Wasserkraftwerk Mühleberg
Überprüfung der Erdbebensicherheit
Unregelmässigkeiten

Front: Wasserkraftwerk Mühleberg , Schalungsarbeiten auf der Baustelle im Jahr 1919, aus „Wohlen BE, Im 19. und 20. Jahrhundert“, Thomas Brodbeck, Andrea Schüpbach, 2006, Einwohnergemeinde Wohlen, Foto: BKW

M. Kühni
+41 79 294 03 31
http://energisch.ch
markus@energisch.ch

Vielen Dank an alle, die mich bei der Recherche dieses Berichts unterstützt haben.

Inhalt

1 Einleitung ... 5
1.1 Vorwort des Autors ... 5
1.2 Zusammenfassung ... 5
2 Erdbebensicherheitsnachweise für das Wasserkraftwerk Mühleberg ... 8
2.1 Herkunft und Beschaffung ... 8
2.2 Zwei Versionen desselben Gutachtens ... 8
2.3 Drei Versionen desselben Gutachtens ... 8
2.4 Analyse der Gutachten ... 9
3 Analyse des Gutachtens vom 31.1.2012 ... 10
3.1 Schlussfolgerungen des Gutachtens ... 10
3.2 Übermässig hohe Sicherheitsfaktoren? ... 11
3.3 „Empfohlene Werte“? ... 12
3.4 Wurde auf mindestens gleichwertige Weise die Sicherheit nachgewiesen? ... 13
4 Analyse des Gutachtens vom 30.3.2012 ... 14
4.1 Schlussfolgerungen des Gutachtens ... 14
4.2 Wo sind die Sicherheitsfaktoren geblieben? ... 15
4.3 Steht die Erdbeben-Richtlinie alleine? ... 17
4.4 Gilt diese Richtlinie etwa nur für neue Anlagen? ... 17
4.5 Gelten die Sicherheitsfaktoren nicht für den Erdbebenfall? ... 18
4.6 Wurde im *zweiten* Gutachten ein mindestens gleichwertiger Nachweis erbracht? ... 19
4.7 Bestehen anderweitige grosse Reserven? ... 20
5 Analyse des Gutachtens vom 4.5.2012 ... 21
5.1 Schlussfolgerungen des Gutachtens ... 21
5.2 Bleibende Verschiebungen ... 21
5.3 Verschwindenlassen von Aussagen zur Kohäsion ... 23
5.4 Absprache mit dem BFE ... 24
6 Stellungnahme des BFE vom 27.2.2012 ... 27
6.1 Anweisung des BFE hinsichtlich der Sicherheitsfaktoren ... 27
6.2 Gelten die Sicherheitsfaktoren nur für „extreme Einwirkungen im Allgemeinen“? ... 27
6.3 Gibt es abweichende Nachweismethoden für das Erdbeben? ... 28
6.4 Vergleich mit der internationalen Praxis ... 30
6.5 Zulässiges Gleiten ... 32
6.6 Nachweiserfüllung bei nicht auszuschliessendem Gleiten ... 32

6.7 BFE Stellungnahme und Lastfall „normal“ ... 33
7 Fazit ... 35
7.1 Das AKW Mühleberg wurde rechtswidrig nicht ausser Betrieb genommen ... 35
7.2 Das BFE muss sich erklären ... 36
7.3 Das AKW ist akut gefährdet ... 37
8 Epilog – Aufsicht und Regelwerke ... 38
8.1 Gegenstand: AKW oder Stauanlage? ... 38
8.2 Betriebsbewilligung: befristet vs. unbefristet ... 39
8.3 Ausserbetriebnahme und Stilllegung ... 39
8.4 Bedeutung von Gesetzgebung und Richtlinien ... 40
8.5 Theorie und Praxis ... 41
9 Anhang 1 - Zeitlinie ... 43
10 Anhang 2 - Vertiefte technische Diskussion ... 47
10.1 Rückbestimmung der Anteile Reibung/Kohäsion an den Sicherheitsfaktoren ... 47
10.2 Bleibende Verschiebungen ... 49

1 Einleitung

1.1 Vorwort des Autors

In der Vergangenheit hat es in Sachen Nuklearer Sicherheit immer wieder Kritik an Gutachten und sicherheitstechnischen Stellungnahmen gegeben. Schon oft standen Vorwürfe im Raum, die Sicherheitsnachweise seien in unzulässiger Weise zwischen Aufsicht und Beaufsichtigten „vorvernehmlasst“ worden, lückenhaft oder zu nachsichtig.

Solche Kritik wurde von den Behörden jeweils ignoriert oder mit wenigen Worten vom Tisch gewischt. Dies selbst dann, wenn sich Kritiker Gegengutachten bei angesehenen Experten besorgt hatten. Es stand jeweils Aussage gegen Aussage – Dritte konnten sich kaum ein eigenes Bild machen.

Nun liegt jedoch durch besondere Umstände die ganze Entstehungsgeschichte eines solchen Sicherheitsnachweises vor. Der Autor konnte drei *verbindlich eingereichte* Versionen desselben Gutachtens beschaffen und detailliert studieren. Er kann nachzeichnen, wie sich die sicherheitstechnischen Aussagen der Experten „entwickelt“ hatten. Dort, wo sich die Aussagen der Experten geändert hatten, konnte zudem untersucht werden, *ob* und *wie weit* diese Meinungsänderung begründet wurde.

Weder die Glaubwürdigkeit oder fachliche Kompetenz des Kritikers noch diejenige eines allfälligen Gegengutachters stehen somit im Mittelpunkt. Vielmehr können wir die Experten der AKW-Betreiber quasi gegen sich selber antreten lassen. Es steht Aussage gegen Aussage – aber von *denselben* Leuten.

Wir werden zudem sehen, dass die hier diskutierten Änderungen nur am Rande fachtechnischer Natur sind. Vielmehr geht es um die korrekte Anwendung von geltenden Verordnungen und Richtlinien des Bundes. So kann jede Person mit minimalem technischem Verständnis gut beurteilen, welcher Version er oder sie Glauben schenken sollte.

1.2 Zusammenfassung

Das Atomkraftwerk Mühleberg liegt 1.3 km unterhalb des Wasserkraftwerks Mühleberg (Wohlensee-Staumauer). Bei einem Bruch der Mauer ist das AKW massiv gefährdet.

Nach Fukushima hat deshalb die Nuklearaufsichtsbehörde ENSI gestützt auf die Ausserbetriebnahmeverordnung[1] in ihrer Verfügung vom 1.4.2011 gefordert, entweder den Nachweis der Erdbebensicherheit des Wasserkraftwerks Mühleberg zu erbringen oder alternativ nachzuweisen, dass das AKW die Flut nach einem Dammbruch überstehen könnte[2].

Der Nachweis sollte in zwei Stufen erbracht werden: per 30.11.2011 mussten die Erdbebenfestigkeitsnachweise für benötigte Bauwerke und Ausrüstungen eingereicht werden; per 31.3.2012 dann

[1] Art. 2 Überprüfung der Auslegung, Verordnung des UVEK über die Methodik und die Randbedingungen zur Überprüfung der Kriterien für die vorläufige Ausserbetriebnahme von Kernkraftwerken
http://www.admin.ch/ch/d/sr/732_114_5/a2.html

[2] ENSI: Verfügung: Vorgehensvorgaben zur Überprüfung der Auslegung bezüglich Erdbeben und Überflutung, 1.4.2011
http://www.ensi.ch/de/2011/04/01/2-verfuegung-des-ensi-an-das-kkw-muehleberg/

die sogenannte deterministische Störfallanalyse, also der Nachweis dass auch im Erdbebenfall mit allen Folgeerscheinungen das AKW sicher heruntergefahren und gekühlt werden kann[3].

