

Methodenpapier zur Gefahrenkartierung

## Überlagerung von Szenarien

### Problemstellung

Entlang eines Gewässers sei eine bestimmte Anzahl von Schwachstellen vorhanden, an denen im Hochwasserfall durch lokale Prozesse (Dammbruchstellen, Verkläuerungen) ein Wasseraustritt stattfinden kann. Durch Aktivierung dieser lokalen Prozesse an einer oder mehreren Schwachstellen können Szenarien definiert werden, welche Überflutungen im Überflutungsgebiet verursachen.

Für jedes Szenario können die Intensitäten im Überflutungsgebiet z.B. mittels 2d-Modellierung bestimmt werden. Die Wahrscheinlichkeit des einzelnen Szenarios berechnet sich aus dem Produkt der hydrologischen Hochwasserwahrscheinlichkeit mal die Eintretenswahrscheinlichkeit(en) des/der lokalen Prozesse(s). Dies kann in einem Ereignisbaum dargestellt werden.

Das Problem besteht in der korrekten Gefahrenbeurteilung von Geländepunkten, welche von verschiedenen Schwachstellen bedroht sind. Wenn ein Geländepunkt G von zwei oder mehreren voneinander unabhängigen Szenarien überflutet werden kann, so ist seine Gefährdung tendenziell als höher einzustufen als bei einem Geländepunkt, welcher nur von je einem Szenario betroffen ist.

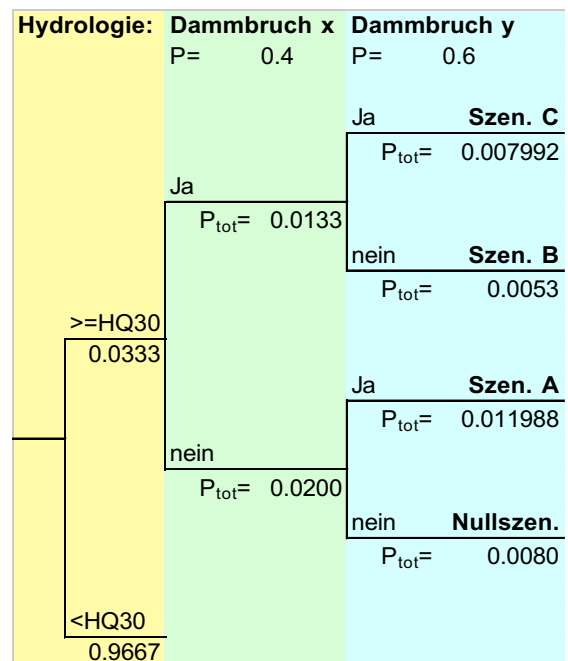
In der Folge werden zwei Vorgehensweisen anhand eines eingedämmten Flusses mit Dammbrüchen als lokale Prozesse beschrieben.

### Variante A: Hintereinanderkettung der Dammbruchereignisse

Die Gefährdung von mehrmals betroffenen Geländepunkten kann folgendermassen beurteilt werden.

Die Dammbruch-Schwachstellen am Gerinne werden als **hintereinander verkettete Ereignisse** behandelt. Die einzelnen Szenarien werden als Kombinationen der Dammbrüche dargestellt, beispielsweise: "Szenario S = Dammbruch bei km 1.1 und 1.3, aber nicht bei km 1.2 und 1.4".

Die Wahrscheinlichkeiten der Szenarien können mit einem Ereignisbaum durch Multiplikation der hydrologischen Wahrscheinlichkeit mit den Eintretenswahrscheinlichkeiten entlang der Ereigniskette bestimmt werden, wobei man aber von der (unkorrekten) Annahme ausgeht, dass die Dammbrüche voneinander unabhängige Ereignisse sind.



Ereignisbaum für Hydrologie und zwei (verkettete) lokale Prozesse

Jedes Szenario des Ereignisbaums muss separat berechnet werden, wobei jedes Mal die individuellen **Ganglinien der Wasseraustritte** an jeder aktiven Schwachstelle und die **Intensitäten im Überflutungsgebiet** zu bestimmen sind. Dies ergibt in jedem Geländepunkt und für jedes Szenario eine Überflutungsintensität und eine Wahrscheinlichkeit.

