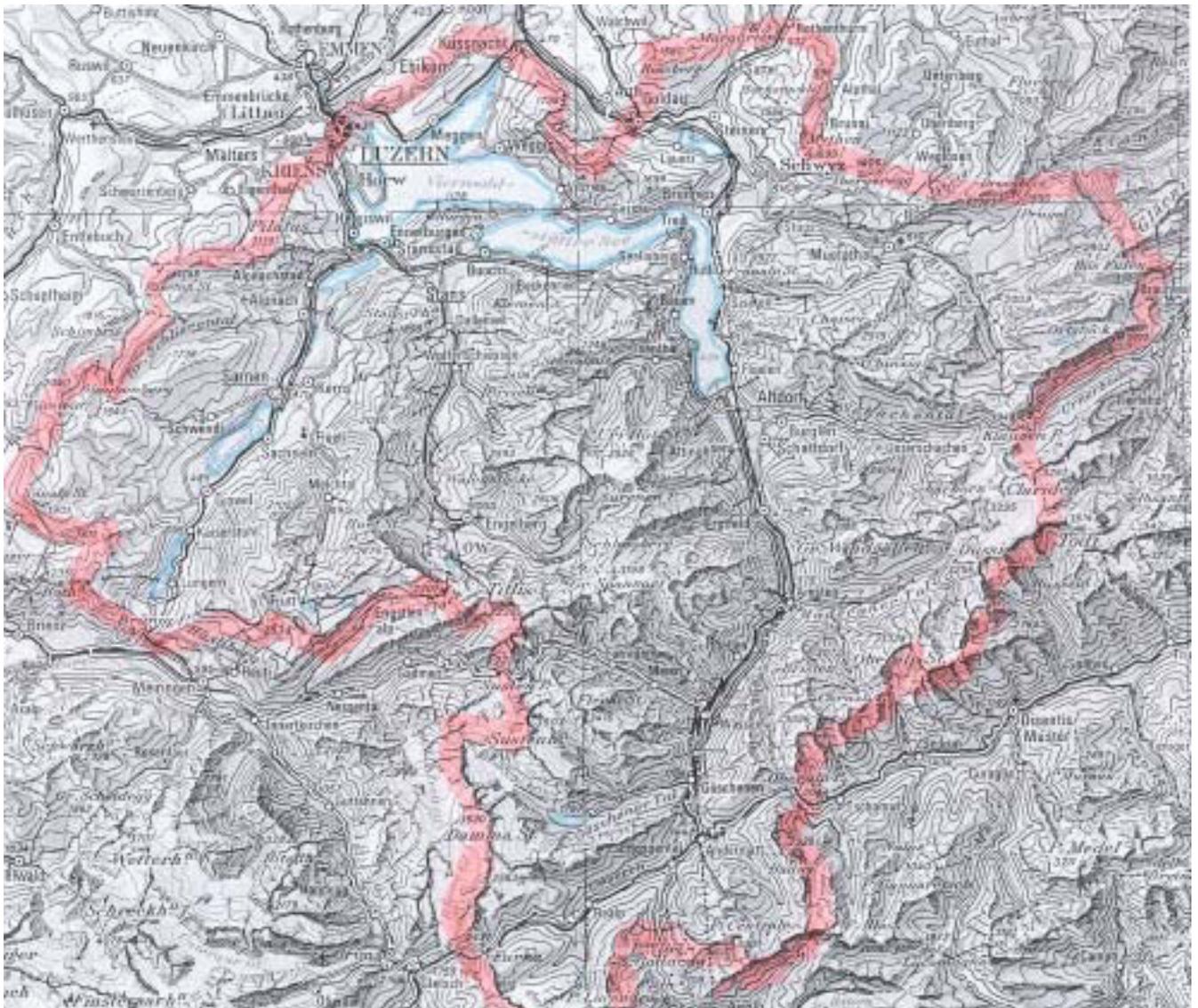


7 FALLBEISPIEL LUZERN (VIERWALDSTÄTTERSEE) Risikobetrachtung Seeüberschwemmung

7.1 Hochwasserpotenzial des Vierwaldstättersees

7.1.1 Einzugsgebiet und Kennzahlen

Als grösster und zugleich attraktivster See in der Innerschweiz weist der Vierwaldstättersee ein Einzugsgebiet auf, welches im wesentlichen die Kantonsgebiete Uri, Ob- und Nidwalden sowie Teile des Kantons Schwyz und die Luzerner Seegemeinden umfasst. Hauptzuflüsse bilden die Reuss bei Flüelen, die Muota bei Brunnen, die Engelberger Aa bei Buochs und die Sarner Aa bei Alpnach. Einziger Ausfluss ist die Reuss bei Luzern, welche in Emmenbrücke – wenige Kilometer unterhalb der Stadt Luzern – die Kleine Emme aufnimmt.



Karte Einzugsgebiet Vierwaldstättersee

Kennzahlen Vierwaldstättersee:

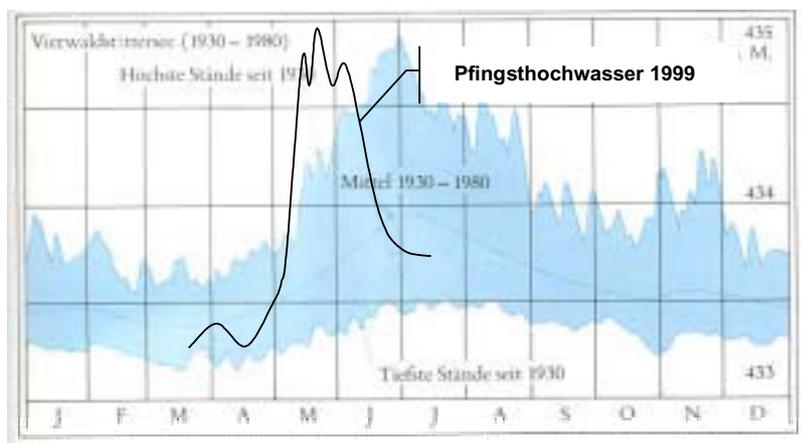
Einzugsgebiet (ohne Seeoberfläche)	2124 km ²
Mittlere Höhe des Einzugsgebietes	ca. 1500 m.ü.M.
Fläche des Sees	113.6 km ²
Mittlerer Wasserstand	433.58 m.ü.M.
Maximale Tiefe	214 m
Volumen	11'800 Mio m ³
Mittlerer Abfluss	110 m ³ /Sek.

7.1.2 Wasserstandschwankungen und Überschwemmungsgefahr

Die Wasserstandschwankungen des Vierwaldstättersees widerspiegeln das alpine Regime der Zuflüsse. Normalerweise beginnt der Seespiegel mit dem Einsetzen der Schneeschmelze im März/April zu steigen und erreicht im Juni/Juli, wenn das Schmelzwasser der Gletscher dazu kommt, seinen Höchststand. Da in solchen Fällen die dem See zufließenden Wassermengen viel grösser als sein Abfluss sind, muss der See vorübergehend den Unterschied zwischen Zu- und Abfluss speichern. Dadurch steigt der Wasserspiegel und die Uferzonen können überflutet werden. Der vom See ausgeübte Rückhalt bewirkt eine beträchtliche Dämpfung der Abflussspitze der Reuss. Für die Erhöhung des Wasserstandes um nur 1 cm wird bei der Fläche des Vierwaldstättersees von 113,6 km² eine Menge von 1,14 Mio m³ Wasser benötigt. Diese Menge entspricht einer Veränderung des Abflusses um ca. 13 m³/Sek. während 24 Stunden.

