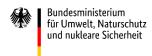


## **BIWAWEHR**

Gefördert durch:



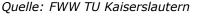
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Bildungsmodul zum Umgang mit außergewöhnlichen wasserbezogenen Naturgefahren für die Feuerwehr

Autoren: Malte Zeddies, M. Sc., Fachgebiet Wasserbau & Wasserwirtschaft; Dr.-Ing. Christian Scheid, Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft TU Kaiserslautern



BIWAWEHR





Quelle: Freiwillige Feuerwehr Hamburg (2018)



Quelle: Pixabay.com



Quelle: FWW TU Kaiserslautern

### 5 – Hochwasser und Starkregenüberflutungen: Ursachen und Ausprägungen



### Inhalte und Lernziele

- Was ist Niederschlag?
- Entstehung von Niederschlag und Niederschlagsarten
- Prozesse vom Niederschlagsereignis zum Hochwasserereignis
- Verschiedene Ausprägungen von Flussüberschwemmungen
- Hochwasserinduzierte Effekte
- Typen und Ausprägungen von Starkregenüberflutungen und Sturzfluten
- Erosionseffekte bei Starkregen





## Niederschlag

#### DIN 4049-3:

BIWAWEHR

Wasser der Atmosphäre, das nach Kondensation oder Sublimation von Wasserdampf in der Lufthülle ausgeschieden wurde und sich infolge der Schwerkraft entweder zur Erdoberfläche bewegt (fallender Niederschlag) oder zur Erdoberfläche gelangt ist (gefallener Niederschlag).

- Flüssiger Niederschlag: Regen, Tau, Nebel
- Fester Niederschlag: Schnee, Hagel, Graupel, Reif



Quelle: Pixabay.com

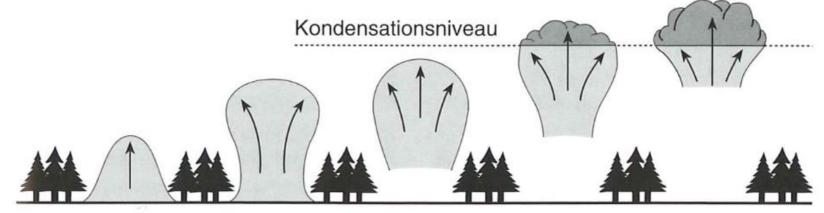


Quelle: Pixabay.com



## Niederschlagsentstehung

- Wasser als Wasserdampf in Atmosphäre
- begrenzte Aufnahmefähigkeit des Wasserdampfs (je kälter, desto geringer)
- Abkühlung unter Taupunkt (Schwellenwert Temperatur für Kondensation)
  - → Wasserdampf kondensiert zu Wolken
- Kondensations-/Gefrierkerne
- Tröpfchen-/Eispartikelwachstum



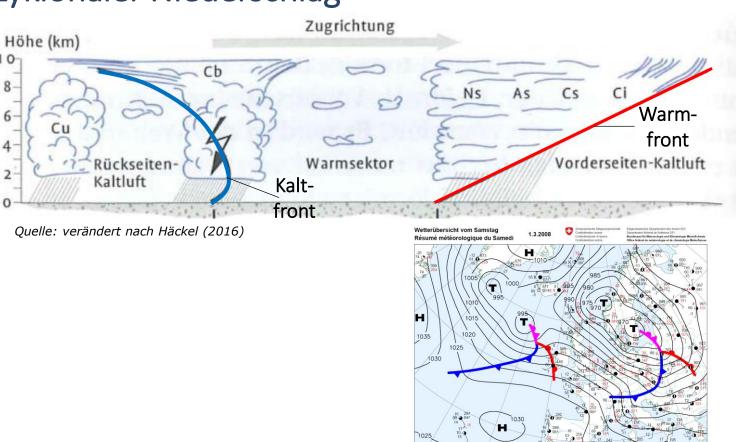
Kondensationsniveau Quelle: Häckel (2016)





## Arten des Niederschlags

### **Zyklonaler Niederschlag**



- Warme Luft gleitet auf kältere Luft (Warmfront)
- oder aufrückende kalte Luft verdrängt warme Luft nach oben (Kaltfront)
- Große Flächenausdehnung
- Lange Niederschlagsdauer

