

Klimasensibilität der Waldwirkung auf den Hochwasserrückhalt

Andreas Wahren¹
Karl-Heinz Feger¹
Christina Görner²
Christian Bernhofer²

Datum 02.07.08

¹Institut Bodenkunde und Standortslehre, ²Institut Hydrologie und Meteorologie, Dresdner Kompetenzzentrum Wasser, TU Dresden, Fakultät Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften

1 EINLEITUNG

Im Rahmen des integrierten EU-Projektes *FLOODsite* (6. EU-Forschungsrahmenprogramm) untersucht die Arbeitsgruppe der TU Dresden den Einfluss der prognostizierten Starkniederschlagszunahme für das Mulde-Einzugsgebiet (Sächsisches Erzgebirge und Vorland) auf die standortsspezifische Hochwasserentstehung. Grundlage ist zum einen die Auswertung der auf Basis des globalen Klimamodells ECHAM5 (MPI-Hamburg) gewonnenen Daten für die SRES Szenarien A2 and B1 (IPCC 2001), welche mittels des dynamisch-statistischen Downscaling-Modells WETTREG für die Klimastationen spezifiziert wurden (ENKE 2006). Zum anderen wird eine im Hinblick auf den vorsorgenden Hochwasserschutz verbesserte Landnutzung wie naturnahe Waldbewirtschaftung (bodenschonende Holzernte, angepasster Waldwegebau, Waldumbau, höhere Biodiversität, Renaturierung der Auenbereiche), Aufforstung, Entsiegelung und konservierende Bodenbearbeitung in der Landwirtschaft hinsichtlich ihres natürlichen Wasserrückhaltpotentials (Verbesserung der Infiltrations-, Speicher- und Versickerungseigenschaften) mit dem Standortmodell LWF-BROOK90 bewertet. Ein Einfluss auf den Hochwasserabfluss ist nachweisbar. Besonders Waldmehrszenarien führen – zunächst unabhängig von der Baumartenzusammensetzung – zu einem erhöhten Gebietsrückhalt durch die Vergrößerung des zur Verfügung stehenden Speichers (z.B. Erhöhung der Mittelporen oder geringere Vorfeuchte) oder der Abflussverlagerung in langsamere Fließwege (Erhöhung der Infiltration und der Absickerung). Dabei kommt der Vorfeuchte des Einzugsgebietes eine Schlüsselrolle zu, wobei die Art der Bestände durchaus differenzierend wirken. Sind die Bodenparameter wie Porenraum und Porenverteilung eher landnutzungsbeeinflusste Materialeigenschaften, ist die Vorfeuchte eine von Witterung und Vegetation beeinflusste hochdynamische Größe, die folglich auch von den Klimaänderungen beeinflusst wird.

In einem 6,8 km² großen Teileinzugsgebiet der Schwarzen Pockau (Freiberger Mulde – Mittleres Erzgebirge) wurde die aktuelle Landnutzung unter dem Aspekt des natürlichen Wasserrückhaltes analysiert und vier sozioökonomisch begründeten Zukunftsszenarien („Foresight Programme“; EVANS et al. 2004) gegenübergestellt. Mit dem Modell AKWAM[®] (MÜNCH 2004) wurde der geänderte Wasserrückhalt für einzelne Standorte und räumlich verteilt im Einzugsgebiet quantifiziert. Die Umsetzbarkeit von nichttechnischem Hochwasserschutz sollte hierbei in einen gesamtgesellschaftlichen Kontext (WAHREN et al. 2008a) gestellt werden. Die Ergebnisse zeigen die Wirkung veränderter Landnutzung als Abflussganglinie (Scheitelreduktion) und Verteilungsfunktion der Bodenspeicherfüllung vor einem Hochwasserereignis (Vorfeuchte) für unterschiedliche historische Niederschlagsereignisse. Dadurch werden Möglichkeiten und ereignisbestimmte Grenzen der natürlichen Retention deutlich. Unter Zusammenführung der Ergebnisse für die zukünftig prognostizierte Klimasituation und begründeter sozioökonomischer Entwicklungen im untersuchten Einzugsgebiet wird deutlich, dass der Landnutzungseinfluss (besonders bezüglich der Vorfeuchte) zunimmt, die großflächige Umsetzbarkeit der Maßnahmen jedoch von den gesellschaftlichen Rahmenbedingungen abhängt.

2 DATENGRUNDLAGE UND METHODEN

2.1 ZIELSETZUNG

Hauptziel der Untersuchung ist die Zusammenführung der Ergebnisse sozioökonomisch begründeter Zukunftsszenarien (RÖMER 2007, WAHREN et al. 2008a) und Klimazukunftsszenarien (FRANKE et al. 2004, BERNHOFER et al. 2006, GÖRNER et al. 2008) in Bezug auf den landnutzungsbedingten Einfluss auf den dezentralen Hochwasserrückhalt im Einzugsgebiet. Der besondere Fokus liegt dabei auf den Hochwasserentstehungsgebieten, in denen landnutzungsindizierter Hochwasserschutz zum einen gesetzlich gefordert (SächsWG 2004) und zum anderen als dezentrale Maßnahme in Verbindung mit anderen Hochwasserschutzmaßnahmen erwünscht ist (EU-HWRL 2007).