Am 30.11.2011 reichte die BKW jedoch keinen Erdbebenfestigkeitsnachweis für die Staumauer ein. Gleichzeitig wies sie im EU Stresstest nur eine geringe Reserve für die Stabilität der Mauer aus[4].

Aus diesem Grund verfügte das ENSI am 10.1.2012 für das Wasserkraftwerk Mühleberg den fehlenden Erdbebenfestigkeitsnachweis sowie vorgezogen auch den deterministischen Nachweis bis am 31.1.2012 einzureichen[5] (zwei Monate vor der ursprünglich angesetzten Frist).

Die BKW beauftragte die Firma Stucky AG (Lausanne) mit der Ausarbeitung des entsprechenden Nachweises. Sie lieferte am 31.1.2012 die erste Version dieses Gutachtens ab[6].

Das Gutachten kommt diplomatisch aber klar zum Schluss, dass die Sicherheit der Stauanlage nicht den Richtlinien des Bundes[7] genügt. Erforderliche Sicherheitsfaktoren zur konstruktiven Sicherheit werden im Erdbebenfall nicht einmal zur Hälfte erreicht. Auch im betrieblichen Normalfall (ohne Erdbeben) erfüllt die Stauanlage die Anforderungen nicht; sie müsste eine um ca. 30% höhere Stabilität aufweisen, als berechnet.

Gemäss Ausserbetriebnahmeverordnung[8] hätte die BKW das AKW unverzüglich ausser Betrieb nehmen müssen, falls die Sicherheit nicht nachgewiesen werden konnte. Das hat sie nicht getan.

Die Überprüfung des Nachweises wurde vom ENSI an das Bundesamt für Energie (BFE), Sektion Talsperren delegiert, da diesem die Aufsicht über die Sicherheit der Schweizer Stauanlagen obliegt[9]. Das BFE nahm am 27.2.2012 Stellung[10]. Darin wird die BKW, bzw. deren Fachgutachterin angewiesen, die Richtlinien „anders“ zu interpretieren.

Am 30.3.2012 reichte die BKW zusammen mit dem gesamten Erdbebensicherheitsnachweis für das AKW auch eine zweite, revidierte Fassung des Stucky AG-Gutachtens über das Wasserkraftwerk ein[11].

In dieser zweiten Gutachtensversion wurde die vorher schlüssig dargestellte Methodik der Richtlinie zur „konstruktiven Sicherheit“ des Bundes, sowie der erforderlichen sogenannten Sicherheitsfaktoren zum Nachweis der Gleitsicherheit entfernt. Die gemäss Richtlinientext bestehenden hohen Unsicherheiten und Risiken der gewählten Nachweismethode wurden nicht mehr berücksichtigt.

---

[3] deterministische Störfallanalyse nach Art. 2 Einhaltung der grundlegenden Schutzziele, Verordnung des UVEK über die Gefährdungsannahmen und die Bewertung des Schutzes gegen Störfälle in Kernanlagen
http://www.admin.ch/ch/d/sr/732_112_2/a2.html

[4] Dabei sei klargestellt, dass das ENSI diese Betreiber-Angaben für den EU Stresstest gemäss eigenen Aussagen nicht überprüft hat. Vgl. http://energisch.ch/sonntagszeitung-akw-muehleberg-erhaelt-bestnoten-ohne-pruefung/1451/

[5] ENSI: Verfügung: Stellungnahme zu Ihrem Bericht zum EU-Stresstest, 10.1.2012
http://static.ensi.ch/1326198641/ensi_verfuegung_kkm_geschw.pdf

[6] Stucky SA, Wasserkraftwerk Mühleberg Überprüfung der Erdbebensicherheit, Stabilitätsnachweis CSE-TM-JO 5092-4001, Renens 31.1.2012

[7] BFE: Sicherheit der Stauanlagen. Richtlinien des BWG.
http://www.bfe.admin.ch/themen/00490/00491/00494/index.html?lang=de&dossier_id=00788

[8] Art. 3 Ausserbetriebnahme, Verordnung des UVEK über die Methodik und die Randbedingungen zur Überprüfung der Kriterien für die vorläufige Ausserbetriebnahme von Kernkraftwerken
http://www.admin.ch/ch/d/sr/732_114_5/a3.html

[9] Art. 22 Aufsicht durch den Bund, Bundesgesetz über die Stauanlagen (SR 721.101)
http://www.admin.ch/ch/d/sr/721_101/a22.html

[10] Stellungnahme des BFE zum Nachweis der Stabilität unter Erdbebeneinwirkung, 27. Februar, 2012

[11] Wasserkraftwerk Mühleberg Überprüfung der Erdbebensicherheit, Linear-elastische Berechnungen, TM-JO 5092-4003, Stucky AG, Renens, 30.3.2012

Es wurde auch kein alternativer, mindestens gleichwertiger Nachweis geführt, um an Stelle der Richtlinienvorgaben die Sicherheit zu gewährleisten.

Am 4.5.2012 erstellte die Stucky AG eine dritte und letzte Version des Gutachtens. Hier wurden weitere ungünstige Aussagen zu Labormessungen an Felseigenschaften und bleibenden Verschiebungen bei der Staumauer entfernt.

Am 26.6.2012 nahm das BFE positiv zu den eingereichten Unterlagen Stellung.[12]

Gestützt darauf verkündet das ENSI am 9.7.2012 *„Schweizer Kernkraftwerke widerstehen Erdbeben“* und konkret, die *„Stauanlage Mühleberg hält Stand“*[13].

> *Beim Nachweis der Beherrschung der Kombination von Erdbeben und dem durch Erdbeben ausgelöste Versagen der Stauanlagen im Einflussbereich des Kernkraftwerkes Mühleberg hat der Betreiber nachgewiesen, dass diese Stauanlagen standhalten. Die Nachweise für die Stauanlagen Mühleberg, Schiffenen und Rossens wurden von der zuständigen Fachstelle im Bundesamt für Energie BFE und dem ENSI überprüft.*

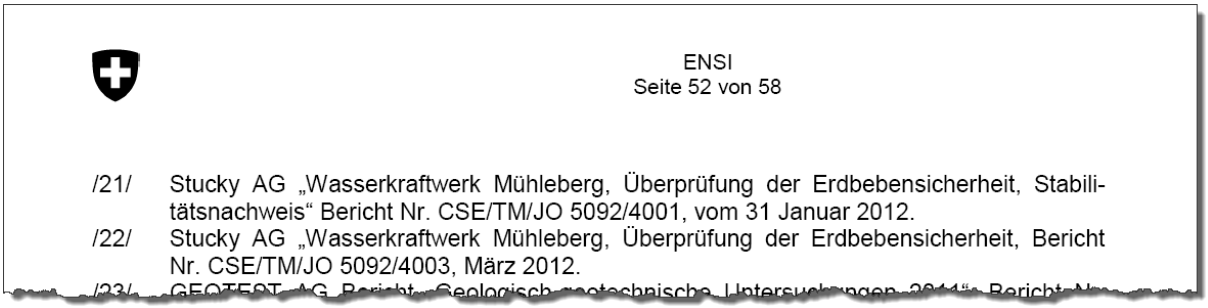
Das vorliegende Dokument wird diesen Sachverhalt nun im Detail darstellen und belegen.

