

Article

Novel Method to Assess the Risk of Dam Failure [†]

Miklas Scholz ^{1,2,*} and Qinli Yang ²

¹ Civil Engineering Research Centre, School of Computing, Science and Engineering, The University of Salford, Newton Building, Salford M5 4WT, UK

² Institute for Infrastructure and Environment, School of Engineering, The University of Edinburgh, William Rankine Building, Mayfield Road, The King's Buildings, Edinburgh EH9 3JL, UK; E-Mail: Q.Yang-7@sms.ed.ac.uk

[†] The full text of this article is in German.

* Author to whom correspondence should be addressed; Tel.: +44-161-29-55921; E-Mail: m.scholz@salford.ac.uk.

Received: 11 November 2011 / Accepted: 14 November 2011 / Published 16 November 2011

Abstract: A new flexible, rapid and affordable risk assessment procedure was developed and verified for dams based on case studies in Scotland (UK) and the region of Baden (Germany). A database of six different sustainable flood retention basin (SFRB) types with varying flood control potential has been developed. In Scotland, there are a relatively high number of current and former large drinking water reservoirs which could contribute to flood management control. In comparison, purpose-built and relatively small SFRB, which are predominantly used for flood control, dominate the landscape in Baden. Moreover, 13 out of 149 SFRB have recently been upgraded, and 11 new SFRB have been built since 2006. Both the estimated hazard and risk are small in comparison to those found in the flood infrastructure in Scotland. The study assesses a rapid screening tool developed to estimate the Dam Condition and the corresponding Dam Failure Hazard and Dam Failure Risk. Most SFRB in Baden have a relatively poor Dam Condition, high Dam Failure Hazard but low Dam Failure Risk compared to those in Scotland. Findings show that Baden is more advanced in flood defence management as well as adaptation to climate change.

Deutscher Titel: Neue Methode zur Beurteilung des Risikos eines Dammbrechens

Zusammenfassung: Eine neue, flexible, schnelle und preisgünstige Methode zur Risikobeurteilung von Dämmen wurde entwickelt und getestet, die auf Fallbeispielen in Schottland (Vereinigtes Königreich) und der Region Baden (Deutschland) basiert. Eine Datenbank von sechs verschiedenen Typen nachhaltiger Hochwasserrückhaltebecken (NHRB) mit unterschiedlichem Hochwasserrückhaltevermögen wurde entwickelt. Eine relativ hohe Anzahl von gegenwärtigen und ehemaligen großen Trinkwassertalsperren, die zur Hochwasserschutzkontrolle verwandt werden könnten, befinden sich in Schottland. Zweckmäßig gebaute und relativ kleine NHRB, die hauptsächlich für den Hochwasserschutz verwendet werden, dominieren hingegen die Landschaft in Baden. Darüber hinaus wurden 13 von 149 NHRB kürzlich renoviert und seit 2006 wurden 11 neue NHRB gebaut. Sowohl die geschätzte Gefahr als auch das Risiko sind im Vergleich zu den Parametern, die für die Hochwasserschutzinfrastruktur in Schottland gefunden worden sind, klein. Die Studie untersucht ein zeitsparendes Instrument zur Beurteilung des Dammmzustandes, der Dammbrechgefahr und des Dammbrechrisikos. Die meisten NHRB in Baden haben relativ geringe Werte bezüglich des Dammmzustandes, hohe Werte für Dammbrechgefahr und niedrige Werte bezüglich des Dammbrechrisikos im Vergleich zu NHRB in Schottland. Die Ergebnisse zeigen, dass Baden im Hochwasserschutz vorne liegt und daher dem Klimawechsel besser angepasst ist.

Keywords: water resources management; dam condition; dam failure hazard; dam failure risk; reservoir; adaptation to climate change; classification system; safety

1. Einführung

Die Europäische Gemeinschaft hat die Hochwasserrichtlinie 2007/60 EC [1] eingeführt, welche vorsieht, dass alle Mitgliedsstaaten nachhaltige Hochwasserrisikopläne erstellen. Die schottische Regierung hat daher den Flood Risk Management (Scotland) Act 2009 [2] erlassen. Dieses Gesetz ergänzt den Reservoirs Act 1975 [3]. Betreiber von Talsperren, die mehr als 10000 m³ Kapazität haben, sollen in Zukunft stärker reguliert werden. In Deutschland hat man das Konzept von Risikobeurteilung schon wesentlich früher erkannt und in deutsche Maßstäbe eingearbeitet [4].

Die Benutzung des Begriffes Nachhaltiges Hochwasserrückhaltebecken (NHRB) ist relativ neu (2006) und lehnt sich an den englischen Begriff Sustainable Flood Retention Basin (SFRB) an, der von der Forschungsgruppe der Autoren [5,6] geprägt wurde, an. Ein NHRB ist als ein künstlicher oder natürlicher Wasserkörper (z.B. Talsperre oder Feuchtgebiet) definiert, welches eine direkte oder mögliche Rolle im Hochwasser- und Umweltschutz hat. Diese Schutzfunktionen können kostengünstig durch umweltfreundliche Unterhaltungspläne, welche nachhaltige Drainage, Verschmutzungsreduktion, Artenvielfaltsteigerung und Freizeitwertsteigerung fördern, erreicht werden. Dies ist eine neue und holistische Definition, die nicht mit den deutschen Definitionen für Begriffe wie Talsperre oder Hochwasserrückhaltebecken verwechselt werden sollte.

Die Europäische Gemeinschaft unterstützt Mitgliedsstaaten bei regionalen und länderübergreifenden Förderungsprogrammen wie der Strategic Alliance for Water Management Actions (SAWA) [7]. Ein wichtiges Ziel von SAWA ist es, neue und holistische Richtlinien für die Entwicklung von Maßnahmen und Konzepten wie die NHRB zu erstellen.

Mehr Regenfälle im Frühling und Sommer aufgrund des Klimawechsels werden zu mehr Abfluss in Teilen von Großbritannien und Deutschland führen. Höhere Wasserspiegel in Rückhaltebecken und daher mehr Druck auf die Dämme werden erwartet. Das unkontrollierte Brechen von Dämmen aufgrund von extremen Naturereignissen kann zu Überflutungen und Umweltverschmutzungen führen. Dies kann katastrophale Folgen wie Todesfälle und Infrastrukturschäden haben [7–9]. Es ist daher notwendig, eine schnelle Methode zur Beurteilung des Dammbuchrisikos für zahlreiche Wasserkörper zu entwickeln.

Der Hauptzweck dieses Forschungsartikels besteht darin, eine holistische, schnelle und kostengünstige Methode zur Beurteilung von Dammbuchrisiken bei NHRB vorzustellen. Die folgenden Punkte sind damit verbundene Nebenzwecke:

- Klassifizierung von NHRB mit Dämmen in sechs Gruppen (NHRB Typen);
- Entwicklung einer schnellen und kostengünstigen Methode zur Identifizierung von Dammbuchgefahr und Dammbuchrisiko;
- Unterscheidung von verschiedenen Gefahren- und Risikostufen für verschiedene NHRB-Typen;
- Gewährleistung der weiten Anwendbarkeit der Methode durch das Prüfen von möglichst vielen internationalen Fallstudien;
- Untersuchung von NHRB-Datenbanken, um zu ermitteln, wieviele NHRB dem Klimawechsel schon angepasst wurden; und
- Beurteilung der räumlichen Variabilität bezüglich des Quotienten Dammbuchrisiko über Dammbuchgefahr.

