speichersteuerung mit den zu erwartenden Schäden im Unterlauf. Besonderes Augenmerk gilt dabei der Entwicklung von Trainingsmodulen für die beteiligten Hochwasservorhersagezentralen, womit die Situation bei Starkniederschlags- und Hochwasserperioden schon „durchgespielt“ werden kann. Zudem ist eine direkte Umsetzung und Demonstration bei betroffenen Gemeinden vorgesehen, z.B. in Dresden (Weisseritz) oder Tübingen (Goldersbach).

### **Antragsteller / Kooperationspartner**

#### Universitäten:

- Universität Potsdam, Institut für Geoökologie: Prof. Dr.-Ing. Axel Bronstert, Lehrstuhl Hydrologie & Klimatologie, und Prof. Dr.-Ing. Erwin Zehe, Juniorprofessor Wasser- und Stoffhaushalt komplexer Landschaften, **(Uni P)**
- Universität Stuttgart, Institut für Wasserbau: Prof. Dr.-Ing. Dr. rer. nat. András Bárdossy, Lehrstuhl für Hydrologie & Geohydrologie, **(Uni S)**

#### Außeruniversitäre Forschungsinstitutionen:

- Potsdam Institut für Klimafolgenforschung: Dr. Gerd Bürger, Abteilung für Klimasystemanalyse (**PIK**)
- Geoforschungszentrum Potsdam: Dr.-Ing. Bruno Merz, Sektion 5.4 Ingenieurhydrologie und Dr. Sibylle Itzerott, Sektion 1.4 Fernerkundung (**GFZ**)

#### Behörden:

- Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, Hochwasservorhersagezentrale Kempten: Dr.-Ing. Uwe Ehret (**LFW**)
- Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Hochwasser-Vorhersage-Zentrale: Dr. Manfred Bremicker, Dr. Peter Homagk (**LfU**)
- Landesamt für Umwelt und Geologie Sachsen, Landeshochwasserzentrale: Dipl.-Ing. Uwe Hoehne (**LfUG**)
- Landestalsperrenverwaltung Sachsen, Fachbereich Technik : Dr. Hans-Ulrich Sieber (**LTV**)

#### KMUs:

- Ingenieurbüro Dr.-Ing. Karl Ludwig, Karlsruhe: Dr.-Ing. Kai Gerlinger (**Ing.-B. L**)

Die Koordination des Projektvorhabens ist am Institut für Geoökologie der Universität Potsdam vorgesehen. Die ausgewählten Gebiete zur Erprobung der Verfahren liegen in Sachsen, Baden Württemberg und Bayern und sind sowohl für die verantwortlichen Behörden von höchster Relevanz und Priorität als auch für die zu entwickelnden Verfahren besonders gut geeignet.

**Tabelle 1:** Übersicht über die ausgewählten Testgebiete

<b>Einzugsgebiet</b>	<b>Größe [km<sup>2</sup>] (Pegel)</b>	<b>Talsperren/HWRHB</b>
Obere Donau	524 (Pegel Donaueschingen)	1 (4,7 Mio m <sup>3</sup> )
Goldersbach	78 (Pegel Lustnau)	(RHB in Planung)
Quellflüsse der Iller	250 (Pegel Oberstdorf)	
Rote Weißeritz	155 (Pegel Bärenfels, Schmiedeberg, Dippoldiswalde, Hainsberg 1)	1 (8,8 Mio m <sup>3</sup> )
Wilde Weißeritz	163 (Pegel Rehefeld, Ammelsdorf, Lehmühle, Bärwalde, Klingenberg Unterpegel, Hainsberg 3)	2 (38,3 Mio m <sup>3</sup> )

## **II. Stand der Wissenschaft und Technik, bisherige Arbeiten**

### **Problembeschreibung und wissenschaftliche Defizite**

Einzugsgebiete in Oberläufen bzw. Quellgebieten großer Flussgebiete reagieren aufgrund der relativ geringen Größe (50-500 km<sup>2</sup>), der meist hohen Reliefenergie sowie der geringmächtigen Böden mit geringem Speichervermögen meist sehr schnell auf relativ kleinräumige Niederschläge hoher Intensität. Die Entstehung extremer Hochwässer in solchen Gebieten wird maßgeblich durch das raum-zeitliche Muster des auslösenden Niederschlagfeldes (Blöschl and Grayson, 2000; Ehret, 2002; Zehe et al, 2005) und, aufgrund der Nichtlinearität der Abflussbildungsprozesse (Waldenmeyer, 2002; Casper, 2002; Uhlenbrook and Leibundgut, 2002), durch den Zustand des Gebiets d.h. das räumliche Muster der Bodenfeuchte (Merz and Plate, 1997; Zehe and Blöschl, 2004; Bronstert and Bárdossy, 1999; Grayson et al., 1997) bestimmt. Auf dieser Skala (50 -500 km<sup>2</sup>) besteht für jeden der genannten Faktoren sowohl hinsichtlich der operationellen Messung als auch hinsichtlich der operationellen Vorhersage/Modellierung erheblicher Forschungsbedarf.

## Defizite in der operativen Schätzung und Vorhersage von Gebietsniederschlägen

Gegenwärtig werden die operationellen Vorhersagemodelle der beteiligten Hochwasserzentren (LARSIM: Bremicker, 2000; NASIM: Ostrowski, 1982) auf einem Raster von  $1\text{km}^2$  betrieben. Im sogenannten Simulationsbetrieb, welcher der laufenden Anpassung von Modellparametern und Modellzustandsgrößen dient, werden die genannten Modelle mit interpolierten Niederschlägen aus Bodenbeobachtungen (inverse Distanzmethode) betrieben. Aufgrund der räumlich glättenden Wirkung dieser und auch anderer Interpolationsmethoden sind die interpolierten Gebietsniederschläge wesentlich weniger variabel als das tatsächliche Niederschlagsfeld. Die unzureichende Repräsentation des Niederschlags wird zwar durch Anpassung von Modellparametern teilweise ausgeglichen. Trotzdem führt diese systematische Unterschätzung der Niederschlagsvariabilität gerade in kleinen (Quell-) Einzugsgebieten zu hohen Unsicherheiten bei der Vorhersage extremer Abflüsse (Beven, 2001; Arnaud et al., 2002; Zehe et al., 2005).

Für die operationelle Hochwasservorhersage werden die Modelle LARSIM und NASIM mit Niederschlagsvorhersagen aus dem Lokalmodell (LM, Raster  $7 \times 7 \text{ km}^2$ ) und dem Globalmodell (GME, Raster  $40 \times 40 \text{ km}^2$ ) des Deutschen Wetterdienstes betrieben. Eine verlässliche Hochwasservorhersage in Quellgebieten erfordert, aufgrund der geringen Vorwarnzeiten, eine wesentlich genauere Niederschlagsvorhersage hinsichtlich Intensität und deren raum-zeitlicher Verteilung über einen Zeitraum 2-3 h, als es das LM- und GME-Modell derzeit liefern können. Auch die Rasterauflösung von  $7 \times 7 \text{ km}^2$  ist für die räumlich hoch variable Abflussbildung in diesen Gebieten recht grob.

Eine Vorabsenkung des Wasserspiegels in Talsperren zur Schaffung von Retentionsraum erfordert, da zum einen eine Absenkung die Nutzbarkeit der Talsperre für andere Ziele (z.B. Trinkwasser, Freizeit) deutlich einschränken kann und zum anderen Schäden unterstrom durch zu hohe Abgaben natürlich vermieden werden sollen, einen Vorhersagezeitraum von durchaus mehreren Tagen (Beispiel Hochwasser 2002 an der Weißeritz). Für diesen Zeithorizont existieren zwar Vorhersagen (174h GME) sowie Ensemblevorhersagen des ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, UK) und des NECP. Diese Vorhersagen sind jedoch noch so grobskalig und ungenau, dass sie nicht für eine mittelfristige Talsperrensteuerung (3-5 Tage) in den interessierenden Gebieten herangezogen werden können. Dies wird insbesondere klar, wenn man bedenkt, dass eine Absenkung des Wasserspiegels in Talsperren aus Gründen der Hochwasserretention immer in Konflikt mit anderen Aufgaben wie der Trinkwasserversorgung und der Energiegewinnung steht.

## Defizite in der hydrologischen Modellierung

Die Bodenfeuchte ist die zentrale hydrologische Zustandsgröße des Bodens und des tiefen Untergrunds: sie steuert über die hydraulische Leitfähigkeit sowohl die Abflussbildung an der Erdoberfläche (Merz & Plate, 1997; Merz & Bárdossy, 1997; Bronstert & Bárdossy, 1999, Zehe & Blöschl, 2004) als auch die Abflussbildung im Untergrund (Uhlenbrook & Leibundgut, 2002). Die Bodenfeuchtedynamik wird in physikalisch basierten Konzeptmodellen wie LARSIM (Bremicker, 2000), HBV (Bergström, 1996) oder auch TAC<sup>D</sup> (Uhlenbrook & Leibundgut, 2002) durch tiefenintegrierte, nichtlineare Speicheransätze beschrieben. Diese abstrahierte Beschreibung der Bodenfeuchtedynamik hat zwei Modellunsicherheiten zur Folge:

- Der Anteil des Effektivniederschlags in konzeptionellen Modellen wächst streng monoton mit der Sättigung des Bodenspeichers. Dieses Konzept ist gut geeignet zur Beschreibung der Abflussbildung von Sättigungsoberflächenabfluss, zeigt jedoch bei der Beschreibung von Hortonscher Abflussbildung deutliche Schwächen. Auch der auf dieser Skala sehr wichtige Beitrag von Makroporen/präferentiellen Fließwegen bei der Abflussbildung (Bronstert, 1999) kann mit diesen Modellen nicht abgebildet werden bzw. ist modelltechnisch nur stark vereinfacht erfasst (LARSIM-Version 2004).

- Es besteht nur ein mittelbarer Zusammenhang zwischen der zeitlichen Entwicklung der Füllung solcher Bodenfeuchtespeicher und der tatsächlichen Bodenfeuchtedynamik in der Natur. Ein direkter Vergleich zwischen meist punktuell vorhandenen Bodenfeuchtemessreihen im Feld und der simulierten Bodenfeuchtedynamik ist aufgrund des Skalenunterschiedes nicht sinnvoll. Insofern können Beobachtungen des Bodenfeuchtezustands in Einzugsgebieten bisher noch nicht sinnvoll genutzt werden, um die Modellierung der Abflussbildung zu verbessern.

### **Defizite in der Ermittlung kritischer Bodenfeuchtemuster auf der Mesoskala**

Herkömmliche Bodenfeuchtemessverfahren wie Time Domain Reflectometry (TDR) liefern aufgrund der hohen kleinräumigen Variabilität natürlicher Böden nur verlässliche Bodenfeuchtedaten für sehr kleine Flächen (100 cm<sup>2</sup>) (Western and Grayson, 1998; Blöschl, 1996). Vor allem die Bodenfeuchte in den oberen 10-20 cm des Bodens ist auch auf kleinen Flächen sehr variabel (Lehmann and Bárdossy, 1995; Zehe and Blöschl, 2004). Räumlich verteilte Bodenfeuchtemessungen können zum einen durch Messungen mit einem mobilen Messgerät wie der „Green Machine“ (Grayson et al, 1997) oder durch die Installation mehrerer TDR Messstationen in einem räumlich verteilten Messnetz erlangt werden. Die erste Methode liefert räumlich hochaufgelöste Daten allerdings nur für wenige Zeitpunkte, was nur beschränkte Aussagen über die zeitliche Änderungen der Bodenfeuchte und deren Rolle bei der Abflussbildung erlaubt. Die zweite Methode ermöglicht zeitlich hochaufgelöste Messungen, doch sind die Abstände zwischen den TDR Stationen oft zu groß, um zu trennen, welcher Anteil der Bodenfeuchtevariabilität durch den Einfluss kleinräumig variabler Größen wie Porosität und hydraulische Leitfähigkeit hervorgerufen wird, und welcher Anteil durch großräumige Änderungen von Geokenngrößen wie Bodenart, Relief, Vegetation und auch der Niederschlagsvariabilität hervorgerufen wird. Gerade diese Information ist aber für ein Upscaling lokaler Bodenfeuchtemessungen auf größere Flächen essentiell.

Messungen der Bodenfeuchte mit fernerkundlichen Methoden z.B. mittels aktiver Mikrowellensensoren, bei denen die Stärke des zurückempfängenen Signals von Oberflächeneigenschaften (Rauhigkeit) und elektrischer Leitfähigkeit (Bodenfeuchte) bestimmt wird, können entweder bodengestützt in Form von Georadar, durch Befliegungen mit einer Auflösung von einem Meter oder mittels Radarsatelliten wie ENVISAT-ASAR mit einer räumlichen Auflösung von 30, 150 oder 1000 m (je nach Bedarf an Flächenabdeckung) erfolgen. Satellitengestützte Radarmessungen liefern in Abhängigkeit von der Wellenlänge (operationell derzeit nur X-Band und C-Band) maximal eine Information über den Feuchtezustand der obersten 3 bis 5 cm des Bodens, was sowohl für die Einschätzung der Abflussbildung als auch die Verwendung in der hydrologischen Modellierung nicht ohne weiteres geeignet ist. Außerdem besteht die Einschränkung, dass bei Verwendung von Einzelbändern und Einzelpolarisationen für vegetationsbedeckte Flächen derzeit keine Trennung in die Feuchte des Pflanzenbestandes und des Bodens vorgenommen werden kann. Experimentelle flugzeuggestützte SAR-Systeme verfügen dank größerer Wellenlängen (S-Band, L-Band, P-Band) über Potenzen zur Erreichung größerer Eindringtiefen und Feuchteinformationen über Bodenschichten bis etwa 40 cm, allerdings besteht weiterhin das Problem der Vegetationsbedeckung. Es sind in den letzten Jahren Dualbandalgorithmen und dual/vollpolarimetrische Verfahren aufgefunden, die hierfür Lösungsansätze bieten (Hajnsek, 2003; Notarnicola, 2004). Auch die Verknüpfung von Polarisations- und Interferenzmethoden (POLInSAR) erscheint erfolgsversprechend (Cloude, 2005).

### **Defizite in der Ermittlung der Ausdehnung, Mächtigkeit und des Zustands der Schneedecke**

Ebenso wichtig für die Entstehung extremer Hochwässer wie der Bodenfeuchtezustand des Einzugsgebiets im Sommer und Herbst, sind Ausdehnung und Zustand der Schneedecke im Winter und Frühjahr. Zwar lässt sich die Ausdehnung der Nass-Schneebedeckung in unbewaldeten Gebieten auf Basis von Mikrowellenaufnahmen geeigneter Satelliten ermitteln (InFerno; Mauser et.al.,

2004). Jedoch erlaubt diese Datenquelle keinen Rückschluss auf die Mächtigkeit, das Temperaturprofil und den Wassergehalt der Schneedecke. Für die flächenhafte Erfassung trockenen Schnees gibt es erst seit Neuestem (Martini, 2005) Ansätze unter Verwendung von vollpolarimetrischen Doppelband-Algorithmen (C- und L-Band). Schneehöhenmessungen des Deutschen Wetterdienstes liegen nur punktuell vor, und reichen für eine flächige Ermittlung der Schneehöhen nicht aus. Gerade Informationen über den thermischen Zustand sowie das Wasseräquivalent der Schneedecke sind jedoch für die Hochwasserentstehung essentiell.

