



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Energie BFE
Aufsicht Talsperren

Bericht vom 12.01.2022

Kriterien für die Anwendbarkeit der progressiven Breschen-Berechnung bei Fragen der Unterstellung von Stauanlagen



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Energie BFE
Aufsicht Talsperren

Datum: 12.01.2022

Bundesamt für Energie BFE
Sektion Aufsicht Talsperren
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Autor:
Philipp Oberender



Kriterien für die Anwendbarkeit der progressiven Breschen-Berechnung bei Fragen der Unterstellung von Stauanlagen:

Die Ermittlung des besonderen Gefährdungspotentials für die Frage der Unterstellung einer Stauanlage unter die Stauanlagengesetzgebung (vgl. Richtlinie über die Sicherheit von Stauanlagen, Teil B, BFE 2014), darf nur in Ausnahmefällen **ausschliesslich** aufgrund einer progressiven Bruchbetrachtung (progressive Breschenbildung) erfolgen. Dies ist der Fall, wenn die Möglichkeit eines schneller fortschreitenden oder katastrophalen Bruches in jeder Belastungssituation (Hochwasser, Erdbeben, Murgang, Sturm, etc.) mit grosser Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden kann.

Zudem muss sichergestellt sein, dass die Rand- und Anfangsbedingungen, die dem gewählten Modell für die progressive Breschenentwicklung zu Grunde liegen, bei dem betrachteten Damm in jeder Belastungssituation mit grosser Wahrscheinlichkeit eingehalten werden können.

In einigen Abschätzverfahren, wie dem «BREACH_MACCHIONE» Modell (VAW, 2011), wird standardmässig davon ausgegangen, dass die initiale Bresche aus einer relativ kleinen, lokalen Schädigung (Öffnung) des Dammes entsteht; dementsprechend **muss sichergestellt sein, dass initial keine grössere Bresche auftreten kann**. Eine solche könnte sich etwa bei einem Versagen einer der Böschungen bilden. Das heisst, dass die Stabilität des Dammes mit ausreichend grosser Sicherheit nachgewiesen sein muss, um ein Versagen, welches zu einer grösseren Bresche führt, in jeder Belastungssituation mit grosser Wahrscheinlichkeit auszuschliessen.

Andere Abschätzmodelle (z.B. Peter et al. 2018; Peter 2017) erlauben, die Anfangsbedingung freier zu wählen, z.B. einen Anfangszustand mit einer vorgegebenen Geometrie der initialen Bresche. Allerdings ist die Grösse und Form der Initialbresche nicht einfach abzuschätzen und birgt grössere Unsicherheiten. Diese Unsicherheiten können nur durch geotechnische Untersuchungen an Probenmaterial des Dammes reduziert werden.

Aus den obigen Gründen **schränkt das BFE die Anwendung von Modellen zur progressiven Breschenabschätzung zum Zweck der Ermittlung des besonderen Gefährdungspotentials für Fragen der Unterstellung auf folgende zulässige Geometrien ein (siehe Abbildung 1):**

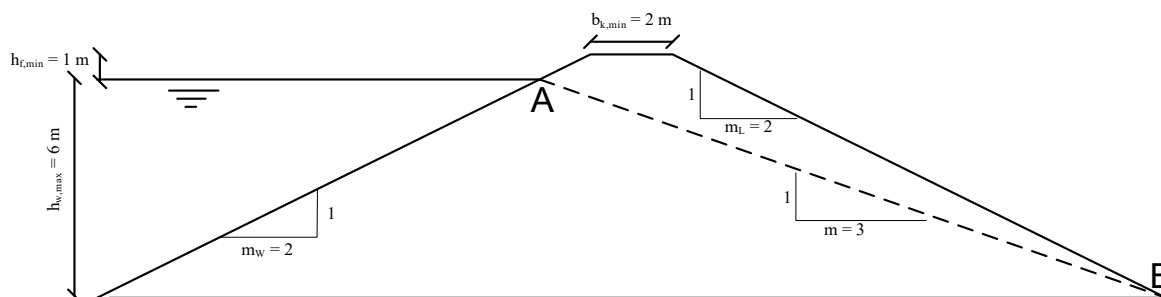


Abbildung 1: Definition der geometrischen Parameter für die Anwendung des Breach-Macchione Modell