[12] Überprüfung der Erdbebensicherheit des Wasserkraftwerks Mühieberg, Stellungnahme des BFE zum Erdbebensicherheitsnachweis, 26.6.2012
http://static.ensi.ch/1341815595/20120626_bfe_stauanlagen_geschwaerzt.pdf
[13] http://www.ensi.ch/de/2012/07/09/schweizer-kernkraftwerke-widerstehen-erdbeben/

2 Erdbebensicherheitsnachweise für das Wasserkraftwerk Mühleberg

2.1 Herkunft und Beschaffung

Das ENSI referenziert in seiner „Stellungnahme des ENSI zum deterministischen Nachweis des KKM zur Beherrschung des 10‘000-jährlichen Erdbebens“ (ENSI 11/1562) vom 7.7.2012[14] zwei Dokumente, welche den konkreten Erdbebensicherheitsnachweis für das Wasserkraftwerk Mühleberg enthalten.


ENSI
Seite 52 von 58

/21/ Stucky AG „Wasserkraftwerk Mühleberg, Überprüfung der Erdbebensicherheit, Stabilitätsnachweis“ Bericht Nr. CSE/TM/JO 5092/4001, vom 31 Januar 2012.
/22/ Stucky AG „Wasserkraftwerk Mühleberg, Überprüfung der Erdbebensicherheit, Bericht Nr. CSE/TM/JO 5092/4003, März 2012.
/23/ GEOTEST AG, Bericht „Geologisch-geotechnische Untersuchungen 2011“, Bericht-Nr.

Der Autor hat diese Dokumente per Gesuch nach dem Bundesgesetz über das Öffentlichkeitsprinzip der Verwaltung (BGÖ) angefordert und schliesslich mit umfangreichen Schwärzungen erhalten[15].

2.2 Zwei Versionen desselben Gutachtens

Wie in der Einleitung begründet, musste die BKW sowohl per 31.1.2012 als auch per 30.3.2012 die Erdbebensicherheit des Wasserkraftwerkes Mühleberg nachweisen. Sie beauftragte beide Male die Firma Stucky AG (Lausanne), entsprechende Gutachten zu erstellen.

Nach dem Erhalt der Dokumente wurde dem Autor rasch klar, dass das Gutachten vom März eine weiter entwickelte Version des Gutachtens vom Januar darstellt (und dieses auch ersetzt). Sämtliche Kapitel der ersten Version sind auch in der zweiten Version enthalten. Bestehende Texte wurden nur geringfügig verändert (mit gewichtigen Ausnahmen, die hier besprochen werden). Zusätzlich wurden neue Kapitel und Passagen hinzugefügt, welche auf Nachforderungen der Aufsichtsbehörden zurückzuführen sind.

Der Autor hat die Dokumentversionen auch elektronisch verglichen, was diese Deutung bestätigt[16].

2.3 Drei Versionen desselben Gutachtens

Aus dem Aktenstudium wurde später klar, dass eine dritte Version des Gutachtens existiert. Diese wird datiert mit dem 4. Mai 2012 und mit dem Aktenzeichen-Zusatz „a“ referenziert. Sowohl das BFE[17] wie auch das ENSI[18] beziehen sich in ihren rechtsverbindlichen Stellungnahmen auf diese dritte Version. Dies ist insofern bemerkenswert, als dass die Abgabefrist für den Nachweis am 31.3.2012

[14] http://static.ensi.ch/1341815145/kkm_sn-erdbebennachweis_final_geschwaerzt.pdf
[15] gegen Gebühr von CHF 950.- (offeriert 2‘450.-)
[16] Der OCR-Textvergleich kann beim Autor angefordert werden
[17] Überprüfung der Erdbebensicherheit des Wasserkraftwerks Mühleberg - Stellungnahme des BFE zum Erdbebensicherheitsnachweis (Bericht Stucky AG CSE/JO 5092/4003a vom 4. Mai 2012), 26. Juni 2012 http://static.ensi.ch/1341815595/20120626_bfe_stauanlagen_geschwaerzt.pdf
[18] Stellungnahme des ENSI zum deterministischen Nachweis des KKM zur Beherrschung des 10‘000-jährlichen Erdbebens http://static.ensi.ch/1341815145/kkm_sn-erdbebennachweis_final_geschwaerzt.pdf

abgelaufen war. Im Anhang der Stellungnahme des ENSI war denn auch die März-Version referenziert worden, die der Autor schliesslich erhalten hatte.

Der Autor hat nachträglich beim ENSI die abschliessende Mai-Version angefordert. Das ENSI lieferte diese mit den folgenden Anmerkungen aus:

> Mit Ihrem Brief vom 21. November 2012 haben Sie um Einsicht in den „Bericht der Stucky AG vom 4. Mai 2012 /22/" gebeten.
>
> Wie Sie richtig bemerkt haben, hat sich bei der Referenzierung im Dokument ENSI 11/1562 auf Seite 52 ein Fehler eingeschlichen. Referenziert wurde fälschlicherweise die Fassung vom März 2012, obwohl vom ENSI – wie auf Seite 45 angegeben – die Fassung vom 4. Mai 2012 beurteilt wurde. Wir entschuldigen uns für diesen Fehler und stellen Ihnen kostenlos die Fassung vom 4. Mai 2012 mit Einschwärzungen zu. Das ENSI hat die Einschwärzungen auf der Basis von Ausnahmegründen gemäss Art. 7 Abs. 1 Bst. c vorgenommen, soweit das Dokument sicherungsrelevante Information enthält, und von Art. 9 Abs. 1 BGÖ, soweit es Personendaten enthält.
>
> Die Fassung vom 4. Mai 2012 diente der Vervollständigung und redaktionellen Berichtigung entsprechend den behördlichen Anforderungen.
>
> Mit Brief vom 26. Juni 2012 hat das BFE bestätigt, dass es die Fassung vom 4. Mai 2012 beurteilte.

2.4 Analyse der Gutachten

Nachfolgend werden die drei Dokumentversionen analysiert und deren „Evolution" diskutiert.

WICHTIG: das vorliegende Dokument geht *nur einer spezifischen Frage* aus dem Erdbebensicherheitsnachweis nach, nämlich der Anwendung der Gleitsicherheitsfaktoren. Der Autor hat zahlreiche weitere, teils gravierende Vorbehalte zu diesem Gutachten, die jedoch nicht Gegenstand der vorliegenden Diskussion sind.