### **Defizite in der Umsetzung neuer Technologien der Niederschlags- und Hochwasservorhersage**

Die Gründe für eine bislang unvollständige Umsetzung bzw. Praxisanwendung neuer Technologien im Bereich der Niederschlags- und Hochwasservorhersage sind u.a.: Die Niederschlagsvorhersagen sind für eine operationelle Hochwasservorhersage noch zu kurzfristig und mit zu großer Unsicherheit behaftet. Zudem fehlt eine breite und ausführliche Analyse des Verbesserungspotentials durch Nutzung geeigneter Niederschlagsvorhersagen, um die „Endnutzer“ davon zu überzeugen, diese Produkte zu nutzen und den damit verbundenen Aufwand zu investieren. Auch müssen die bislang im Einsatz befindlichen hydrologischen Modelle diesen neuen meteorologischen Randbedingungen angepasst werden. Letztlich bedarf es einer rechtzeitigen und gründlichen Ausbildung bzw. Training der „Endnutzer“ (insbesondere der Hochwasservorhersagezentralen) mit diesen Werkzeugen. Trotz (bzw. gerade wegen) dieser Probleme, ist bei einem erfolgreichen Technologietransfer ein besonders großes Potential zum verbesserten Management von Hochwasser zu erwarten. Diese positiven Aussichten werden untermauert durch das große Interesse von zuständigen Fachbehörden (die ja mit in diesem Projekt inbegriffen sind), vom Deutschen Wetterdienst, und auch von Kommunen, die direkt von Hochwasserkatastrophen betroffen sein können (etwa die Städte Dresden oder Tübingen).

### **Bisherige Arbeiten der Antragsteller - Wissenschaftliche Expertise**

Die Partner beschäftigen sich im Rahmen von BMBF-, DFG-, EU- und anderen F+E-Projekten wissenschaftlich und anwendungsorientiert seit vielen Jahren mit Problemen, die sich in das hiesige Vorhaben sehr gut einpassen (siehe auch Veröffentlichungen und Liste relevanter Projekte im Anhang). Ihre Erfahrung erstreckt sich von klimatischem Downscaling, über Niederschlagsradar-gestützte Abflussmodellierung und operationelle Hochwasservorhersage, Talsperrensteuerung bis hin zu Fernerkundung und Risikomanagement. Im Folgenden wird ein kurzer Überblick über Arbeitsschwerpunkte der Kooperationspartner gegeben, was deren Kompetenz zur Bearbeitung des Projektes und die zu erwartende Zusammenführung unterschiedlicher fachlicher Schwerpunkte verdeutlicht. Das Projekt soll wissenschaftlich von der Universität Potsdam (Prof. Bronstert/ Prof. Zehe) geleitet werden.

**Tabelle 2 :** Grundlegende Kompetenzen der Projekt- und Kooperationspartner mit Relevanz für das beantragte Vorhaben

	<b>Kompetenzen und Aufgaben im beantragten Vorhaben</b>
<b>Uni P</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hydrologische Modellierung, Abflussbildung bei Hochwasser, Landnutzungs- und Klimaeinfluss (Prof. Bronstert)</li> <li>• Parametrisierungen aus Feldmessungen + Fernerkundung (Bronstert, Zehe, Kaden)</li> <li>• Kombination von Niederschlagsradar und Bodenbeobachtung (Prof. Zehe)</li> <li>• Messung von Bodenfeuchtezuständen, hydrologische Prozessmodellierung (Prof. Zehe)</li> </ul>



	he)
<b>Uni S</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Selbstlernende Fuzzysysteme</li> <li>• Hydrologische Modellierung</li> <li>• Klimatologisches Downscaling (Wetterlagenklassifikation)</li> <li>• Nutzung von Radardaten zur Hochwasservorhersage</li> </ul>
<b>GFZ</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geoökologische Anwendungen unterschiedlichster Methoden der Fernerkundung</li> <li>• Abschätzung von Hochwasserschäden und -risiken</li> <li>• Entwicklung von Vorsorgekonzepten</li> </ul>
<b>PIK</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Klimatologisches Downscaling: Statistisch-empirische Methode <i>expanded downscaling</i></li> </ul>
<b>DLR</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Angewandte Modellierung und Invertierung, Verwendung der polarimetrischen SAR-Interferometrie zur Bestimmung von bio-/geo-physikalischen Umweltparametern</li> </ul>
<b>LFW</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Operationelle Hochwasservorhersage, Entwicklung hydrologischer Modelle</li> <li>• Steuerung von Hochwasserrückhaltebecken und Staustufen</li> <li>• Nutzung quantitativer Niederschlagsradardaten zur Hochwasservorhersage</li> <li>• Kurzfristvorhersage des Niederschlags auf Basis von Radardaten</li> </ul>
<b>LfU</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hochwasser-Frühwarnsystem, Operationelle Hochwasser-, Mittelwasser- und Niedrigwasservorhersage</li> <li>• Wasserhaushaltsmodellierung, Entwicklung hydrologischer Modelle</li> <li>• Fernerkundung von Schneebedeckung und Vorbodenfeuchte (InFerno Projekt)</li> </ul>
<b>LfUG</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Operationelle Hochwasservorhersage</li> <li>• Entwicklung von Vorsorgekonzepten</li> </ul>
<b>LTV</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Speicherbewirtschaftungspläne (Wassermengen- und -gütebewirtschaftung)</li> <li>• Hochwassersteuerpläne; fachliche Begleitung verschiedener hydrol. F+E-Vorhaben</li> </ul>
<b>Ing.- B. L</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wasserhaushaltsmodellierung, Modellentwicklung</li> <li>• Entwicklung operationeller Hochwasser-, Mittelwasser- und Niedrigwassermodelle</li> </ul>

Insbesondere die Verknüpfung der Kompetenzen von Universitäten, außeruniversitären Forschungseinrichtungen, Ingenieurbüro und Behörden ermöglicht eine praxisorientierte Themenbearbeitung unter Verwendung neuer Wissenschaftsergebnisse, die direkt in die operationelle Anwendung überführt werden.

Durch die Einbeziehung des Institutes für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme des DLR wird die Gewinnung von Flugzeugradardaten in breitem Wellenlängen- und Polarisationspektrum ermöglicht, ohne die Fortschritte in der Nutzung von Fernerkundungsdaten in der Beschreibung von hochwasserrelevanten Situationen undenkbar sind. Dass die Vorteile der Fernerkundung mit der häufig wiederholbaren, flächenhaften Abbildung der Verhältnisse in Einzugsgebieten in Zukunft in der Hochwasservorhersage Anwendung finden müssen, ist unbestritten. Da nur der DLR über die notwendige technische Ausstattung zur Gewinnung dieser Daten verfügt, wurde das Institut über die Vergabe eines Unterauftrages ins Projekt eingebunden. Weil ferner die Universitäten weder über die hardware- und softwaretechnische Ausstattung zur Verarbeitung von Fernerkundungsda-

ten noch über die notwendigen wissenschaftlichen Kenntnisse verfügen, erfolgte die Einbindung der Sektion Fernerkundung des GFZ Potsdam, in der langjährige Erfahrungen bei der Nutzung von Fernerkundungsdaten für geoökologische Fragestellungen vorliegen. Dabei ist von besonderer Bedeutung, dass in diesem Institut bei Dr. Itzerott Wissen über die in der Landschaft ablaufenden Prozesse in der Pedosphäre, Hydrosphäre und Atmosphäre gepaart sind mit der Kenntnis der physikalischen Abbildung dieser in Fernerkundungsdaten. Nur so besteht die Möglichkeit, die Wissenschaftsdisziplinen Hydrologie und Radarfernerkundung für beide Seiten erkenntnisbringend zu verbinden. Über die intensive Kooperation dieser Sektion des GFZ mit dem Institut des DLR wird die zielgerichtete Auswertung von Flugzeug- und Satellitenradardaten für die Bedürfnisse der Hochwasservorhersage gewährleistet.

Ebenso am GFZ angesiedelt ist die Sektion Ingenieurhydrologie, die auf dem Gebiet der Schadensmodellierung nach Hochwassern zu den führenden Wissenschaftlergruppen gehört. Ihre Einbindung ins Projekt ermöglicht die Lösung einer Frage, die im Fall des Hochwassers der Elbe und ihrer Nebenflüsse 2002 zu Entscheidungsproblemen führte. Die Steuerung des Abflusses aus Talsperren ist im Hochwasserfall verschiedenen Bedingungen und Forderungen ausgesetzt, ihre Optimierung soll durch die Analyse der möglichen Schäden und der Abwägung ihres Ausmaßes erreicht werden. Die Erfahrung der Arbeitsgruppe bei der Auswertung der Schadensfälle zum Elbehochwasser 2002 kommt damit dem Projektverbund voll zugute.

Das Potsdam Institut für Klimafolgenforschung verfügt über langjährige Erfahrungen bei der Entwicklung von Klimaszenarien. Die von Bürger entwickelte Methode des expanded downscaling verspricht eine entscheidende Verbesserung der Langfristvorhersage von Stationsniederschlägen. Das EDS Modell beinhaltet ein voll entwickeltes Programmpaket, zu dessen Anwendung, Anpassung und Erweiterung Dr. Bürger, als dessen Entwickler und maßgeblicher Anwender, die beste mathematisch-numerische Kompetenz mitbringt. Die Einbindung seiner Person in den Verbund erlaubt eine deutlich effektivere Anpassung der Methode an die Erfordernisse der Hochwasservorhersagemodelle, als das mit der Einarbeitung eines Doktoranden gelungen wäre.

Auch die direkte Vergabe eines Auftrages auf Kostenbasis an das Ingenieurbüro Ludwig beruht auf den Kompetenzen des Unternehmens. Das Programmsystem LARSIM, das bereits in der operationellen Hochwasservorhersage der Bundesländer Bayern und Baden-Württemberg eingesetzt wird und auf dessen verbesserter Abbildung des Wirkungsgefüges im Ereignisfall das Projekt zielt, ist von Mitarbeitern des Büros Ludwig mitentwickelt worden. Sie verfügen daher über die größte Erfahrung bei der Kalibrierung und der programmtechnischen Entwicklung von LARSIM. Deren Mitarbeit garantiert eine besonders effiziente Umsetzung von Weiterentwicklungen im Modellsystem und eine bestmögliche Implementierung des verbesserten Modells an den beteiligten Hochwasserzentren.

### **III. Ausführliche Beschreibung des Arbeitsplanes**

Das zu entwickelnde Hochwasserwarn- und Vorhersagesystem besteht aus einer *mehrstufig angeordneten Kombination unterschiedlicher Warnmodule*: Zu Beginn steht eine Vorwarnung über hochwasserträchtige Wetterlagen für die ausgesuchten Quellgebiete und eine langfristige Vorhersage von Stationsniederschlägen durch angepasstes klimatologisches Downscaling. Durch eine Kombination aus innovativer TDR Technologie, Georadar und Fernerkundung sowie einem geeigneten Landoberflächenmodell soll ferner der Gebietsfeuchte- und -schneezustand ermittelt wer-

den. Anschließend und zentral steht die Schätzung des hochwasserrelevanten Niederschlagfelds durch eine Kombination von Niederschlagsradar und Bodenbeobachtung für den Simulationsbetrieb sowie eine Kurzfristvorhersage des lokalen Niederschlagsgeschehens über eine Dauer von 2-3h. In diesem Zusammenhang wird ein selbstlernendes Werkzeug zur automatischen Fehlerkorrektur der LM-Vorhersage für den Prognosezeitraum von 3 bis 48 Stunden entwickelt. Am Ende der Warnkette steht die Vorhersage des Hochwasserabflusses aus den betroffenen Gebieten mit den zuvor gewonnenen Anfangs- und Randbedingungen des Niederschlags und des Gebietszustands.

Das Arbeitsprogramm gliedert sich nach dem inhaltlichen Konzept in fünf Arbeitspakete, die wiederum in mehrere Themenblöcke geordnet werden:

- AP 1 Vorwarnung vor kritischen atmosphärischen Situationen und kritischen Gebietszuständen
  - AP 1.1 Vorwarnung über kritische Wetterlagen und Langfristvorhersagen von Stationsniederschlägen mittels klimatologischem Downscaling
  - AP 1.2 Schätzung von Gebietsbodenfeuchte und Assimilation der Feuchteinformation in die hydrologische Modellierung
  - AP 1.3 Ermittlung der Ausdehnung, des Zustands und der Mächtigkeit der Schneedecke und Assimilation in die hydrologische Modellierung
- AP 2 Operationelle Schätzung und Kurzfristvorhersage des Gebietsniederschlags
  - AP 2.1 Operationelle Schätzung des Niederschlags für den Simulationsbetrieb auf Basis von Niederschlagsradar und Bodenstationen
  - AP 2.2 Operationelle Kurzfristvorhersage des Niederschlags auf Basis von Niederschlagsradar und Bodenstationen
- AP 3 Operationelle Vorhersage und Langfristvorhersage des Abflusses
  - AP 3.1 Neukalibrierung der operationellen Vorhersagemodelle für den Betrieb mit hochaufgelöstem Niederschlagsinput
  - AP 3.2 Langfristvorhersage des Abflussgeschehens auf Basis der langfristig vorhergesagten Niederschläge aus AP 1.1
  - AP 3.3 Verbesserte Repräsentation der Abflussbildungsprozesse in kleinen Gebieten
- AP 4 HW-Management insbesondere Optimierung von Talsperrensteuerung auf Basis verbesserter Vorwarnung und Vorhersage
  - AP 4.1 Ermittlung und Quantifizierung der möglichen Schäden unterhalb der Talsperren für unterschiedliche Trainingsszenarien auf Basis der langfristigen Abflussvorhersagen aus AP 3.2 und für unterschiedliche Trainingsszenarien aus AP 4.2.
  - AP 4.2 Ermittlung synthetischer Niederschlagsreihen für die Talsperrensteuerung im Rahmen von Trainingsläufen
- AP 5 Hochwassertraining
  - AP 5.1 Bereitstellen von Schulungseinheiten und von Grundlagen für die Erstellung geeigneter Alarmpläne. Projektübergreifende Mitarbeit bei der Ausarbeitung von Alarmplänen für die Weißeritz
  - AP 5.2 Durchspielen von Trainingsszenarien für die Talsperrensteuerung

Die Arbeitspakete (AP) sind thematisch organisiert und entsprechend strukturiert erfolgt die Zusammensetzung der Arbeitsgruppen (AG):

- AP 1 / AG 1: Vorwarnung vor extremen Wetterbedingungen (PIK, Uni S) und Gebietszuständen (Uni P, GFZ)
- AP 2 / AG 2: Operationelle Schätzung und Echtzeitvorhersage des Niederschlags (LFW, Uni P, Uni S)
- AP 3 / AG 3: Operationelle Abflussvorhersage (LfU, LFW, Ing-B. L, Uni P, LfUG)

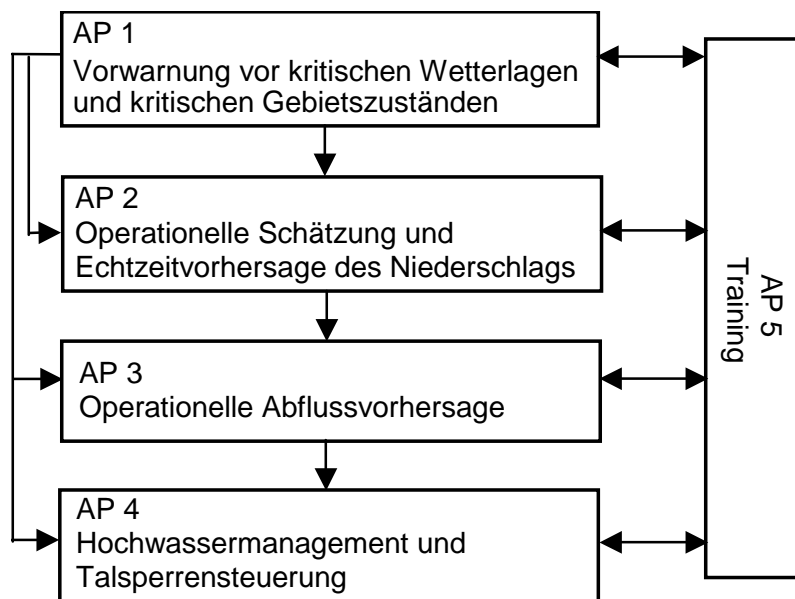
AP 4 / AG 4: Hochwassermanagement und Talsperrensteuerung (GFZ, Uni S, LTV, LFW, LfUG, LfU)

AP 5 / AG 5: Bereitstellung von Schulungseinheiten und Trainingsszenarien (Ing.-B. L, Uni S, LTV, LfU, LfUG)

Der Kooperationspartner DWD ist in keiner der Arbeitsgruppen als direkter Projektpartner aufgeführt. Er bildet aber mit der Bereitstellung von meteorologischen Daten und Prognosen, sowie insbesondere durch die direkte, gegenseitige Mitwirkung im Bereich des Mergings von Radar- und Bodendaten und für Fragen der Operationalisierung der Ergebnisse eine essentielle Grundlage für die geplanten Arbeiten (siehe dazu auch die im Anhang dokumentierte Kooperationsvereinbarung).