Tiefdruckgebiete mit Darstellung von Warm- und Kaltfronten Quelle: MeteoSchweiz (2008)

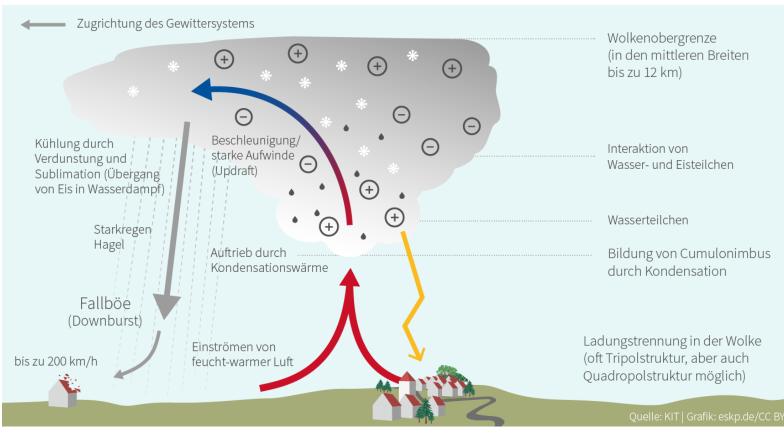


BIWAWEHR



## Arten des Niederschlags

### Konvektiver Niederschlag



Schematischer Schnitt durch eine Gewitterwolke, Quelle: Wissensplattform eskp.de

BIWAWEHR

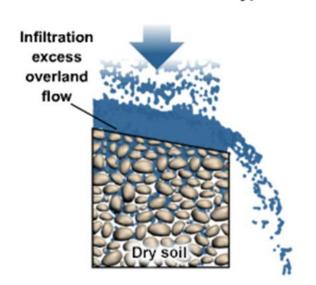
- (Feuchte) Luftpakete steigen über erhitzten Oberflächen auf
- Kondensation setzt Wärme frei und erzeugt starken Aufwindkorridor
- Wolkenturm bildet sich und stürzt in sich zusammen
- Hohe Niederschlagsintensität
- Geringe Flächenausdehnung
- Kurze Dauer
- → Lösen Starkregen aus

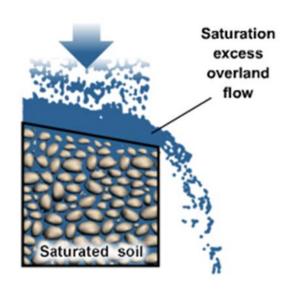




## Entstehung von Hochwasser

#### Types of Surface Runoff





#### Oberflächenabfluss

- Durch sommerliche, konvektive Gewitterniederschläge oder wassergesättigte Böden
- Niederschlag > Infiltrationsrate
- Bei hoher Niederschlagsintensität und nicht wassergesättigten Boden
- Boden ist nicht wassergesättigt: "Horton'scher Oberflächenabfluss"

Bei Flusshochwasser auch verstärkt Oberflächenabfluss, aber in diesem Fall Boden wassergesättigt

Note: Enlarged soil particles are not drawn to scale.

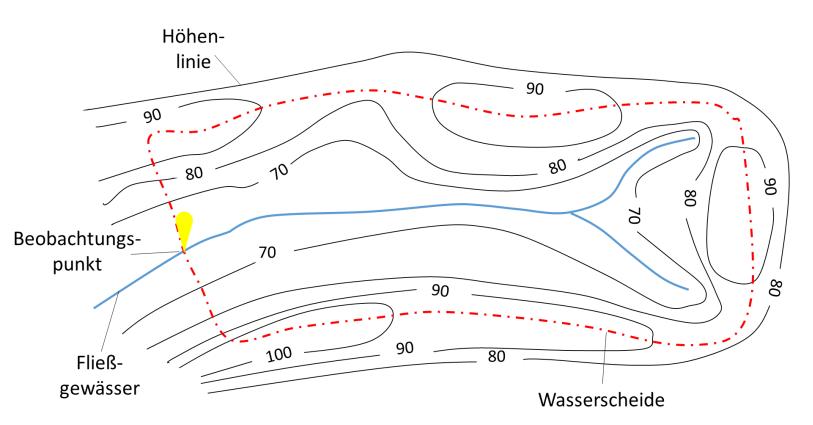
BIWAWEHR



The source of this material is the COMET® Website at http://meted.ucar.edu/ of the University Corporation for Atmospheric Research (UCAR), sponsored in part through cooperative agreement(s) with the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), U.S. Department of Commerce (DOC). ©1997-2017 University Corporation for Atmospheric Research. All Rights Reserved.