3 Analyse des Gutachtens vom 31.1.2012

3.1 Schlussfolgerungen des Gutachtens

Wir beginnen sogleich bei den Schlussfolgerungen des Gutachtens. Die erste Version vom 31.1.2012[19] kommt zu einem klaren Schluss:

8 Schlussfolgerungen

Dieser Bericht im Rahmen der Überprüfung der Erdbebensicherheit des Wasserkraftwerks Mühleberg zeigt Ergebnisse für die Stabilitätsnachweise (Gleiten und Kippen). Aufgrund der ausgeführten Berechnungen können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

- Die berechneten **globalen Gleitsicherheitsfaktoren** liegen unterhalb den von der BWG-Richtlinie [5] , für Berechnungen mit Berücksichtigung der Kohäsion, empfohlenen Werten (statisch: 5, dynamisch: 3). Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass:
  - die Form der Gleitfläche den geologischen Gegebenheiten Rechnung trägt;
  - die Scherfestigkeitsparameter auf Laborversuchen beruhen und damit einer geringeren Streuung unterliegen als Literaturwerte;
  - die Probenauswahl für die Laborversuche konservativ war,
  - die Berechnungen mit Restscherfestigkeiten und nicht Spitzenscherfestigkeiten durchgeführt wurden;
  - der angenommene, dreieckförmig verteilte Sohlwasserdruck einer sehr konservativen und ungünstigen Annahme entspricht;
  - die seitliche Tragwirkung (Uferbereiche) nicht berücksichtig wird
  - die berechneten totalen bleibenden Verschiebungen gering sind.
- Die Überprüfung der Kippsicherheit zeigt, dass am wasserseitigen Fuss des Maschinenhauses resp. Wehrs nur geringe Zugspannungen auftreten, und dass daher kein Kipprisiko besteht.

Die berechneten **globalen Gleitsicherheitsfaktoren** liegen unterhalb den von der BWG-Richtlinie [5], für Berechnungen mit Berücksichtigung der Kohäsion, empfohlenen allgemein erhöhten Werten. Für die Kohäsion kann jedoch, trotz der konservativen Annahmen im Modell und der Bodenkennwerte, ein minimaler partieller Sicherheitsfaktor von **3.85** (statisch) resp. **1.44** (dynamisch) nachgewiesen werden.

STUCKY SA

[redacted]

Zwar bemüht sich die Gutachterin noch zu Gunsten Ihrer Auftraggeberin eine Reihe von Relativierungen anzuführen[20], doch die Aussage ist klar: *„Die berechneten globalen Gleitsicherheitsfaktoren liegen unterhalb den von der BWG-Richtlinie [5], für Berechnungen mit Berücksichtigung der Kohäsion, empfohlenen Werten*“.

Konkret: der hier entscheidende Sicherheitsfaktor des Wasserkraftwerks Mühleberg müsste im Erdbebenfall um 108% höher liegen, als er momentan berechnet wurde (Faktor 3 statt 1.44). Die Staumauer erreicht also nicht einmal die Hälfte der vorgeschriebenen Stabilität.

Auch ohne Erdbeben (im betrieblichen Normallfall) müsste die Mauer rund 30% stabiler sein, als berechnet (Faktor 5 statt 3.85). Das heisst die Staumauer muss gesetzlich *andauernd* als unsicher gel-

[19] Wasserkraftwerk Mühleberg Überprüfung der Erdbebensicherheit, Stabilitätsnachweis CSE-TM-JO 5092-4001, Stucky SA, Renens 31.1.2012

[20] Relativierungen, die später teilweise aus gutem Grund zurückgezogen oder als unbedeutend ausgewiesen werden (siehe Kapitel 4.7 und 5.2)

ten. Anders ausgedrückt: schon ein kleines, *häufiges* Erdbeben, könnte die labile Stabilität der Mauer gefährden.

3.2 Übermässig hohe Sicherheitsfaktoren?

Zunächst erstaunen die hohen geforderten Sicherheitsfaktoren von 5 und 3. Normalerweise bezeichnet ein Sicherheitsfaktor 1.0 just das Erreichen der Stabilität. Richtlinien fordern dann üblicherweise eine gewisse Sicherheitsmarge von 10% bis 50%, also einen Sicherheitsfaktor von 1.1 bis 1.5.

Warum also derart hohe Werte von 5 und 3? Besteht hier ein übermässiges „Luxuspolster"?

Der zitierten Referenz „BWG-Richtlinie [5]" folgend, finden wir die Richtlinie „Sicherheit der Stauanlagen: Basisdokument zur konstruktiven Sicherheit, Version 1.0 (August 2002)"[21] und darin auf Seite 31 folgendes:

Als Sicherheitsfaktoren können folgende Werte angenommen werden.

LASTFALL		
normal	ausserordentlich	extrem
1.5	1.3	1.1

Tabelle 6: Sicherheitsfaktoren für Staumauern (ohne Berücksichtigung der Kohäsion)

Wir sehen also zunächst gewohnte Sicherheitsfaktoren. Weiter steht jedoch:

Die angegebenen Sicherheitsfaktoren in Tabelle 6 gelten für Berechnungsfälle ohne Berücksichtigung der Kohäsion.

und:

Grundsätzlich kann die Kohäsion dort, wo sie vorhanden ist und der innere Reibungswinkel gleichzeitig tief angesetzt ist, berücksichtigt werden. Für die Festlegung der Kohäsion sollte auf Versuchsresultate, allenfalls auf publizierte Resultate aus der Literatur zurückgegriffen werden. Die Sicherheitsfaktoren sind dann aber zu erhöhen, um den Unsicherheiten und dem Risiko, dass sich die Kohäsion infolge einer Bewegung vermindert oder verschwindet, Rechnung zu tragen. Als Werte sind dann für die 3 Lastfälle in der Tabelle 6 Sicherheitsfaktoren von 3, 4 und 5 zu wählen.

Die Richtlinie geht also im Normalfall davon aus, dass die Sicherheit der Staumauer *ohne* die sogenannte Kohäsion (Haftfestigkeit) nachgewiesen wird. Soll sie trotzdem berücksichtigt werden, müssen mehrere Bedingungen erfüllt sein. Unter anderem müssen dann die Sicherheitsfaktoren deutlich erhöht werden.

Wichtig ist hier zu bemerken, dass diese Sicherheitsfaktoren keinesfalls als „Luxuspolster" zu betrachten sind. Vielmehr sind sie ausdrücklich vorgegeben *„um den Unsicherheiten und dem Risiko, dass sich die Kohäsion infolge einer Bewegung vermindert oder verschwindet, Rechnung zu tragen."*

[21] BFE: Sicherheit der Stauanlagen: Basisdokument zur konstruktiven Sicherheit, Version 1.0 (August 2002) http://www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=de&name=de_527009429.pdf

Kohäsion (dass das Bauwerk im Untergrund eingebunden ist) besteht nur dort, wo keine Klüfte, Risse, Wassererosion etc. bereits vorliegen oder während des Lastfalls durch eine (lokale) Bewegung des Bauwerks oder des Untergrundes entstehen. Besonders im Erdbebenfall bestehen diesbezüglich ganz offensichtlich erhebliche *„Unsicherheiten und Risiken“*.

Um das *stark vereinfachte* Modell einer örtlich gleichmässigen, im Lastfall unbeeinträchtigten Kohäsion trotzdem weiter benutzen zu *dürfen*, sind im Gegenzug diese hohen Sicherheitsfaktoren *geschuldet*.

3.3 „Empfohlene Werte“?

Die Gutachterin benutzt in ihren Schlussfolgerungen für die Sicherheitsfaktoren die Worte „empfohlene Werte“. Empfehlungen gelten im allgemeinen Sprachgebrauch als nicht verbindlich.