In der nachfolgenden Abbildung wird das Zusammenwirken der einzelnen Arbeitspakete bzw. Arbeitsgruppen des Projektes verdeutlicht. Der integrative Charakter wird dadurch deutlich, dass die jeweiligen Arbeitspakete nicht nur direkt auf den Ergebnissen des thematisch "vorstehenden" APs aufbauen, sondern dass einzelne Arbeitsbereiche auch wiederum eine Rückwirkung auf "vorstehende" Teilprojekte ausüben.

Trotz der deutlichen Vernetzung der Projektteile sind diese so konzipiert, dass eine zeitlich parallele Bearbeitung ohne weiteres möglich ist. Lediglich AP 5 wird erst nach ca. der halben Projektzeit beginnen, da es Ergebnisse der anderen APs verarbeitet. Dieses Verbundprojekt erfordert eine eigene Koordination. In Betracht ziehend, dass es im gesamten Forschungsprogramm des BMBF ein spezielles Koordinationsprojekt gibt, wird für die hier benötigte spezifisch projektinterne Koordination nur 1/2-Wissenschaftlerstelle angesetzt. Sie soll von S. Itzerott eingenommen werden, um von ihrer umfangreichen Erfahrung als Projektkoordinatorin und ihrem breiten Wissen in verschiedenen geowissenschaftlichen Disziplinen zu profitieren.



## AP 1 Vorwarnung vor kritischen atmosphärischen Situationen und kritischen Gebietszuständen

### AP 1.1 Vorwarnung über kritische Wetterlagen und Langfristvorhersagen von Stationsniederschlägen mittels klimatologischem Downscaling

Vorwarnungen für Flussgebiete bzw. Vorhersagen der zu erwartenden Niederschläge einschließlich deren Unsicherheit lassen sich aus Lang- bis Mittelfristvorhersagen des ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, UK, hierzu existieren Ensemblevorhersa-

gen), des NCEP (National Center of Environmental Prediction, USA), oder auch des GME (Globales Vorhersagemodell des DWD) gewinnen. Die Untersuchung historischer Reanalysedaten dient zur Selektion der hochwasserrelevanten Wetterlagen. Die genannten Modelle sind für die quantitative Vorhersage meteorologischer Parameter wie Luftdruckfelder gut geeignet. Sie liegen jedoch zunächst grobskalig vor, können aber mit Methoden der Klimawirkungsforschung für die Niederschlagsvorhersage verfeinert werden. Bei einem solchen "Downscaling" werden aus täglichen Beobachtungen der relevanten großskaligen atmosphärischen Felder einerseits und den gemessenen lokalen Niederschlägen andererseits statistische Beziehungen hergeleitet, die eine Vorhersage der lokalen Niederschlagsbedingungen stationsscharf ermöglichen. Die für Niederschlag wichtigsten atmosphärischen Felder sind: a) 500 hPa Geopotenzial & Vorticity; b) 700 hPa vertikale Geschwindigkeit & spez. Feuchte; c) 850 hPa Temperatur & Wind. Aus ihnen werden durch das Downscaling tägliche Zeitreihen für die anvisierte Region gewonnen, wobei i.W. 2 Haupttypen von Verfahren, nämlich wettertypen- und regressionsbasierte zur Anwendung kommen. Beide Verfahren liegen im hiesigen Projektkonsortium vor (Stehlik & Bárdossy 2002; Bárdossy et al. 2002; Bürger 1996, Bürger und Chen 2005) und sollen auf deren Einsatz für Hochwasservorwarnung angepasst und erweitert werden. Für beide gilt, dass perfekte Niederschlagsprognosen nicht möglich sind, dass sie aber eine sehr relevante Vorwarnung vor Starkregenereignissen im Bereich von ca. 3 - 5 Tagen Vorwarnzeit ergeben können, die die Genauigkeit und Zuverlässigkeit der konventionellen Wettervorhersage deutlich übertrifft und die Ableitung *probabilistischer* Zeitreihen der unterschiedlichen Stärkegrade (Quantile) erlauben.

Gegenüber den sonst „vorhergesagten“ Klimaszenarien (Müller-Wohlfeil et al. 2000, Bürger 2002, Menzel und Bürger 2002) ist allerdings eine erhebliche Steigerung des „skills“ zu erwarten, da numerische Wettervorhersagemodelle wesentlich feiner aufgelöst sind (50km gegenüber etwa 300km); dies betrifft vor allem die Vorhersage extremer Niederschläge. Die langfristig vorhergesagten Stationsniederschläge inklusive deren Unsicherheiten dienen als Eingangsgröße der operationellen hydrologischen Modelle. Diese Langfristvorhersagen des Abflussgeschehens aus AP 3.2 dienen wiederum der Optimierung der Talsperrensteuerung in AP 4.1.

Die Erfahrungen aus der Unsicherheitsanalyse der Klimaszenarien, insbesondere beim Aus- und Verwerten von Ensemble-Vorhersagen, können voll genutzt werden. Die mathematische Einfachheit des empirischen Downscaling ermöglicht die Lokalisierung ganzer Ensemble-Vorhersagesysteme wie etwa die des ECMWF (EPS) oder des NCEP (MREF). Hieraus lassen sich dann stabile Wahrscheinlichkeitsverteilungen für das Auftreten von HW-relevanten Niederschlägen abschätzen. Aus diesen wiederum soll der Prototyp eines sehr einfachen, etwa 5-kategorialen Frühwarnsystems (kein, geringes, mittleres, hohes, volles Gefahrenpotenzial) aufgebaut werden.

Eine alternative Möglichkeit zur Verbesserung der Vorhersage mit lokalen Niederschlagsmessungen bilden die Model Output Statistik (MOS) Systeme, bei denen durch den stationsscharfen Vergleich von Modellprognosen und Messungen zeitlich variable statistische Korrekturparameter ermittelt werden, welche dann auf den Prognosezeitraum angewandt werden können. Ein solches Verfahren (GMOS) ist beim DWD für das GME Modell mit gutem Erfolg für kontinuierliche Prognosegrößen im Einsatz; bei diskontinuierlichen Größen wie Niederschlag besteht noch Entwicklungsbedarf.

## **AP 1.2 Schätzung von Gebietsbodenfeuchte und Integration der Assimilation in die hydrologische Modellierung**

Im Rahmen dieses Teilschwerpunkts sollen in einem Teilgebiet der Weißeritz von ca. 50 km<sup>2</sup> sowie im Einzugsgebiet des Goldersbach durch Kombination von innovativer TDR-Technologie, mit Georadar sowie flugzeug- und satellitengestützten Mikrowellenaufnahmen geeignete Beobachtungsnetze zur Ermittlung der Gebietsbodenfeuchte aufgebaut werden. Weiteres Ziel ist die Ermittlung einer Filterfunktion, die eine verlässliche Schätzung der Feuchten in den Bodenspeichern von LARSIM und NASIM auf Basis der beobachteten Gebietsbodenfeuchten erlaubt. Das sogenannte Spatial TDR (STDR) besteht aus einem Sampling TDR, einem Multiplexer, der das Umschalten von bis zu 80 Dreistabsonden ermöglicht, und einem geeigneten Inversionsalgorithmus,

um Bodenfeuchteprofile entlang der Dreistabsonden zu rekonstruieren (Becker 2004). STDR ermöglicht somit die Messung der Bodenfeuchtedynamik in einer neuartigen Datendichte und -qualität, d.h. eine räumlich aufgelöste Messung der Bodenfeuchtedynamik in Volumen größer des repräsentativen Elementarvolumens heterogener Böden (Bear 1972), sowie die direkte Beobachtung schneller Infiltrationsprozesse im Feld.

Im Zielgebiet werden räumliche Einheiten auf Basis von Bodenart, Relief und Vegetation ausgliedert. Auf Basis dieser Einheiten wird ein Netz aus Bodenfeuchtemessclustern mit jeweils 20 Einzelsonden aufgebaut, an denen die Bodenfeuchte über 1-2 Jahre kontinuierlich beobachtet wird. Zusätzlich werden Messkampagnen mit einem Georadar und Befliegungen mit einem Synthetischen Apertur Radar (SAR) durch das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) durchgeführt. Das Institut für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme (HR) führt eine Befliegung mit dem flugzeugbetriebenen E-SAR System (Experimentelles SAR) durch. Das Ziel dieser Befliegung ist die Erfassung der volumetrischen Bodenfeuchte in den oberen Dezimetern mit Hilfe von bereits entwickelten polarimetrischen SAR-Algorithmen. Die Bestimmung der volumetrischen Bodenfeuchte wird seit Jahren erprobt und hat erst durch die technische Weiterentwicklung und somit Einbeziehung der Polarimetrie einen Schub in Richtung der quantitativen Bestimmung erhalten. Durch die gemeinsame Auswertung der Daten wird das Verständnis für die vom Radar erhobenen und die vom Hydrologen gewünschten Parameter erweitert, bestehende und neue Algorithmen zur Bestimmung entwickelt, Genauigkeitsanalysen durchgeführt und Grenzen und Möglichkeiten untersucht. Einen stark limitierenden Faktor in der Bestimmung der Bodenfeuchte stellt die darüberliegende Vegetation dar. Innerhalb des Projektes werden Untersuchungen zum Einfluss der Vegetation auf die Bodenfeuchtebestimmung und dessen Verminderung durchgeführt. Die Befliegung wird über dem Testgebiet Weißeritz stattfinden und soll mit drei flugzeugcharakteristischen Modi befliegen werden. Es werden drei Radarfrequenzen (X-, L-, P-band) zur Anwendung kommen. Mit dem X-Band wird ein digitales Höhenmodell erstellt und mit den voll polarimetrischen L-Band und P-Band werden SAR Daten aufgenommen. Unter Verwendung von Modellen wird daraus die volumetrischen Bodenfeuchte bestimmt. Die Nutzung von ENVISAT-ASAR-Daten im Alternating Polarisation Mode (AP-Mode: räumliche Auflösung von 30m) soll die Übertragung der Ergebnisse auf größere Räume ermöglichen. Durch das vorgestellte, geschachtelte Messnetz lässt sich der Anteil der Bodenfeuchtevariabilität, welcher durch kleinskalig variierende Größen wie Porosität und hydraulische Leitfähigkeit verursacht wird, von dem Einfluss trennen, der durch die Veränderung von Geokenngrößen wie Bodenart, Relief und Vegetation hervorgerufen wird. Statistisch gesehen gehört die Bodenfeuchte an Standorten, die sich hinsichtlich der genannten Geofaktoren unterscheiden, zu verschiedenen Grundgesamtheiten. Dies wird in unterschiedlichen Lageparametern aber auch in verschiedenen lokalen Korrelationslängen bzw. Variationsparametern und Schiefen der jeweiligen Histogramme deutlich.

Für das Upscaling der Bodenfeuchte auf das Gesamtgebiet werden zum einen geostatistische Verfahren wie Simple Updating (Bárdossy et al., 1996; Zehe and Blöschl, 2004) eingesetzt, wobei die Daten aus den Georadarmessungen, den Befliegungen und die Satellitenaufnahmen als Driftparameter bzw. die Geokenngrößen Bodenart, Relief und Vegetation als Softvariablen eingesetzt werden, um konditionierte Momente der Bodenfeuchte zu ermitteln. Zusätzlich wird ein physikalisch basiertes hydrologisches Prozessmodell (CATFLOW, Maurer, 1997; Zehe et al., 2001; Zehe and Blöschl, 2004) zum dynamischen Upscaling eingesetzt: das Modell wird an die Teileinzugsgebiete, in denen Bodenfeuchtecluster betrieben werden, angepasst, so dass die beobachtete Feuchtedynamik gut wiedergegeben wird. Da das Modell die Bodenfeuchtedynamik bodenphysikalisch, die Verdunstung auf Basis der Penman-Monteith-Gleichung sowie das Abflussgeschehen räumlich aufgelöst beschreibt, liefert es eine prozesskonsistente Schätzung der Bodenfeuchtedynamik für Flächen, die nicht beobachtet werden (Zehe et al., 2005 b). In diesem Verfahren können Daten aus den flugzeuggestützten Messungen in Form einer oberen Randbedingung in der Modellierung berücksichtigt werden.

Durch Vergleich der auf das Gesamtgebiet skalierten Bodenfeuchtedynamik mit der Dynamik der Bodenfeuchte im Bodenspeicher von LARSIM wird eine Transferfunktion gewonnen, wie sich die Feuchte des Bodenspeichers aus der skalierten Bodenfeuchtedynamik ableiten lässt. Wesentliche Schwierigkeiten bereiten dabei zum einen die unterschiedlichen räumlichen Aggregationsebenen,

denn LARSIM hat einen tiefenintegrierten Bodenspeicher, zum anderen die stark vereinfachte Prozessbeschreibung: in LARSIM wird die Abminderung der Verdunstung auf Basis der Sättigung des Bodenspeichers errechnet, d.h. sie erfolgt für alle Bodenarten gleich. In der Natur steuert das Matrixpotential die Abminderung der Verdunstung in unterschiedlichen Bodenarten unterschiedlich, es liegt also in LARSIM eine stark vereinfachte Prozessabbildung vor. Für diese Untersuchung wird LARSIM auf einer Rasterweite von  $1 \times 1 \text{ km}^2$  betrieben, des Weiteren wird die Einführung eines Bodenspeichers mit 2-3 Schichten und des Matrixpotentials als zusätzliche Variable geprüft. Der Einfluss unterschiedlicher Landnutzungen bzw. Bodenarten innerhalb einer Rasterfläche wird durch das in LARSIM enthaltene Verfahren zur Erfassung subskaliger Strukturen („Landnutzungskompartimente“ innerhalb der Rasterflächen) entsprechend den jeweiligen Flächenanteilen innerhalb jeder einzelnen Rasterfläche berücksichtigt. Der Zusammenhang zwischen Sättigung und Matrixpotential kann für typische Böden mittels Pedotransferfunktionen und geeigneten bodenhydraulischen Funktionen in Form typischer Kurven beschrieben werden (vergl. AP 3.3).

### **AP 1.3 Ermittlung der Ausdehnung, des Zustands und der Mächtigkeit der Schneedecke und Assimilation in die hydrologische Modellierung**

Im Rahmen dieses Teilschwerpunkts soll in einem Teilgebiet der Weißeritz von ca.  $50 \text{ km}^2$  sowie im Einzugsgebiet des Goldersbach ein Netzwerk aus Bodenstationen zur Messung von Schneemächtigkeit und Schneefeuchte aufgebaut werden. Dazu kommen Drucksensoren, sogenannte Schneekissen sowie Schneefeuchtemesskabel (Patent des Instituts für Meteorologie und Klimaforschung, Forschungszentrum Karlsruhe) zum Einsatz. Die Schneekissen liefern eine Information über das Gewicht der Schneedecke und damit über deren Wassergehalt. Die Schneefeuchtekabel liefern Informationen über den Gehalt an flüssigem Wasser in der Schneedecke. Die Daten aus dem verteilten, bodengestützten Schneemessnetz werden mit dem im Rahmen des InFerno-Projekts entwickelten Verfahren zur satellitengestützten Schätzung der räumlichen Ausdehnung der Schneedecke geostatistisch kombiniert. Zusätzlich wird ein räumlich verteiltes Modell zur Beschreibung der Energiebilanz und des Wärme- und Wasserhaushalts der Schneedecke entwickelt. Ziel des Teilvorhabens ist ein Upscaling der punktuellen Information über Mächtigkeit und Zustand der Schneedecke durch geeignete Kombination mit Satellitendaten und einem geeigneten Prozessmodell. Die so gewonnene Information über die Ausdehnung und den Zustand der Schneedecke wird mit Hilfe eines Kalmanfilters genutzt, um die entsprechenden Zustandsgrößen in LARSIM zu korrigieren.