Diese Arbeit beruht auf internationalen Erfahrungen und sollte als eine holistische Ergänzung zu der deutschen Sichtweise [10] von Hochwasser- und Umweltschutz angesehen werden. Die vorgestellte Methode beschränkt sich daher nicht auf hydrologische und hydraulische Parameter, deren genaue Ermittlung häufig sehr kostspielig und in der Praxis schwer ausführbar ist. Darüberhinaus schlagen die Autoren keinesfalls vor, nützliche Normen (zum Beispiel die DIN 4,048 für Hochwasserrückhaltebecken oder die DIN 19,700 für Stauanlagen) vollständig zu ersetzen.

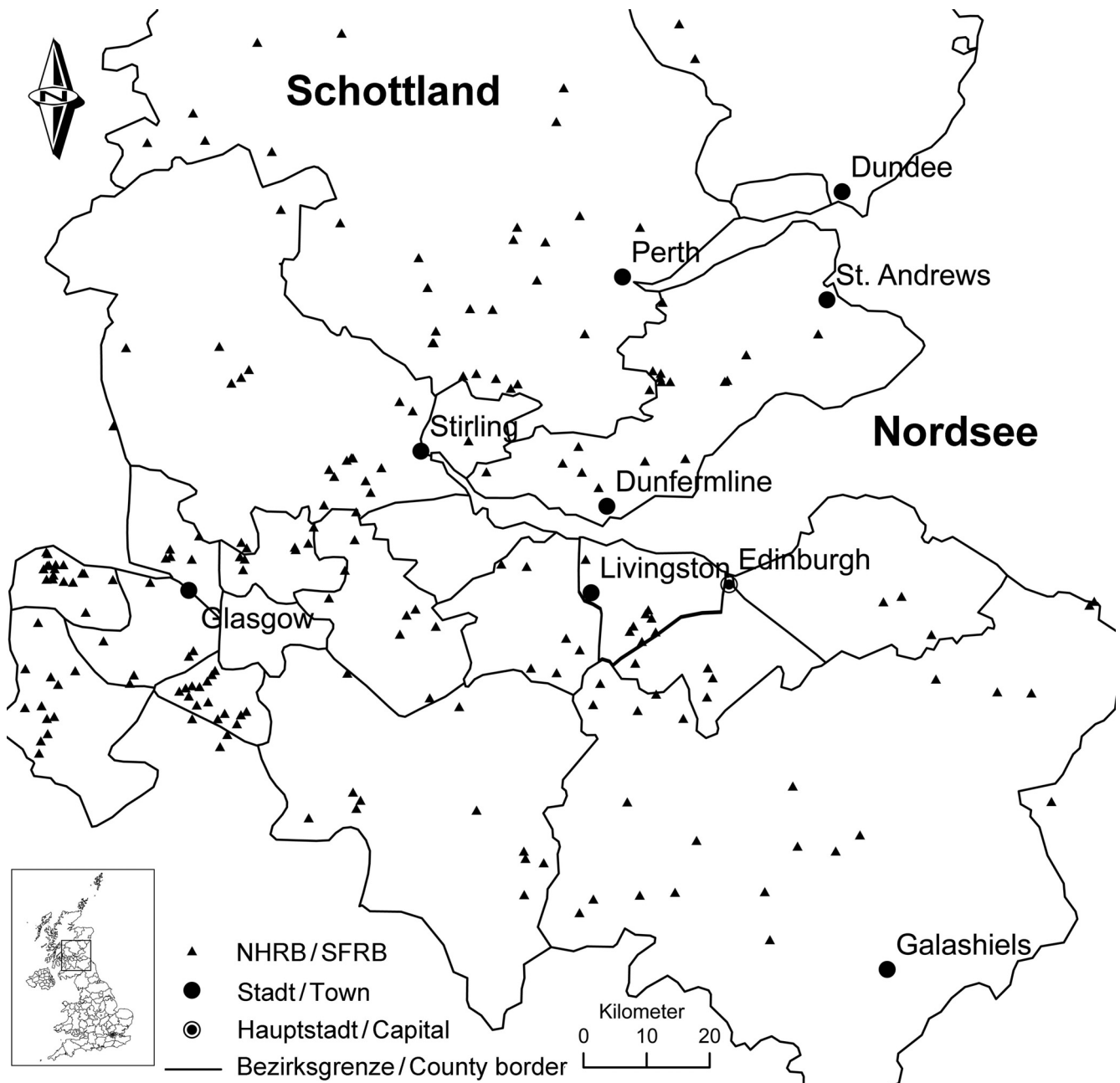
2. Methodik

In Schottland wurden 199 NHRB identifiziert (Abbildung 1). Im Vergleich dazu wurden 165 NHRB in Baden aufgenommen (Abbildung 2). Diese Abbildungen geben einen guten Überblick über die große räumliche Verteilung der Becken. Die Beurteilungen beruhten auf einer Literaturstudie und einer Ortsbegehung. Die Literaturstudie in Schottland beruft sich weitgehend auf die Quellen [11–15]. Informationen bezüglich der badischen Fallstudien wurden durch zahlreiche Gemeinden und Wasserverbände geliefert.

Die Definitionen der Autoren für die unterschiedlichen Typen von NHRB wurden in Tabelle 1 zusammengefasst. Diese Beschreibungen beruhen auf umfangreichen Literaturstudien und

Expertenmeinungen [16]. Die Bestimmung der einzelnen Standardvariablen beruht auf einer ehemaligen Veröffentlichung [5] für NHRB in Baden. Eine ausführliche Beschreibung dieser Begriffe wäre für diese Zeitschrift zu umfangreich, kann jedoch von den Autoren angefordert werden [17].

Abbildung 1. Studiengebiet, administrative Grenzen und die 199 Nachhaltigen Hochwasserrückhaltebecken (NHRB) mit Dämmen im Großraum Zentral-Schottland (Vereinigtes Königreich).



Abteilung 2. Studiengebiet, administrative Grenzen und die 165 Nachhaltigen Hochwasserrückhaltebecken (NHRB) mit Dämmen in Süd-Baden (Deutschland).