Dann wäre also eine Abweichung zulässig?

Zunächst stellen wir in den oben zitierten Texten keinen empfehlenden Ton fest. *„Die angegeben Sicherheitsfaktoren gelten…“, „Die Sicherheitsfaktoren sind dann aber zu erhöhen… “, „Als Werte sind dann ... zu wählen“*. Das tönt nicht nach Empfehlungen, sondern nach klaren Anweisungen.

Vielleicht sind die Richtlinien insgesamt als Empfehlungen zu betrachten?

Die referenzierte Richtlinie „Basisdokument zur konstruktiven Sicherheit“ äussert sich nicht direkt zur Frage ihrer Verbindlichkeit. Geht man der Herkunft der Richtlinie nach, stösst man auf die Webseite des BFE, wo alle Richtlinien aufgelistet sind. Dort wird an erster Stelle das offensichtliche Grundsatzdokument „Richtlinien des BWG“ genannt[22].

Bundesamt für Energie > Themen > Talsperren > Richtlinien[23]:

[22] BWG, Sicherheit der Stauanlagen, Richtlinien des BWG, Version 1.1 (November 2002), Seite 9
http://www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=de&name=de_706228939.pdf
[23] Bundesamt für Energie > Themen > Talsperren > Richtlinien
http://www.bfe.admin.ch/themen/00490/00491/00494/index.html?lang=de&dossier_id=00788

In diesem Dokument sind Ziele und Bedeutung der BWG-Richtlinien klar festgehalten:

1.3 Ziele der Richtlinien

Das Hauptanliegen der Richtlinien ist, die Grundlagen für die Interpretation und Anwendung der Bestimmungen der Verordnung über die Sicherheit der Stauanlagen zu liefern. Sie stellen das anwendbare Fachwissen im Bereich Talsperrensicherheit in der Schweiz vor, unter Berücksichtigung der zum Zeitpunkt der Erarbeitung aktuellen wissenschaftlichen Kenntnisse. Sie enthalten die wichtigsten Elemente, welche beachtet werden müssen, um die Sicherheit von Stauanlagen gewährleisten zu können.

1.4 Bedeutung der Richtlinien

Richtlinien gehen über unverbindliche Empfehlungen hinaus, beanspruchen aber nicht denselben Grad an Verbindlichkeit wie Gesetze oder Verordnungen. Abweichungen von den Richtlinien sind nicht grundsätzlich ausgeschlossen, wohl aber an gewisse Voraussetzungen gebunden. Sie sind dann zulässig, wenn begründet wird, wie auf andere, mindestens gleichwertige Weise den Bestimmungen der Verordnung nachgekommen werden kann.

Wir sehen, dass die Richtlinien dazu dienen, die gesetzliche Grundlage (hier die Stauanlagenverordnung[24]) korrekt zu interpretieren und anzuwenden. Und wir sehen, dass die Richtlinien keinesfalls nur unverbindliche Empfehlungen sind. Soll von einer Richtlinie abgewichen werden, muss auf *mindestens gleichwertige* Weise den Bestimmungen der Verordnungen nachgekommen werden.

3.4 Wurde auf mindestens gleichwertige Weise die Sicherheit nachgewiesen?

Die nächste Frage lautet folglich, ob auf mindestens gleichwertige Weise ein Sicherheitsnachweis erbracht wurde, *„um den Unsicherheiten und dem Risiko, dass sich die Kohäsion infolge einer Bewegung vermindert oder verschwindet, Rechnung zu tragen“*?

Eine sorgfältige Untersuchung des gesamten Gutachtens bringt keine diesbezügliche Entwarnung.

Auch ein Blick auf die Schlussfolgerung zeigt: Zwar werden die mit Blick auf die Richtlinien eindeutigen Ergebnisse relativiert, aber es gibt keine Aussage dazu, wie die Kohäsion vor und während des Erdbebens in *„mindestens gleichwertiger Weise“* sichergestellt werden könne. Vielmehr ist die Rede von „bleibenden Verschiebungen“, was die Kohäsion insgesamt in Frage stellt. Wo es bleibende Verschiebungen gibt, besteht selbstverständlich keine Kohäsion (Haftfestigkeit) mehr (vgl. auch Kapitel 5.2).

Jede Diskussion diesbezüglich erübrigt sich, wenn man die zweite Version des Dokumentes von Ende März untersucht.

[24] Verordnung über die Sicherheit der Stauanlagen , seit dem 1.1.2013 Bundesgesetz über die Stauanlagen (SR 721.101)
http://www.admin.ch/ch/d/sr/721_101/index.html

4 Analyse des Gutachtens vom 30.3.2012

4.1 Schlussfolgerungen des Gutachtens

Die zweite Version des Gutachtens vom 30.3.2012 kommt ebenfalls zu einem klaren Schluss[25]:

14 Schlussfolgerungen

Dieser Bericht zur Überprüfung der Erdbebensicherheit des Wasserkraftwerks Mühleberg zeigt Ergebnisse des Spannungsnachweises, der Stabilitätsnachweise (Gleiten und Kippen) und der Funktionstüchtigkeit der Sicherheitsorgane. Aufgrund der ausgeführten Berechnungen können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

Spannungsnachweise

- Die dynamischen Berechnungen mittels zweier voneinander unabhängigen dreidimensionalen Finiten Elemente Modelle für das Maschinenhaus und das Wehr des WKW Mühleberg und seiner Fundation zeigen, dass die Spannungen in den für die Wasserrückhaltung erforderlichen Strukturen des Maschinenhauses und des Wehrs stets geringer als die zulässigen Druck- und Zugfestigkeiten sind. Kurzzeitige Spannungsspitzen in den Wehrpfeilern sind tolerierbar, da diese Bereiche durch Stahlarmierung stark verstärkt sind (Anhänge 10.4 & 10.5). Folglich ist der dynamische Spannungsnachweis sowohl für Druck- als auch für Zugspannungen erbracht.

Stabilitätsnachweise

- Die berechneten globalen Gleitsicherheitsfaktoren liegen über 1.0. Zusätzlich zum konservativen Wert für die Kohäsion wurden folgende Punkte berücksichtigt:
  - der Form der Gleitfläche und den geologischen Gegebenheiten wurde Rechnung getragen;
  - die Scherfestigkeitsparameter beruhen auf Laborversuchen und unterliegen damit einer geringeren Streuung als Literaturwerte;
  - konservative Probenauswahl für die Laborversuche;
  - die Berechnungen wurden mit Restscherfestigkeiten und nicht mit Spitzenscherfestigkeiten durchgeführt;
  - der angenommene, dreieckförmig verteilte Sohlwasserdruck entspricht einer sehr konservativen und ungünstigen Annahme;
  - die seitliche Tragwirkung (Uferbereiche) wird nicht berücksichtig;
  - die berechneten totalen bleibenden Verschiebungen sind sehr gering;
  - mittels Sensitivitätsanalysen wurde gezeigt, dass die Hauptaussagen wenig sensitiv auf die Eingangsparameter sind.
- Die Überprüfung der Kippsicherheit zeigt, dass am wasserseitigen Fuss des Maschinenhauses resp. Wehrs nur geringe Zugspannungen auftreten, und dass daher kein Kipprisiko besteht.

Somit sind die Stabilitätsnachweise erbracht.