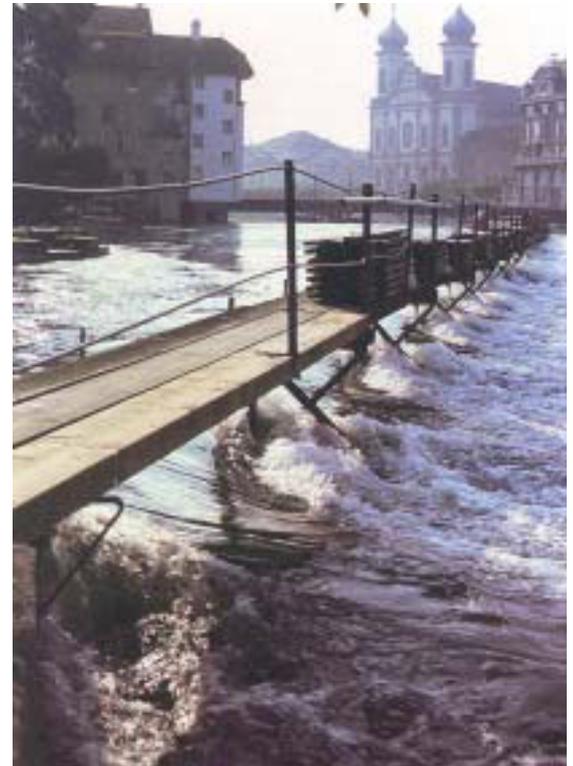
Besonders gross ist die Überschwemmungsgefahr im Frühjahr und zu Beginn des Sommers, wenn Schneeschmelze und starke anhaltende Niederschläge zusammenwirken. Solche Bedingungen liessen beispielsweise beim Katastrophenhochwasser im Juni 1910 den Seespiegel auf eine Höhe von 435.25 m.ü.M. klettern. Aber auch in jüngster Zeit liess der Vierwaldstättersee sein Potenzial für Überschwemmungen erkennen: Vom 12. bis 14. Mai 1999 bescherte eine Stauage mit Dauerregen der Innerschweiz während drei Tagen Niederschlagsmengen zwischen 25 und 40 mm pro Tag. Das entspricht, verteilt über das ganze Einzugsgebiet, einer Wassermenge von rund 200 Mio m³. Bei einem durchschnittlichen Abfluss von etwa 350 bis 400 m³/Sek. vermochte die Reuss während diesen drei Tagen etwa 100 Mio m³ abzuführen. Die restliche Wassermenge führte zu einem Anstieg des Wasserspiegels um ca. 90 cm. Dank einer anschliessenden mehr oder weniger niederschlagsfreien Woche konnte sich der Seespiegel um täglich 2-3 cm zurückbilden, bevor ihn eine neue Niederschlagsspitze am 21. Mai 1999 um weitere 35 cm anschwellen liess. Die resultierende maximale Seespiegelhöhe blieb mit 434.93 m.ü.M. rund 30 cm unter der Rekordmarke von 1910. Glücklicherweise hatte sich das Ereignis nicht mit einem durch Schneeschmelze bedingten Hochwasserstand überlagert. Die Kombination dieser intensiven Niederschläge mit einem – infolge des schneereichen Winters 1998/99 tatsächlich zu erwartenden – überdurchschnittlichen sommerlichen Hochwasser hätte mit grosser Wahrscheinlichkeit zu einer neuen Rekord-Höhe des Seewasserspiegels und zu gewaltigen Überschwemmungsschäden geführt.

Diagramm Schwankungen des Wasserstandes Vierwaldstättersee



7.1.3 Seeregulierung durch das Nadelwehr

Um den jährlichen Tiefstand des Vierwaldstättersees zu erhöhen, den ganzjährigen Betrieb von Mühlen zu gewährleisten und den Schifffahrtsbetrieb zu verbessern wurde schon im 16. Jahrhundert in der Reuss eine feste Schwelle errichtet. Diese erfuhr in den folgenden Jahrhunderten mehrmals Korrekturen. Streitigkeiten zwischen der Stadt Luzern und den betroffenen Innerschweizer Kantonen waren an der Tagesordnung, bis in den Jahren 1859 bis 1860 – nach Intervention des Bundesrates und als erste grosse innenpolitische Tat des jungen Bundesstaates – an Stelle der festen Schwelle das heutige Nadelwehr erstellt werden konnte. Nach dem Hochwasser von 1910 wurden weitere Projekte zur besseren Regulierung des Sees ausgearbeitet. Bis heute wurde jedoch keiner dieser Pläne realisiert.