Es wird die prognostizierte Klimaänderung für das Einzugsgebiet der Freiburger und Zwickauer Mulde bis zu deren Vereinigung dargestellt. Detailliert wird die Situation in den Hochwasserentstehungsgebieten anhand der Daten der Klimastation Marienberg beschrieben. Der Einfluss des veränderten Klimas auf die Vorfeuchte-Bedingungen wird mit dem Standortmodell LWF-BROOK90 für drei unterschiedliche Landnutzungen (Grünland, Fichte und Buche) exemplarisch quantifiziert.

Diese Ergebnisse werden mit einem verteilten Niederschlags-Abfluss-Modells in die Fläche übertragen, wobei die aktuelle Landnutzungsverteilung zur Modelleichung herangezogen wurde. Für die Modellierung der Schwarzen Pockau (Freiburger Mulde) wurde das wasserhaushaltsbasierte N-A-Modell AKWA-M[®] parametrisiert und geeicht (WAHREN et al. 2007).

Die derzeitige Landnutzung ist nicht vordergründig hochwasserschutzorientiert sondern ein Resultat der historischen Entwicklung eines Einzugsgebietes und die Folge der EU-Förderpolitik. Hochwasserschutz ist in der europäischen Flächenförderung noch nicht als Ziel formuliert und somit auch in Zukunft im besten Fall ein zusätzlicher Bonus einer geförderten Maßnahme. Um begründete Prognosen des Gebietsrückhaltes zu entwickeln, ist daher erforderlich, die Änderung der Landnutzung in einen gesamtgesellschaftlichen Kontext zu stellen. Zur Beschreibung solcher gesellschaftsentwicklungsbasierter Landnutzungsszenarien wurde ein Teileinzugsgebiet der Schwarzen Pockau (oberer Schlettenbach) gewählt (s. 2.2). Aus vier sozioökonomisch begründeten Zukunftsszenarien (RÖMER 2007, WAHREN et al. 2008a) soll hier das Szenario vorgestellt werden, welches den größten zusätzlichen Wasserrückhalt im Vergleich zum aktuellen Zustand bietet. Der Landnutzungseinfluss wird als Scheitelreduktion historischer Hochwässer und als mittlerer freier Bodenspeicher vor einem hochwasserauslösenden Niederschlagsereignis (Maß für die Vorfeuchte) beschrieben.

2.2 UNTERSUCHUNGSGEBIET

Für die vorliegende Untersuchung wurde das Teileinzugsgebiet des Schlettenbaches bis zur Ortslage Marienberg als Untersuchungsgebiet ausgewählt (Abb. 1).

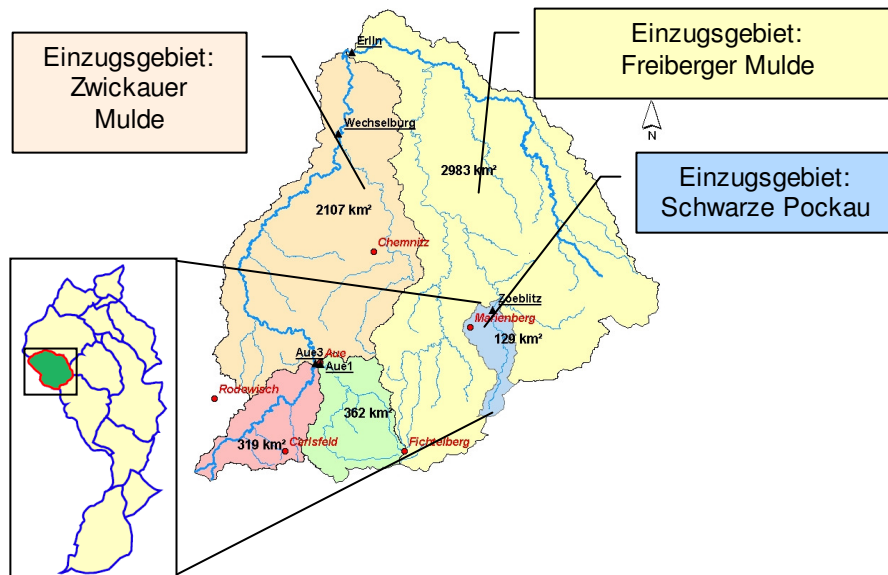


Abb. 1: Lage des Untersuchungsgebietes (grünes Teileinzugsgebiet mit roter Grenze).

Das Einzugsgebiet des Schlettenbaches besteht zu 35 % aus bewaldeten Flächen. Diese sind mit Ausnahme der ungesteuerten Verbuschungen am Waldrand und der NATURA-2000-Flächen mit Fichten bestockt. Trotz der zersplitterten Eigentumsverhältnisse („Betreuungswald“ des Freistaates Sachsen) erfolgt derzeit mit Landesmitteln Waldumbau hin zu einem standortgerechten Mischwald aus Fichten und Buchen. Darüber hinaus wurden im Rahmen der „Waldmehrungsplanung Sächsisches Forstamt Marienberg 2000“ fachliche Vorschläge zur Waldmehrung auf den angrenzenden landwirtschaftlichen Flächen gemacht. Diese Vorschläge konnten jedoch trotz Fördermittel nicht realisiert werden, da für die wirtschaftlich attraktivere, konkurrierende Förderung der landwirtschaftlichen Flächen eine Mindestflächengröße nachgewiesen werden muss, die nach der Aufforstung nicht mehr gegeben wäre. Zudem fordert der Naturschutz die Erhaltung bzw. Wiederherstellung eines strukturreichen Landschaftsbildes aus einem Wechsel von Wald und einem mit Hecken untergliederten Offenland mit auwaldbegleiteten Fließgewässern (zugleich touristische Relevanz), das durch die vorgeschlagene Aufforstung konterkariert würde.