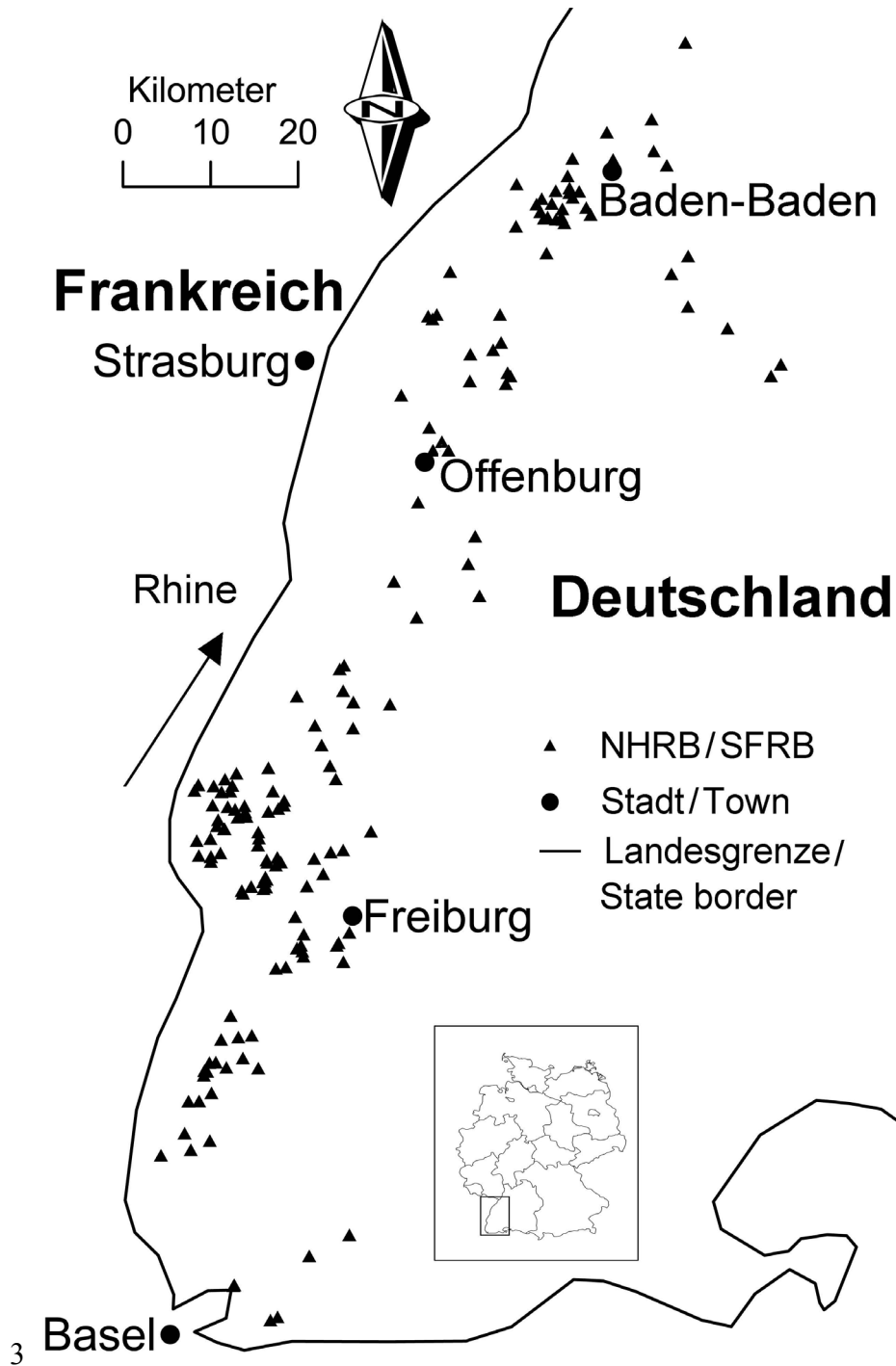


Tabelle 1. Definitionen für verschiedene Typen von nachhaltigen Hochwasserrückhaltebecken (NHRB).

Typ	Name	Definition von NHRB Typ	Typische Beispiele	Gefahr/ Risiko
1	Hydraulisches Hochwasserrückhaltebecken (HHRB)	Bewirtschaftetes NHRB, welches hydraulisch (oder sogar automatisch) optimiert ist, und Sedimente kontrolliert anhäuft	Einige Trinkwassertalsperren; große zweckmäßige Hochwasserrückhaltebecken	Hohe Gefahr und niedriges Risiko
2	Traditionelles Hochwasserrückhaltebecken (THRB)	Ästhetisches Rückhaltebecken, welches für Hochwasserrückhaltung benötigt wird; nachhaltige Dränage ist möglich	Ehemalige Trinkwassertalsperre; traditionelles Hochwasserrückhaltebecken	Moderate Gefahr und moderates Risiko
3	Nachhaltiges Hochwasserrückhaltefeuchtgebiet (NHRF)	Ästhetisches Rückhaltebecken und Behandlungsfeuchtgebiet, welches für einen passiven Hochwasserschutz verwendet wird; nachhaltige Dränage ist möglich	Nachhaltige Dränageanlage (zum Beispiel ein Rückhaltebecken, Eintaubecken, großer Teich oder Feuchtgebiet)	Niedrige Gefahr und niedriges Risiko
4	Ästhetisches Hochwasserbehandlungsfeuchtgebiet (ÄHBF)	Behandlungsfeuchtgebiet für die Rückhaltung von verschmutztem Ablauf, welches ästhetisch in die Landschaft integriert ist; einige soziale Vorteile; Freizeitswertsteigerung	Einige moderne künstliche und integrierte Feuchtgebiete	Hohe Gefahr und niedriges Risiko
5	Integriertes Hochwasserrückhaltefeuchtgebiet (IHRF)	Integrierte Hochwasserrückhaltefeuchtgebiete für passive Behandlung von Ablauf; Förderung von Freizeitwerten	Künstliche Gewässer innerhalb von Parks oder in der Nähe von Straßen, welche klare Mehrzwecke haben (zum Beispiel: Wassersport und Angeln)	Hohe Gefahr und niedriges Risiko
6	Natürliches Hochwasserrückhaltefeuchtgebiet (NHRF)	Passive und natürliche Hochwasserrückhaltebecken, welche möglicherweise Naturschutzgebiete werden könnten	Seen und Teiche (möglicherweise mit Zugangseinschränkung)	Moderate Gefahr und niedriges Risiko

Tabelle 2 beinhaltet eine Kurzbeschreibung der neuen Parameter Dammszustand, Dammsbruchgefahr und Dammsbruchrisiko bezüglich deren Komponenten und Gewichtungen. Eine Gefahr (zum Beispiel: unerwünschter Baumbewuchs und Nagetieraktivitäten auf einem Damm) kann entweder mit einem niedrigen (fast immer leeren Rückhaltebecken) oder hohem (fast immer vollen Becken) Risiko verknüpft sein. Beispielbeschreibungen für die Extremwerte bezüglich aller Komponenten sollen den Ingenieuren und Wissenschaftlern helfen, möglichst genaue Abschätzungen vorzunehmen. Alle Werte basieren auf Vergleichsabschätzungen und Expertenmeinungen. In dem Parameter Dammsbruchrisiko werden unabhängigen Parameter wie das Versagensrisiko und das Schadenrisiko zusammengefasst. Dies kann zu Verzerrungen bei der Bewertung und wesentlichem Informationsverlust führen. Experten müssen daher die Gewichtungswerte für die einzelnen Parameter vorher der Region anpassen.

Weitere Informationen wie das NHRB Handbuch (56 Seiten [17]) zur Bestimmung der einzelnen Parameter können von den Autoren angefordert werden. Dieses Material ist für eine Veröffentlichung in dieser Zeitschrift jedoch zu umfangreich.

Tabelle 2. Kurzbeschreibung der Summenparameter Dammmzustand (%), Dammbuchgefahr (%) und Dammbuchrisiko (%) bezüglich deren Komponenten und Gewichtungen.