## Entstehung von Hochwasser



Abgrenzung eines hydrologischen Einzugsgebietes Ouelle: FWW TU Kaiserslautern Hydrologisches Einzugsgebiet (EZG):

Teil der Erdoberfläche, der zum Wasserabfluss an einem bestimmten Gewässerquerschnitt beiträgt

- Begrenzt durch Wasserscheide
- Lage der Wasserscheide hängt von Topographie ab

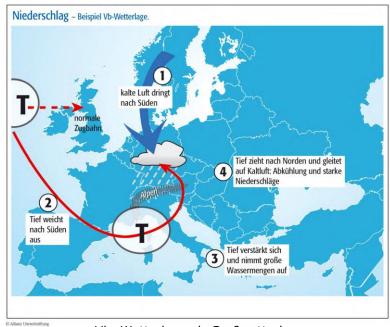




## Entstehung von Flussüberschwemmungen



Flussüberschwemmung in Magdeburg an der Elbe 2013 Quelle: Pixabay (2013)

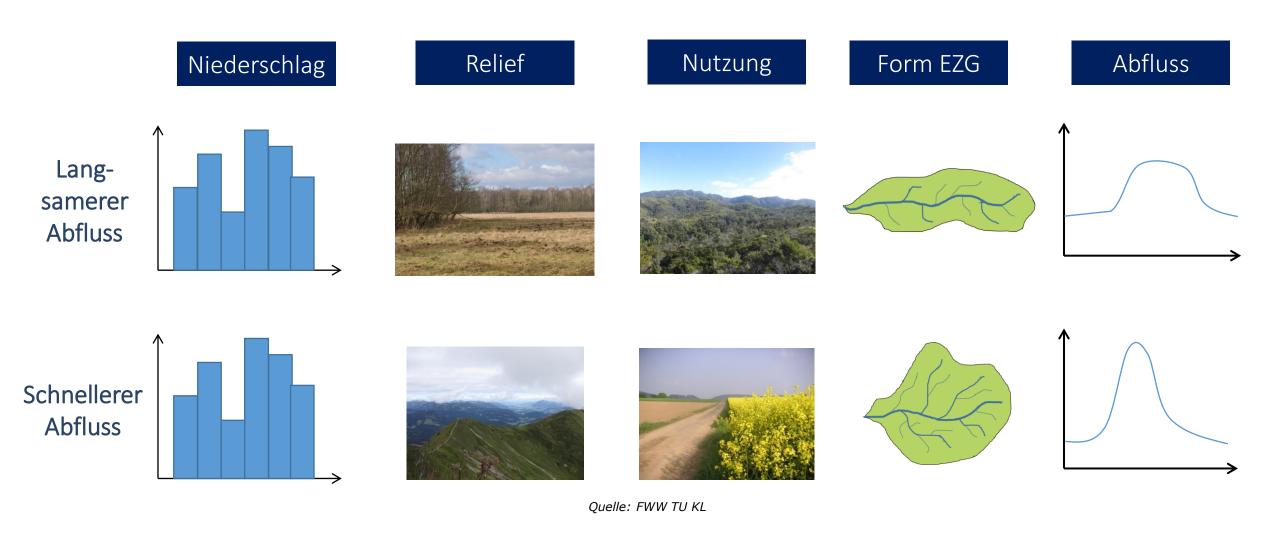


Vb- Wetterlage als Großwetterlage Quelle: Allianz Umweltstiftung (2014)