## **AP 2 Operationelle Schätzung und Kurzfristvorhersage des Gebietsniederschlags**

### **AP 2.1 Operationelle Schätzung des Niederschlags für den Simulationsbetrieb auf Basis von Niederschlagsradar und Bodenstationen**

Im Falle einer Starkniederschlagswarnung sollen die hydrologischen Modelle künftig mit Niederschlägen betrieben werden, die aus einer Kombination, einem sogenannten „Merging“, von Niederschlagsradar und Bodenbeobachtung ermittelt wurden. Ausgangspunkt bildet ein an der Universität Stuttgart entwickeltes Verfahren von Ehret (2002) welches die Vorteile beider Messsysteme, d.h. die Genauigkeit der Bodenstationsdaten und die räumliche Auflösung des Niederschlagsradars, optimal nutzt. Das Mergingverfahren wurde in Zusammenarbeit mit Herrn Ehret an der Universität Münster von Gerlach et al. (2004) weiterentwickelt und momentan vom DWD im Rahmen des Projektes Radolan (DWD, 2004) für die operationelle Aneicherung des DX Produktes (stündliches, quantitatives Komposit des DWD Radarverbundes) implementiert.

Das Mergingverfahren basiert methodisch auf dem geostatistischen Interpolationsverfahren Kriging, das eine zu interpolierende raumbezogene Variable als persistenten räumlichen stochastischen Prozess modelliert. Die Variogrammparameter werden dabei als Funktion von Ort und Zeit angesehen und für jeden Rasterpunkt unter Annahme einer linearen Beziehung aus Mittelwert und Schiefe der aktuellen Niederschlagsmessungen abgeleitet. Im Modell erfolgt zuerst eine Interpoli-

tion der Stationsniederschläge auf das Raster der Radardaten, die an den Stationen und im räumlichen Mittel korrekt ist, aber eine unrealistisch 'glatte' Struktur aufweist.

Mit den Radarwerten am Ort der Niederschlagsstationen (Median aus den 9 umliegenden Radar-pixeln) wird ebenfalls eine Interpolation durchgeführt. Die resultierende Werteoberfläche ähnelt in der Struktur der Stationsinterpolation, weist aber andere Absolutwerte auf. Anschließend werden die interpolierten Felder miteinander kombiniert. Die daraus resultierende Werteoberfläche wird anschließend so mit den Original-Radardaten kombiniert, dass an den Orten der Niederschlagsstationen und im räumlichen Mittel das interpolierte Wertefeld erhalten bleibt, aber die räumliche Struktur der Radardaten aufgeprägt wird. Dazu wird der Quotient zwischen interpoliertem Feld und Radardaten errechnet, log-transformiert, mit einer Arcustangensfunktion die Extreme gestaucht, rücktransformiert und mit den Radardaten multipliziert. Das resultierende Bild wird abschließend mit einer binären Karte (Niederschlag / kein Niederschlag) maskiert. Die Binärkarte wird aus den Radar- und Stationsdaten ermittelt. Das Mergingverfahren hat bei Offlineuntersuchungen gute Ergebnisse erzielt, eine gründliche Validierung anhand längerer Zeiträume steht aber noch aus.

Im Rahmen des vorgeschlagenen Vorhabens erfolgt zunächst eine systematische Analyse der Defizite des Mergings für die Untersuchungsgebiete Obere Donau, Obere Iller und Weißeritz für unterschiedliche Niederschlagstypen und Wetterlagen über einen längeren Zeitraum. Aus dem Projekt RADVOR-OP der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) und des DWD liegen darüber hinaus bereits Datensätze für historische Starkniederschlagsereignisse vor, die ebenfalls für die Analyse genutzt werden können. Im Rahmen des weiteren Arbeitsprogramms sollen die folgenden Verbesserungen durchgeführt werden:

- **Datenqualität:** Insbesondere Radardaten weisen eine hohe räumliche und zeitliche Streuung der Datenqualität auf. Bei der Kombination der Radar- und Stationsdaten sollte daher die relative und absolute Datenqualität berücksichtigt werden: Qualitativ hochwertige Daten sollen hoch gewichtet werden, wenig vertrauenswürdige Daten gering. Im Rahmen des Projektes Intermet wurden bereits konzeptionelle Vorarbeiten geleistet, um Qualitätsinformationen im Mergingverfahren zu berücksichtigen. Bislang wird das sogenannte Qualitätsbit jedoch nur aus dem Krigingschätzfehler der interpolierten Stations- und Radardaten abgeleitet. Beim DWD wird die Entwicklung eines Qualitätsproduktes für Radardaten momentan im Rahmen des Aktionsprogramms 2003 prioritär behandelt, als Grundlage dafür dienen sowohl Hardwareinformationen der Radarstationen als auch Algorithmen zur Detektion typischer Radarmessfehler wie Speichen, Ground Clutter, Bright-Band Effekte. Das Radar-Qualitätsprodukt wird ab Anfang 2006 operationell zur Verfügung stehen und kann als wertvolle Information für die Verbesserung des Merging-Verfahrens genutzt werden.
- **Fehlwerte:** Durch die Auswertung längerer Messreihen soll die Niederschlagsschätzung für Fälle, bei denen entweder Radar- oder Stationswerte fehlen, optimiert werden.
- **Parameter:** Die im Merging durch Optimierung ermittelten Parameter (z.B. Formparameter der Arcustangensfunktion) sollen anhand längerer Messreihen verbessert werden.
- **Rechengeschwindigkeit:** Die raum-zeitvariable Bestimmung der Variogrammparameter in der momentan verwendeten Form ist für operationelle Anwendung zu zeitaufwändig und soll durch ein schnelleres Verfahren ersetzt werden.
- **Korrelation der Daten:** Bei der Kombination der Radar- und Stationsdaten sollte die Ähnlichkeit in der gemessenen Niederschlagsstruktur berücksichtigt werden: Ist sie hoch, ist eine Kombination sinnvoll, bei geringer Ähnlichkeit sollte nur die qualitativ höherwertigere Datenquelle genutzt werden. Unterschiede der Messwerte können sich zum Beispiel aus der unterschiedlichen Höhe der Messwertaufnahme ergeben. Ein geeignetes Maß für die Ähnlichkeit der Niederschlagsfelder ist beispielsweise die Mahalanobisdistanz.
- **Kleinräumige Niederschlagsvariabilität:** Bisher wird die beobachtete Niederschlagsintensität an der Bodenstation mit dem Median der 9 darüber liegenden Radar-Rasterzellen verglichen, ohne die rasterinterne Niederschlagsvariabilität zu berücksichtigen. Dies kann vor allem für konvektive Niederschläge zu einer Fehleinschätzung der Niederschlagsintensität



und der Variabilität des Niederschlagsfeldes führen. Die für die Interpolation benötigten Variogramme der Radar- und Bodenniederschläge bieten die Möglichkeit, die Varianz des Niederschlages innerhalb der Rasterzellen durch Extrapolation zu schätzen. Diese "Innerblock"-Varianz des Niederschlags soll durch Block-Kriging berücksichtigt werden. Dadurch wird eine verlässlichere Schätzung der kleinräumigen Niederschlagsvariabilität möglich, was insbesondere für konvektive Ereignisse von großer Wichtigkeit ist.

- Raum-zeitliche Interpolation der Niederschlagsfelder: Die Einbeziehung der zeitlichen Niederschlagsentwicklung sowohl an den Messstellen als auch im Radarbild dient einer weiteren Reduzierung der Fehler. Dafür muss zunächst die Advektion bestimmt werden. Dies kann sowohl über die Erfassung mit Doppler-Radar als auch über eine Maximalkorrelation des räumlichen Niederschlagsbildes aufeinander folgender Zeitschritte erzielen. Die Zeitachse wird wie eine zusätzliche Dimension in ein räumlich-zeitliches Kriging einbezogen, nachdem der Advektionsanteil für jeden Zeitschritt kompensiert wurde. Im Gegensatz zu den rein räumlichen Verfahren lässt sich der dynamische Prozess einer advektiven Niederschlagsverlagerung durch dieses Vorgehen erfassen.

## **AP 2.2 Operationelle Kurzfristvorhersage des Niederschlags auf Basis von Niederschlagsradar und Bodenstationen**

Zusätzlich zur LM Vorhersage wird eine Kurzfristvorhersage über 2-3h, ein sogenanntes Nowcasting der lokalen Niederschlagsverteilung auf Basis von Radardaten entwickelt. Die Unmöglichkeit, das Niederschlagsgeschehen im Radarbild selbst für die Dauer weniger Stunden exakt vorherzusagen, legt einen stochastischen Vorhersageansatz nahe. Damit ist man in der Lage, Ensembles zu rechnen und somit Anhaltspunkte über die Bandbreite möglicher Entwicklungen zu gewinnen. Von Ehret (2002) wurde im Rahmen des Goldersbach-Projektes das hierarchische 'SCM' ('Spectrum Corrected Markov Chain') Verfahren, angelehnt an das 'String of Beads' Modell (Pegram und Clothier, 2001), entwickelt. Es basiert auf mit dem Mergingverfahren kombinierten Radar- und Stationsmessungen.

Zuerst wird für das gesamte Radarbild die Überdeckung und mittlere Niederschlagsintensität vorhergesagt, dann die Intensitätsentwicklung jeder einzelnen Rasterzelle im Bild. Die Rastervorhersage wird an die Bildvorhersage angepasst und schließlich das vorhergesagte Radarbild mit dem aktuellen Windvektor verschoben. Auf der Bildskala wird die Entwicklung durch einen bivariaten, autoregressiven Prozess beschrieben, auf Skala der Rasterzellen durch eine modifizierte Markov-Kette. Dabei werden die möglichen Systemzustände einer Rasterzelle durch ihre Niederschlagsintensität, den aktuellen Niederschlagstyp und die Niederschlagsentwicklung der letzten dreißig Minuten definiert. Mit Hilfe eines Zufallszahlengenerators können nun, verkettet durch die Übergangsmatrix der Systemzustände, beliebig lange Vorhersagesequenzen erzeugt werden.

Da es wahrscheinlich ist, dass sich benachbarte Rasterzellen ähnlich entwickeln, wird die Vorhersage nicht für jede Zelle völlig unabhängig durchgeführt, sondern durch nachträgliches Aufprägen einer räumlichen Struktur eine gewisse Einheitlichkeit der Entwicklung erreicht. Die zu erhaltende räumliche Struktur für jeden Zeitpunkt wird aus dem mittleren Fourierspektrum von Radarbildern der davor liegenden dreißig Minuten gewonnen.

Der Niederschlagsvorhersage sind in ihrer Dauer durch die Verschiebung des Bildes mit dem aktuellen Windvektor Grenzen gesetzt. Nutzt man wie geplant die Daten des DWD-Radarverbundes, ist dieser Effekt aber nur für Randgebiete störend.

Im Rahmen des Vorhabens sind folgende Verbesserungen geplant:

- Das Windfeld wird momentan als über das gesamte Bild einheitlich angenommen. Bei der Nutzung eines deutschlandweiten Radarkomposits ist diese Vereinfachung aber nicht mehr möglich, das Windfeld muss als Funktion von Ort und Zeit aufgefasst werden.

- Die hierarchische Modellierung, bisher auf Skala eines Radarbilds und der einzelnen Rasterpunkte, muss bei Nutzung eines deutschlandweiten Radarkomposits überprüft bzw. erweitert werden.
- Die Übergangsmatrizen zur Beschreibung der zeitlichen Entwicklung der Niederschlagsintensität auf der Skala des Radarpixels werden in Abhängigkeit des Niederschlagstyps (konvektiv oder stratiform) und der Anströmung parametrisiert, da der Lebenszyklus von Ereignistypen sehr unterschiedlich ist.
- Orographische Effekte, z.B. bei Anströmen eines Niederschlagsfeldes gegen Berge, sollen in das SCM integriert werden.

Im Rahmen des Projekts RADVOR-OP der LAWA und des DWD wird momentan ein ebenfalls radarbasiertes Nowcastingmodul entwickelt, das bis Ende 2005 prä-operationell verfügbar sein wird. Es besteht aus einem stratiformen und konvektiven Teil und zielt auf einen Vorhersagehorizont von bis zu zwei Stunden. Der Unterschied zum SCM Verfahren besteht darin, dass letzterem ein stochastischer Ansatz zugrunde liegt und daher Vorhersageensembles möglich sind. Ein Vergleich der Verfahren ist aber trotzdem sinnvoll und im Rahmen des Projektes geplant.

Weiterhin wird eine Defizitanalyse der LM-Prognosen für historische Niederschläge durchgeführt, wobei gemäß den voran geschilderten Aspekten gemergte Radarniederschläge für die Validierung herangezogen werden. Die Einbeziehung von räumlich hoch aufgelösten Radardaten ist hinsichtlich der relativ kleinen Einzugsgebietsgröße unabdingbar. Die LM-Niederschlagsvorhersage kann teilweise systematische Fehler aufweisen, die sich im Laufe der Zeit ändern, da dieses Modell kontinuierlich weiterentwickelt wird (zum Beispiel Ablösung des LM durch das LME Modell mit erweitertem Rechengebiet im Laufe von 2005). Mit Hilfe einer statistischen Filterung (z.B. Kalman Filter) ist ein adaptives, also selbstlernendes Werkzeug zu entwickeln, das in der Lage ist, die systematischen Fehler zu korrigieren und den operationellen Einsatz der LM-Vorhersage zu verbessern.

### **AP 3 Operationelle Vorhersage und Langfristvorhersage des Abflusses**

#### **AP 3.1 Neukalibrierung der operationellen Vorhersagemodelle für den Betrieb mit hochaufgelöstem Niederschlagsinput**

Ein Ziel des Arbeitspakets ist die Umstellung von im Einsatz befindlichen operationellen Niederschlag-Abflussmodellen für die Nutzung der hochaufgelösten Niederschlagsdaten. Operationell werden diese Modelle bislang mit räumlich interpolierten Punktniederschlägen aus Bodenstationen bzw. interpolierten LM-Vorhersagen betrieben. Diese ungenaue Repräsentation des Niederschlags wird zwar bei der Modellanpassung ausgeglichen. Die ausgleichende Wirkung der Modellparameter führt jedoch dazu, dass ein Modell, welches auf Basis räumlich gering aufgelöster Niederschläge kalibriert wurde, i.d.R. schlechtere Vorhersagen liefert, wenn es mit räumlich höher aufgelöstem Niederschlagsinput betrieben wird (Arnaud et al., 2002; Zehe et al., 2005). Die Bereitstellung einer verbesserten räumlich-zeitlichen Auflösung der Niederschlags- und Bodenfeuchteinformation erfordert eine Nachkalibrierung der hydrologischen Modelle. Jeder Parametersatz, der bei einer Modellkalibrierung an Hand von nicht entsprechend aufgelösten historischen Daten erstellt wurde, enthält die auf Grund der Ausgangsdaten entstehenden Unsicherheiten in den Werten der Parameter. Durch die verbesserten Daten des Niederschlags und der Bodenfeuchte können die Parameter präziser und homogener über die Untersuchungsgebiete gewählt werden.