<i>Dammmzustand (%)</i>			<i>Dammbuchgefahr (%)</i>			<i>Dammbuchrisiko (%)</i>		
Komponente	Obere Gewichtungsbeschreibung (Beispiel)	Untere Gewichtungsbeschreibung (Beispiel)	Komponente	Obere Gewichtungsbeschreibung (Beispiel)	Untere Gewichtungsbeschreibung (Beispiel)	Komponente	Obere Gewichtungsbeschreibung (Beispiel)	Untere Gewichtungsbeschreibung (Beispiel)
<i>Dammbaufbau</i> (30%)	Sehr guter Dammbaufbau; sehr ordentlich; wahrscheinlich gute Bewirtschaftung durch einen Wasserverband oder eine Gemeinde (>80%)	Sehr schlechter Dammbaufbau; Oberflächenrisse e möglich; Sickerwasser gesichtet; Damm ist wahrscheinlich nicht mehr in Betrieb (<20%)	<i>Kraft auf den Damm</i> (30%)	Dammhöhe größer als 35 m; hohe permanente Wasserkraft; schlechte Konstruktion bezüglich des mineralischen Kernes, der Uferböschung oder der Grundabdichtung; Wasserwellenschaden; Verstopfung der Überlaufabdeckung wahrscheinlich (>80%)	Dammhöhe häufig kleiner als 18 m; sehr selten Druck auf den Damm (zum Beispiel: leere Talsperre); sehr gute Konstruktion (<20%)	<i>Statisches Dammbuchrisiko</i> (20%)	Sehr hoher Dammdruck; schlechte Unterhaltung; risikoreicher Betrieb; sehr dünner, hoher und langer Damm mit vielen potentiellen Schwachstellen (>80%)	Niedriger Druck auf den Damm; sehr gute Unterhaltung; sichere Struktur durch sehr weiten, flachen und kurzen Damm (<10%)
<i>Überlaufzustand</i> (30%)	Normalerweise eine Hochwasserentlastungsanlage; verstärkte Grassoden möglich; keine ungewollte Vegetation; gut gepflegt und unterhalten (>80%)	Kein kontrollierter Überlauf; fehlende Bausteine; Bauelement sollte repariert werden (<5%)	<i>Mögliche Tote durch Sperrenbruch</i> (35%)	Sehr großer Wasserkörper; sehr hohe permanente Bevölkerungsdichte im Einzugsgebiet unterhalb des Dammes; Personen kommen höchst wahrscheinlich ums Leben (>80%)	Sehr kleiner Wasserkörper; ländlicher Raum; nur wenige Menschen leben unterhalb des Dammes (<10%)	<i>Risiko bezüglich Tote durch Sperrenbruch</i> (50%)	Sehr hohe Bevölkerungsdichte; permanente Wohneinheiten; kein Sicherheits- und Evakuationsplan vorhanden (>80%)	Dünn besiedelt; niedriger Anteil an dauerhafter Bevölkerung; kleiner Damm; kein Sicherheitskonzept notwendig (<10%)
<i>Zustand der Wellenabfangmauer</i> (20%)	Gut unterhaltene Wellenabfangmauer; Betonmauer, Steinmauer oder große Findlinge; keine ungewollte Vegetation (>90%)	Stellenweise Erosion des Erd-dammes; keine regelmäßige Unterhaltung; fehlende Bausteine (<10%)	<i>Wichtigkeit der Infrastruktur unter Einfluß eines Damms</i> (25%)	Wichtige Flugplätze, Bahnstrecken, Straßen und Brücken, Gasleitungen, Industriegebiete und Elektrizitätsversorgungsstationen sind sehr beeinträchtigt; hoher Wasserverlust (>80%)	Signifikante ländliche Gebiete; keine wichtige Infrastruktur; nur einspurige Straßen sind beeinflusst (<5%)	<i>Infrastruktur-schädigungsrisiko</i> (20%)	Sehr dürrtiger Hochwasserschutz; niedrige Seitenbefestigungen; nahe eines Wasserkörpers; sehr hohe Überflutungstiefe; keine Anpassung an den Klimawechsel offensichtlich (>80%)	Sehr gut vor Überflutung geschützt; Damm befindet sich im Gebirge; hohe Dammsseiten; fern von anderen Gewässern; Niedrigwasser; voll an den Klimawechsel angepasst (<15%)

Tabelle 2. Fortsetzung.

	<i>Dammzustand (%)</i>			<i>Dammbrechgefahr (%)</i>			<i>Dammbbruchrisiko (%)</i>	
<i>Einfluss des Operationsvolumens (10%)</i>	Stau- und Betriebsraumvolumen größer als 20 km ³ ; großer Einfluß auf den Damm durch hohe und lang anhaltende Wasserkraft im Falle eines Dammdurchbruches (>80%)	Stau- und Betriebsraumvolumen häufig kleiner als 0.5 km ³ ; sehr selten mit Wasser gefüllt; wenig Druck auf den Damm (<20%)	<i>Andere Faktoren, welche die Dammbrechgefahr beeinflussen könnten (10%)</i>	Ernsthafte Erosion and Dammschäden; trübes Sickerwasser in Bohrlöchern; Bäume und Sträucher wachsen auf dem Damm (Gefahr auf Grund von interner Erosion); verstopfter oder beschädigter Überlauf (Gefahr des Überströmens); Schäden durch Nagetiere und Krustentiere; wichtiges Naturschutzgebiet unterhalb des Dammes (>80%)	Naturnaher Wasserkörper ohne offensichtliche Gefahrenquellen; öffentlicher Park (<10%)	<i>Andere Faktoren, welche das Dammbbruchrisiko beeinflussen könnten (10%)</i>	Damm- und Seitenbefestigungsschäden besonders in feuchten Jahren wahrscheinlich; Risiko von schadstoffhaltigen Sedimentationsablagerungen in bevölkerungsreichen Gebieten; Kettenefekt bezüglich Dammbbrüchen; Klimawechsel sorgt für unvorhersehbare meteorologische Ereignisse; hohes Zerstörungsrisiko durch Terrorismus, Sabotage und Erbeben (>80%)	Gute und sichere Unterhaltung; kein Risiko identifiziert (<10%)
<i>Andere Faktoren, welche den Dammbzustand beeinflussen (10%)</i>	Becken werden derzeit von einem Wasserverband verwaltet; Trinkwasserversorgungszweck und/oder Hochwasserschutznutzung (>85%)	Naturnaher Wasserkörper (See oder Feuchtgebiet); keine regelmäßige Unterhaltung (<10%)						

Um eine Gruppenanalyse (cluster analysis) der NHRB durchzuführen [18], wurde Matlab 7.1 [19] verwendet. Die Ergebnisse dieser Methode können graphisch in Form von Dendrogramms gezeigt werden. Die NHRB-Daten wurden in sechs Gruppen sortiert (Tabelle 1), welche den einzelnen NHRB-Typen entsprechen.

3. Aufarbeitung der Ergebnisse

Abbildung 3 zeigt das Dendrogramm für die kombinierte Datenbank. Die Gruppen A, B und C repräsentieren fast ausschließlich die schottischen NHRB. Im Gegensatz dazu enthalten die Gruppen D, E und F fast nur badische NHRB. Wenig Übereinstimmung besteht zwischen den schottischen und badischen Daten auf Grund von geringen Ähnlichkeiten (Y-Achse) zwischen den NHRB Gruppen (X-Achse). Abbildung 3 ist auch notwendig, um verschiedene Typen von NHRB (Tabelle 1) in beiden Fallstudien zu bestimmen. Die NHRB des Typs 2 dominieren in Schottland. Typen 1 und 4 sind charakteristisch für Baden.

Abbildung 3. Dendrogramm basierend auf 43 Parametern für die kombinierte Datenbank, welche 197 schottische und 160 badische Nachhaltige Hochwasserrückhaltebecken (NHRB; Einträge auf der X-Achse) enthält.