Für einen Geländepunkt G, der von mehreren Szenarien betroffen ist, kann die **gesamte Gefährdung** nach unserem Vorschlag folgendermassen berechnet werden:

Die Wahrscheinlichkeit eines Szenarios A wird dann erhöht, wenn im entsprechenden Geländepunkt ein weiteres Szenario desselben Hochwasserereignisses **eine gleiche oder höhere Intensität als  $I_A$**  ergibt. Die neue Wahrscheinlichkeit der Intensität  $I_A$  berechnet sich im Geländepunkt G wie folgt:

Wahrscheinlichkeit Intensität  $I \geq I_A$  im Geländepunkt G: 
$$P_G(I \geq I_A) = \sum_{I \geq I_A} P_{G,i}$$

Diese Aufsummierung der Wahrscheinlichkeiten ist für **jedes Hochwasserereignis HQ<sub>30</sub>, HQ<sub>100</sub> und HQ<sub>300</sub> separat** durchzuführen.

Am Schluss ergeben sich in jedem Geländepunkt, für jedes Szenario und für jedes Hochwasserereignis ein **Zahlenpaar ( $P_G, I_G$ )** und somit eine Gefahrenstufe im 10-Felder-Diagramm. Dasjenige Zahlenpaar mit der höchsten Gefahrenstufe oder – bei gleichen Gefahrenstufen – mit dem höchsten Gefährdungsgrad  $G=I \cdot P$  ist für die Gefahrenkarte massgebend.

Die Gefahrenkarte entsteht schlussendlich durch räumliche Interpolation der Gefahrenstufen zwischen den Geländepunkten.

#### *Einfaches Beispiel zur Veranschaulichung:*

Zwei Dammbuchstellen "oben" und "unten" bei HQ<sub>100</sub>. mit lokaler Eintretenswahrscheinlichkeit  $p_{\text{oben}} = 0.6$  und  $p_{\text{unten}} = 0.9$ . Der Dammbuch "unten" wird zeitlich vor "oben" stattfinden.

Neben dem Nullszenario ergeben sich gemäss Ereignisbaum drei mögliche Szenarien mit samt ihrer Wahrscheinlichkeit:

- Szenario A: Dammbuch "oben", aber nicht "unten". Gesamtwahrscheinlichkeit  $P_A = 0.0006$  (T= 1'867 Jahre).
- Szenario B: Dammbuch "unten", aber nicht "oben". Gesamtwahrscheinlichkeit  $P_B = 0.0036$  (T= 278 Jahre).
- Szenario C: Beide Dammbüche finden statt. Gesamtwahrscheinlichkeit  $P_C = 0.0054$  (T= 185 Jahre).

Die 2d-Berechnung ergebe für den Geländepunkt G folgende Intensitäten:

- Szenario A:  $I_A = 0.5$
- Szenario B:  $I_B = 0.7$
- Szenario C:  $I_C = 1.1$

Die aufsummierten Wahrscheinlichkeiten betragen nun im Geländepunkt G:

$P_G(I \geq 1.1) = 0.0054$  ---> Gefahrenstufe "gelb", Feld 4gelb,  $G = 0.0059$

$P_G(I \geq 0.7) = 0.0090$  ---> Gefahrenstufe "blau", Feld 4blau,  $G = 0.0063$

$P_G(I \geq 0.5) = 0.0096$  ---> Gefahrenstufe "gelb", Feld 4gelb,  $G = 0.0048$

Das Zahlenpaar ( $P=0.0090; I=0.7$ ) ist massgebend und gibt im Geländepunkt G die Gefahrenstufe "blau".