LARSIM wird sowohl in der alten als auch in der weiterentwickelten Prozessversion auf Basis der gemergten Niederschlagsdaten aus AP 2.1 neu für die obere Donau und die obere Iller kalibriert. Danach werden systematische Simulationen/Vorhersagen historischer Hochwässer mit dem neu kalibrierten Modell, mit alter und neuer Prozessbeschreibung, den hochaufgelösten Eingangsniederschlägen mit entsprechenden Simulationen/Vorhersagen der alten Modellversion und alten Eingangsniederschlägen verglichen. So wird die Verbesserung der Vorhersagegüte sowie die Vorhersageunsicherheit systematisch für die ausgewählten Untersuchungsgebiete ermittelt.

Das an der Landestalsperrenverwaltung Sachsen betriebene Vorhersagemodell NASIM sowie das Model LARSIM am Landeshochwasserzentrum Sachsen werden auf Basis der gemergten Radarniederschlagsdaten aus AP 2.1 neu für die Rote und Wilde Weißeritz kalibriert. Danach werden wiederum systematische Simulationen/Vorhersagen historischer Hochwässer mit den neu kalibrierten Modellen, mit entsprechenden Simulationen/Vorhersagen auf Basis interpolierter Niederschlagstationsdaten verglichen, um die Vorhersageunsicherheiten und die Verbesserung der Vorhersagegüte zu quantifizieren.

### **AP 3.2 Langfristvorhersage des Abflussgeschehens auf Basis der langfristig vorhergesagten Niederschläge aus AP 1.1**

Auf Basis der langfristig vorhergesagten Niederschlagsvorhersagen aus AP 1.1 werden mittels NASIM und LARSIM für die Rote und Wilde Weißeritz und LARSIM für die obere Donau und die obere Iller langfristige Abflussvorhersagen erstellt. Dabei werden die Unsicherheiten d.h. die Wahrscheinlichkeiten, die sich aus der Gruppierung der Ensemblevorhersagen des ECMWF ergeben, berücksichtigt. Die resultierenden Abfluss-Ensemblevorhersagen werden für die Optimierung der langfristigen Talsperrensteuerung in AP 4.1 herangezogen.

### **AP 3.3 Verbesserte Repräsentation der Abflussbildungsprozesse in kleinen Gebieten**

Die verbesserten Eingangsdaten ermöglichen auch die Betrachtung kleinerer Einzugsgebiete bei der hydrologischen Modellierung. Bislang ist eine gewisse Mindestgröße der Einzugsgebiete erforderlich, um die Heterogenitäten im Niederschlag und in der Bodenfeuchte über die Fläche gemittelt betrachten zu können und um einen entsprechend mittleren Parametersatz festlegen zu können. Auf Grund der neuen Ausgangslage in den Daten kann spezifisch untersucht werden, welche Defizite in der hydrologischen Modellierung kleinerer Gebiete aufgetreten sind und auftreten und wie diese stärker eingegrenzt werden können. Da ein Modell nicht alle ablaufenden Prozesse im Detail nachbilden kann, sondern immer eine Abstraktion der Wirklichkeit darstellt, ermöglicht solch eine Untersuchung in den kleineren Gebieten die Identifizierung derjenigen relevanten Prozesse, die gerade in den Quellgebieten zur Hochwasserentstehung beitragen. Diese können dann durch eine verbesserte Modellbeschreibung im Modell vertieft umgesetzt werden.

Solch eine Abstraktion der Wirklichkeit ist in LARSIM z.B. die Berechnung der Abminderung der Verdunstung auf Basis der Sättigung des Bodenspeichers, die somit für alle Bodenarten gleich erfolgt. Der Einfluss unterschiedlicher Landnutzungen bzw. Bodenarten innerhalb einer Rasterfläche wird durch das in LARSIM enthaltene Verfahren zur Erfassung subskaliger Strukturen („Landnutzungskompartimente“ innerhalb der Rasterflächen) entsprechend den jeweiligen Flächenanteilen innerhalb jeder einzelnen Rasterfläche berücksichtigt. In der Natur steuert das Matrixpotential die Abminderung der Verdunstung in unterschiedlichen Bodenarten unterschiedlich, es liegt also in LARSIM eine stark vereinfachte Prozessabbildung vor.

Für die verbesserte Darstellung der Abflussbildungsprozesse in LARSIM kann z.B. die Einführung eines Bodenspeichers mit 2 bis 3 Schichten und des Matrixpotentials als zusätzliche Variable geprüft werden. Der Zusammenhang zwischen Sättigung und Matrixpotential kann für typische Böden mittels Pedotransferfunktionen (z.B. Rawls and Brakensiek, 1989; Carsel and Parrish, 1988) und geeigneten bodenhydraulischen Funktionen in Form typischer Kurven beschrieben werden.

Um die Simulation von Hortonscher Abflussbildung zu verbessern, wird die Infiltration in den Mehrschichtbodenspeicher mittels eines modifizierten Ansatzes von Green and Ampt (1911) beschrieben. Als treibende Größe wird nicht wie im Original das Sättigungsdefizit, sondern der Gradient des Matrixpotentials an der Feuchtefront ausgewertet, was wesentlich realistischer ist und eine Differenzierung hinsichtlich der unterschiedlichen Böden erlaubt. In diesem Ansatz lässt sich die Wirkung von Makroporen entweder über ein Schwellenwertkonzept (Zehe and Blöschl, 2004) oder wie von Niehoff et al. (2001) vorgeschlagen, mittels eines schnell dränierenden Speichers berücksichtigen. Aufgrund der hohen räumlichen Variabilität von Abflussbildung und Bodenparametern in den

untersuchten Quellgebieten wird geprüft, ob eine feinere räumliche Modellauflösung zu besseren Ergebnissen führt.

#### **AP 4 HW-Management insbesondere Optimierung von Talsperrensteuerung auf Basis verbesserter Vorwarnung und Vorhersage**

##### **AP 4.1 Quantifizierung der möglichen Schäden unterhalb der Talsperren für unterschiedliche Trainingsszenarien auf Basis der langfristigen Abflussvorhersagen aus AP 3.2 und für unterschiedliche Trainingsszenarien aus AP 4.2**

Auf Basis der Langfristvorhersagen des Niederschlag-Abflussgeschehens aus AP 1.1. und AP 3.2 werden die Möglichkeiten analysiert, das Hochwasserrisiko unterhalb der Talsperren durch eine optimale Steuerung zu reduzieren. Auf Grundlage der Vorhersagen der Speicherzuflüsse und der Unsicherheiten wird versucht, Speicherinhalt und Stauhöhen und die daraus resultierenden Abflüsse aus dem Speicher (gesteuerte Wildbettaabgaben, ungesteuerte Überläufe aus der Hochwasserentlastung) optimal anzupassen. Die gewonnenen Daten werden dem Landeshochwasserzentrum zur Verfügung gestellt, um für die Gebiete unterhalb der Talsperren entsprechende Abflussprognosen erstellen zu können. In Zusammenarbeit mit der Landestalsperrenverwaltung werden Empfehlungen zur Steuerung der Talsperren abgeleitet. Auf Grund der Konkurrenz zwischen den verschiedenen Nutzungen einer Talsperre (Hochwasserschutz, Trinkwasserversorgung, Niedrigwasseraufhöhung, Energieerzeugung, touristische Nutzung) ist die Talsperrensteuerung eine Optimierungsaufgabe. Daher ist die Quantifizierung der Schäden, die sich für die unterschiedlichen Nutzer und die anliegenden Ortschaften unterstrom aus der Talsperrensteuerung ergeben, unerlässlich. Insbesondere bei Trinkwassertalsperren sind höchste Anforderungen an die Genauigkeit von Niederschlags- und Abflussprognosen für die Talsperrensteuerung zu stellen, damit die öffentliche Trinkwasserversorgung zu keiner Zeit gefährdet ist. Ein weiteres Problem stellen mögliche Schäden durch Talsperrenvorentlastung dar, für die es im Falle von Fehlprognosen keine Rechtfertigung gibt (Haftungsproblem).

Die Schadenabschätzung umfasst direkte ökonomische Schäden sowie die Gefährdung von Personen. Indirekte Schäden werden partiell ermittelt. Die Abschätzung der direkten ökonomischen Schäden umfasst den privaten Sektor (private Wohngebäude und Unternehmen) sowie Infrastrukturschäden von kommunalen Einrichtungen und Landeseinrichtungen. Hierzu werden relative Schadenmodelle (prozentuale Schädigung bei Überflutung) und Wertekataster (Werte der exponierten Objekte in €) eingesetzt. Das Schadenmodell basiert auf einer Schadendatenbank des GFZ Potsdam (Informationen zu Schäden und schadenbeeinflussenden Faktoren von 1697 Haushalten und 415 Unternehmen vom Hochwasser im August 2002), der HOWAS-Datenbank des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft und weiteren Informationen über Hochwasserschäden (z.B. Angaben zum Pfingsthochwasser 1999 an der Donau).

Zur Erstellung des Wertekatasters werden die Gebäudewerte der Wirtschaftssektoren (Privathaushalte, Industrie und Gewerbe, öffentlicher Sektor, Landwirtschaft) auf Grundlage der Normalherstellungskosten des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (BMVBW, 2001) bzw. Kosten aus offiziellen Wertermittlungsrichtlinien in Kombination mit dem Gebäudebestand pro PLZ-Zone/Gemeinde (z.B. nach Angaben der amtlichen Statistik oder INFAS-Daten) abgeschätzt. Die Abschätzung des Inventars von Gewerbe und Industrie erfolgt auf Grundlage offizieller Daten zum Kapitalstock und der Landnutzung nach dem Europäischen System der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung (ESVG 1995). Zur Werteabschätzung des Inventars von Privathaushalten werden durchschnittliche Versicherungssummen pro m<sup>2</sup> Wohnfläche herangezogen. Hierzu werden Ergebnisse des Projekts „Risikokarte Deutschland“ des Centre for Disaster Management and Risk Reduction Technology (CEDIM) genutzt. Direkte Hochwasserschäden an Gewässern und Hochwasserschutzanlagen, an der Verkehrsinfrastruktur sowie Ertragsausfälle der Landwirtschaft werden über Einheitswerte (z.B. Schaden in € pro km betroffene Kreisstraße, Schaden in € pro ha betroffene Ackerfläche) abgeschätzt.

Methoden zur ökonomischen Schadenabschätzung liegen vor und müssen auf die Zielgebiete übertragen werden. Außerdem ist eine enge Zusammenarbeit mit dem im Rahmen der BMBF-Fördermaßnahme beantragten Projekt „Methoden und Werkzeuge für ein kosteneffizientes Hochwassermanagement: Verbesserte Ansätze zur Abschätzung ökonomischer Schäden“ sowie dem Projekt „Weißeritz Regio“ geplant.

Die mögliche Gefährdung von Personen wird beispielhaft für ausgewählte Siedlungsbereiche analysiert. Durch Kombination von Überflutungshöhe und Fließgeschwindigkeit werden Flächen ausgewiesen, in denen eine Personengefährdung besteht. Hierzu wird auf bestehende Empfehlungen (z.B. Bureau of Reclamation (1988), RESCDAM, FEMA) zurückgegriffen. Sollten die für die ausgewählten Siedlungsbereiche vorliegenden hydraulischen Berechnungen zur Identifizierung von lokalen Bereichen hoher Fließgeschwindigkeiten nicht ausreichen, werden diese um eine 2-dimensionale hydrodynamische Modellierung ergänzt.

An der oberen Donau wird weiterhin die Steuerung des 4,7 Mio. m<sup>3</sup> großen Hochwasserrückhaltebeckens (HRB) optimiert. Dazu werden mit LARSIM in der verbesserten Prozesskonfiguration und unter Nutzung gemergter Radarniederschläge historische Hochwasser simuliert und die Steuerung des HRB durchgespielt. Für historische Hochwässer sind die Zuflussganglinien und damit die optimale Steuerung des Hochwasserrückhaltebeckens natürlich bekannt. Aus den genannten Szenarien erhält man andererseits die Steuerung des Beckens, die auf Basis vorhergesagter Niederschläge und Zuflüsse durchgeführt würde. Durch einen systematischen Vergleich sollen verbesserte Regeln zur Steuerung des HRB abgeleitet werden.

#### **AP 4.2 Ermittlung synthetischer Niederschlagsreihen für die Talsperrensteuerung im Rahmen von Trainingsläufen**

Zusätzlich zu den Steuerungsszenarien auf Basis historischer Langfristvorhersagen werden synthetische Niederschlagszeitreihen langer Zeitreihen von Stationsniederschlägen ermittelt. Im Projektkonsortium liegen hierzu umfangreiche Erfahrungen z.B. im Zuge des vom BWPLUS geförderten NiedSim-Projektes vor. Darauf folgen Niederschlags-Abfluss-Simulationen dieser Szenarien, die als Eingangsdaten für die Optimierung der Talsperrensteuerung dienen. Anhand dieser Daten, der ermittelten Schadenspotenziale und der teilweise miteinander konkurrierenden Nutzungsziele der Talsperren wird eine Optimierung hinsichtlich eines „Multiobjective Decision Making“ durchgeführt. Ein weiterer Schwerpunkt ergibt sich aus der schon erwähnten Einbeziehung der Vorhersagequalität des Niederschlags in den Optimierungs- und Entscheidungsprozess.

### **AP 5 Training, Schulung und Umsetzung**

#### **AP 5.1 Bereitstellen von Schulungseinheiten und Mitarbeit bei Alarmplänen**

Während der Projektlaufzeit erfolgt eine Schulung und Einführung der verantwortlichen Behörden in die verwendete (z.T. neue) Software zur raumvariablen Niederschlagsbestimmung und der eingesetzten Abflussmodelle und deren operationelle Umgebung. Am Ende des Projekts werden die entwickelten operationellen Vorhersagewerkzeuge an den Vorhersagezentralen und beim DWD in enger Kooperation mit beteiligten Institutionen implementiert. In der Zusammenarbeit mit dem Projekt „Kooperatives Hochwasserrisikomanagement unter Verwendung eines Umweltinformationssystems – am Beispiel des Flusseinzugsgebietes der Weißeritz“ (IÖR Dresden) wird unter anderem die Erarbeitung des Umweltinformationssystems zur Unterstützung von Hochwassermanagement-Entscheidungsprozessen (Ausarbeitung von Alarmplänen) für die Weißeritz hydrologisch fachlich begleitet. Zudem ist eine Demonstration der Möglichkeiten der zu entwickelnden Verfahren bei den zuständigen Stellen der Stadt Tübingen (gefährdet durch Hochwasser des Goldersbachs) vorgesehen. Aus diesen Demonstrationen lassen sich Möglichkeiten zur weiteren (evtl. kommerziellen) Nutzung und Weiterverbreitung der Verfahren ableiten.