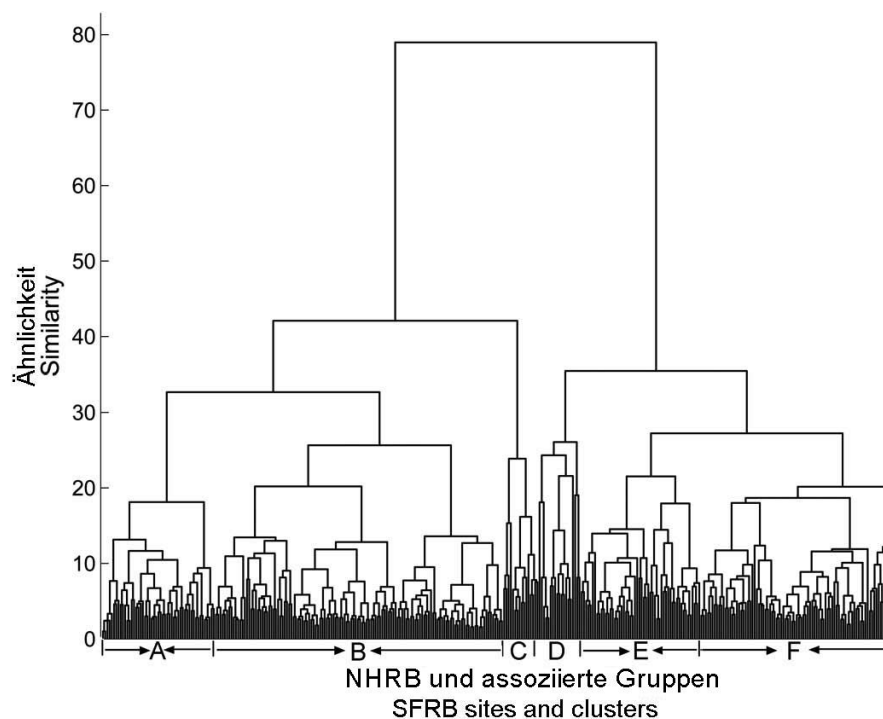


Tabelle 3 zeigt eine Übersicht der wichtigsten physikalischen Variablen, die für die Bestimmung der Risikosummenparameter relevant sind. Die Variablen wurden während Begehungen der Becken aufgenommen und durch Literaturstudien bestätigt. Die Dateninterpretation zeigt, dass wenig Übereinstimmung zwischen den schottischen und badischen Daten besteht. Tabelle 3 bestätigt daher Abbildung 3. Das maximale Stauvolumen für schottische im Vergleich zu badischen NHRB ist zum Beispiel viel größer. Dies ist auch der Fall für ähnliche Einzugsgebiete. Schottische NHRB sind fast ausschließlich randvoll. Badische NHRB sind dagegen so gut wie immer leer.

Tabelle 3. Statistische Informationen für die wichtigsten Variablen, die für die Bestimmung der risikorelevanten Parameter von nachhaltigen Hochwasserrückhaltebecken (NHRB) relevant sind.

Land	Gruppe (NHRB Typ)	Statistische Parameter	Damm- höhe m	Damm- länge m	Speicherlängs- gefälle %	Maximales Rückhalte- volumen Million m ³	Jährlicher Regenfall mm/a	Einzugs- gebietsgrö- ße km ²	Mittlere Beckentiefe m
Schottische Becken	Gruppe A (51 Becken; Typ 3)	Durchschnitt	2,91	127,82	0,02	0,32	949,4	3,08	2,70
		Mittlere Abweichung	2,62	133,13	0,01	0,51	236,21	3,59	1,08
		Zuversichtswert	80,8	82,8	67,5	66,4	75,1	80,7	61,3
	Gruppe B (130 Becken; Typ 2)	Durchschnitt	9,64	259,62	0,02	1,96	1.102,8	8,16	5,70
		Mittlere Abweichung	2,27	199,74	0,02	2,84	289,26	14,45	2,70
		Zuversichtswert	78,7	84,6	72,3	71,0	76,9	84,1	64,70
	Gruppe C (15 Becken; Typ 5)	Durchschnitt	30,16	318,50	0,08	20,57	1.039,30	38,58	15,10
		Mittlere Abweichung	16,33	169,30	0,25	18,38	350,52	40,12	6,69
		Zuversichtswert	86,9	90,2	68,3	81,0	79,0	85,6	73,3
	Gruppe D (1 Becken; Typ 6)	Durchschnitt	32,1	240,0	1,0	5,1	900,0	74,0	25,0
		Zuversichtswert	99,0	99,0	60,0	99,0	60,0	60,0	70,0
	Total (197 Becken)	Durchschnitt	9,4	229,4	0,0	3,0	1.057,8	11,4	5,5
		Mittlere Abweichung	9,57	192,48	0,02	7,68	288,42	38,70	4,02
		Zuversichtswert	79,8	84,6	70,7	70,6	76,6	83,3	64,6

Tabelle 3. Fortsetzung.

Land	Gruppe (NHRB Typ)	Statistische Parameter	Damm- höhe	Damm- länge	Speicherlängs- gefälle	Maximales Rückhalte- volumen	Jährlicher Regenfall	Einzugs- gebietsgrö- ße	Mittlere Beckentiefe
			m	m	%	Million m ³	mm/a	km ²	m
Badische Becken	Gruppe D (18 Becken; Typ 6)	Durchschnitt	3,53	1.862,32	1,42	0,87	764,20	95,42	2,50
		Mittlere Abweichung	2,34	1801,12	2,43	1,34	78,55	130,14	1,94
		Zuversichtswert	74,3	74,7	56,1	66,5	68,3	50,8	51,7
	Gruppe E (54 Becken; Typ 1)	Durchschnitt	5,66	451,48	1,67	0,20	808,30	8,72	3,30
		Mittlere Abweichung	3,23	852,50	1,16	0,39	80,61	12,72	1,83
		Zuversichtswert	70,7	71,8	56,5	66,7	74,3	61,6	53,6
	Gruppe F (87 Becken; Typ 4)	Durchschnitt	4,29	147,93	2,22	0,04	739,80	2,44	2,80
		Mittlere Abweichung	2,60	251,56	2,22	0,14	74,47	3,77	1,52
		Zuversichtswert	74,9	74,0	62,3	64,6	79,7	61,8	60,6
	Gruppe C (1 Becken; Typ 5)	Durchschnitt	8,0	65,0	0,1	0,3	870,0	490,0	3,0
		Zuversichtswert	80,0	98,0	70,0	70,0	80,0	80,0	75,0
	Total (160 Becken)	Durchschnitt	4,8	455,1	1,9	0,2	766,0	13,0	3,1
		Mittlere Abweichung	3,60	965,05	1,97	0,69	83,03	38,08	2,43
		Zuversichtswert	73,5	73,5	59,6	65,7	76,4	60,2	57,3

Das Forschungsprojekt versuchte die oben beschriebenen Methoden zum Risikomanagement in einem zeitsparenden Instrument zur Risikobeurteilung zu vereinigen. Tabelle 4 zeigt die wichtigsten statistischen Parameter für die Variablen, welche Risikoszenarien beschreiben könnten. Die Variablen wurden mit der Hilfe von Tabelle 2 und dem mehr ausführlicheren NHRB Handbuch [17] bestimmt. Die individuellen Dammbuchrisikodaten helfen Entscheidungsträgern bei der schnellen Identifizierung von Dämmen für die Handlungsbedarf besteht.