Die historischen Hochwasser des Vierwaldstättersees sind in der Risikoanalyse Steffen [43] aufgelistet. Für eine aktuelle Risikoabschätzung haben jedoch Ereignisse vor dem Bau des Nadelwehrs kaum mehr grosse Bedeutung. An Stelle einer Auflistung der historischen Hochwasserereignisse sollen nachstehend einige für Risikobetrachtungen und Interventionsmassnahmen ausschlaggebende Seewasserstände dargestellt werden.

Relevante Seewasserstände

Minimal-Wasserstand	433.25	m.ü.M.
Mittlerer Wasserstand	433.58	m.ü.M. (Jahresmittel 1999: 434.66)
Mittleres Sommerhochwasser (Juni/Juli)	433.90	m.ü.M. (Periode 1930-1999)
Koordinationsrapport Stadt Luzern erfolgt bei	434.25	m.ü.M. („Interventionsgrenze“)
Erste Schäden treten in der Stadt Luzern auf bei	434.45	m.ü.M. („Schadensgrenze“)
Höchstwasserstand 1930-1980 (29. Juni 1970)	434.86	m.ü.M. (HW-Stand + Sommergewitter)
Höchstwasserstand 1999 (23. Mai 1999)	434.93	m.ü.M. (MW-Stand + Dauerregen)
Höchsthochwasserstand 1910 (17. Juni 1910)	435.25	m.ü.M. („Katastrophenhochwasser“)

C. Beffa hat in einer Gefahrenbeurteilung Stansstad [45] die Extremwertstatistik der Pegelstände des Vierwaldstättersees (Beobachtungsperiode 1867-1999) ausgewertet und aktuelle Eintretenswahrscheinlichkeiten für Hochwasser-Ereignisse abgeleitet. Er kommt zu folgendem Ergebnis:

Eintretenswahrscheinlichkeit	Hochwasserpegel [m.ü.M.]				
	HW ₁₀	HW ₃₀	HW ₁₀₀	HW ₃₀₀	HW ₁₀₀₀
Jährlichkeit					
Beobachtungsperiode 1867-1999	434.60	434.85	435.05	435.25	435.50
Beobachtungsperiode 1949-1999	434.58	434.85	435.14	435.41	435.70

Es fällt auf, dass die Häufigkeit schädigender Hochwassersituationen in den letzten 50 Jahren stark zugenommen hat. Innerhalb dieser Periode lagen 4 Hochwasser deutlich über der Schadensgrenze: 1952: 434.78; 1953: 434.79; 1970: 434.86; 1999: 434.93. In Anbetracht des extrem hohen Schadenpotenzials im Stadtkern von Luzern reichen Objektschutz-Massnahmen allein nicht aus. Die Möglichkeiten für eine frühzeitige und wirksame Seeregulierung müssen dringend optimiert werden.

Mit der Realisierung eines aktuellen Umbauprojektes der bestehenden Wehranlage soll der Abfluss der Reuss in den Jahren 2004 bis 2007 von rund 330 auf etwa 440 m³/Sek. erhöht werden. Dies bei einem Seestand von 434.45 (Schadengrenze) und sofern die Kleine Emme nicht gleichzeitig Hochwasser führt. Die Erhöhung der Abflussleistung um 110 m³/Sek. bewirkt eine Absenkung bzw. einen verzögerten Anstieg des Seewasserspiegels um ca. 8 cm pro Tag. Ihre Wirksamkeit auf den zu erwartenden Höchststand ist primär abhängig von der Dauer eines Hochwasser-Ereignisses. Bei einer angenommenen Ereignisdauer von zwei bis drei Tagen ergibt sich eine Reduktion des maximalen Wasserpegels um 15-20 cm, was ungefähr einer Verdoppelung der Wiederkehrperiode eines Schadenereignisses entspricht.