- Relevant für größere Einzugsgebiete (ca. ab 500 km² bis 1000 km²)
- Zeitskala: mehrere Tage bis Wochen
- Lang anhaltender großräumiger Niederschlag trifft auf vorgesättigte Böden
  - → höherer Anteil Oberflächenabfluss und schnelleres Anschwellen der Abflüsse



### Flusshochwasser begünstigende Gebietseigenschaften

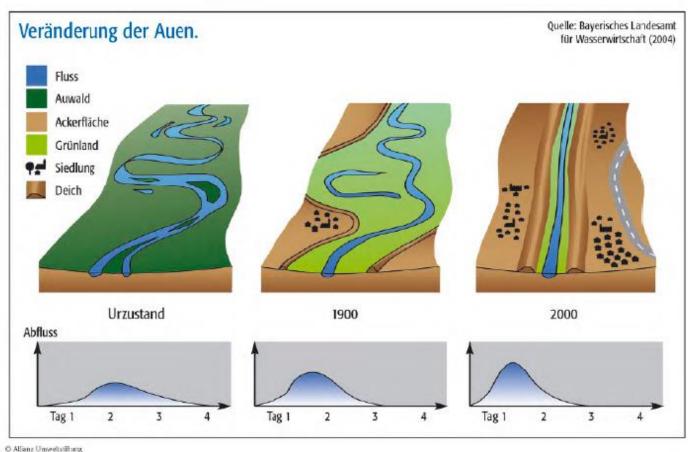




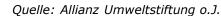


### Flusshochwasser begünstigende Gebietseigenschaften

#### Hochwasserfaktor 1: Wandel in Fluss & Landschaft



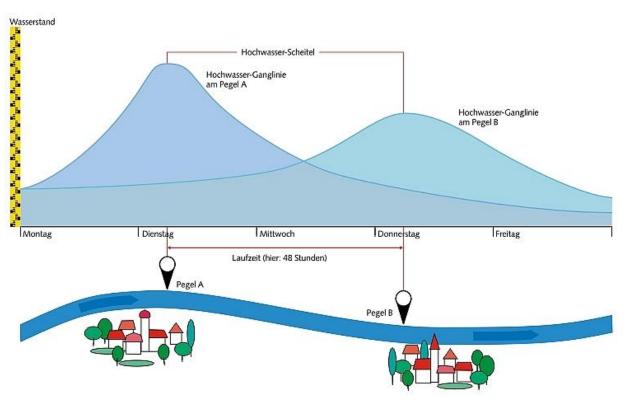
- Geringere Retention durch:
- Begradigung Fließgewässer
  - → kürzere Fließstrecke
  - → größeres Gefälle
- Abschneiden der Überschwemmungsflächen durch Eindeichung

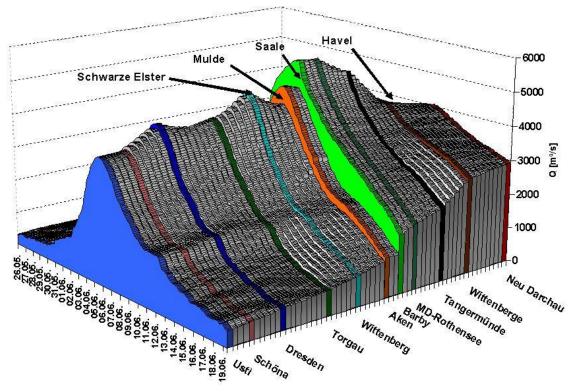




BIWAWEHR

### Ablauf der Hochwasserwelle im Gerinne





Wellenablauf in einem Gewässer Quelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt, Jorge Schmidt

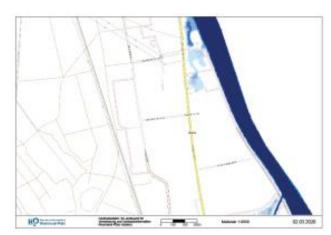
Ablauf der HW-Welle an de Elbe 2013 unter Berücksichtigung der Nebenflüsse Quelle: BfG (2013)

- Hochwasserscheitel/ Pegelhöchststand nimmt durch Retentionseffekte im Gerinne ab
- Hochwasserscheitel kann allerdings durch Nebenflüsse erhöht werden
- Weitere Einflüsse: Deichbrüche, Flutung Polderflächen...