Risikowerte sind im Allgemeinen viel kleiner als Gefahrenwerte. Dies kann mit direkten (z.B. stabiler Damm) und indirekten (z.B. dünne Besiedelung unterhalb des Dammes) Massnahmen zur Risikobeschränkung erklärt werden. Tabelle 4 bestätigt Tabelle 3 in der Behauptung, dass zwischen den schottischen und badischen Fallbeispieldaten wenig Überlappung zu erkennen ist.

Tabelle 4. Statistische Informationen bezüglich der risikorelevanten Parameter für nachhaltige Hochwasserrückhaltebecken (NHRB).

Land	Gruppe (NHRB Typ)	Statistische Parameter	Damm- zustand %	Dammbuch- gefahr %	Dammbuch- risiko %
Schottische Becken	Gruppe A (51 Becken; Typ 3)	Durchschnitt	55,4	2,6	4,4
		Mittlere Abweichung	17,47	3,48	3,35
		Zuversichtswert	62,2	71,1	63,3
	Gruppe B (130 Becken; Typ 2)	Durchschnitt	77,7	8,6	6,3
		Mittlere Abweichung	7,40	11,67	3,80
		Zuversichtswert	66,0	67,2	60,3
	Gruppe C (15 Becken; Typ 5)	Durchschnitt	88,7	21,6	4,9
		Mittlere Abweichung	8,44	16,70	3,43
		Zuversichtswert	76,9	67,0	66,3
	Gruppe D (1 Becken; Typ 6)	Durchschnitt	85,9	1,8	8,5
		Zuversichtswert	61,8	60,0	55,6
		Total (197 Becken)	Durchschnitt	72,8	8,0
		Mittlere Abweichung	15,35	11,57	3,74
		Zuversichtswert	68,3	68,3	63,1
Badische Becken	Gruppe D (18 Becken; Typ 6)	Durchschnitt	51,7	11,9	2,6
		Mittlere Abweichung	16,38	12,15	2,55
		Zuversichtswert	64,2	56,4	61,1
	Gruppe E (54 Becken; Typ 1)	Durchschnitt	52,3	18,3	2,4
		Mittlere Abweichung	11,64	11,87	1,46
		Zuversichtswert	63,2	56,1	59,4
	Gruppe F (87 Becken; Typ 4)	Durchschnitt	46,7	12,7	2,5
		Mittlere Abweichung	11,46	9,93	2,06
		Zuversichtswert	66,4	59,7	63,7
	Gruppe C (1 Becken; Typ 5)	Durchschnitt	78,0	26,1	2,4
		Zuversichtswert	65,0	60,0	70,0
		Total (160 Becken)	Durchschnitt	49,1	14,6
		Mittlere Abweichung	12,28	11,15	1,87
		Zuversichtswert	64,6	57,5	61,3

Der Dammzustand für NHRB in Schottland ist normalerweise besser (73% verglichen mit 49%) als in Deutschland. Dies kann damit erklärt werden, dass Schottland viele Trinkwassertalsperren besitzt. Es ist daher interessant, daß die Dammbuchrisiken für Baden im Allgemeinen wesentlich geringer sind als für Schottland. Dies liegt daran, dass deutsche NHRB meistens leer sind (Tabelle 4). Die angeführten Werte sind relative Vergleichsgrößen und sollten daher nur im gültigen Zusammenhang miteinander verglichen und interpretiert werden. Ein hoher Wert (zum Beispiel für Dammbuchgefahr) bedeutet nicht, dass der jeweilige Damm kurz vor dem Zusammenbruch steht. Nur wenn der dazugehörige Wert für Dammbuchrisiko ebenfalls hoch ist, besteht Grund zur Besorgnis.

Abbildung 4 zeigt die räumliche Verteilung des Quotienten Dammbuchrisiko über Dammbuchgefahr für Zentral-Schottland. Je höher dieser Quotient ist, desto grösser ist im Allgemeinen das Risiko eines Dammbuches mit hohen Sachschäden und gegebenenfalls auch mit Todesopfern. Niedrige Werte sind die Regel, da Risikowerte meistens viel kleiner sind als Gefahrenwerte. Die vergleichbare Verteilung für Süd-Baden ist in Abbildung 5 zu sehen. Die Kartenwerte sind keine Modellierungswerte und basieren lediglich auf einem einfachen Interpolationsverfahren; sie dienen daher nur der generellen Übersicht. Es ist jedoch deutlich für Ortskundige, dass NHRB, die sich im Gebirge und oberhalb von Ortschaften befinden, einen hohen Risikoquotienten haben.

Abbildung 4. Räumliche Verteilung des Verhältnisses von Dammbuchrisiko zu Dammbuchgefahr für 197 nachhaltige Hochwasserrückhaltebecken im Großraum Zentral-Schottland

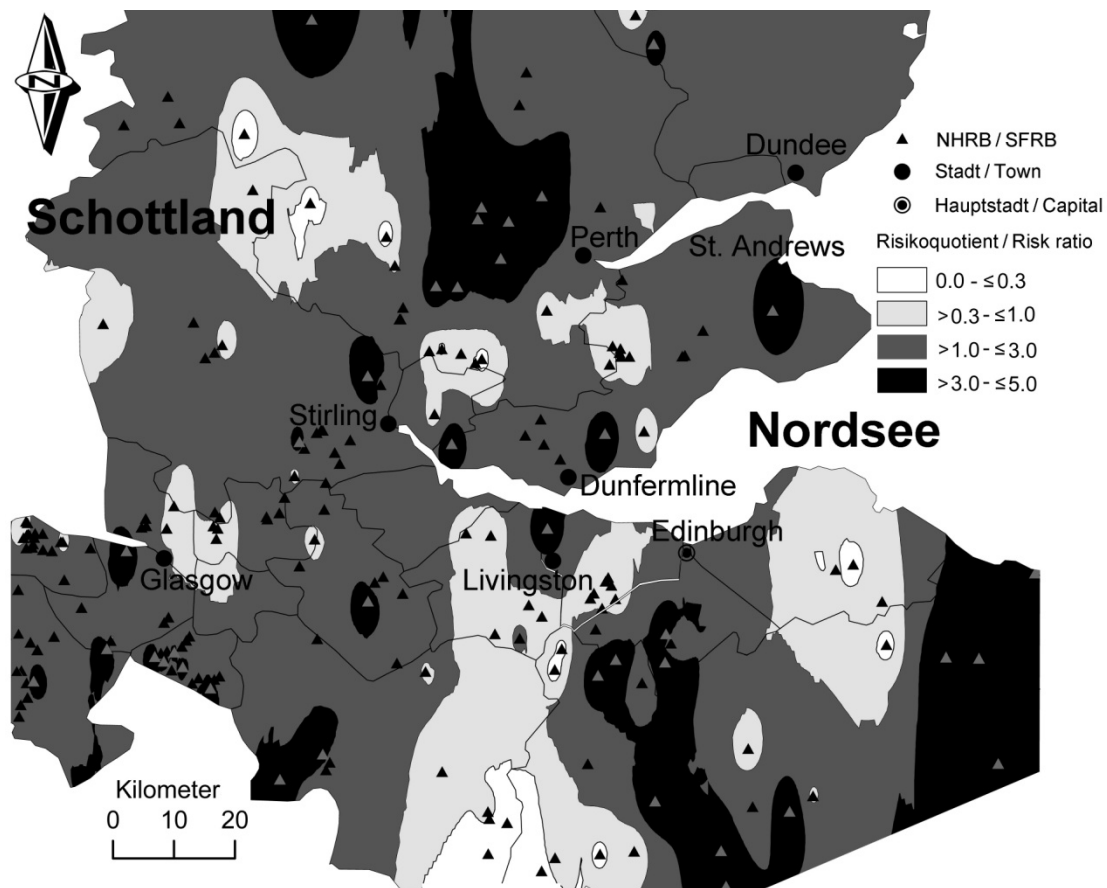


Abbildung 5. Räumliche Verteilung des Verhältnisses von Dambruchrisiko zu Dambruchgefahr für 160 nachhaltige Hochwasserrückhaltebecken in Süd-Baden