In der Landwirtschaft dominiert die Grünfütterproduktion (51 % der Gesamtfläche) in Verbindung mit Rinderhaltung. 20 % davon werden als extensive Weide bewirtschaftet, die durch das Landesförderprogramm „Umweltgerechte Landwirtschaft (UL)“ noch bis 2008 unterstützt wird; 80 % der Grünfütterproduktion werden als Futteracker (Mais, Getreide, Klee, Weidegras) bewirtschaftet. Ackerbau (7 %) wird nur auf den aufgrund der geringen Hangneigung, des geringen Steingehalts und der geringen Wasserführung geeigneten Hochflächen betrieben, dabei zunehmend Anbau von Mais und Raps, da diese als regenerative Energiequelle gefördert werden. Die in der näheren Umgebung typischen flurstücksbegrenzenden Steinrücken und Feldgehölze sind mit der zu DDR-Zeiten geförderten Rodung im

Einzugsgebiet verloren gegangen und zeichnen heute ein naturschutzfachlich und touristisch ungünstiges „ausgeräumtes Landschaftsbild“. Bisher sind trotz Landesfördermittel keine Neupflanzungen erfolgt. Die als Kompensationsmaßnahme für Straßenbauvorhaben durchgeführten Pflanzungen werden von den Agrargenossenschaften aufgrund der Einschränkung der maschinellen Bewirtschaftung nur entlang der Eigentumsgrenzen akzeptiert oder führen zu naturschutzfachlich und touristisch ungünstigen Lösungen (kurze, parallel geführte Feldgehölzreihen auf einer kleinen Fläche anstelle von Biotop verbindenden langen Reihen entlang der Flurstücksgrenzen). Die versiegelten Flächen des Gebietes machen 6 %, die Wasserflächen 1 % aus (RÖMER 2007).

2.3 KLIMAÄNDERUNG

Im Laufe der letzten Jahre wurden Methoden der quantitativen Beschreibung der möglichen Klimaänderungen weiterentwickelt und Downscaling-Verfahren verfeinert. Den aktuellen Stand der Klimasimulationen stellen die IPCC-Szenarienrechnungen des ECHAM5-Modells dar (IPCC 2001). Nach ENKE et al. (2006) ist die Qualität des Klimamodells ECHAM5 auf sehr kleinräumigen Skalen nicht hinreichend.

Im Auftrag des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie wurden von der CEC Potsdam GmbH für die Emissionsszenarien A1B, A2 und B1 mit dem WETTREG-Modell kontinuierliche Datenreihen für ausgewählte Niederschlags- und Klimastationen in Sachsen erstellt (ENKE et al. 2006). Dabei wurde entsprechend zugeordneter Zirkulationsmuster innerhalb von Rechteckboxen mit 3° und 4° meridionaler und zonaler Distanz (ca. 330 km x 270 km) eine räumliche Verteilung der Klimagrößen zeitsegmentweise aus gemessenen Reihen der Vergangenheit übertragen. Als Resultat wurden für ausgewählte Wetterstationen kontinuierliche, instationäre (transiente) Zeitreihen für die Jahre 1961-2100 abgeleitet.

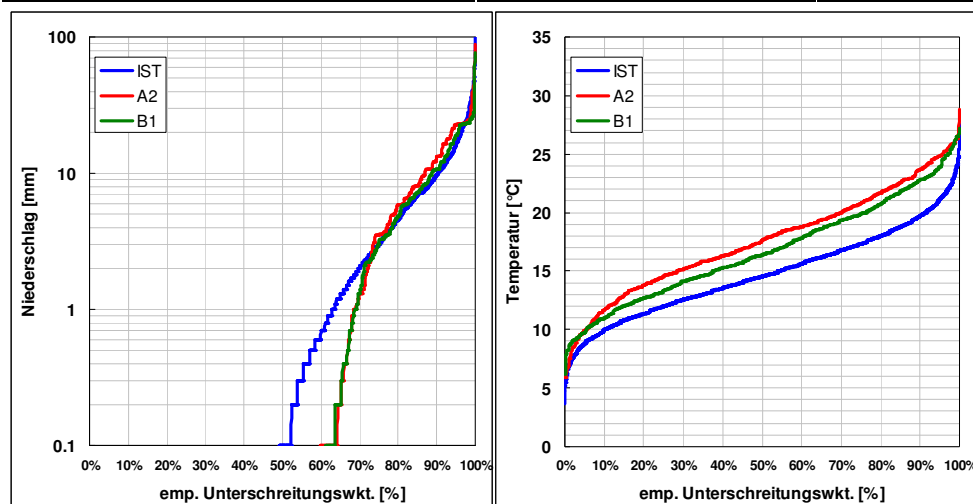
Für das Einzugsgebiet der Mulde wird bis zum Jahr 2100 eine Temperaturerhöhung (Jahresmittel) prognostiziert. Diese liegt im Sächsischen Tiefland (z.B. Station Torgau) zwischen 2,5 °C (B1) und 3,2 °C (A2) und in den Kammlagen des Erzgebirges (z.B. Station Marienberg) zwischen 1,8 °C (B1) und 2,5 °C (A2). Die Änderung des mittleren Niederschlages weist einen deutlichen Gradient im Einzugsgebiet auf. Insgesamt wird eine Abnahme des mittleren Jahresniederschlages prognostiziert. Die Änderungen in den höheren Lagen sind jedoch sehr gering. An der Station Torgau wird für beide Zukunftsszenarien eine Niederschlagsabnahme von > 10 % bis zum Jahr 2100 vorhergesagt (Tab.1).