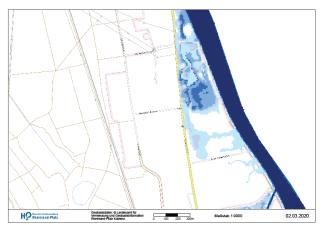


## Ausprägungen von Flussüberschwemmungen

- Unten werden Ausschnitte von Hochwassergefahrenkarten dargestellt
- Darstellung der Überflutungsflächen, Wassertiefen und ggf. Strömungsgeschwindigkeit in Abhängigkeit vom Wiederkehrintervall → genauer in UE 11 & 12 behandelt
- Nach der EU-HWRM-RL werden Hochwasserereignisse unterteilt in Hochwasser mit...



Hoher Wahrscheinlichkeit (HQ<sub>10</sub> bis HQ<sub>25</sub>)



Mittlerer Wahrscheinlichkeit (HQ<sub>100</sub> und seltener)



Niedriger Wahrscheinlichkeit (im Mittel viel seltener als HQ<sub>100</sub>)

Quelle: verändert nach MUEEF Rheinland-Pfalz, Kartendienst Hochwassergefahrenkarten; © Geobasisdaten: Landesamt für Vermessung und Geobasisinformation Rheinland-Pfalz Koblenz



- Im Fließgewässer finden Erosions-, Transport und Ablagerungsprozesse von Feststoffen statt
- Es wird unterschieden in
  - Schwimmstoffe (Feststoffe, die auf dem Wasser schwimmen)
  - Treibeis
  - Schwebstoffe (Feststoffe in Flüssigkeiten, die durch Fließen oder Turbulenzen in Schwebe gehalten werden)
  - Geschiebe (Feststoffe, die im Fließgewässer, insbesondere an der Gewässersohle bewegt werden)
- Insbesondere bei einem Hochwasserereignis verstärkter Feststofftransport



#### Schwimmstoffe

#### Feststoffe, die auf dem Wasser schwimmen

- Transportierte Materialen: Schwemmholz (losgerissene Bäume, Sträucher, Totholz) und künstliche Stoffe wie Blechdosen, Schaumstoffe, Campingwagen
- → Verklausung: Ansammlung von Treibgut, das ein Anstauen des Wasserspiegels bewirkt.
  - → Rückstau und weitere Ausuferung oberhalb
  - → Erhöhte Fließgeschwindigkeiten
  - → höhere Erosionswirkung
  - → Plötzlicher Bruch der Verklausung → Flutwelle unterhalb



Verklausung nach einer Sturzflut Quelle: BWK/DWA (2013)

#### Eishochwasser

- Durch Zusammentreffen von hoher Wasserführung und eisbedingter Durchflussbehinderung entstandenes Hochwasser
- Frost
- → Bildung Randeis und Grundeis
- Abbruch Randeis und Auftrieb Grundeis → Treibeis
- Treibeis kann zusammen geschoben werden →
  Eisversetzung
- Potentielle Gefahrstellen Eisversetzung: Einbauten (z. B. Brückenpfeiler), scharfe Krümmungen, Sandbänke, Flussverzweigungen
- Rückstau und plötzlicher Eisruck durch Schmelzen/ Wasserdruck mit Flutwelle wie bei Bruch der Verklausung



Eishochwasser Quelle: Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen (2009)





#### Schwebstoffe

Feststoffe in Flüssigkeiten, die durch Fließen oder Turbulenzen in Schwebe gehalten werden

- Durch verstärkten Oberflächenabfluss verstärkte Erosion und Eintrag von Material in das Gewässer (Spülfracht)
- Schadstoffe (z. B. Schwermetalle, Phenole) häufig an Schwebstoffe gebunden
- Schwebstoffe lagern sich nach Hochwasser ab
  - → Kontamination / Auflast



Quelle: Walter Geiring (2016)

#### Erosion im Gewässerbett

- Erhöhte Fließgeschwindigkeiten v. a. bei Engstellen, Verklausungen und Eisversetzungen
- Bruch von Verklausungen und Eisruck
  - → Seiten- und Tiefenerosion
  - → Unterspülung von Bauwerken, Abbruch von Uferbereichen, Sohlenerosion und Auflandung Material
  - → Ausbildung neuer Gewässerläufe



Uferabbruch am Prallufer nach einem Hochwasser Quelle: Jüpner o. J.