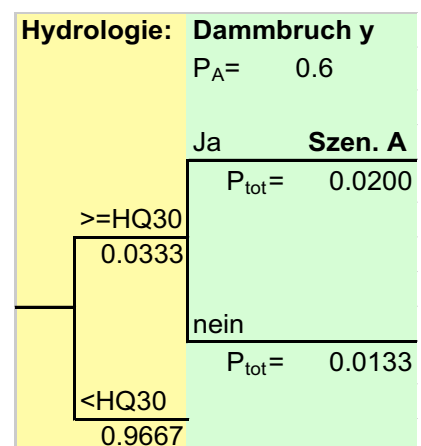
## Problematik der Variante A

- Zu grosser, *unangemessener und kaum mehr bearbeitbarer Aufwand*: Für eine korrekte Lösung *müssen sämtliche Szenarienkombinationen vollständig durchgespielt werden*. Bei einem moderaten Beispiel mit 5 Schwachstellen und 3 Hochwasserereignissen HQ30, HQ100 und HQ300 ergeben sich  $(2^5-1)*3 = 93$  mögliche Szenarien, wobei für jedes die an den 5 Dammbrechstellen ausfliessenden individuellen Ganglinien sowie die Überflutungsausbreitung im 2d-Modell zu berechnen sind! Die Szenarien müssen für die korrekte Methodik alle durchgerechnet werden.
- Die Methode liefert *nicht mehr nachträglich nachvollziehbare Resultate*. Die Gefahrenstufe im jeweiligen Geländepunkt kann nicht mehr einem individuellen Szenario zugeordnet werden.
- Die wichtigen, für die Gefährdung massgebenden Szenarien werden im automatisierten Vorgehen *nicht mehr erkannt* und können im Endresultat nicht mehr abgerufen werden.
- Die Methode ist zwar wahrscheinlichkeitstheoretisch einigermaßen korrekt, kann aber v.a. gegenüber Laien aufgrund ihrer Kompliziertheit *nicht kommuniziert* werden.
- Wie der Vergleich an Beispielen gezeigt hat, ergibt die Methode gegenüber vereinfachten Methoden *kaum je in einem Geländepunkt eine Änderung der Gefahrenstufe*. Der enorme Aufwand ist somit angesichts der übrigen, bei der Abschätzung von Wahrscheinlichkeiten vorhandenen Unsicherheiten nicht gerechtfertigt.
- Dammbüche an Flüssen sind *nicht unabhängige Ereignisse*. Dies wäre höchstens bei einem Damm an einem See der Fall.

## Variante B: Vereinfachtes Vorgehen Niederer + Pozzi

Zu Beginn erfolgt eine fundierte, manuelle Analyse der Schwachstellen und eine möglichst geschickte **Definition und Auswahl der massgebenden, zu berechnenden Szenarien**.  
 Beispiel 1: Ein Dammbuch "unten" macht keinen Sinn, wenn der Dammbuch "oben" wahrscheinlicher ist und somit zeitlich früher auftritt.  
 Beispiel 2: Eine Berechnung des Dammbuches "unten" ist allenfalls nicht notwendig, wenn der Dammbuch "oben" bei ähnlicher Wahrscheinlichkeit grössere Ausflüsse und Intensitäten produziert.

Die Dammbüche werden prinzipiell *einzel betrachten* und nicht zu einer Ereigniskette zusammengefügt (Einzelszenarien). Bei n Schwachstellen ergeben sich somit n einfache Ereignisbäume mit nur zwei Verzweigungen. Die Wahrscheinlichkeit ermittelt sich als Produkt der hydrologischen Wahrscheinlichkeit und der lokalen Eintretenswahrscheinlichkeit.



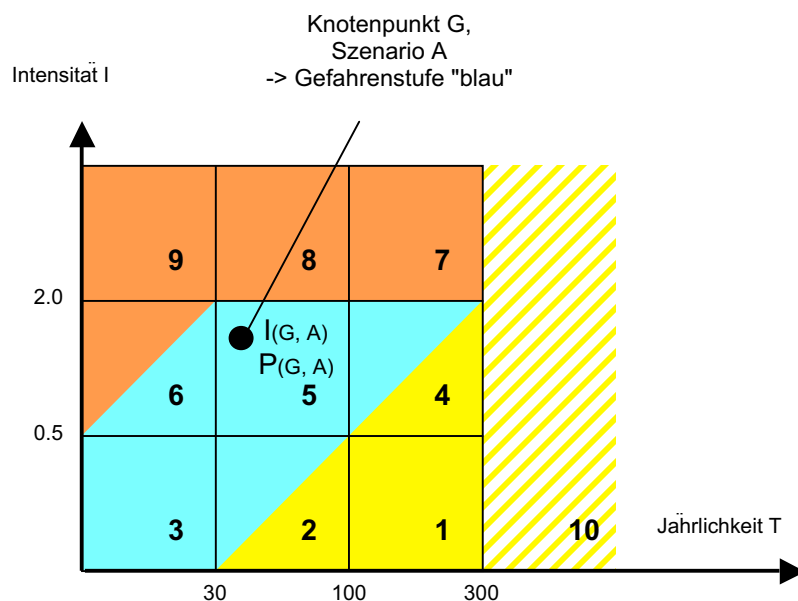
Ereignisbaum für ein Einzelszenario A

Dabei wird im Unterschied zur Variante A *alleinig die Eintretenswahrscheinlichkeit bei x* betrachtet, unabhängig, ob bei einem weiteren Ort y Dammbüche stattfinden oder nicht. Die dadurch entlang des Ereignisbaums ermittelte Szenarien-Wahrscheinlichkeit ist wesentlich höher als bei der Variante A, da  $P_x$  nicht mehr mit  $P_y$  oder mit  $1-P_y$  multipliziert wird. (vgl. z.B. das Szenario A bei den oben stehenden Ereignisbaumen: bei Variante A  $P=0.012$ , bei Variante B  $P=0.020$ ).