## **AP 5.2 Durchspielen von Trainingsszenarien für die Talsperrensteuerung**

Dieser Themenblock baut insbesondere auf AP 4.1 auf und hilft, diese in die Praxis umzusetzen. Einerseits betrifft dies die Vorhersagezentralen, und andererseits werden die im Themenblock 4.2 erstellten Niederschlags-Abflussszenarien als Trainingseinheiten für den Talsperrenbetreiber und die im Hochwasserfall darüber hinaus involvierten Institutionen genutzt. Die direkt mit Talsperrensteuerung befassten, am Projekt beteiligten Institutionen (LTV, LFW) treffen sich im Rahmen eines Workshops und spielen beruhend auf den Erfahrungen aus bisherigen Ereignissen gemeinsam, aber mit den jeweils in den Behörden genutzten Werkzeugen, Szenarien durch und lernen damit voneinander. Die vorhandenen Trainingswerkzeuge werden weiter ausgebaut, so dass sämtliche Schritte - beginnend von der Vorwarnung vor HW-auslösenden Wetterbedingungen und Gebietszuständen, über die tatsächliche Niederschlagsvorhersage, der HW-Frühwarnung, angepasste Talsperrensteuerung, Darstellung der Überschwemmungsgebiete bis zu möglichen Maßnahmen zur Risikominderung - für verschiedene (historisch bereits abgelaufene und/oder fiktive) extreme Hochwasserereignisse dargestellt werden. Die Steuermaßnahmen sind dabei vom Nutzer wählbar. Den synthetischen Niederschlagszeitreihen aus AP 4.2 kommt dabei besondere Bedeutung zu:

- Die Zeitreihen sollten, um den Datenumfang zu limitieren, stationsbezogen aber räumlich und zeitlich korreliert sein. Besonders wichtig ist, dass extreme Niederschlagsereignisse statistisch korrekt simuliert werden.
- Der Vorteil synthetischer Reihen liegt darin, dass der Anwender sie im Gegensatz zu historischen Hochwassern nicht schon vorher kennt.
- Die Generierung soll für beliebige Gebiete möglich sein und auf gemessenen Stationsdaten aufbauen

Die Meilenstein- und Zeitplanung für die Arbeitspakete und Themenblöcke des Vorhabens wird in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Pos	Arbeitspaket/ Themenblock/Meilenstein	Jahr 1				Jahr 2				Jahr 3			
		I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
<b>0</b>	<b>Projektkoordination</b>												
<b>0.1</b>	<b>Koordination des Gesamtprojektes und Abstimmung der Teilprojekte</b>												
<b>1</b>	<b>Vorwarnung vor kritischen atmosphärischen Situationen und kritischen Gebietszuständen</b>												
<b>1.1</b>	<b>Vorwarnung über kritische Wetterlagen u. Langfristvorhersagen von Stationsniederschlägen</b>												
	Identifikation hochwasserrelevanter Wetterlagen auf Basis von Re-Analysedaten												
	Anpassung und Verbesserung des stochastischen Niederschlagsmodells auf Basis historischer Stationsdaten und Wetterlagenzeitreihen												
	Berücksichtigung zusätzlicher Vorhersagegrößen wie der Advektion von Wasserdampf für die Niederschlagsvorhersage, Langzeitprognosetests und Quantifizierung der Unsicherheiten												
	Implementierung des Modells bei Behörden												
	Anpassung des Expanded Downscaling an Zielgebiete auf Basis historischer Vorhersagen des ECMWF & GME												
	Langzeitprognosen historischer Stationsniederschläge auf Basis historischer Ensemblevorhersagen, Quantifizierung der Unsicherheiten												
	Einteilung der Niederschlagsvorhersagen in Cluster mit unterschiedlicher Wahrscheinlichkeit												
<b>1.2</b>	<b>Schätzung und Integration der Gebietsbodenfeuchte</b>												
	Aufbau des Messnetzes (Bodenfeuchtemesscluster und Niederschlagsschreiber), kontinuierliche Messung und Analyse der Bodenfeuchtebeobachtung												
	Vorbereitung und Durchführung der Befliegungskampagnen E-Sar/Flugzeug												
	PoSAR und PolInSAR- Prozessierung der Daten												
	Invertierung zur quantitativen Bodenfeuchtebestimmung, Trennung der Boden- und Pflanzenfeuchte												
	Auswertung von Satellitendaten auf Basis der Ergebnisse aus der Flugzeugkampagne												
	Anpassung des Prozessmodells CATFLOW auf Basis der Bodenfeuchtedaten, Abflussdaten, Niederschlagsdaten als dynamischem Interpolator für die Bodenfeuchte												
	Vergleichende Simulation zwischen LARSIM und CATFLOW im Beobachtungszeitraum zur Ableitung einer funktionellen Beziehung zwischen beobachteter Feuchtedynamik und der Sättigung des Bodenspeichermoduls ins LARSIM												

<b>1.3 Erfassung der Schneedecke und Integration in die hydrologische Modellierung</b>																						
	Aufbau des Messnetzes (Schneekissen, Schneetemperatur und Schneefeuchte) kontinuierliche Messung und Analyse der Schneebedeckung und des Schneezustands																					
	Auswertung von Satellitenaufnahmen zur Ermittlung der Schneedeckenausdehnung																					
	Aufbau eines Schneemodells als dynamischen Interpolator																					
	Verfahren zur modellgestützten Schätzung von Zustand und Ausdehnung der Schneedecke auf Basis lokal kontinuierlicher Daten und Satellitendaten																					
<b>2 Operationelle Schätzung und Kurzfristvorhersage des Gebietsniederschlags</b>																						
<b>2.1 Operationelle N-Schätzung für den Simulationsbetrieb auf Basis von Niederschlagsradar</b>																						
	Defizitanalyse des Online Mergingverfahrens von Niederschlagsradar und Bodenniederschlag																					
	Technische Verbesserung des Mergingverfahrens (Erhöhung der Rechengeschwindigkeit etc.)																					
	Verbesserung der Schätzung der Niederschlagsintensität durch geeignete Filter																					
	Verbesserte Repräsentation kleinräumiger Niederschlagsvariabilität durch Blockkriging																					
	Verbesserte Schätzung der Advektion durch raumzeitliche Interpolation																					
	Operationalisierung des verbesserten Merging und Implementierung entsprechender Programme bei den Landesbehörden																					
<b>2.2 Operationelle Niederschlags-Kurzfristvorhersage auf Basis von Niederschlagsradar</b>																						
	Defizitanalyse des RADVOR-Verfahrens und des SCM-Verfahrens zur radargestützten Kurzfristvorhersage des Niederschlags																					
	Technische Verbesserung der Verfahren (Erhöhung der Rechengeschwindigkeit etc.)																					
	Verbesserung der Vorhersage der Niederschlagsintensität auf der Bildskala durch niederschlagstypenabhängige Matrizen																					
	Berücksichtigung orographischer Effekte bei Vorhersage der Advektion																					
	Kalmanfilter zur lokalen Korrektur der LM-Vorhersagen																					
	Operationalisierung der verbesserten Kurzfristvorhersage und Installation der Programme bei den Landesbehörden																					
<b>3 Operationelle Vorhersage und Langfristvorhersage des Abflusses</b>																						
<b>3.1 Neukalibrierung der operationellen NA-Vorhersagemodelle für den Betrieb mit hochaufgelöstem Niederschlagsinput</b>																						
	Neuanpassung von LARSIM in alter Prozesskonfiguration auf Basis von Radarniederschlägen für die obere Iller, obere Donau und den Goldersbach.																					





	Assimilationsverfahren zur Berücksichtigung des Bodenfeuchtezustandes für das Wasserhaushaltsmodell																				
	Assimilationsverfahren zur Berücksichtigung des Schneeszustandes für das Wasserhaushaltsmodell																				
	Test der weiterentwickelten LARSIM-Modellversion, Implementierung bei Landesbehörden																				
<b>4</b>	<b>HW-Management: Optimierung der Talsperrensteuerung</b>																				
<b>4.1</b>	<b>Quantifizierung der möglichen Schäden aus der Talsperrensteuerung auf Basis der langfristigen Abflussvorhersagen für Szenarien</b>																				
	Durchspielen der Steuerung auf Basis von Langfristvorhersagen (aus AP 1.1 und 3.2), der 2002 tatsächlich getätigten Vorhersage und dem tatsächlichen Ablauf der Ereignisse																				
	Vergleich der Schäden und der Kosten für unterschiedliche Steuerungsziele																				
	Optimierung der Hochwassersteuerung																				
	Durchspielen der Steuerung des HRB obere Donau mit neuer LARSIM-Version und gemergten Radarniederschlägen für historische Hochwässer																				
	Verbesserte Regeln zur Steuerung des HRB obere Donau durch Vergleich der Steuerungsszenarien und der tatsächlich optimalen Steuerung																				
<b>4.2</b>	<b>Synthetische Niederschlagsreihen für die Talsperrensteuerung für Trainingsläufe</b>																				
	Anpassen von NIEDSIM auf Basis von Stationsniederschlägen an die Iller, Weißeritz und obere Donau																				
	Generierung von langen Niederschlagsreihen und Auswahl extremer Ereignisse unterschiedlicher Art für die Steuerung																				
<b>5</b>	<b>Training und Schulung</b>																				
<b>5.1</b>	<b>Bereitstellen von Schulungseinheiten und Mitarbeit bei Alarmplänen</b>																				
	Schulung und Einführung der verantwortlichen Behörden in die verwendete (z.T. neue) Software zur raumvariablen Niederschlagsbestimmung und der eingesetzten Abflussmodelle und deren operationelle Umgebung																				
	Implementierung der entwickelten operationellen Vorhersagewerkzeuge an den Vorhersagezentralen und beim DWD																				
<b>5.2</b>	<b>Durchspielen von Trainingsszenarien für die Talsperrensteuerung</b>																				
	Szenarien-Workshop auf Basis der bisher in den Behörden genutzten Werkzeugen																				
	Szenarien-Workshop auf Basis der weiterentwickelten Werkzeuge unter Nutzung der synthetischen Niederschlagszeitreihen																				

## IV. Verwertungsplan

### **Wirtschaftliche Erfolgsaussichten**

Die wirtschaftlichen Erfolgsaussichten des vorgeschlagenen Vorhabens sind wegen der bedarfsorientierten Zielstellung des Vorhabens außerordentlich gut. Im Rahmen der Projektvorphase wurden die wichtigsten Defizite der operationellen Hochwasservorhersage durch die Hochwasservorhersagezentralen Baden-Württemberg, Bayern und Sachsen, den DWD sowie die beteiligten Universitäten und Forschungsinstitute identifiziert. Das vorgeschlagene Vorhaben zielt direkt auf die Klärung dieser offenen wissenschaftlichen Fragen. Im Rahmen des vorgeschlagenen Vorhabens werden die Verfahren und Vorhersagewerkzeuge verbessert, die auch tatsächlich an den jeweiligen Vorhersagezentren Baden-Württemberg, Sachsen und Bayern (Iller/Lech) sowie dem DWD zur operationellen Niederschlags- und Abflussvorhersage sowie zur Talsperrensteuerung angewendet werden. Daraus ergibt sich die Chance, die Frühwarnung vor Hochwasserereignissen in Quellgebieten äußerst effizient zu verbessern – sowohl bezüglich der Genauigkeit als auch bezüglich der Vorwarnzeit. Dies bedeutet eine entscheidende Minderung der Vulnerabilität, da schneller und angemessener auf drohende Hochwasserereignisse reagiert werden kann. Zusammen mit der möglichen Anpassung der Talsperrensteuerung und anderen Managementoptionen lässt dieses Projekt damit eine äußerst effiziente Minderung des Hochwasserrisikos in Quellgebieten erwarten. Auch in den unterstrom liegenden Flussabschnitten, die dann größere (und auch flachere) Einzugsgebietsbereiche betreffen, ist eine deutliche Risikominderung zu erwarten.

### **Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten**

Die zielorientierte Zusammenarbeit zwischen Endnutzern und Forschungsinstitutionen führt zu hohen wissenschaftlichen Erfolgsaussichten. Die Weiterentwicklung und Verbesserung der Vorhersagewerkzeuge und -verfahren erfolgt in enger Zusammenarbeit zwischen den führenden Hochwasservorhersagezentren Baden-Württemberg, Bayern und Sachsen, dem DWD und führenden Forschungsinstitutionen im Bereich Hochwasser und Niederschlag-Abflussmodellierung. Darüber hinaus garantiert die Mitwirkung des Ingenieurbüros Dr.-Ing. Karl Ludwig, dass z.B. Verbesserungen in der Beschreibung der Abflussbildung professionell in das in Bayern, Baden-Württemberg und Sachsen verwendete hydrologische Modell LARSIM direkt implementiert werden. Die verbesserten Vorhersagesysteme werden zum Ende des Projekts an allen Vorhersagezentren implementiert und die entsprechenden Mitarbeiter werden in die operationelle Nutzung der Werkzeuge eingeführt. Insofern ist die praktische Umsetzung und Nutzung der im Rahmen dieses Vorhabens weiterentwickelten Werkzeuge garantiert.

### **Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit**

Durch die Zusammenarbeit mit ergänzenden Vorhaben ergeben sich enorme Synergieeffekte. Die beteiligten Wissenschaftler sind allesamt in weitere Forschungsvorhaben zu den Themenkomplexen Hochwasser, Niederschlagsvorhersage und Niederschlagsradar eingebunden, die das beschriebene Vorhaben z.T. sehr gut ergänzen. Daraus erwächst ein erhebliches Potential für Synergien und Wissenstransfer zwischen zur Zeit durch die EU und das BMBF geförderten und dem hier beantragten Vorhaben.

Durch die Kooperation mit dem DWD ist neben meteorologischem Fachwissen auch die Bereitstellung von für die Projektarbeiten notwendigen Daten gesichert. Dies umfasst Wettervorhersagen in Echtzeit mit den folgenden Modellen LM, GME, GMOS und ECMWF, sowie das angeeichte und nicht angeeichte quantitative Komposit des DWD Radarverbundes. Des Weiteren können die Nie-

derschlagsdaten aus den gemeinsamen Messnetzen der Länder und des DWD, sowie relevante Abflussdaten für die Projektarbeiten genutzt werden.

## V. Arbeitsteilung / Zusammenarbeit mit Dritten

### Arbeitsteilung

Das Projekt soll in enger Zusammenarbeit zwischen den Universitäten Potsdam und Stuttgart, dem PIK und dem GFZ, privaten Ingenieurbüros sowie den Hochwasserzentralen bzw. Talsperrenverwaltungen der Länder Sachsen, Baden-Württemberg, und Bayern sowie dem DWD durchgeführt werden. Wir erwarten dadurch einen direkten Transfer neuer Methoden in die Praxis, sowie umgekehrt eine andauernde Zielorientierung der wissenschaftlichen Arbeit an den tatsächlichen Belangen und Problemen vor Ort. Zudem kann durch die in Baden-Württemberg und z.T. Bayern bereits teilweise in Erprobung befindlichen, verbesserten Vorhersagemethoden deren Einsetzbarkeit für das Erzgebirge (und letztlich auch andere Regionen) getestet und gegebenenfalls die Übertragung vorbereitet werden.

Die Arbeitsteilung zwischen den Verbundpartnern in den Arbeitspaketen des Projektes geben die Tabellen im Anhang 3 wieder.

### Kooperation mit anderen Projekten bzw. Projektvorhaben

Die Projektteilnehmer sind in verschiedene Drittmittelaktivitäten involviert, die die hier vorgesehenen Arbeiten sinnvoll ergänzen. Zu nennen sind hier insbesondere das

- integrierte EU-Projekt *Floodsite* (Koordination: HR-Wallingford, UK; Univ. Potsdam: Teilprojekt), in welchem ein übergreifendes Konzept für ein integriertes Risikomanagement angestrebt wird. Frühwarnung und Vorhersage, insbesondere in Quellgebieten sind aber nicht Bestandteil dieses Projekts. Eine Zusammenarbeit wird insbesondere bei der Entwicklung von Trainingsmodulen erwartet.
- DFG Schwerpunktprogramm 1167 "Quantitative Niederschlagsvorhersage". Dieses SPP ist eine Initiative der meteorologischen "wissenschaftlichen Community" Deutschlands und hat u.a. zum Ziel, die klassische Wettervorhersage insbesondere bzgl. des Niederschlags zu verbessern. Dafür werden eine Reihe methodischer und messtechnischer Forschungen durchgeführt. Eine direkte, exemplarische Umsetzung für die Hochwassersimulation findet aber nicht statt. Von daher wird bzgl. der Nutzung der mittelfristigen Niederschlagsvorhersage eine Kooperation mit dem SPP 1167 angestrebt, welche aber zum heutigen Zeitpunkt noch nicht verabredet werden konnte.

Besondere Synergieeffekte werden sich auch durch die Mitwirkung der beteiligten Behörden an den Projekten INTERMET, RADOLAN und INFERNO ergeben:

- Im Rahmen von INTERMET (Räumliche Interpolation Meteorologischer Parameter, Teil des EU-Programms Interreg IIIb) und RADOLAN (Routineverfahren zur Onlineaneicherung der Radarniederschlagsdaten mit Hilfe von automatischen Bodenniederschlagsstationen) wurden die Grundlagen für die geplanten Arbeiten in AP 2.1 gelegt. Die vorgeschlagenen Arbeiten stellen daher eine wichtige Weiterentwicklung des bestehenden Mergingverfahrens dar, die in vollem Umfang in den operationellen Betrieb an den Hochwasservorhersagezentralen und dem DWD eingehen wird.