### Entstehung von Starkregenüberschwemmungen & Sturzfluten

### Typenunterscheidung

Quellen: hydrotec GmbH, Aachen

**Erosion**,

Erdrutsche,

Schlammlawinen!



#### **Beispiele:**

Münster, 28.07.2014

Bremen, 04./18.08.2011



## Beispiele:

Sturzfluttyp Hügelland und Mittelgebirge -

flash flood type

"hills and mountains"

Braunsbach, 29.05.2016

Simbach/Inn, 01.06.2016

Moscheltal/Nordpfalz, 20.09.2014





## Typ Flachland: Entstehung

- Entstehung durch (konvektives) Starkregenereignis unmittelbar im / über dem betroffenen Siedlungsraum
- Aufgrund der flachen Topografie geringe Reliefenergie
- Relativ gemäßigte Dynamik des Oberflächenabflusses, lokale Senken und Tieflagen füllen sich
- Grundstücksentwässerung und öffentliche Kanalisation werden von der hohen Niederschlagsintensität überlastet
  - → Keine ausreichend schnelle Aufnahme und Ableitung des Wassers
  - → Abwasseraustritte aus der Kanalisation (Überstau)
  - → Schädlicher Rückstau von Abwasser in ungesicherte Untergeschosse



Quelle: M. Ahlke / Westfälische Nachrichten (2014)



Quelle: E. Larina @ 123rf.com



## Typ Flachland: Entstehung

- Sturm und Hagel als Begleiterscheinungen verschärfen die Überlastung der Kanalisation durch Verlegung der Straßenabläufe
- Urbane Fließgewässer treten über ihre Ufer
- verrohrte Gewässerabschnitte und Durchlässe als hydraulische Engpässe
- Oftmals zusätzliche Verlegung von Durchlässen durch Treibgut (Verklausung)





Quelle: A. Dörr (2014)

Quelle: DWA/BWK (2013)



Quelle: Grüning und Grimm (2015)



Quelle: Grüning und Grimm (2015)



## Typ Flachland: Beispiele



Foto: M. Ahlke, Westfälische Nachrichten (2014)

#### Beispiel:

- Starkregenereignis Münster, 28. Juli 2014
- 270 mm in 7 h; 220 mm in 90 min (4x Julimittel!)
- ca. 3.900 Feuerwehreinsätze (8x Personenrettung)
- 2 Tote, 1 Schwerverletzter, > 1.000 geflutete Keller

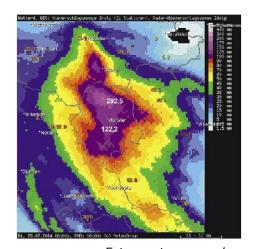


Foto: meteogroup.de



Foto: Münster-Journal.de (2014)



Foto: uwa / Westfälische Nachrichten (2014)



Foto: M. Ahlke, Westfälische Nachrichten (2014)



UE 5 – Hochwasser & Starkregenüberflutungen Ursachen und Ausprägungen



# Typ Hügelland (Sturzflut): Entstehung



Durch Starkregen verursachte Überflutung Quelle: BWK/DWA (2013)



Überflutung einer Tiefgarageneinfahrt Quelle: BWK/DWA (2013)



Verklausung nach einer Sturzflut Quelle: BWK/DWA (2013)

- Sturzfluten entstehen in Gebieten mit hoher Reliefenergie
- Häufig sind große Abflüsse aus unbebauten Randgebieten von Siedlungen ("Außengebiete") problematisch
- Hohe Strömungsdynamik der abfließenden Welle
- In der Regel erheblicher Mittransport von Sediment, Geröll und Treibgut
- Auch hier oft urbane Fließgewässer als Überflutungs-Hotspots durch Verklausung von Durchlässen