**Kombinierte Szenarien** mit mehreren Dammbreschen werden auswahlweise überall dort definiert, wo dies trotz der kleineren Wahrscheinlichkeit eine höhere Gefährdung verspricht. Auch hier entspricht die gesamte Wahrscheinlichkeit dem Produkt der hydrologischen Wahrscheinlichkeit und *aller lokalen Eintretenswahrscheinlichkeiten der im kombinierten Szenario aktiven Dammbreschen*, unabhängig davon, ob noch weitere Dammbreschen auftreten oder nicht.

Damit lassen sich für alle Schwachstellen und alle Hochwasserereignisse eine übersichtliche Auswahl von massgebenden Szenarien zusammenstellen, welche die Hochwassergefährdung im Überflutungsgebiet adäquat wiedergibt (bis max. 20 Szenarien pro Flusslauf) und die im 2d-Modell berechnet werden kann. Bei geschickter Definition der Modell-Randbedingungen können räumlich voneinander getrennte Szenarien an verschiedenen Gewässerabschnitten in einem einzigen Durchgang berechnet werden.

**Ermittlung der Gefahrenstufen:** In jedem Geländepunkt G ergibt die 2d-Rechnung für jedes Szenario eine lokale Intensität. Zusammen mit der Jährlichkeit des Szenarios kann man nun jedem Geländepunkt eine Gefahrenstufe im 10-Felder-Diagramm zuordnen.



Zuordnung von Gefahrenstufen für jedes Szenario und jeden Modellknoten (= Geländepunkt).

Danach erfolgt für jeden Geländepunkt eine **Auswahl des massgebenden Szenarios** nach den Grundsätzen:

- Dasjenige Szenario, das die höchste Gefahrenstufe ergibt;
- Bei gleichen Gefahrenstufen: Dasjenige mit dem höchsten Gefährdungsgrad  $G = I * P$

Die Gefahrenkarte wird schliesslich wiederum durch räumliche Interpolation der Gefahrenstufen zwischen den Geländepunkten berechnet.

### Dasselbe Beispiel zur Veranschaulichung:

Beim oben genannten Beispiel sind im ungünstigsten Fall ebenfalls die drei Szenarien A, B und C zu berechnen (bei nur zwei Dammbüchen ist die Szenarieneinsparung noch gering). Sie lauten samt ihrer Wahrscheinlichkeit:

- Szenario A: Dammbüch "oben". Gesamtwahrscheinlichkeit  $P_A = 0.01 \cdot 0.6 = 0.006$  (T= 167 Jahre) unabhängig, ob bei "unten" auch ein Dammbüch auftritt.
- Szenario B: Dammbüch "unten". Gesamtwahrscheinlichkeit  $P_B = 0.01 \cdot 0.9 = 0.009$  (T= 111 Jahre) unabhängig, ob bei "oben" auch ein Dammbüch auftritt.
- Szenario C (kombiniertes Szenario): Beide Dammbüche finden statt. Gesamtwahrscheinlichkeit  $P_C = 0.01 \cdot 0.6 \cdot 0.9 = 0.0054$  (T= 185 Jahre).

Zusammen mit den Intensitäten:

- Szenario A:  $I_A = 0.5$
- Szenario B:  $I_B = 0.7$
- Szenario C:  $I_C = 1.1$

ergeben sich folgende Gefahrenstufen und Gefährdungsgrade:

Szenario C: Gefahrenstufe "gelb", Feld 4gelb,  $G = 0.0059$

Szenario B: Gefahrenstufe "blau", Feld 4blau,  $G = 0.0063$

Szenario A: Gefahrenstufe "gelb", Feld 4gelb,  $G = 0.0030$

Das Szenario B ist massgebend und gibt im Geländepunkt G die Gefahrenstufe "blau". *So-wohl Gefahrenstufe wie auch der Gefährdungsgrad sind mit der Variante A identisch!*

Roger Kolb, Uznach, den 28.10.2002

Niederer + Pozzi Umwelt AG  
Zürcherstrasse 25, Postfach 365  
8730 Uznach

[roger.kolb@nipo.ch](mailto:roger.kolb@nipo.ch)