Funktionstüchtigkeit der Sicherheitsorgane

Der Nachweis der Funktionstüchtigkeit der Sicherheitsorgane (Stauklappen, Plungerkolben) ist erbracht.

STUCKY SA

[25] Wasserkraftwerk Mühleberg Überprüfung der Erdbebensicherheit, Linear-elastische Berechnungen, TM-JO 5092-4003, Stucky AG, Renens, 30.3.2012 [Seitenumbruch entfernt]

Es wird ganz schlicht festgehalten, dass die Sicherheitsfaktoren über 1.0 liegen. Keine Rede mehr von Sicherheitsfaktoren in der Höhe von 5 bzw. 3 und der Nichteinhaltung von BWG-Richtlinien.

Wie ist dies möglich?

4.2 Wo sind die Sicherheitsfaktoren geblieben?

Ein Vergleich der Kapitel „Stabilitätsnachweis“ bringt Klarheit. In der Version vom Januar werden die Vorgaben der BWG-Richtlinien wie folgt dargestellt:

7 Stabilitätsnachweis

Beim Stabilitätsnachweis ist zu zeigen, dass durch das Erdbeben kein Gleiten oder Kippen der Sperre oder Teile davon verursacht wird. Für Berechnungen **ohne Berücksichtigung der Kohäsion** gibt die BWG-Richtlinie [5] die folgenden Sicherheitsfaktoren an:

- Lastfall „normal“ (statisch): 1.5
- Lastfall „extrem“ (dynamisch): 1.1

Für Berechnungen **mit Berücksichtigung der Kohäsion** hält die BWG-Richtlinie [5] folgendes fest:

Grundsätzlich kann die Kohäsion dort, wo sie vorhanden ist und der innere Reibungswinkel gleichzeitig tief angesetzt ist, berücksichtigt werden. Für die Festlegung der Kohäsion sollte auf Versuchsresultate, allenfalls auf publizierte Resultate aus der Literatur zurückgegriffen werden. Die Sicherheitsfaktoren sind dann aber zu erhöhen, um den Unsicherheiten und dem Risiko, dass sich die Kohäsion infolge einer Bewegung vermindert oder verschwindet, Rechnung zu tragen.

Für diesen Fall gibt die BWG-Richtlinie [5] die folgenden Sicherheitsfaktoren an:

- Lastfall „normal“ (statisch): .5
- Lastfall „extrem“ (dynamisch): 3

Die grosse Erhöhung des globalen Sicherheitsfaktors von 1.5 auf 5 resp. von 1.1 auf 3 gilt für alle Fälle, unabhängig davon, ob die Kohäsion auf Versuchsergebnissen oder auf Literaturwerten basiert. Des Weiteren wird auch der effektiven Verschiebung des Bauwerks nicht Rechnung getragen.

Diese Darstellung deckt sich mit der von uns in Kapitel 3.2 diskutierten Interpretation.

Und wie sieht die Version vom März aus?

10 Stabilitätsnachweis

Beim Stabilitätsnachweis ist zu zeigen, dass durch das Erdbeben kein Gleiten oder Kippen der Sperre oder Teilen davon verursacht wird, welches zu einer lokalen oder globalen Instabilität führen kann.

Für Berechnungen **mit Berücksichtigung der Kohäsion** hält die BWG-Richtlinie zur konstruktiven Sicherheit [11] folgendes fest:

Grundsätzlich kann die Kohäsion dort, wo sie vorhanden ist und der innere Reibungswinkel gleichzeitig tief angesetzt ist, berücksichtigt werden. Für die Festlegung der Kohäsion sollte auf Versuchsresultate, allenfalls auf publizierte Resultate aus der Literatur zurückgegriffen werden. Die Sicherheitsfaktoren sind dann aber zu erhöhen, um den Unsicherheiten und dem Risiko, dass sich die Kohäsion infolge einer Bewegung vermindert oder verschwindet, Rechnung zu tragen.

In der BWG-Richtlinie zum Nachweis der Erdbebensicherheit [13] wird bei einer Berücksichtigung der Kohäsion keine Erhöhung des Sicherheitsfaktors verlangt. Es wird jedoch vorausgesetzt, dass für die Kohäsion konservative Werte angesetzt werden.

Die Stabilitätsnachweise werden für die statischen und die dynamischen (Überlagerung der Erdbebenbeschleunigung mit den statischen Lasten) Berechnungen geführt, die Erdbebenanregung erfolgte sowohl in zwei horizontale Richtungen als auch vertikal dazu.

Für die Berechnung des Maschinenhauses wurden die drei Zeitverläufe in je zwei Richtungen (Flussrichtung und vertikal) angesetzt.

Für die Berechnung des Wehrs wurden die drei Zeitverläufe in je drei Richtungen angesetzt.

Zwar wird noch der Passus zur Kohäsion aus der Richtlinie „Basisdokument zur konstruktiven Sicherheit“ zitiert, aber in direktem Widerspruch dazu sind die Sicherheitsfaktoren verschwunden.

Stattdessen wird angeführt: *„In der BWG-Richtlinie zum Nachweis der Erdbebensicherheit [13] wird bei einer Berücksichtigung der Kohäsion keine Erhöhung des Sicherheitsfaktors verlangt.“*

So einfach ist das?

Eine Konsultation der referenzierten Richtlinie „Sicherheit der Stauanlagen. Basisdokument zu dem Nachweis der Erdbebensicherheit“[26] bestätigt zunächst diese Aussage. In dieser Richtlinie *selber* steht tatsächlich nichts zu Sicherheitsfaktoren.

[26] Sicherheit der Stauanlagen. Basisdokument zu dem Nachweis der Erdbebensicherheit (Version 1.2) http://www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=de&name=de_377003791.pdf

4.3 Steht die Erdbeben-Richtlinie alleine?

Die nächste Frage ist also, ob diese „BWG-Richtlinie zum Nachweis der Erdbebensicherheit“ ein in sich vollständiges und eigenständiges Regelwerk darstellt. Die ersten Worte der „Einleitung“ bringen Klarheit:

> **EINLEITUNG**
>
> Die vorliegende Richtlinie ist immer zusammen mit der Stauanlagenverordnung und den übrigen Richtlinien für Stauanlagen anzuwenden.
>
> Die in der Richtlinie dargelegten Anforderungen sind Minimalanforderungen. Es können auch andere als die hier genannten Verfahren herangezogen werden, falls gezeigt wird, dass diese den in der Richtlinie dargelegten mindestens gleichwertig sind.

Es ist somit festgestellt, dass die Erdbeben-Richtlinie nicht alleine steht und die anderen Richtlinien – so auch diejenige zur konstruktiven Sicherheit – gesamthaft anzuwenden sind. Dabei ist noch anzumerken, dass die Richtlinie „Erdbebensicherheit“ neueren Datums ist, als die Richtlinie „konstruktive Sicherheit“. Die Autoren der Erdbebenrichtlinie wussten also, welche allgemeingültigen Nachweisverfahren sie mit ihrer Einleitung ansprechen.

Die Einleitung bestätigt zudem nochmals, dass die Anweisungen der Richtlinie als „Minimalanforderungen“ zu verstehen sind und keinesfalls nur als Empfehlungen. Erneut wird präzisiert, dass zwar auch andere Verfahren herangezogen werden können, aber nur wenn gezeigt wird, dass diese mindestens gleichwertig sind.