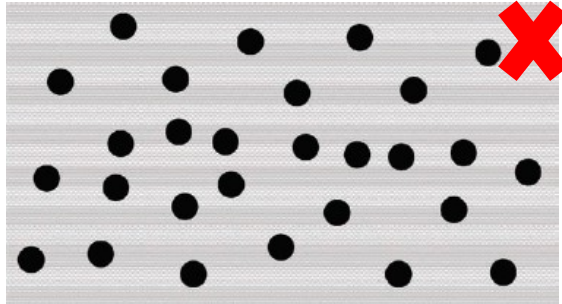
Dammgeometrie		
Luftseitige Böschung (1:m _l)	mindestens	m _l = 2
Wasserseitige Böschung (1:m _w)	mindestens	m _w = 2
Neigung der Verbindungslinie A – B (kritischer Bruch) (1:m _{crit})	mindestens	m _{crit} = 3
Stauhöhe	maximal	6 m
Freibord	mindestens	1 m
Kronenbreite	mindestens	2 m
Stauvolumen	maximal	200'000 m ³
Bauart		
homogener Erdschüttdamm aus Moränenmaterial (Material darf nicht durch Feinmaterial dominiert sein)		
Region		
Nur anwendbar in den Erdbebenzonen 1a und 1b nach SIA 261 (2020)		

Zusätzlich zu diesen Einschränkungen gelten die Einschränkungen nach VAW (2019).

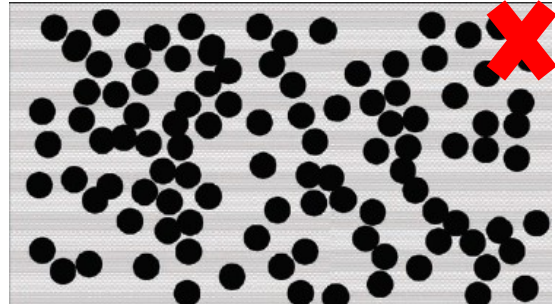


Weitere Bedingungen (qualitativ zu kontrollieren):

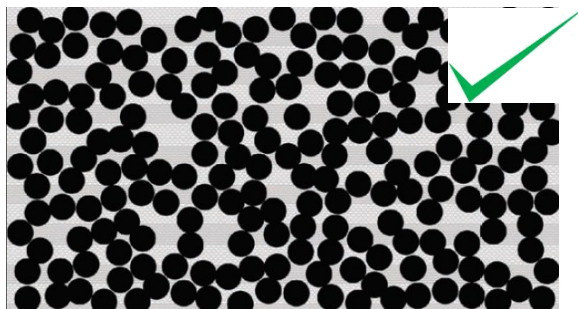
1. Für Dämme mit Oberflächenabdichtung gelten die gleichen Anforderungen wie für homogene Erdschüttdämme (siehe oben).
2. Grundsätzlich sollte das Material im Dammaufbau und in der Foundation nicht von Feinmaterial dominiert sein (z.B. Ton, Silt, Material mit signifikantem organischem Anteil, etc.), siehe Abbildung 2.



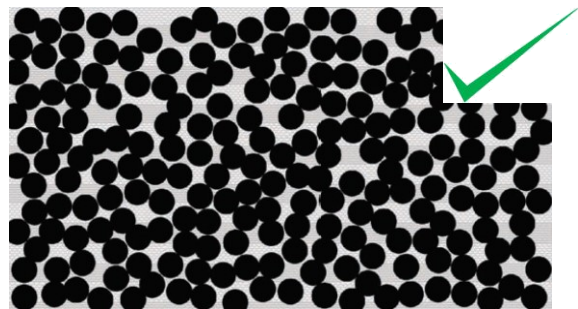
stark Feinkormmatrix dominiertes Material



Feinkormmatrix dominiertes Material



Grobkorn dominiertes Material



stark Grobkorn dominiertes Material

Abbildung 2: Schematische Darstellung von Mischböden (nach Al-Moadhen et al., 2017)

3. Der Damm darf keine Zonen enthalten, die durch Material mit mechanisch schwächeren Eigenschaften dominiert werden (z.B. Zonen mit v.a. Silt, Ton, Material mit signifikantem organischem Anteil, etc.), welches einen Bruch resp. ein lokales Versagen begünstigen würde, siehe auch Abbildung 3.