Für die Modellrechnungen nutzten wir die Prognosedaten für die Klimastation Marienberg. Diese liegt im oberen Erzgebirge und die Abnahme des mittleren Jahresniederschlages ist nur gering. Die innerjährliche Niederschlagsverteilung weist in den Zukunftsszenarien jedoch eindeutige Veränderungen zum aktuellen Zustand auf.

In Abb. 2 sind die empirischen Verteilungsfunktionen der mittleren Lufttemperatur und des Niederschlags (Tageswerte) für die Sommermonate (Juli bis September) dargestellt. Diese zeigen, dass besonders die Tage ohne oder mit wenig Niederschlag zunehmen. Häufiger werden aber auch Tage mit > 10 mm Niederschlag in der Tagessumme. Es werden demnach längere Trockenperioden als auch eine Zunahme von Starkniederschlagstagen (vgl. GÖRNER et al. 2008) prognostiziert. Der Median für den Temperaturanstieg der Sommermonate beträgt 1,8 °C (B1) bzw. 3,0 °C (A2).

Tab 1: Prognostizierte Änderung des mittleren Niederschlages im Einzugsgebiet der Mulde.

Station	Niederschlag [mm] 1981-2005	2100 (ECHAM5, WETTREG)	
		pessimistisches Szenario A2 ungebremstes Wachstum wie bisher	optimistisches Szenario B1 kontrolliertes Wachstum mit schrittweiser Senkung des CO ₂ - Ausstoßes
Marienberg (Erzgebirge)	869	809 -60 -7 %	857 -13 -1 %
Chemnitz (Hügelland)	730	665 -65 -9 %	721 -9 -1 %
Torgau (Tiefland)	541	473 -68 -13 %	487 -54 -10 %

**Abb. 2:** Empirische Verteilungsfunktion der Tagesniederschlagssummen des IST-Zustandes und der Zukunftsszenarien A2 und B1.

2.4 SOZIOÖKONOMISCHE ENTWICKLUNG

Im Rahmen des FLOODsite Projektes wird mit Zukunftsszenarien gearbeitet, die von den Vereinten Nationen (UNEP) erstellt und durch das „Foresight Programme“ der Britischen Staatsregierung konkretisiert wurden (EVANS et al. 2004). Die Szenarien bewegen sich dabei im Spannungsfeld zwischen Wechselbeziehungen und Selbstverwaltung einerseits sowie dem Individuum und der Gemeinschaft andererseits (Abb. 3). Dabei wird angenommen, dass diese gesellschaftlichen und politischen Entscheidungsfindungsprozesse alle weiteren Szenariofaktoren wie technologische und wirtschaftliche Entwicklung, Arbeitsmarkt, Demographie, Infrastruktur, Umweltpolitik, Kultur- und Sozialwesen bedingen.

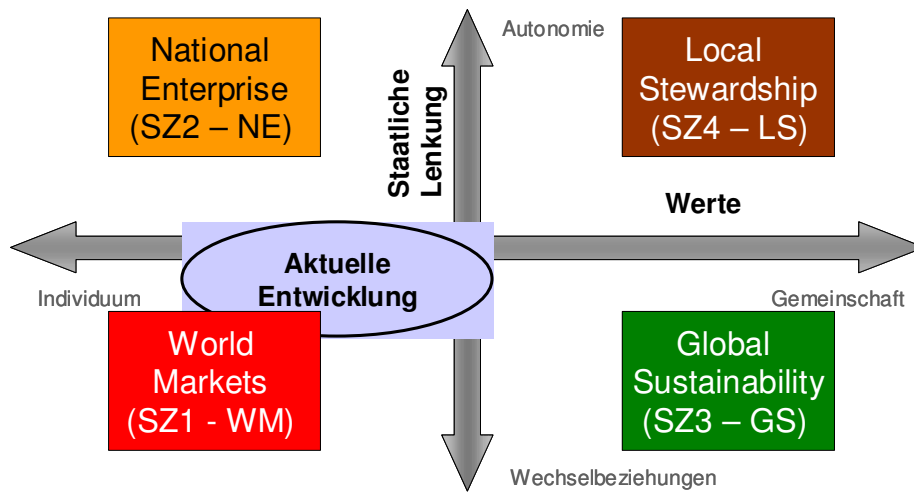


Abb. 3: „Foresight Programme“ sozioökonomische Zukunftsszenarien (EVANS et al. 2004).

Aus diesen Rahmenbedingungen wurde für jedes Szenario eine plausible Landnutzungsverteilung für das Untersuchungsgebiet abgeleitet. Alle Ergebnisse können hier nicht dargestellt werden (vollständige Ergebnisse in RÖMER 2007 sowie WAHREN 2008a). Es zeigt sich aber, dass Änderungen bzw. Anpassungen in jedem Fall langwierig sind und die Unterstützung unterschiedlicher Interessengruppen (Politik, Flächenbesitzer, verschiedenen Wissenschaftsdisziplinen usw.) benötigen. Die Wirkung einer Maßnahme kann im Einzelfall erst nach Jahren eintreten und oft nicht ausschließlich auf der Umsetzungsfläche sondern v.a. im Unterstrombereich. Aus diesem Grund bieten die gesellschaftsorientierten Zukunftsszenarien bessere Umsetzungschancen als die individualorientierten. Der größte zusätzliche Hochwasserrückhalt ergab sich bei Szenario Sz4 („Local Stewardship“). Deshalb werden die Ergebnisse dieses Szenarios in den weiteren Betrachtungen berücksichtigt.