An dieser Stelle scheint bereits festzustehen, dass die Behauptung *„In der BWG-Richtlinie zum Nachweis der Erdbebensicherheit [13] wird bei einer Berücksichtigung der Kohäsion keine Erhöhung des Sicherheitsfaktors verlangt“* nicht nachvollzogen werden kann.

Wir suchen aber weiter nach möglichen Erklärungen.

4.4 Gilt diese Richtlinie etwa nur für neue Anlagen?

Man könnte grosszügig vermuten, dass sich die Gutachterin in der ersten Bericht-Version getäuscht hatte und die Richtlinie zur „konstruktiven Sicherheit“ (mit den Sicherheitsfaktoren) nur für neue „Konstruktionen“, also gar nicht für bestehende, alte Anlagen gilt.

Die Einleitung macht jedoch auch hier klar, dass *„eine Sicherheitsanalyse einer bestehenden Stauanlage“* ausdrücklich abgedeckt ist:

> Das vorliegende Dokument enthält Angaben, welche das Aufstellen eines Nutzungs- und Sicherheitsplans - entsprechend der Darstellung in der oben erwähnten Publikation des STK - erlauben; es kann hingegen nicht als abschliessende Checkliste betrachtet werden. Sein Inhalt soll das Vorgehen für den Betreiber, den Ingenieur sowie die Aufsichtsbehörden erleichtern, wenn es darum geht,
>
> - ein neues Projekt auszuarbeiten,
> - eine bestehende Stauanlage umzubauen,
> - eine Sicherheitsanalyse einer bestehenden Stauanlage vorzunehmen oder
> - Bedienungs- und Überwachungsvorschriften für den Betriebszustand zu erstellen.

Und auch die Hauptrichtlinie „Richtlinien zur Sicherheit der Stauanlagen, Version 1.1 (November 2002)“ räumt jeden diesbezüglichen Zweifel aus.

> Ein gesonderter Nachweis der konstruktiven Sicherheit bestehender Bauwerke kann von der Aufsichtsbehörde gefordert werden (Art. 14, Absatz 2, StAV). Aufgrund dieses Sicherheitsnachweises können Erneuerungs- und Sanierungsarbeiten notwendig werden. Die konstruktive Sicherheit muss bei Umbauten oder Sanierungen, bei Betriebsänderungen, bei Auftreten neuer Lastfälle oder bei ernsthafter Beschädigung des Bauwerkes neu überprüft werden.

Weil die Aufsichtsbehörde (hier via BFE angefordert durch das ENSI) den Nachweis der konstruktiven Sicherheit gefordert hat und darüber hinaus weil sich der Lastfall geändert hat (höhere Erdbebenstärke nach dem PEGASOS Refinement Project Intermediate Hazard) <u>muss</u> die konstruktive Sicherheit neu überprüft werden.

4.5 Gelten die Sicherheitsfaktoren nicht für den Erdbebenfall?

Eine weitere Vermutung könnte dahin gehen, dass die Sicherheitsfaktoren gar nicht für den Erdbebenfall gelten. Eine kurze Suche nach dem Begriff „Erdbeben“ innerhalb der Richtlinie „konstruktive Sicherheit“ beseitigt auch diesen Zweifel. Ausdrücklich wird festgehalten, wie der Lastfall Erdbeben einzustufen ist, nämlich als „extremer Fall“:

EINWIRKUNGEN	GEWICHTSMAUER, WEHR							
	Typ 1		Typ 2			Typ 3		
	Normalfall		ausserordentlicher Fall			extremer Fall		
	See leer	See voll	Hoch-wasser	Eis	Lawine	Hoch-wasser	Erd-beben See leer[2)]	Erd-beben See voll

Mit dieser Einstufung „extrem“ wird weiter hinten die Wahl des Sicherheitsfaktors bestimmt:

> Als Sicherheitsfaktoren können folgende Werte angenommen werden.

LASTFALL		
normal	ausserordentlich	extrem
1.5	1.3	1.1

Tabelle 6: Sicherheitsfaktoren für Staumauern (ohne Berücksichtigung der Kohäsion)

Mit Berücksichtigung der Kohäsion müssen die Faktoren wie bereits besprochen erhöht werden und zwar ebenfalls wieder abhängig vom Lastfall:

> Literatur zurückgegriffen werden. Die Sicherheitsfaktoren sind dann aber zu erhöhen, um den Unsicherheiten und dem Risiko, dass sich die Kohäsion infolge einer Bewegung vermindert oder verschwindet, Rechnung zu tragen. Als Werte sind dann für die 3 Lastfälle in der Tabelle 6 Sicherheitsfaktoren von 3, 4 und 5 zu wählen.

Es ist somit nicht nur klar, dass die Richtlinie zum Erdbeben *zwingend* zusammen mit der Richtlinie zur konstruktiven Sicherheit angewendet werden muss, sondern darüber hinaus auch, dass die genannten Sicherheitsfaktoren *ausdrücklich für den Lastfall Erdbeben dimensioniert und vorgeschrieben sind*.

4.6 Wurde im *zweiten* Gutachten ein mindestens gleichwertiger Nachweis erbracht?

Natürlich kann es so oder so nicht angehen, dass man die Existenz und Anwendbarkeit von Richtlinien und Sicherheitsfaktoren fälschlicherweise in Abrede stellt. Trotzdem wollen wir analog zum Kapitel 3.4 prüfen, ob in der *zweiten* Version des Gutachtens ein mindestens gleichwertiger Nachweis erbracht ist, *„um den Unsicherheiten und dem Risiko, dass sich die Kohäsion infolge einer Bewegung vermindert oder verschwindet, Rechnung zu tragen“*.

Tatsächlich wurde in der neuen Version ein zusätzliches Kapitel „Beurteilung der Gleitsicherheit“ eingefügt. Dort wird eine „Sensitivitätsstudie Gleitsicherheit“ angeführt, welche die Abhängigkeit der Gleitsicherheit von den Faktoren Kohäsion und Auftrieb untersucht. Nun könnte man auf die Idee kommen, dass die Sensitivitätsstudie zur Kohäsion in irgendeiner Weise die Anwendung der Sicherheitsfaktoren *„mindestens gleichwertig“* aufwiegt.

Ein kurzer Blick auf die mathematische Formel der Sicherheitsfaktoren[27] und der dort eingesetzten Kohäsion zeigt jedoch, dass die Kohäsion c im direkten linearen Zusammenhang mit dem sogenannten partiellen Sicherheitsfaktor FS2 steht (Zähler und Teiler im Bruch):

> Es ist auch möglich, partielle Sicherheitsfaktoren F1 und F2 einzuführen. Die Formel für die Gleitsicherheit lautet dann:
>
> $H < [(tg\ \varphi * \Sigma V) / FS1] + [(c * A) / FS2]$
>
> Zu beachten ist auch, dass die Form der Gleitfläche den geologischen Gegebenheiten Rechnung trägt. φ und c hängen auch von der Beschaffenheit der Gleitfläche ab.

Wenn wir also die Kohäsion um einen bestimmten Faktor reduzieren, dann wird auch der maximal erreichbare partielle Sicherheitsfaktor FS2 *um genau denselben Faktor reduziert*.