- Im Rahmen von INFERNO ist die LfU Baden-Württemberg an der Schätzung von der flächigen Verteilung von Schneebedeckung und Bodenfeuchte durch eine Kombination aus Fernerkundung und Wasserhaushaltsmodellierung beteiligt.
- Dr. Ehret (LfW Bayern) ist außerdem maßgeblich beteiligt an der Umsetzung der Ergebnisse von MAP-FDP (Mesoscale Alpine Project, Forecast Demonstration Project), einem europäischen Projekt zum operationellen Betrieb und Vergleich von meteorologischen Modellen im Alpenraum, in die Praxis.
- Über die LfU Baden-Württemberg erfolgt auch eine Vernetzung mit dem IIIB-Projekt TIMIS (Transnational Information System on flooding), welches u.a. die Entwicklung bzw. weitere Verbesserung eines Hochwasserfrühwarnsystems beinhaltet.
- Eine intensive Zusammenarbeit ergibt sich mit dem Deutschen Wetterdienst durch die Bearbeitung in den APs 1.1, 2.1 und 2.2, die Ergebnisse bisheriger Projekte des DWD aufgreifen und weiterentwickeln. Eine Kooperationsvereinbarung bezüglich der Nutzung der Daten des DWD und der gemeinsamen Bearbeitung liegt vor (siehe Anhang).
- Mit dem DLR, Institut für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme, wurde die Zusammenarbeit bei der Gewinnung von flugzeuggestützten Radaraufnahmen und deren Interpretation mit modernen Verfahren der Polarimetrie und Interferometrie bezüglich der Erfassung der Bodenfeuchte unter Vegetation und in tieferen Bodenschichten vereinbart.

Wichtige Kooperationen ergeben sich auch zu einigen Projekten des Forschungsprogramms des BMBF, in dem auch dieses Vorhaben beantragt wird:

- Mit dem am Lehrstuhl für Meteorologie der Technischen Universität Dresden (Prof. C. Bernhofer) angesiedelten Projekt EXTRA (ebenfalls im Rahmen der Förderaktivität „*Risikomanagement extremer Hochwasserereignisse*“) ist die Übergabe der in EXTRA ermittelten Extremniederschläge in die Abflussmodellierung in OPAQUE (u.a. WASIM-ETH, LAR-SIM), die im Rahmen von OPAQUE an die Bedingungen kleiner Einzugsgebiete/Quellgebiete angepasst wurden, vereinbart. Mit diesen Daten soll dann ein Extremszenario des Abflusses simuliert und die Modellergebnisse des Abflusses verglichen werden. Außerdem sollen die Extremniederschläge aus EXTRA neben den in OPAQUE erzeugten synthetischen Niederschlagszeitreihen herangezogen werden, um in der Simulation der Stauanlagenbewirtschaftung die Wirkung extremer Abflüsse auf die Stauanlage und das unterliegende Gewässer abzuschätzen. Des Weiteren wurde vereinbart, dass auf der Basis der Auswahl gleicher Testgebiete ein Vergleich der Ergebnisse der Ermittlung von Extremniederschlägen aus unterschiedlichen Ansätzen erfolgt. Ebenso soll eine koordinierte Zusammenarbeit mit den Landesbehörden Sachsens, insbesondere auch bei der Operationalisierung der Projektergebnisse, erfolgen.
- Die Zusammenarbeit mit dem Projekt des IÖR Dresden „Kooperatives Hochwasserrisikomanagement unter Verwendung eines Umweltinformationssystems – am Beispiel des Flusseinzugsgebietes der Weißeritz“ hat die wissenschaftliche Begleitung des Kooperationsprozesses von Gemeinden, Landkreis, Fachbehörde und Interessensverbänden insbesondere auf dem Gebiet der Veranschaulichung des Niederschlags- und Abflussgeschehens im Ereignisfall zum Inhalt. Es ist ein Daten- und Informationsaustausch mit diesem Projekt vorgesehen. So können die im vorliegenden Projekt entwickelten Schadensszenarien in das Umwelt-Informationssystem „Weißeritz-Info“ eingebunden und Methoden zur Schadenabschätzung verglichen werden.

Im Bereich des Erzgebirges sollten zudem auch einige kürzlich angelaufene Projekte, wie das INTERREG IIIb-Projekt ELLA "ELBE - LABE: Vorsorgender Hochwasserschutz durch transnationale Raumordnung" genannt werden, zu denen hauptsächlich Anknüpfungspunkte bei der Erarbeitung von Gefahrenkarten (im Gebiet der Weißeritz) bestehen.

Es wird letztlich darauf hingewiesen, dass den Antragstellern die aktuellen, **thematisch relevanten Projekte des 6. EU-Rahmenprogramms bekannt sind, und dass unser Anliegen in keinem dieser Projekte bereits angegangen ist**. Das vorgeschlagene Vorhaben ließe sich nicht im Rahmen eines EU-Projektes (weder durch das 6. FP noch durch die Regionalförderung) verwirklichen.

## VI. Notwendigkeit der Zuwendung

Die Antragsteller des dargestellten Forschungsvorhabens verfügen bis auf die technische Ausstattung über keine Ressourcen, die die Realisierung des Vorhabens ermöglichen. Die beantragte Zuwendung ist somit erforderlich.

## Anhang 1: Publikationen der Antragsteller zum Themenbereich der Skizze

### Rezensierte Artikel der Antragsteller

- Apel, H., **A.H. Thielen**, **B. Merz**, G. Blöschl (2004): Flood Risk Assessment and Associated Uncertainty. - *Natural Hazards and Earth System Sciences* 4: 295-308.
- Apel, H., **A.H. Thielen**, **B. Merz**, G. Blöschl: A probabilistic modelling system for assessing flood risks. - Accepted at *Natural Hazards*, in press.
- Bárdossy, A.**, L. Duckstein and I. Bogárdi, 1995: Fuzzy rule-based classification of atmospheric circulation patterns, *International Journal of Climatology*, Vol.15, pp 1087-1097, 1995
- Bárdossy, A.** and Lehmann, W. (1995): Distribution of soil moisture in a small catchment, Part 1: Geostatistical Analysis. *J. Hydrol.*, 206: 1-15.
- Bárdossy, A.** (1998): Generating precipitation time series using simulated annealing, *Water Resources Research*, 34, 1737-1744.
- Bárdossy, A.**, Giese, H., Haller, B. and J. Ruf, 2000: Erzeugung synthetischer Niederschlagsreihen in hoher zeitlicher Auflösung für Baden-Württemberg, *Wasserwirtschaft*, 90, 548-553, 2000
- Bárdossy, A.**, J. Stehlik and H.-J. Caspary (2002): Automated objective classification of daily circulation patterns for precipitation and temperature downscaling based on optimized fuzzy rules, *Climate Research*, 23, 11-22.
- Bárdossy, A.** and F. Filiz, 2004: Identification of flood producing atmospheric circulation patterns, *Journal of Hydrology*, accepted for publication, 2004
- Bremicker, M.** (2000): Das Wasserhaushaltsmodell LARSIM - Modellgrundlagen und Anwendungsbeispiele. Freiburger Schriften zur Hydrologie, Band 11. Institut für Hydrologie der Universität Freiburg.
- Bronstert A.** and **A. Bárdossy** (1999): The role of spatial variability of soil moisture for modelling surface runoff generation at the small catchment scale *Hydrology and Earth System Science*, 3, 505-516.
- Bronstert, A.**, Niehoff, D., Bürger, G. (2002): Effects of climate and land-use change on storm runoff generation: present knowledge and modelling capabilities. *Hydrological Processes*, 16(2), 509-529.
- Bronstert, A.** (2003): Floods and climate change: Interactions and impacts. *Risk Analysis*, 23(3), 545-557.
- Bronstert, A.**, Niehoff, D., Fritsch, U. (2003): Auswirkungen von Landnutzungsänderungen auf die Hochwasserentstehung. *Petermanns Geographische Mitteilungen*, 147(6), 24-33.
- Bronstert, A.**, Lahmer, W., Krysanova, V. (2003): Klimaänderung in Brandenburg und Folgen für den Wasserhaushalt. *Naturschutz und Landschaftspflege in Brandenburg*, 12(3), 72-79.
- Bürger, G.** (1996): Expanded downscaling for generating local weather scenarios. *Climate Research*, 7, 111-128.
- Bürger, G.** (2002): Selected precipitation scenarios across Europe. *Journal of Hydrology*, 262, 99-110.
- Bürger, G.**, Chen, Y, (2005): Regression-based downscaling of spatial correlations with hydrologic applications. *Journal of Hydrology*, in press.
- Ehret, U.** (2002): Niederschlags- und Abflussvorhersage für das Einzugsgebiet des Goldersbaches. Abschlussbericht, Institut für Wasserbau der Universität Stuttgart.
- Grünthal, G., **A.H. Thielen**, J. Schwarz, K. Radtke, A. Smolka, **B. Merz** (2005): Comparative risk assessment for the city of Cologne, Germany – storms, floods, earthquakes. - Accepted at *Natural Hazards*, in press.
- Kreibich, H., **A.H. Thielen**, Th. Petrow, M. Müller, **B. Merz**: (2005): Flood loss reduction of private households due to building retrofitting - Lessons learned from the Elbe floods in August 2002. - *Natural Hazards and Earth System Sciences* 5: 117-126. SRef-ID: 1684-9981/nhess/2005-5-117.
- Kreibich, H., Th. Petrow, **A.H. Thielen**, M. Müller, **B. Merz** (2005): Consequences of the extreme flood event of August 2002 in the city of Dresden, Germany. *IAHS Publication* 293: 164-173.

- Itzerott, S.**, Müller, D., **Kaden, K.** (2004): Klassifikation agrarischer Nutzungen unter Verwendung spektraler Normkurven. *Hallesches Jahrb. Geowiss., R. A26*, 79 - 96
- Kundzewicz, Z.W., Budhakooncharoen, S., **Bronstert, A.**, Hoff, H., Lettenmaier, D., Menzel, L., Schulze, R. (2001): Coping with Variability and Climate Change: Floods and Droughts. *Natural Resources Forum*, 26 (4), 263-274.
- Menzel, L., A.H. Thielen**, D. Schwandt, **G. Bürger** (2005): Impact of climate change on the regional hydrology – scenario based modelling studies in the German Rhine catchment. – Accepted at *Natural Hazards*, in press.
- Menzel, L., **G. Bürger** (2002): Climate change scenarios and runoff response in the Mulde catchment (Southern Elbe, Germany). *J. Hydrol.*, **267**, 53-64.
- Menzel, L., Niehoff, D., **Bürger, G., Bronstert, A.** (2002): Climate change impacts on river flooding: A modelling study of three meso-scale catchments. In: Beniston, M (ed.): *Climatic Change, Implications for the Hydrological Cycle and for Water Management. Advances in Global Change Research*, Vol. 10, 249-269.
- Merz, B., A.H. Thielen** (2005): Separating Aleatory and Epistemic Uncertainty in Flood Frequency Analysis. – Accepted at *Journal of Hydrology* (doi:10.1016/j.jhydrol.2004.11.015), in press.
- Merz, B.** and Plate, E. J. (1997): Analysis of the effect of spatial variability of soil and soil moisture on runoff. *Water Resources Res.*, Vol. 33, 12, 2909 – 2922.
- Merz, B., M. Gocht** (2003): Karten für die Hochwasservorsorge und das Risikomanagement auf der lokalen Skala. *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung*, 47(5), 186-194.
- Merz, B., A.H. Thielen** (2004): Flood risk analysis: Concepts and challenges. - *Österreichische Wasser- und Abwasserwirtschaft* 56(3-4): 1-9.
- Merz, B., H. Kreibich, A. Thielen, R. Schmidtke** (2004): Estimation uncertainty of direct monetary flood damage to buildings. - *Natural Hazards and Earth System Sciences* 4(1): 153-163.
- Müller-Wohlfeil, D.-I., **Bürger, G.**, Lahmer, W. (2000): Response of a River Catchment to Climatic Change: Application of Expanded Downscaling to Northern Germany. *Climatic Change*, **47**, 61-89.
- Niehoff, D., **Bronstert, A.** (2001): Influences of land-use and land-surface conditions on flood generation: A simulation study. In: J. Marsalek et al. (eds.), *Advances in Urban Stormwater and Agricultural Source Controls. NATO Science Series IV. Earth and Env. Sciences*; Kluwer Academic Publishers, 267-278.
- Samaniego, L. and **A. Bárdossy** (2005): Robust parametric models of runoff characteristics at the mesoscale, *Journal of Hydrology*, 303, 136—151, 2005
- Singh, A., **Zehe, E., Bárdossy, A.** (2005): Downscaling atmospheric circulation for monsoon rainfall forecasting in India. Accepted for Proceedings of IAHS meeting in 2005 in Foz d Igazu, Brasil, *IAHS Press, Wallingford, Oxon, U.K.* In press.
- Stehlik, J. and **Bárdossy, A.** (2002): Multivariate stochastic downscaling model for generating daily precipitation series based on atmospheric circulation, *Journal of Hydrology*, 256, 120-141.
- Zehe, E., Maurer, Th., Ihringer, J., Plate, E.** (2001): Modelling water flow and mass transport in a Loess catchment. *Phys. & Chem. of Earth, Part B*, Vol. 26 (7-8): 487 – 507.
- Zehe, E., Stehlik, J., Bárdossy, A.** (2003): Regionale Auswirkungen von Klimaänderungsszenarien auf den Wasserhaushalt und auf Hochwasser. In *Klima –Wasser – Flussgebietsmanagement im Lichte der Flut*, Kleeberg, H. B. *Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung*, Heft 04.03, 85-93.
- Zehe, E.** and Blöschl, G.: (2004). Predictability of hydrologic response at the plot and catchment scales – the role of initial conditions, *Water Resour. Res.*, 40: W10202.
- Zehe, E., Stehlik, J., Bárdossy, A.** (2004): Hydrologische Auswirkungen eines Klimaänderungs-szenarios im Rheineinzugsgebiet. *Österr. Wasser- und Abfallwirtschaft* 56 (7-8), 103-113.
- Zehe, E., Becker, R., Bárdossy, A., Plate, E.** (2005a): Uncertainty of simulated catchment scale runoff response in the presence of threshold processes: role of initial soil moisture and precipitation. Accepted at *Journal of Hydrology*.
- Zehe, E., H. Lee and M. Sivapalan** (2005b). Derivation of closure relations and commensurate state variables for mesoscale models using the REW approach. In: *Predictions in Ungauged Basins: INTER-*



NATIONAL PERSPECTIVES ON STATE-OF-THE-ART AND PATHWAYS FORWARD, Proceedings of the Australia-Japan Workshop on PUB Working Groups, Edited by S. W. Franks, M. Sivapalan, K. Takeuchi and Y. Tachikawa, *IAHS Press, Wallingford, Oxon, U. K.* In press.