3 ERGEBNISSE UND DISKUSSION

3.1 STANDORTSMODELLIERUNG

Die in der Einleitung benannten Maßnahmen zur Erhöhung der Hochwasserretention in Einzugsgebieten war aufgrund der jüngsten Hochwasserereignisse in Europa Forschungsgegenstand einer Anzahl von Untersuchungen (SMUL 2007, SCHÜLER et al. 2007, MÜNCH et al. 2005, WAHREN et al. 2007 u.a.). Bei entsprechenden Standortbedingungen erweisen sich die Waldmehrgungsszenarien geeignet, um Wasser in der Fläche zurückzuhalten. Hauptursachen hierfür sind:

- Vergrößerung des zur Verfügung stehenden Speichers (z.B. Erhöhung der Mittelporen, geringere Vorfeuchte, höherer Anteil organischer Substanz im Oberboden).
- Verbesserte Erreichbarkeit des vorhandenen Speichers (Erhöhung der Infiltration und der Absickerung).
- Abflussverlagerung in langsamere Fließwege (Transformation von Oberflächen- bzw. schnellem oberflächennahen Abfluss in verzögerten lateralen Abfluss bzw. Tiefensickerung).

Die relevanten Bodenparameter wie Porenraum und Porenverteilung sind dabei eher landnutzungsbeeinflusste Materialeigenschaften. Der Einfluss der Klimaänderungen primär auf diese Bodeneigenschaften ist marginal. Indirekte Einflüsse (z.B. veränderte Landnutzung als Folge der Klimaänderung) wirken sich deutlich stärker auf diese Bodenparameter aus (WAHREN et al. 2008b).

Die Vorfeuchte ist jedoch eine von Witterung und Vegetation beeinflusste hochdynamische Größe, die folglich auch von den Klimaänderungen beeinflusst wird. Sie beeinflusst die initiale Infiltrationsgeschwindigkeit und die absolute Menge an Wasser, die im Boden zurückgehalten werden kann. Vergleicht man z.B. die empirische Verteilungsfunktion des freien Bodenspeichers (hier als Differenz aus aktueller Bodenspeicherfüllung und Feldkapazität dargestellt) für die Sommermonate (Klimastation Marienberg 1971 - 2000) bei unterschiedlichen Landnutzungen (Buche, Fichte, Grünland) ergeben sich die in Abb. 4 dargestellten Zusammenhänge. Der Boden bei dieser Modellierung ist eine Braunerde (Ls3) mit einer Mächtigkeit von 1 m und einer nutzbaren Feldkapazität von 140 mm.

Die Buche zeigt während der Sommermonate eine deutlich stärker Ausschöpfung des Bodenspeichers. Ursache hierfür ist einerseits die höhere Transpirationsleistung als auch die tiefere Durchwurzelung an diesem Standort. Versteht man die Darstellung in Abb. 4 als eine Aufforstungsmaßnahme zweier vergleichbarer Standorte mit einerseits Buche und andererseits Fichte, so stehen an ca. 80 % aller Sommertage unter dem Buchenbestand mindestens 10 mm mehr Speicher zur Verfügung als bei Grünlandnutzung. Die Fichte erhöht diesen freien Speicher bei gleicher statistischer Sicherheit nur um 2 mm. Einen zusätzlichen Speicher von 10 mm gegenüber dem Grünland kann der Fichtenstandort nur an ca. 20 % der Sommertage gewährleisten.

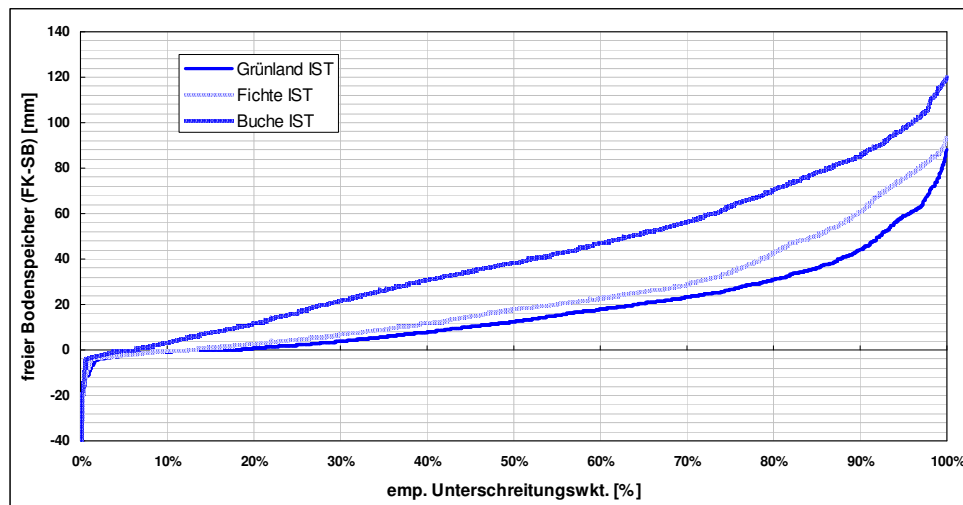


Abb. 4: Änderung des auffüllbaren Bodenspeichers bei unterschiedlichen Landnutzungen.