4. Die Fundation des Dammes darf kein Material mit geringer Festigkeit (wie z.B. Silt, Ton, Material mit signifikantem organischem Anteil) enthalten, welches einen Bruch durch die Fundation begünstigen würde, siehe auch Abbildung 3. Die Fundation sollte den Baugrundklassen R, A oder B nach der «Richtlinie über die Sicherheit von Stauanlagen, Teil C3, BFE 2021 zugeordnet werden können.

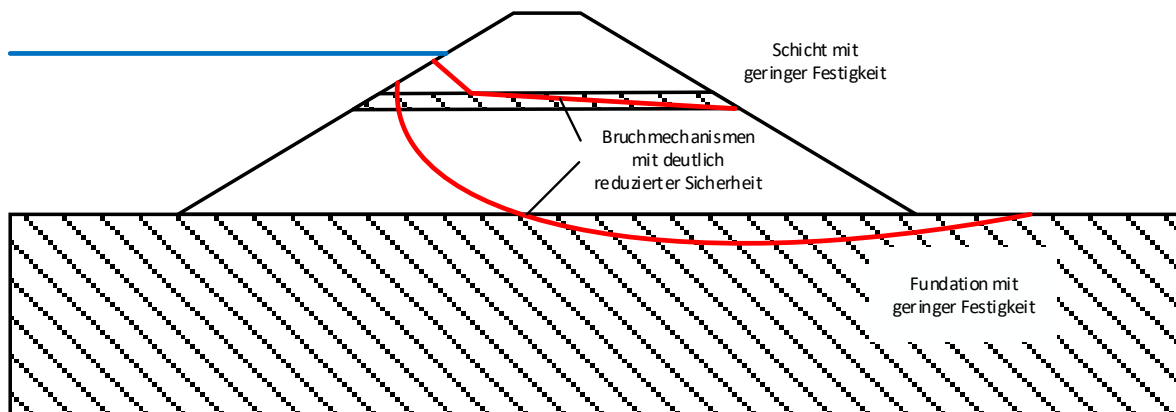


Abbildung 3: Schematische Darstellung von Bruchmechanismen durch eine Schicht aus Material mit geringer Festigkeit im Damm oder in der Fundation.

5. Es soll kein Sand dominiertes Material im Damm oder der Fundation vorliegen (Verflüssigungsgefahr).
6. Es sollen keine Indizien für eine nahe an der luftseitigen Dammoberfläche liegende Sickerlinie (feuchte Stellen, Wasseraustritte, etc.) vorhanden sein, siehe Abbildung 4.