### Bücher, Bände und Sonderhefte der Antragsteller

- Bárdossy, A.**, 1993: Stochastische Modelle zur Beschreibung der raum-zeitlichen Variabilität des Niederschlages, IHW, Heft 44, Karlsruhe, 1993
- Bárdossy, A.** and L. Duckstein, 1995: Fuzzy Rule-Based Modelling with Applications to Geophysical, Biological and Engineering Systems, CRC Press, Boca Raton, 1995
- Bronstert, A.**, Ghazi, A., Hladny, J., Kundzewicz, Z., Menzel, L. (Hrsg.) (1999): Proceedings of the European Expert Meeting on the Oder Flood 1997; 18 May 1998, Potsdam, Germany. European Commission, DG XII; Office for Official Publications of the European Communities, Luxemburg, 163pp.
- Bronstert, A.**, Bismuth, C., Menzel, L. (Hrsg.) (2000): Advances in Flood Research: Proceedings of the European Conference, Potsdam, 1-3 November 2000. PIK-Report, 65, 712pp.
- Bronstert, A.**, Menzel, L. (guest editors, 2002): Advances in Flood Research; Journal of Hydrology (special issue), 267 (1-2), 124pp.
- Bronstert, A., Bárdossy, A.**, Bismuth, C., Buiteveld, H., Busch, N., Disse, M., Engel, H., Fritsch, U., Hundecha, Y., Lammersen, R., Niehoff, D., Ritter, N. (2003): Quantifizierung des Einflusses der Landoberfläche und der Ausbaumaßnahmen am Gewässer auf die Hochwasserbedingungen im Rheingebiet. Reports of the Commission for Hydrology of the River Rhine (CHR), Series II, No. 18, 85pp.
- Grünewald, U., Kaltofen, M., Schümborg, S., **Merz, B.**, Kreibich, H., Petrow, T., **Thieken, A.**, Streit, W., Dombrowsky, W.R. (2003): Hochwasservorsorge in Deutschland. Lernen aus der Katastrophe 2002 im Elbegebiet. Eigenverlag des Deutschen Komitees für Katastrophenvorsorge e.V., Bonn, 144pp.
- Merz, B.**, H. Apel, (Hrsg., 2004): Risiken durch Naturgefahren in Deutschland. Abschlußbericht des BMBF-Verbundprojektes Deutsches Forschungsnetzwerk Naturkatastrophen (DFNK). Scientific Technical Report STR 04/01, GFZ Potsdam, 339 S.
- Plate, E., **Merz, B.** (2001): Naturkatastrophen: Ursachen - Auswirkungen - Vorsorge. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung

### Weitere zitierte Literaturstellen

- Arnaud, P., Bouvier, C., Cisneros, L., Dominguez R. (2002): Influence of rainfall spatial variability on flood prediction. *J. Hydrol.* 260 (1-4): 216 – 230.
- Bear, J. (1972): Dynamics of Fluids in Porous Media. New York, Elsevier, 762.
- Becker, R. (2004): Spatial Time Domain Reflectometry for Monitoring Transient Moisture Profiles. Dissertation am Institut für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik, Universität Karlsruhe.
- Bergström, S. (1995): The HBV-IWS model. In: Computer Models of Watershed Hydrology (ed. by V.P. Singh), 443-476. Water Resources Publications, Littleton, Colorado, USA.
- Beven, K.(1989): Changing ideas in hydrology - the case of physically based models, *J. Hydr.*, 105, 157-172.
- Beven, K.(2001): Rainfall-Runoff Modelling. The Primer. John Wiley, 359p.
- Beven, K. and Freer, J. (2001): Equifinality, data assimilation, and data uncertainty estimation in mechanistic modelling of complex environmental systems using the GLUE methodology. *J. Hydrol.* 249 (1-4).
- Bremicker, M. (2000): Das Wasserhaushaltsmodell LARSIM - Modellgrundlagen und Anwendungsbeispiele. Freiburger Schriften zur Hydrologie, Band 11. Institut für Hydrologie der Universität Freiburg.
- BMVBW (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Wohnungswesen, 2001): Normalherstellungskosten 2000 (NHK 2000). Berlin
- Bureau of Reclamation (1988): Downstream hazard classification guidelines, Acer technical Memorandum No. 11, 38 pp., Denver, Colorado.
- Carsel, R., F. and Parrish, R., S. (1988): Development of joint probability distributions of soil water retention characteristics. *Water Resour. Res.* 24 (5): 755 – 769.

- Casper, M. C. (2002): Die Identifikation hydrologischer Prozesse im Einzugsgebiet des Dürreychbachs (Nordschwarzwald). Dissertation. Mitteilungen des Instituts für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik, Heft 210, Universität Karlsruhe (TH).
- Cloude, S.R. and Mark L. Williams (2005): Estimation sub-canopy soil moisture using Polinsar, in press
- Collier, C. (1989): Applications of Weather Radar Systems. Ellis Horwood Limited, Chichester, 1989.
- Doden, M. (2003): Untersuchungen zur Einbeziehung radargemessener Niederschläge in die operationelle Hochwasservorhersage am Beispiel des Goldersbaches. Diplomarbeit, Institut für Hydrologie der Universität Freiburg.
- DWD (2004): RADOLAN – Routineverfahren zur Online-Aneicherung der Radarniederschlagsdaten mit Hilfe von automatischen Bodenniederschlagsstationen (Ombrometer). Zusammenfassender Abschlussbericht, Deutscher Wetterdienst, Geschäftsfeld Hydrometeorologie, 10/04.
- Gerlach, N., Hinterding, A., Dobler, L., Gabel, F., Streit, U. (2004): Weiterentwicklung und Umsetzung des Merging Verfahrens zur Interpolation des stündlichen Niederschlages. Abschlussbericht Version II, Institut für Geoinformatik der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster, Juli 2004
- Grayson, R. B., A. W. Western, F. H. S. Chiew and G. Blöschl (1997) Preferred states in spatial soil moisture patterns: local and non-local controls. *Water Resour. Res.*, 33 (12): 2897-2908.
- Grayson, R. B. and G. Blöschl (EDS) (2000): Spatial Patterns in Catchment Hydrology: Observations and Modelling. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 404 pp.
- Hajnsek, I.; Pottier, E. and Shane R. CLOUDE (2003): Inversion of surface parameters from Polarimetric SAR. *Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41, 4, 727-744.
- IMK (1999): Das C-Band Doppler-Wetterradar des Forschungszentrums Karlsruhe. Informationsbroschüre des Forschungszentrums Karlsruhe, Institut für Meteorologie und Klimaforschung, 1999.
- Marshall, J., and Palmer, W. (1948): The distribution of raindrops with size. *Journal of Meteorology*, 5, pp. 165 – 166, 1948.
- Martini, A., Ferro-Famil, L., Pottier, E. and J.-P. Dedieu (2005): Mapping dry snow in mountainous regions from fully polarimetric SAR data, in press
- Maurer, Th. (1997): Physikalisch begründete, zeitkontinuierliche Modellierung des Wassertransports in kleinen ländlichen Einzugsgebieten. Universität Karlsruhe, Mitteilungen des Instituts für Hydrologie und Wasserwirtschaft, Heft 61, Deutschland.
- Mauser, W. et.al( 2004): Integration von Fernerkundungsdaten in operationelle Wasserhaushalts- und Hochwasservorhersagemodelle. Endbericht zu den wissenschaftlichen Entwicklungen, München, Department für Geo- und Umweltwissenschaften, Sektion Geographie.
- Notarnicola, C. und Francesco Posa (2004): Feasibility of Soil Moisture and Roughness Retrieval Using Microwave Data. in press
- Ostrowski, M., W. (1982): Ein Beitrag zur kontinuierlichen Simulation der Wasserbilanz. Mitteilungen des Inst. für Wasserbau und Wasserwirtschaft, RWTH Aachen.
- Rawls, W., J. and Brakensiek, D., L. (1989): Estimation of soil water retention and hydraulic properties. In H. J. Morel Seytaux (eds.): *Unsaturated Flow in Hydraulic Modelling*. NATO ASI series, Kluwer Academic Pub., Dordrecht, Boston, London 4.
- Sanchez-Diezma, R., Sempere-Torres, D., Zawadzki, I., Creutin, J. (2001): Hydrological Assessment of Factors Affecting the Accuracy of Weather Radar Measurements of Rain: Proceedings of 5th International Symposium on Hydrological Applications of Weather Radar, Heian-Kaian, Kyoto, Japan, November 19-22.
- Uhlenbrook, S. and Leibundgut, Ch. (2002) Process-oriented catchment modelling and multi response validation. *Hydrological Processes* 16 (2): 423 – 440.
- Waldenmeyer, G. (2002): Abflussbildung und Regionalisierung in einem forstlich genutzten Einzugsgebiet (Dürreychtal, Nordschwarzwald). Dissertation Universität Karlsruhe (TH). *Karlsruher Schriften zur Geographie und Geoökologie*, Bd.17, Karlsruhe.
- Western, A.W. and Grayson, R.B. (1998): The Tarrawarra data set: Soil moisture patterns, soil characteristics and hydrological flux measurements. *Water Resources Research*, 34(10), 2765-2768.

## Anhang 2: Relevante Forschungsprojekte zu Hochwasserfragen und integriertem Management unter Leitung oder Mitwirkung der Kooperationspartner

### BMBF:

- Möglichkeiten zur Minderung des Hochwasserrisikos durch Nutzung von Flutpoldern an Havel und Oder; Forschungsprojekt in Zusammenarbeit mit dem LUA Brandenburg, dem LVL Brandenburg und 2 Ingenieurbüros. Gesamtleitung bei der Univ. Potsdam. Laufzeit: 02/2003 - 01/2004;
- Bewirtschaftungsmöglichkeiten im Einzugsgebiet der Havel; Verbundprojekt mit 11 Teilprojekten. Gesamtleitung bei der Univ. Potsdam, Laufzeit: 10/2002 - 12/2004;
- Untersuchungen zum Einfluss von Klimaänderungen auf die Hochwassersituation im Rheingebiet (Teilprojekt, u.a. zur Weiterentwicklung und Anwendung von klimatologischem Downscaling auf Hochwasserereignisse, im Verbundprojekt "Deutsches Forschungsnetzwerk Naturkatastrophen"); Bearbeitung Dr. Bürger (PIK), 01/2000 bis 12/2002;
- Koordination des Verbundprojektes "Deutsches Forschungsnetzwerk Naturkatastrophen" und Bearbeitung von zwei Teilprojekten (Methoden zur Abschätzung von Hochwasserrisiken unter Aspekten von Unsicherheit sowie Quantifizierung der Hochwassergefährdung für die Rheinanlieger unter Berücksichtigung von Deichversagen) am GeoForschungsZentrum Potsdam unter Leitung von Dr.-Ing. Bruno Merz, Laufzeit: 01/2000 bis 12/2003
- Koordination der BMBF-Förderaktivität „Risikomanagement extremer Hochwasserereignisse“, Dr.-Ing. Bruno Merz, Laufzeit: 01/2005 bis 12/2007

### EU:

- European River Flood Occurrence and Total Risk Assessment System, EUROTAS (Teilprojekt geleitet von Prof. Bronstert, Projekt gemeinsam mit 6 europäischen Partnerinstituten, 01/1998 - 12/2000);
- Integrated Flood Risk Analysis and Management Methodologies, FLOODsite (Teilprojekt geleitet von Prof. Bronstert, innerhalb eines „integrierten europäischen Projektes“, gemeinsam mit zahlreichen europäischen Partnerinstituten, seit 03/2004);
- Untersuchungen zu Landnutzungsänderungen, Ausbaumaßnahmen und die Hochwassersituation im Rheingebiet (LAHOR). (Verbundprojekt des PIK, BfG, RIZA (NL) und der Uni. Stuttgart; 12/1998 - 12/2001);
- Landnutzungs- und Klimaszenarien im Rheingebiet und deren hydrologische Modellierung (Teilprojekt im Programm "IRMA/SPONGE" der EU; 12/1999- 12/2001);
- Hydrological Impact of Climate Change on the River Rhine: (Teilprojekt im Programm "IRMA/SPONGE" der EU; 12/1999- 12/2001);
- River Basin Modelling, Management and Flood Mitigation, RIBAMOD. "Concerted Action" der Europäischen Union, Teilnehmer: Prof. Bronstert mit 5 weiteren europäischen Partnerinstituten, Juni 1996 bis Mai 1998;
- Statistisches Downscaling extremer Niederschläge (Teilprojekt in STARDEX: Statistical Downscaling of Extremes). Prof. Bárdossy (01/2001-12/2003);
- Downscaling von Klimaszenarien und Hydrologische Modellierung: Teilprojekt von RIVERTWIN (A Regional Model for Integrated Water Management in Twinned River Basins). Prof. Bárdossy und Prof. Zehe (04/2004 -03/2006);
- Entwicklung eines Hochwasserfrühwarnsystems (Teilprojekt im INTERREG IIIB-Projekt TIMIS, Transnational Information System on flooding), LfU BW (01/2005 - 06/2007);
- Hochwasserrisikoanalyse Seckach/Kirnau: Ermittlung von Schadenpotenzialen und Nutzen-Kosten-Analyse, Förderung: EU, Interreg IIc, IRMA, Leitung: Dr.-Ing. Bruno Merz (07/1999 – 06/2001)
- Mitigation of Climate Induced Natural Hazards, Concerted Action im 5. EU-Forschungsrahmenprogramm, mit Beteiligung des GFZ, Dr.-Ing. Bruno Merz (01/2001 – 04/2003)

## DFG:

- Modellgestützte Erforschung der lateralen Abflüsse und ihrer Wechselbeziehungen zur Bodenfeuchte; Leitung Dr. Becker (PIK) und Prof. Bronstert, durchgeführt am PIK (8/1998 - 7/2002);
- Szenarien hydrologischer Extreme - Zweidimensionales Downscaling von Klimamodellen auf tägliche Niederschläge mit Anwendungen in der Hydrologie; Leitung Dr. Bürger (PIK) und Prof. Bronstert, durchgeführt am PIK; (6/2001 -5/2004);
- „Numerische Modellierung des Oberflächenabfluss mit Ankopplung an die ungesättigte Bodenzone und weiterführende Prozessaufklärung bei einer Großhangbewegung“ im Rahmen der DFG Forschergruppe „Kopplung von Strömungs- und Deformationsprozessen zur Modellierung von Großhangbewegungen“ Leitung Prof. Zehe, nach erfolgreicher Begutachtung am 20.04.2005 zur Förderung vorgeschlagen;
- Prozessnahe Methoden zur Quantifizierung der Abflussbildung (Teilprojekt im DFG-Bündelprojekt Abflussbildung und Einzugsgebietsmodellierung), Dr.-Ing. Bruno Merz (02/2001 - 01/2005)

## Umweltbundesamt:

- Quantifizierung des Einflusses der Landoberfläche auf die Hochwasserbedingungen im Rheingebiet, unter besonderer Berücksichtigung von Landnutzung, Vegetationsdecke und möglichen Klimaänderungen. Projektleitung: Prof. Bronstert (11/1997 - 12/2000);

## Andere:

- Operationelle Niederschlags- und Abflussvorhersage für das Einzugsgebiet des Goldersbaches. Pilotprojekt gefördert durch die Stadt Tübingen, Leitung Prof. Bárdossy, Bearbeitung Dr. Uwe Ehret (1/1999 -12/2002).
- Quantifizierung ökonomischer Hochwasserschäden für großräumige Schadensszenarien. Förderung: AON Jauch & Hübner GmbH, Rückversicherungsmakler, Hamburg, Leitung: Dr.-Ing. Bruno Merz, Dr. Annegret Thieken (01/2004 - 12/2005)
- Erfassung von Hochwasserschäden und schadensbestimmenden Parametern beim Hochwasser von Elbe und Donau im August 2002. Förderung: BMBF und Deutsche Rückversicherung AG, Düsseldorf Leitung: Dr. Annegret Thieken (10/2002 - 12/2005)
- Helmholtz-Nachwuchswissenschaftlergruppe: Informations- und Modellierungssysteme für das Management von großräumigen Hochwassersituationen. Förderung: Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren. Leitung: Dr.-Ing. Bruno Merz, (07/2004 - 06/2007)
- CEDIM Risikokarte Deutschland - Modul Hochwasser sowie Abschätzung von Vermögenswerten in Deutschland. Kooperation und gemeinsame Finanzierung von GFZ Potsdam und Universität Karlsruhe (01/2003 – 12/2005).
- Hochwasservorsorge in Deutschland – Lernen aus der Katastrophe 2002 im Elbegebiet (Schriftenreihe des DKKV 29) (gemeinsames Projekt von GFZ Potsdam (Merz), BTU Cottbus, Katastrophenforschungsstelle Kiel und DKKV) Förderung: Deutsches Rotes Kreuz (05/2003 – 11/2003).