Die Umwandlung von Grünland in Wald zeitigt jedoch erst langfristig Effekte. Heute aufgeforstete Standorte sind erst in Jahrzehnten voll ausgeprägte Wälder. Demzufolge muss zur Bewertung des Hochwasserretentionspotentials auch die zukünftige Klimasituation herangezogen werden. Abb. 5 zeigt die Verteilungsfunktionen des freien Bodenspeichers aller drei Landnutzungen für das aktuelle Klima (1971-2000) und für den prognostizierten mittleren Zustand des Jahres 2100 (Szenario A2 und B1).

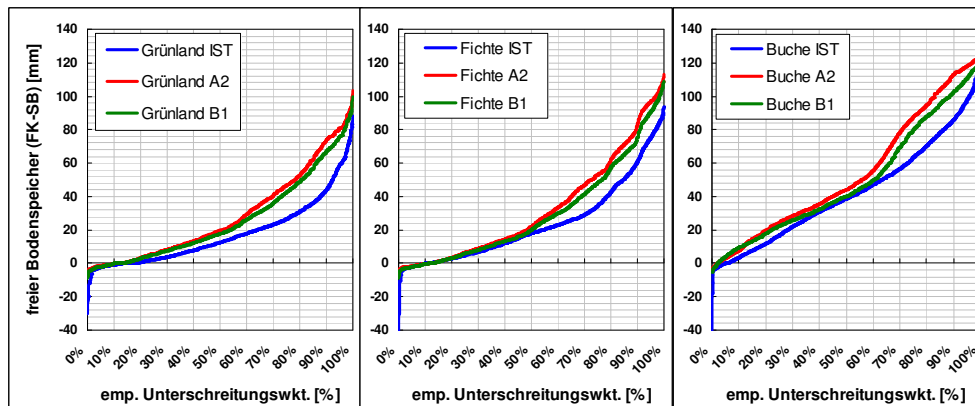


Abb. 5: Auffüllbarer Bodenspeicher unterschiedlicher Landnutzungen (Braunerde; Ls3; M = 1 m; nFK=140 mm) Vergleich: Sommer 1971-2000 (IST) und Zukunftsszenarien A2 und B1 für 2100 (ECHAM5 und WETTREG).

Die Differenz im freien Bodenspeicher für das B1-Szenario zwischen Buchenbestand und Grünland beträgt für 80 % aller Sommertage (emp. Unterschreitungswahrscheinlichkeit = 20 %) mindestens 15 mm. Diese Differenz beträgt beim Fichtenstandort ca. 1,5 mm. An

20 % aller Sommertage weist der Buchenbestand einen ca. 40 mm größeren freien Speicher auf. Unter Fichte beträgt diese Speicherzunahme lediglich ca. 10 mm.

3.2 EINZUGSGEBIETSMODELLIERUNG

Die Informationen aus der Standortmodellierung werden in die Niederschlags-Abfluss-Modellierung für das Einzugsgebiet des oberen Schlettenbaches übertragen. Da eine Komplettbedeckung des Einzugsgebietes, z.B. mit der potentiell natürlichen Vegetation, nicht realisierbar ist, wurden die in 2.4 erarbeiteten begründeten Landnutzungsszenarien für die Modellparametrisierung herangezogen. Das hier vorzustellende Szenario Sz4 unterscheidet sich vom derzeitigen Zustand (IST) in der Landnutzungsverteilung (Tab. 2).

Tab 2: Landnutzungsanteile [%] für zwei Modellparametrisierungen im Einzugsgebiet des oberen Schlettenbaches.

Szenario	Wald	Intensives Grünland	Extensives Grünland	Konventionelle Landwirtschaft	Konservierende Landwirtschaft	Siedlungen	Hecken u. Obstgehölze	versiegelt
IST	35	41	11	7		4		2
Sz4	63		15		18	2	1	1

Für 18 Hochwasserereignisse zwischen 1954 und 2005 wurde der Hochwasserabfluss aus dem Untersuchungsgebiet analysiert. Drei Ereignisse mit charakteristischen Vorfeuchtebedingungen (bei aktueller Landnutzung) sind in Tab. 3 zusammengefasst.

Tab 3: Niederschlagsereignisse und deren statistische Einordnung (BARTHELIS et al. 1997) sowie Einschätzung der Vorfeuchtesituation: mit Niederschlagssumme (P) in [mm], Dauer (D) in [h], und Wiederkehrintervall (T) in [a].

D		1		4		24		72	
Datum	Vorfeuchte	P	T	P	T	P	T	P	T
31.8. – 1.9.1995 P = 155 mm	mittel	8	<0,5	27	0,5	108	≈100	124	≈20
7.7. – 11.7.1996 P = 77 mm	hoch	6	<0,5	15	<0,5	67	5 - 10	77	2 - 5
11.8. – 15.8.2002 P = 200 mm	gering	22	1 - 2	50	≈10	173	>100	198	>100

Mit Blick auf die Vorfeuchtebedingungen lässt sich feststellen, das Sz4 vor allem aufgrund des höheren Waldanteils mehr auffüllbaren Bodenspeicher zur Verfügung stellt. Die Ergebnisse der Niederschlagsabflussmodellierung sind in Tab. 4 zusammengefasst.