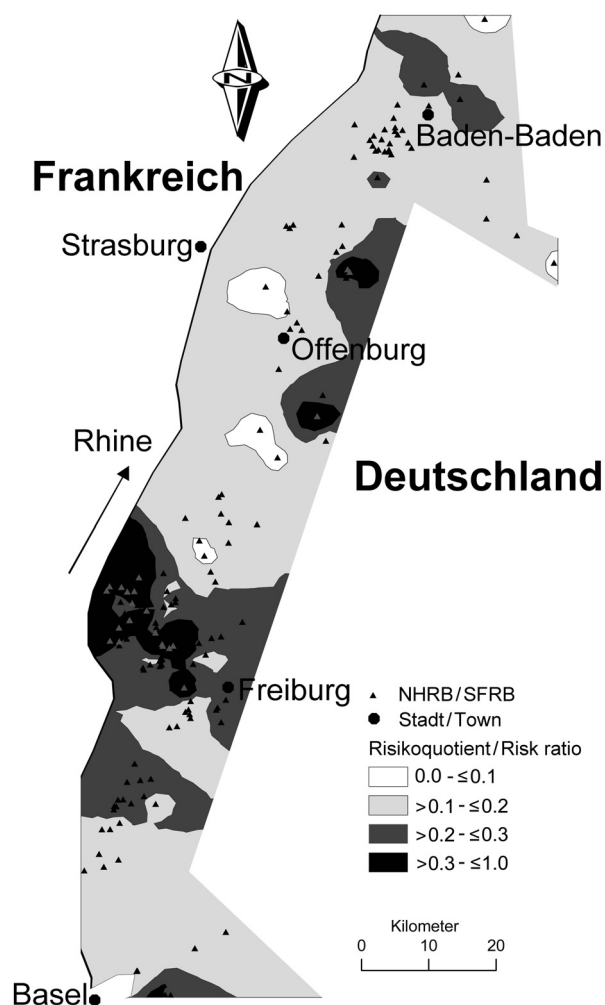


Abbildung 4 zeigt deutlich, daß der Quotient von Gefahr über Risiko für die schottischen Fallstudien zwischen 0 und 5 liegt. Fast 40% der Quotienten sind kleiner als 1. Vergleichbare Werte für Baden liegen jedoch nur zwischen 0 und 1 (Abbildung. 5). Ungefähr 80% der badischen NHRB haben Quotienten zwischen 0 und 0,3. Diese Ergebnisse deuten an, dass das Sicherheitskonzept in Baden viel erfolgreicher zu sein scheint. Die schottische Wasserfirma Scottish Water sollte also das Hochwasserschutzrisiko für ihre Anlagen besser kontrollieren.

Verschiedene NHRB Typen gehören unterschiedlichen Gefahren- und Risikokategorien an (Tabelle 4), welches in Tabelle 1 (letzte Spalte) angedeutet ist. Die größte Gefahr sollte für NHRB vom Typ 2 bestehen. Diese Wasserkörper werden zumeist von Scottish Water nach einem Betriebsplan betrieben, der nicht von den ursprünglichen Designingenieuren als Standardoperation vorgesehen war. Viele dieser manuell betriebenen und häufig kleineren Talsperren sind immer randvoll, und laufen ständig über. Aus Kostengründen wird auf einen aktiven Betrieb verzichtet. Diese unsachgemäße Praxis birgt ein zusätzliches Risiko für die Sicherheit dieser Bauwerke.

Ein Vergleich bezüglich der Nutzungskategorien der untersuchten NHRB zeigt, dass sich die deutschen Becken durch Vielseitigkeit und großes Hochwasserrückhaltevermögen (62%) auszeichnen.

Die schottischen NHRB dienen derzeit dem Hochwasserschutz nur zu 3%, da sie hauptsächlich für die Trinkwasserversorgung (40%) Verwendung finden. Scottish Water hat derzeit keine rechtliche Verpflichtung NHRB für den Hochwasserschutz zur Verfügung zu stellen. Die ausschließliche Verwendung für die Langzeitspeicherung von Wasser (13%) für die Trinkwasserversorgung und aus erholungsförderlichen Gründen ist relativ eindeutig. Die badischen Becken hingegen haben (abgesehen vom Hochwasserschutz) eher umweltschutzsteigernde (11%) und landschaftsbereichernde (8%) Nebenzwecke.

Ein Vergleich von wichtigen Parametern, die gezielt durch bauliche Maßnahmen verbessert worden sind, um der Anpassung an den Klimawechsel zu dienen, zeigt, dass Baden Schottland in dieser Hinsicht weit voraus ist: 24 deutsche NHRB im Vergleich zu nur einem schottischen NHRB wurden innerhalb von vier Jahren (Sommer 2006 bis Sommer 2010) entweder aufgerüstet (13 NHRB) oder neu gebaut (11 NHRB). Aufrüstungsmassnahmen schliessen die folgenden Arbeiten ein: Erhöhung des Damms, Verbreitung des Damms und Vergrößerung der Lehmschicht. Nur ein Überlauf in Zentral-Schottland wurde in diesem Zeitraum um einiges umgebaut. Diese Massnahmen führen zu höheren Stauvolumen und reduzieren die Gefahr von Dambrüchen auf Grund von häufigeren und stärkeren Regenfällen.

Die Untersuchungen zeigen, dass Deutschland im Vergleich zum Vereinigten Königreich Hochwasserschutz in der Praxis ernster nimmt. Dies wird deutlich auf Grund der folgenden Beobachtungen bezüglich der schottischen Fallstudien:

- Der schottische Wasserversorger scheint den praktischen Hochwasserschutz derzeit nicht vorrangig zu behandeln.
- Schottische Gemeinden erhalten normalerweise nur wenig Zuschüsse für Hochwasserschutzmaßnahmen.
- Es gibt in Schottland eine verhältnismäßig geringe Anzahl von zweckgebundenen NHRB (3% verglichen mit 62%).
- Kein NHRB ist dort in der Regel trocken (0% verglichen mit 99%). Die meisten NHRB sind immer voll, and haben daher nur ein beschränktes Hochwasserrückhaltevolumen.
- Viele NHRB in Schottland werden nur selten renoviert (1% verglichen mit 9% in Baden).