7.2 Umschreibung der Schadenbilder

7.2.1 Zur Auswahl der Szenarien

Hochwasserstände des Vierwaldstättersees waren in den letzten 700 Jahren wiederholt Ursache von grossen Schäden in der Stadt Luzern. Trotz regulierenden Einflüssen durch das Luzerner Nadelwehr und durch Stauseen im Einzugsgebiet der Reuss können sich bei ungünstigen Wetterkonstellationen – vor allem bei langandauernden Regenperioden, welche sich zeitlich mit der Schmelze grosser Schneemassen überschneiden – Extremwasserstände einstellen. Der bisherige Höchstwasserstand des Vierwaldstättersees wurde im Jahre 1910 mit einer Wasserspiegelhöhe von 435.25 m.ü.M. erreicht. Beim jüngsten Hochwasser im Frühjahr 1999 kletterte der Wasserspiegel des Vierwaldstättersees auf eine Höhe von 434.93 m.ü.M.

Im Vergleich mit anderen Schweizer Seen nahm das Ereignis 1999 einen verhältnismässig glimpflichen Verlauf mit Gebäudeschäden von rund 2 Mio Franken. Das war vor allem darauf zurück zu führen, dass – in Anbetracht der grossen Schneefälle vom Dezember 1998 – der Seespiegel möglichst lange auf einem Tiefstand reguliert wurde. Typische Merkmale des Hochwassers waren der rasante Anstieg des Seespiegels – rund 90 cm innert 3 Tagen – und das langsame Abklingen um wenige cm pro Tag. Dieses Szenario zeigt in aller Deutlichkeit auf, dass bei ungünstigem Zusammentreffen von Starkniederschlägen mit hohem Seespiegel die bisherige Höchstmarke aus dem Jahre 1910 nicht nur erreicht, sondern auch überschritten werden könnte.

Die Gebäudeversicherung des Kantons Luzern hat im Jahre 1995 im Rahmen einer Risikoanalyse das voraussichtliche Schadenausmass eines Hochwassers im Gebiet der Stadt Luzern mit einer Seespiegelhöhe von 435.25 m.ü.M. abgeschätzt. Für den primären Zweck der Risikoanalyse, die Festsetzung des Rückversicherungsbedarfs für extreme Elementarschadenereignisse, spielte die Eintretenswahrscheinlichkeit dieses Szenarios nur eine untergeordnete Rolle. Das Gefahren-Bewusstsein in der Öffentlichkeit ist trotz periodisch wiederkehrenden Hochwasser-Ereignissen eher gering. Im Baureglement der Stadt Luzern sind bisher keine Bauvorschriften zum Hochwasserschutz formuliert. Auflagen, welche die Gebäudeversicherung im Baubewilligungsverfahren formuliert, stützen sich auf die baugesetzlichen Grundsatzartikel zum (eingeschränkten) Bauen in Gefahrengebieten und auf die Ausschlussbestimmungen im Gebäudeversicherungsgesetz. Verhältnismässigkeit und Zumutbarkeit solcher Auflagen müssen im Einzelfall einer Interessenabwägung Stand halten. Die Risikoanalyse aus dem Jahre 1995 hat wesentlich zu einer Verbesserung der Akzeptanz solcher Schadenverhütungsmassnahmen beigetragen. Es darf aber nicht unerwähnt bleiben, dass für eine bedeutende Zahl bestehender Gebäude ein Objektschutz selbst bei Beschränkung auf den 1910 tatsächlich eingetretenen Hochwasserpegel von 435.25 m.ü.M. nur noch mit temporären Massnahmen realisierbar ist. Die Extremwertstatistik weist in den letzten 50 Jahren eine Zunahme der Hochwasser aus. Wie vorgängig dargestellt, sind mittelfristig auch Hochwasser zu erwarten, die über dem Katastrophenhochwasser von 1910 liegen. Ihre Eintretenswahrscheinlichkeit kann durch eine effizientere Seeregulierung reduziert werden. Der Ausbau des Nadelwehrs verfolgt dieses Ziel.