Tab 4: Modellierte Scheitelabflüsse (AKWA-M[®]) für drei Ereignisse im Einzugsgebiet des Schlettenbaches für zwei unterschiedliche Landnutzungsparametrisierungen (IST und Sz4).

Datum	Vorfeuchte	IST	Sz4	(IST – Sz4)	
		Qs [mm/h]	Qs [mm/h]	Reduktion [%]	Zusätzlicher freier Bodenspeicher (Gebietsmittel)
31.8. – 1.9.1995 P = 155 mm	mittel	1,95	1,74	11	5
7.7. – 11.7.1996 P = 77 mm	hoch	0,84	0,76	9	2
11.8. – 15.8.2002 P = 200 mm	gering	4	2,2	46	10

Die Scheitelreduktionen für zukünftige Hochwasserereignisse lassen sich nicht bestimmen, da die jedes Ereignis einzigartig ist (Vorwitterung, Niederschlagsintensität usw.). Um sich dennoch einer Aussage über die zukünftige Retention anzunähern, wurden die empirischen Verteilungsfunktionen des mittleren freien Bodenspeichers gegenübergestellt. Die prognostizierten längeren Trockenperioden führen dazu, dass Standorte mit einem höheren Wasserverbrauch (z.B. Waldstandorte) über einen längeren Zeitraum dem Boden Wasser entziehen und somit die Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Standorten stärker akzentuiert werden. Für die drei beschriebenen Ereignisse ergeben sich folgende Änderungen.

Tab 5: Zusätzlicher Bodenspeicher [mm] aufgrund veränderter Landnutzung (Sz4) und veränderter Klimarandbedingungen (A2 u. B1).

Datum	Vorfeuchte	Emp. Unterschreitungswahrscheinlichkeit [%]	Zusätzlicher freier Bodenspeicher (Gebietsmittel: IST – Sz4) [mm]		
			1971-2000	Klimaszenario A2	Klimaszenario B1
31.8. – 1.9.1995 P = 155 mm	mittel	30	5	11	9
7.7. – 11.7.1996 P = 77 mm	hoch	63	2	4	3
11.8. – 15.8.2002 P = 200 mm	gering	18	10	15	14

4 BEWERTUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

Eine angepasste Landnutzung im Sinne des vorbeugenden Hochwasserschutzes ergänzt Maßnahmen des technischen Hochwasserschutzes. Die im Rahmen des Klimawandels prognostizierte Erwärmung und Zunahme von Extremereignissen (Starkniederschlag, Trockenheit) macht eine gewissenhafte Landnutzungsplanung notwendiger denn je. Der Einfluss unterschiedlicher Landnutzungen wird in einem solch geänderten Klima stärker sein als bisher. Die Quantifizierung der Wirkung veränderter Flächenbedeckung ist jedoch aufgrund der Standorts- und Ereignisspezifität nicht generalisierbar. Einzelereignisse werden von den derzeitigen Prognosemodellen noch nicht generiert, da sie durch ihre Seltenheit von den statistischen Verfahren nicht in ausreichender Güte erstellt werden können. Es ist aber offensichtlich, dass eine Landschaft mit hohem Wasserverbrauch und guten Infiltrationsbedingungen mehr Wasser zurückhalten kann als Flächen mit eingeschränkter Versickerung und geringerer Evapotranspiration. Eine Kopplung von Niederschlagsstatistik und Statistik der landnutzungs- und klimaabhängiger Gebietseigenschaften (z.B. Vorfeuchte) scheint eine adäquate Möglichkeit, quantitative Aussagen zum zukünftigen Rückhalt einer angepassten Landnutzung unter veränderten Klimabedingungen zu treffen.

Die aktuelle Landnutzung eines Einzugsgebietes ist das komplexe Resultat der historischen Landschaftsentwicklung. Änderungen bzw. Anpassungen sind in jedem Fall langwierig und benötigen die Unterstützung unterschiedlicher Interessengruppen (Politik, Flächenbesitzer, verschiedenen Wissenschaftsdisziplinen usw.). Die Wirkung einer Maßnahme kann im Einzelfall erst nach Jahren eintreten. Retentionseffekte wirken sich weniger auf der Umsetzungsfläche sondern v.a. im unterstromigen Bereich aus. Aus diesem Grund ist für die Entwicklung von Landnutzungsszenarien die Einbeziehung von gesellschaftswissenschaftlichen Disziplinen zur Beschreibung der sozioökonomischen Entwicklung ausdrücklich angezeigt. Gerade die konkurrierenden Flächenansprüche halten eine kontroverse Diskussion der Möglichkeiten und Grenzen des Wasserrückhalts in der Landschaft am Leben. Selbstverständlich ist auch festzuhalten, dass der natürliche Rückhalt eines Gebietes begrenzt ist. Trotzdem erscheint die Umsetzung dieser Maßnahmen nicht zuletzt durch eine Reihe von Synergieeffekten zu anderen Schutzziele in der Landschaft – Boden-, Erosions-, Gewässer-, Naturschutz u.a. – sinnvoll.

5 LITERATUR

BARTHEL, H. et al. (1997): Starkniederschlagshöhen für Deutschland – Kostra. Deutscher Wetterdienst, Offenbach am Main.