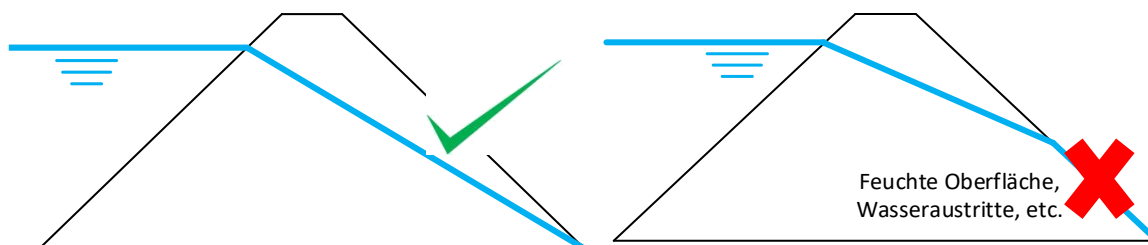


Abbildung 4: Zulässige Sickerwasserbedingungen

7. Das Gelände auf der Luftseite des Dammes soll nicht steil abfallen (max. 20% Gefälle), siehe Abbildung 5.

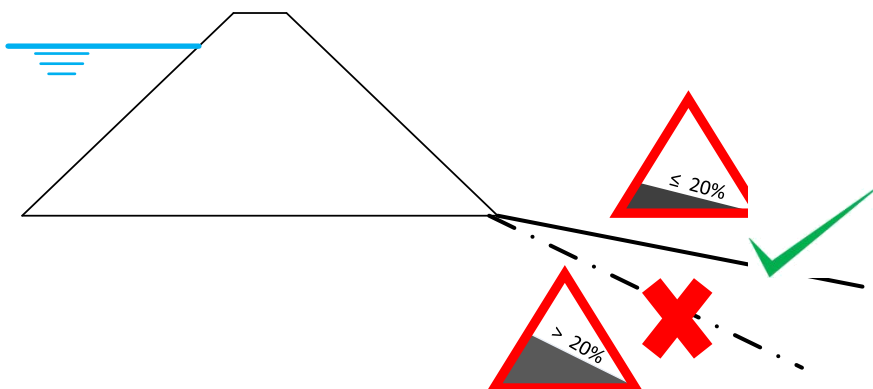


Abbildung 5: Zulässige Geländeneigung auf der Luftseite



8. Es gibt keine Anzeichen für bereits existierende Schäden oder geschwächte Zonen am Damm (übermässige Setzungen, Schäden an den Böschungen, Wasseraustritte, Erosionserscheinungen, Risse, etc.), im Vorfeld (Erosionserscheinungen, etc.) oder an den Wiederlagern (Wasseraustritte, etc.), siehe Abbildung 6.

Beispiele:



Transversal Risse im Damm deuten auf Setzungen hin (Bild: FEMA, 2016).



Längsrisse deuten auf Setzungen oder Instabilitäten im Damm hin (Bild: FEMA, 2016).



Oberflächenerosion (Bild: FEMA, 2016)



Erosion durch landwirtschaftliche Nutzung (Bild: FEMA, 2016)



Setzungsmulden in der Dammkrone deutet auf schwaches oder erosionsanfälliges Material im Damm oder der Foundation hin (Bild: BFE Aufsichtstätigkeit).



Durchsickerungen entlang der Wiederlager des Dammes (Bild: FEMA, 2016)



Austritte von Feinmaterial im luftseitigen Vorfeld
des Dammes (Sandboils)



Austritte von Feinmaterial in luftseitigen
Sickerwasserkanal (Bild: BFE Aufsichtstätigkeit)

Abbildung 6: Beispiele für Schadensbilder an Schüttdämmen

9. Es gibt keinen Bewuchs durch Bäume und Sträucher auf dem Damm, der präferierte Sickerwege erzeugen oder bei Sturm grössere Breschen in den Dammkörper reissen kann.

Anwendung des Modells zur progressiven Breschenbildung:

Grundsätzlich sollen bei der Abschätzung des Abflusses bei einer progressiven Breschenbildung Randbedingungen gewählt werden, welche denen ähnlich sind, für die das Modell entwickelt wurde und in diesen Fällen den grössten Abfluss produzieren.

Für den Fall des Überströmens heisst dies, dass anzunehmen ist, dass der Stauraum bei Beginn der Breschenbildung bordvoll ist.



Literatur:

Al-Moadhen M, Clarke BG and Chen X. (2017): Hydraulic conductivity of composite soils. In Proceedings of the 2nd Symposium on Coupled Phenomena in Environmental Geotechnics (CPEG2), 6 September, University of Leeds, Leeds, UK.

Bundesamt für Energie, BFE (2014). Richtlinie über die Sicherheit der Stauanlagen. Teil B: Besonderes Gefährdungspotenzial als Unterstellungskriterium. Richtlinie, Bundesamt für Energie

Bundesamt für Energie, BFE (2021). Richtlinie über die Sicherheit der Stauanlagen. Teil C3: Erdbebensicherheit. Richtlinie, Bundesamt für Energie

Federal Emergency Management Agency (FEMA). (2016): Pocket Safety Guide for Dams and Impoundments (FEMA-P-911)

Peter, S. J. (2017). Dam break analysis under uncertainty. *VAW-Mitteilung* 241 (R. Boes, ed.), Versuchsanstalt für Wasserbau und Glaziologie (VAW), ETH Zürich.

Peter, S. J., Siviglia, A., Nagel, J., Marelli, S., Boes, R. M., Vetsch, D. and Sudret, B. (2018). Development of probabilistic dam breach model using Bayesian inference. *Water Resources Research*. doi: 10.1029/2017WR021176.

Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, SIA (2020). Einwirkung auf Tragwerke, Norm SIA 261.

VAW (2011). Breschenbildung an Dämmen kleiner Stauanlagen im Kanton Zürich – Numerische Simulation zur Beurteilung des Breschenabflusses bei progressiven Dammbrüchen. VAW-Bericht Nr. 4289, Versuchsanstalt für Wasserbau und Glaziologie (VAW), ETH Zürich.

VAW (2019). BRIEFBERICHT: Anwendungsbereiche von Parametermodellen zur Modellierung progressiver Dammbrüche, Versuchsanstalt für Wasserbau und Glaziologie, ETH Zürich.