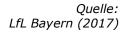


## Typ Hügelland: Beispiele

#### Beispiel:

- Sturzflut Simbach/Inn, 01. Juni 2016
- Hohe Niederschlagssummen im gesamten Einzugsgebiet des Simbach (3,3 km²):
  - 120 140 mm in 24h (T >> 100 a)
  - ca. 20 30 mm in 1h
- Wasserstand Simbach:
  von 0,5 m auf 4,80 m!
- 7 Tote, immense Sachschäden (50 Mio Euro)

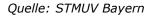




Quelle: Walter Geiring (2016)









### Wechselwirkungen Außengebiete - Gewässer - Kanalisation

#### Außengebiet



Quelle: M. Lipatova @ 123rf.com

#### **Oberflächenentwässerung**



Quelle: A. Dörr (2014)



Wassereintritt

#### Kanalisation



Quelle: Elena Larina @ 123rf.com

Rückstau bei Hochwasser/ Starkregen



#### Fließgewässer

Wasseraufnahme



Quelle: J. Zimmermann (2009)

Einleitung bei Regenwetter

Rückstau bei Hochwasser

### Kanalauslass



Quelle: Robert Mittelstädt, Hydrotec GmbH, Aachen (o.J.)



Mischwasserüberlauf/

TS-Auslass



## Erosionseffekte bei Starkregen

#### Schlamm- und Gerölllawinen, Murgänge

- Bei hoher Reliefenergie (steile Topografie, Hügelland / Gebirge)
- Schlammlawine/Mure: Wasser + Erdreich + Treibgut/Grobstoffe
- Meist das Wasser als Auslöser durch starken Regenabfluss, alpin auch durch Schneeschmelze. → "transportlimitiert"
   (vgl.: Bergsturz im alpinen Raum, durch reine Geröllansammlung ausgelöst → "materiallimitiert")
- Prozess: Aufweichung des Bodens und Ablösung vom Untergrund.
- Wasserähnliche Fließeigenschaften (hohe Geschwindigkeit!), jedoch viel höherer Strömungsdruck infolge Eigengewichts
- Zur Vorhersage werden Frühwarnsysteme (z. B. zur Messung der Bodenfeuchtigkeit) und Gefährdungskarten erstellt.



Quelle: Gemeinde St. Koloman / AUT



Quelle: URBAS / hydrotec GmbH (o.J.)



## Erosionseffekte bei Starkregen

#### Ausspülungen und Unterspülungen

- Bei entsprechend erosiver Kraft der Abflüsse
- Abfluss beschädigt Unterkonstruktion (z. B. von Verkehrsflächen) durch Materialausspülung
- Unterspülung von Gebäudefundamenten mit Verlust der Standsicherheit möglich!
- Aus-/Unterspülungen bleiben oft unbemerkt:
  Oberflächen sind unversehrt oder stehen unter Wasser!
- Auch (Einsatz-) **Fahrzeuge** können unterspült und weggeschwemmt werden!
- Achtung: Instabiler Bereich oft größer als (sichtbarer) Schadensbereich!



Quelle: Wikimedia Commons (2002), © Harald Weber



Quelle: Münster-Journal.de (2014)



Quelle: Freiwillige Feuerwehr Hamburg (2018)





## Zusammenfassung

- Flussüberschwemmungen:
  - → durch langanhaltende Niederschläge mit großer Flächenausdehnung
  - → Betroffenheit größerer Gebiete entlang von Fließgewässern über längere Zeit
- Starkregenüberflutungen:
  - → durch kleinräumige Niederschläge mit kurzer Dauer und hoher Intensität
  - → Betroffenheit kleinerer Gebiete auch fernab eines Fließgewässers, relativ kurze Dauer



- → Gebietseigenschaften und Einfluss des Menschen
- Starkregenüberflutungen sind komplexe Gefährdungslagen, die sich aus dem
  Zusammenwirken der Teilsysteme Oberfläche Gewässer Kanalisation Außengebiet und der Topografie (Reliefenergie) des Einzugsgebiets ergeben
- Erosionseffekte, wie Schlamm- und Gerölllawinen, Unterspülungen und Ausspülungen sind Gefährdungsmultiplikatoren bei Starkregenereignissen



Quelle: pixabay.com



Quelle: pixabay.com