BERNHOFER, C.; J. FRANKE; V. GOLDBERG; J. SEEGERT; W. KÜCHLER (2006): Regional climate change - to be included in future flood risk analysis? In: Schanze, J.; Zeman, E.; Marsalek, J. (Eds.): Flood Risk Management: Hazards, Vulnerability and Mitigation Measures. Dordrecht : Springer, 2006, NATO Science Series - IV. Earth and Environmental Sciences, 67, 319pp.

ENKE, W.; A. SPEKAT; F. KREIENKAMP (2006): Neuentwicklung von regional hoch aufgelösten Wetterlagen für Deutschland und Bereitstellung regionaler Klimaszenarien mit dem Regionalisierungsmodell WETTREG 2005 auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit ECHAM5/ MPI – OM T63L31 2010 bis 2100 für die SRES – Szenarien B1, A1B und A2, Projektbericht im Rahmen des F+E-Vorhabens 204 41 138 „Klimaauswirkungen und Anpassung in Deutschland – Phase 1: Erstellung regionaler Klimaszenarien für Deutschland“, 94 S.

EVANS, E. et al. (2004): “Foresight Future Flooding, Scientific Summary: Volume I Future risks and their drivers”, Office of Science and Technology, London.

EU-HWRL (2007): Amtsblatt der Europäischen Union, http://www.wasser.sh/de/fach-information/hochwasser/nps/EU-HWRL_20-11-2007.pdf

FRANKE, J.; V. GOLDBERG; U. EICHELMANN; E. FREYDANK; C. BERNHOFER (2004): Statistical analysis of regional climate trends in Saxony, Climate Research, 27 (2), 145-150.

GÖRNER, C.; J. FRANKE; C. BERNHOFER; O. HELLMUTH (2008): Climate changes in extreme precipitation events in the Elbe catchment of Saxony, FLOODrisk 2008 - The European Conference on Flood Risk Management, Research into Practice, A.A. Balkema Publishers – Taylor & Francis The Netherlands PO Box 447, 2300 AK Leiden, The Netherlands, (im Druck).

IPCC (2001) - B. METZ, O. DAVIDSON, R. SWART & J. PAN (Eds.): Mitigation, Contribution of Working Group III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge, New York, Oakleigh, Madrid, Cape Town: Cambridge University Press.

MÜNCH, A. (2004): AKWA-M[®] – Teilflächen basiertes Wasserhaushalts- und Hochwassermodell, Dr. Dittrich & Partner Hydro-Consult GmbH Bannewitz.

MÜNCH, A.; I. DITTRICH; A. WAHREN; S. GOLDACKER (2005): Hochwasserminderung und Wasserhaushaltsänderung durch Aufforstung und Waldumbau in den Einzugsgebieten des Ostererzgebirges. Abschlussbericht (unveröffentlicht), Dr. Dittrich & Partner Hydro-Consult GmbH im Auftrag der Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen. Bannewitz

MÜNCH, A.; I. DITTRICH; K. KESSLER (2006): Walddynamik und ihre Wirkung auf Hochwasser und Wasserhaushalt. Bericht (unveröffentlicht), Dr. Dittrich & Partner Hydro-Consult GmbH im Auftrag der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Bannewitz.

RÖMER, G. (2007): Potenzial von Landnutzungsänderungen für den natürlichen Hochwasserrückhalt in der Fläche im Einzugsgebiet der Schwarzen Pockau – Analyse, Bewertung und Optionen. Masterarbeit, Institut für Bodenkunde und Standortslehre, TU Dresden, Tharandt.

SächsWG (2004): Sächsisches Wassergesetz, Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft.

SCHÜLER, G.; I. GELLWEILER; SEELING S. (Hrsg. 2007): Dezentraler Wasserrückhalt in der Landschaft durch vorbeugende Maßnahmen der Waldwirtschaft, der Landwirtschaft und im Siedlungswesen, Das INTERREG IIIB NWE Projekt WaReLa – Ergebnisse aus vier Jahren Umsetzung und Forschung für einen nachhaltigen Hochwasserschutz in der Fläche, Mitteilungen aus Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft (FAWF) Rheinland-Pfalz, Nr. 64/07, ISSN: 1610-7705, 344 S.

SMUL (2007): Vorbeugender Hochwasserschutz durch Wasserrückhalt in der Fläche unter besonderer Berücksichtigung naturschutzfachlicher Aspekte am Beispiel des Flusseinzugsgebietes der Mulde in Sachsen, Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Heft 35/2007, Projektleitung: Prof. Dr.-Ing. Friedhelm Sieker, 306 S.

WAHREN, A.; K. SCHWÄRZEL; K.H. FEGER (2007): Identification and model based assessment of the potential water retention caused by land use changes, *Advances in Geosciences* 11, 49-56.

WAHREN, A.; K.H. FEGER; K. SCHWÄRZEL; G. RÖMER, A. MÜNCH, I. DITTRICH (2008a): Landnutzungsabhängiger Gebietsrückhalt bei Hochwasser auf der Grundlage sozioökonomisch begründeter Zukunftsszenarien, *Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung* 23 (im Druck).

WAHREN, A; K.H. FEGER; H. FRENZEL; K. SCHWÄRZEL (2008b): Uncertainties in the parameterisation of rainfall-runoff-models to quantify land-use effects in flood risk assessment, *FLOODrisk 2008 - The European Conference on Flood Risk Management, Research into Practice*, A.A. Balkema Publishers – Taylor & Francis The Netherlands PO Box 447, 2300 AK Leiden, The Netherlands, (im Druck).