Nachfolgend sollen die Schadenauswirkungen von Überflutungen durch den Vierwaldstättersee untersucht werden. Als Grundlage dient die im Teilbericht "Gefahrensituationen" [8] dargestellte Studie „Überflutungsflächen Vierwaldstättersee“ der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich (VAW). In dieser Studie werden mittels numerischer Simulationen für verschiedene Szenarien die Überflutungsflächen mit jeweils konstantem Seewasserspiegel ermittelt:

- Szenario 1: Pegelstand 434.25 m.ü.M., entspricht der Interventionsgrenze
- Szenario 2: Pegelstand 435.00 m.ü.M., liegt 7 cm höher als das Pfingsthochwasser 1999
- Szenario 3: Pegelstand 435.25 m.ü.M., entspricht dem Hochwasser vom 17. Juni 1910
- Szenario 4: Pegelstand 435.50 m.ü.M., entspricht nach Beffa [5] etwa einem HW_{1000} .

Die Szenarien 1 und 2 dienen vorwiegend zur Verifizierung der Simulationsergebnisse, während die Extremszenarien 3 und 4 als Grundlage für die Untersuchungen heran gezogen werden.

7.2.2 Typologie der statischen Überschwemmung

Hochwassersituationen an ruhenden Gewässern entstehen, wenn das zur Verfügung stehende Speichervolumen für den Ausgleich der Spitzen ihrer Zu- und Abflüsse nicht ausreicht. In diesem Fall steigen der natürliche Wasserspiegel des Gewässers und – je nach Durchlässigkeit des anstehenden Bodenmaterials – der Grundwasserspiegel im näheren Umfeld über Stunden bis Tage kontinuierlich an, bevor die Wassermengen über die Ufer treten und das umliegende Gelände überfluten. Typische Merkmale einer solchen statischen Überschwemmung sind relativ lange Vorwarnzeiten und eine geringe Fliessgeschwindigkeit des austretenden Wassers.

Im Gegensatz zur dynamischen Überschwemmung beschränken sich die mechanischen Einwirkungen statischer Überschwemmungen im Wesentlichen auf den hydrostatischen Druck, welcher sich als Folge einer vollständigen Sättigung des Bodenkörpers aufbaut. Wasserdichte Bauwerke werden somit durch den auf die Bodenplatte wirkenden Auftrieb, den seitlich angreifenden Wasserdruck und die Auflast der über dem Bauwerk anstehenden Wassermassen beansprucht. Durch topografische, geologische oder technische Randbedingungen können auch dynamische Einwirkungen entstehen; sie bleiben aber in der Regel örtlich begrenzt. Mit starken Ereignisintensitäten oder Geschiebetrieb muss zumindest im flachen Gelände nicht gerechnet werden. Die Überschwemmungstiefe kann aber, besonders in Geländemulden oder -wannen, mehrere Meter erreichen. Kritisch kann es für die Stabilität eines Gebäudes werden, wenn als Folge der Überschwemmungshöhe die resultierende Auftriebskraft grösser wird als das Eigengewicht des Gebäudes. In diesem Fall kann zur Verhinderung grösserer Schäden eine Teil-Flutung des Gebäudes notwendig werden.

Wesentliche Schäden an Gebäude und Fahrhabe entstehen, wenn ein Bauwerk undicht ist, wenn das Wasser durch Werkleitungsanschlüsse, undichte Bauteile oder Öffnungen in das Gebäude eindringt. Durchnässung und Schmutz- oder Feststoffeinträge können die Bausubstanz, technische Installationen, Betriebseinrichtungen und Fahrhabe erheblich schädigen. Folgeeinwirkungen wie Kurzschlüsse bei elektrischen Einrichtungen, chemische Reaktionen durch eingelagerte Stoffe oder Kontamination durch Fäkalien und wassergefährdende Flüssigkeiten, Heiz- und Treibstoffe erhöhen das Schadenausmass beträchtlich.

Die Gefährdung von Personen ist bei der statischen Überschwemmung relativ gering. Einerseits können dank genügender Vorwarnzeit vorbeugende Massnahmen rechtzeitig eingeleitet werden, andererseits ist in der Regel nicht mit lebensbedrohenden Ereignis-Intensitäten zu rechnen. Erhöhte Personengefahr entsteht jedoch bei grossen Überflutungstiefen oder in Untergeschossen, wenn die Gefahr zu spät erkannt wird oder wenn Fluchtwege durch einströmendes Wasser unpassierbar werden.