4. Fazit und Vorschläge für weitere Forschungen

Die drei NHRB Typen 1, 4 und 6 wurden mit einer Gruppenanalyse für Baden identifiziert. Diese NHRB sind vornehmlich Hochwasserrückhaltebecken, die jedoch auch weitere Funktionen wie Umwelterhaltung und Landschaftsbereicherung haben können. Die schottischen NHRB sind jedoch überwiegend vom Typ 2, 3 and 5. Die Überlappung zwischen schottischen und badischen NHRB ist ausgesprochen gering. Traditionelle Hochwasserrückhaltebecken (Typ 2) sind im Wesentlichen ehemalige Trinkwasserspeicher, die die schottische Landschaft bestimmen. Diese Anlagen könnten einem kostengünstigen Hochwasserschutz dienen. Ihr Wasserstand ist jedoch derzeit nicht optimal reguliert.

Im Vergleich zu Schottland haben NHRB in Baden schlechtere Dammmzustände und daher hohe Dambruchgefahrenwerte, aber niedrige Dambruchrisikowerte. Dies kann damit erklärt werden, dass schottische NHRB vergleichsweise hohe Dämme und große Wasservolumen haben. Badische

NHRB sind hingegen meistens leer. Darüber hinaus sind in Schottland viele Anlagen in städtischen Räumen zu finden. Auf Grund von räumlichen Einschränkungen haben viele NHRB in verbauten Gegenden hohe Quotienten von Dambruchrisiko über Dambruchgefahr. Ungefähr 9% aller deutschen NHRB wurden zwischen 2006 und 2010 renoviert. Darüber hinaus wurden viele neue NHRB in Baden gebaut. Schottland hingegen ist noch nicht auf den Klimawechsel vorbereitet.

Das vorgestellte Verfahren zur Beurteilung von Dämmen ist schnell, kostengünstig und kann hohe Dambruchrisiken effizient bestimmen. Die hohe potenzielle Ungenauigkeit der Expertenmethode ist jedoch ein Nachteil.

Die Wirkung von Dambrüchen bezüglich des Schadenspotenzials weit unterhalb der Becken wurde in diesem Artikel nicht berücksichtigt. Es ist davon eventuell auszugehen, dass ein Dambruch mit Hochwasserwellen anderer Gewässer unterhalb des Beckens zusammentrifft. Dies bedeutet, dass ein Dammversagen, je nach Größe des Damms, sich sehr weit unterhalb noch auswirken kann. Weitere Forschungen zu dieser Problematik sind erwünscht.

Dank

Das 'Europäische Regionale Entwicklungsprojekt IVB 2007-2013 Nordsee Region Programm' unterstützt finanziell das Forschungsprojekt 'Nachhaltige Hochwasserrückhaltebecken zur Kontrolle von Überflutungen und diffusen Einträgen', welches Teil der Gruppe 'Strategische Allianz für Wasserunterhaltungsaktionen' ist. Die Alexander von Humboldt Stiftung förderte Miklas Scholz in den Jahren 2006 und 2010 mit einem Forschungsaufenthalt an der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg. Die Autoren danken Ihren Gastgebern, insbesondere Herrn Werner Konold und Herrn Reiner Dietrich.

Literatur

1. EC. Hochwasserrichtlinie 2007/60/EC des Europäischen Parlamentes vom 23.10.2007. *Official Journal of the European Community* (EC) (Eur Lex) **2007**, Ref L 288/27-34.
2. Flood Risk Management (Scotland) Act 2009 (asp 6). Scottish Government, Edinburg, Schottland, Vereinigtes Königreich, 2009.
3. Office of Public Sector Information: Revised Statute from the UK Statute Law Database. Reservoirs Act 1975 (c.23). Office of Public Sector Information, London, England, Vereinigtes Königreich, 2010. http://www.opsi.gov.uk/RevisedStatutes/Acts/ukpga/1975/cukpga_19750023_en_1.
4. DIN. Deutsche Norm DIN 19700 Stauanlagen. Deutsches Institut für Normung (DIN), Beuth Verlag GmbH, Berlin, Deutschland, 2000.
5. Scholz, M.; Sadowski, A.J. Conceptual classification model for sustainable flood retention basins. *Journal of Environmental Management* **2009**, *90*, 624–633.
6. Scholz M. *Wetland Systems – Storm Water Management Control*. Springer, Berlin, Deutschland, 2010.
7. SAWA. SAWA - A Strategic Alliance in the North Sea Region. – Strategic Alliance for Water Management Actions (SAWA) project information. SAWA, Hamburg, Deutschland, 2010. Available online: <http://www.sawa-project.eu/> (accessed on 1 November 2011).

8. ATV-DVWK. *Hochwasserrückhaltebecken – Probleme und Anforderungen aus wasserwirtschaftlicher und ökologischer Sicht*. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (ATV-DVWK) und Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik e.V., Hennef, Deutschland, 2001.
9. Evans, S.Y.; Hohl, A. Reservoir inundation mapping and emergency planning. In *Proceedings of Water and Environment 2010*, The Chartered Institution of Water and Environmental Management's Annual Conference. Olympia Conference Centre, London, England, Vereinigtes Königreich, 2010.
10. Merz, B. *Hochwasserrisiken – Möglichkeiten und Grenzen der Risikoabschätzung*. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, Deutschland, 2006.
11. Bassett, D.; Pettit, A.; Anderson, C.; Grace, P. Scottish Flood Defence Asset Database – Final Report. Jeremy Benn Associates Consulting for the Scottish Government, Edinburg, Schottland, Vereinigtes Königreich, 2007. Available online: <http://www.scotland.gov.uk/Publications/2007/08/20111904/0> (accessed on 1 November 2011).
12. Meteorological Office. Fact Sheet 4. Climate of the United Kingdom. Meteorological Office, Exeter, England, Vereinigtes Königreich. S. 17, 2007.
13. Foster, G.C.; Chiverrell, R.C.; Harvey, A.M.; Dearing, J.A.; Dunsford, H. Catchment hydro-geomorphological responses to environmental change in the Southern Uplands of Scotland. *Holocene* **2008**, 18, 935–950.
14. EDINA. Various maps and datasets. EDINA, Edinburgh, Schottland, Vereinigtes Königreich, 2010. www.edina.ac.uk.
15. SEPA. Indicative River and Coastal Flooding Map. Scottish Environmental Protection Agency (SEPA), Edinburg, Schottland, Vereinigtes Königreich, 2010. <http://www.multimap.com/clients/browse.cgi?client=sepa&X=312000&Y=723000&width=550&height=450&scale=25000&coordsys=gb&nosnap=true&overlay=layer1> (accessed on 1 November 2011).
16. McMinn, W.R.; Yang, Q.; Scholz, M. Classification and assessment of water bodies as adaptive structural measures for flood risk management planning. *Journal of Environmental Management* **2010**, 91, 1855-1863.
17. Scholz, M. *Guidance Manual: Rapid Assessment Methodology for Survey of Water Bodies including Sustainable Flood Retention Basins (SFRB)*. The University of Salford, Salford, England, Vereinigtes Königreich, 2011.
18. Kaufman, L.; Rousseeuw, P.J. *Finding Groups in Data – An Introduction to Cluster Analysis*. John Wiley and Sons, New York, New York, Vereinigte Staaten von Amerika, 2005.
19. Pratap, R. *Getting Started with MATLAB: A Quick Introduction for Scientists and Engineers*. Oxford University Press, Oxford, England, Vereinigtes Königreich, 2002.