---

[27] Wir argumentieren hier mit partiellen Sicherheitsfaktoren, weil diese immer weniger streng sind, als die globalen Sicherheitsfaktoren. Dies weil beim partiellen Nachweis der Anteil des Reibungswinkels nur um den kleineren Sicherheitsfaktor (FS1 = 1.1 dynamisch, 1.5 statisch) reduziert wird.
Richtlinie und Formel, siehe:
BFE: Sicherheit der Stauanlagen: Basisdokument zur konstruktiven Sicherheit, Version 1.0 (August 2002). Seite 32
http://www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=de&name=de_527009429.pdf

Die Stucky AG hat in der „Sensitivitätsstudie Gleitsicherheit“ nun die Kohäsion von 400kPa auf 300kPa reduziert, also um den Faktor 0.75. Dadurch wird auch der erreichbare partielle Sicherheitsfaktor für Kohäsion um den Faktor 0.75 reduziert.

Die Richtlinie verlangt aber eine Reduktion (Sicherheitsfaktor im Teiler) auf 1/3 also 0.333 im Erdbebenfall oder 1/5 also 0.2 im betrieblichen Normalfall. Diese Faktoren liegen weit entfernt von den gewählten 0.75. Die „Sensitivitätsstudie“ kann folglich in keiner Weise die Nichtanwendung der Sicherheitsfaktoren erklären oder ersetzen.

4.7 Bestehen anderweitige grosse Reserven?

Schon in der ersten Version des Gutachtens wurden mehrere Punkte aufgezählt, welche die Nichteinhaltung der Richtlinien relativieren sollten. Dazu gehört die Aussage man habe den Sohlwasserdruck voll angerechnet, was eine sehr konservative und ungünstige Annahme sei:

- der angenommene, dreieckförmig verteilte Sohlwasserdruck einer sehr konservativen und ungünstigen Annahme entspricht;

Die März-Version des Gutachtens bringt auch hier die Ernüchterung. Der zweite Teil der Sensitivitätsstudie zeigt nämlich, dass auch beim (unrealistischen) vollständigen Weglassen des Auftriebs die vorgeschriebenen Sicherheitsfaktoren nicht erreicht werden. Im Erdbebenfall weder beim Wehrteil noch beim Maschinehausteil. Auch im betrieblichen Normalfall (ohne Erdbeben) bleibt zudem das Maschinenhaus labil[28]. Rot markierte Felder bedeuten ungenügende Sicherheitsfaktoren (Markierungen nicht im Original):

Tabelle 10-3 Sensitivitätsstudie Gleitsicherheit.

Annahmen			Maschinenhaus	Wehr
c = 300 kPa w: 100%	statisch		2.45	5.10
	dynamisch	S1	1.14	1.91
		S2	1.11	2.39
		S3	1.16	1.97
c = 400 kPa w: 0%	statisch		3.80	7.33
	dynamisch	S1	1.67	2.65
		S2	1.65	3.34
		S3	1.69	2.77

[28] Wasserkraftwerk Mühleberg Überprüfung der Erdbebensicherheit, Linear-elastische Berechnungen, TM-JO 5092-4003, Stucky AG, Renens, 30.3.2012, Seite 41, 10.1.3 Beurteilung der Gleitsicherheit

5 Analyse des Gutachtens vom 4.5.2012

5.1 Schlussfolgerungen des Gutachtens

Wie in Kapitel 2.3 erklärt, hat die Stucky AG am 4.5.2012 noch einmal eine dritte Version des Gutachtens nachgeliefert. Die Schlussfolgerungen unterscheiden sich beim Stabilitätsnachweis nur noch in einem Punkt:

Stabilitätsnachweise

- Die berechneten globalen Gleitsicherheitsfaktoren liegen über 1.0. Zusätzlich zum konservativen Wert für die Kohäsion wurden folgende Punkte berücksichtigt:
  - der Form der Gleitfläche und den geologischen Gegebenheiten wurde Rechnung getragen;
  - die Scherfestigkeitsparameter beruhen auf Laborversuchen und unterliegen damit einer geringeren Streuung als Literaturwerte;
  - konservative Probenauswahl für die Laborversuche;
  - die Berechnungen wurden mit Restscherfestigkeiten und nicht mit Spitzenscherfestigkeiten durchgeführt;
  - der angenommene, dreieckförmig verteilte Sohlwasserdruck entspricht einer sehr konservativen und ungünstigen Annahme;
  - die seitliche Tragwirkung (Uferbereiche) wird nicht berücksichtig;
  - mittels Sensitivitätsanalysen wurde gezeigt, dass die Hauptaussagen wenig sensitiv auf die Eingangsparameter sind.
- Die Überprüfung der Kippsicherheit zeigt, dass am wasserseitigen Fuss des Maschinenhauses resp. Wehrs nur geringe Zugspannungen auftreten, und dass daher kein Kipprisiko besteht.

Somit sind die Stabilitätsnachweise erbracht.

Die Aussage *„die berechneten totalen bleibenden Verschiebungen sind sehr gering“* aus der Januar- und März Version wurde gelöscht.

5.2 Bleibende Verschiebungen

Eine weitere Analyse zeigt, dass das Thema „bleibende Verschiebungen“ ganz aus dem Gutachten entfernt wurde.

In der März-Version diskutierte Kapitel 10.1 noch die weiter unten abgebildete Methode nach Newmark‘s „Rigid block model“, um eine bleibende Verschiebung zu berechnen. Die Annahmen zur Methode sind jedoch in grundsätzlicher Weise fehlerhaft. Im vorliegenden Fall darf die Kohäsion (Haftfestigkeit) nicht angerechnet werden, da diese bei der ersten Überbeanspruchung verloren geht. Beim Wasserkraftwerk Mühleberg wird gemäss Gutachten ein Scherbruch in der mutmasslichen *„Gleitfläche durch die Gesteinsschichten mit der geringsten Festigkeit unterhalb der Scherriegel des Maschinenhauses“*[29] postuliert. Nach einem Bruch in dieser Gesteinsschicht darf höchstens noch die (Rest-) Reibung (Fels auf Fels) angerechnet werden (die ebenfalls reduziert sein kann). Das dargestellte Modell beachtet dies nicht. Die Gutachterin geht unverständlicherweise davon aus, dass die Kohäsion nach der Verschiebung vollständig wieder hergestellt wird, der Scherbruch in der Gleitfuge also „magisch“ wieder heilt, der Fels wieder zusammenwächst.

[29] Wasserkraftwerk Mühleberg Überprüfung der Erdbebensicherheit, Stabilitätsnachweis CSE-TM-JO 5092-4001, Stucky SA, Renens 31.1.2012, Kapitel 4.5, Seite 13

In weiteren technischen Details diskutiert der Anhang, Kapitel 10 diese Zusammenhänge.

Aus der März-Version, Kapitel 10.1:

Zusätzlich zum Nachweis der globalen Gleitsicherheit wurde die **totale bleibende Verschiebung** mit Hilfe des „Rigid block model" nach Newmark ermittelt [27]. Dabei werden die bleibenden Verschiebungen an der Fundation betrachtet. Überschreitet die Bodenbeschleunigung bei einem Erdbeben die kritische Beschleunigung, kann es zu einer Verschiebung kommen. Diese Verschiebungen werden bei jedem Zeitschritt aufsummiert und ergeben so die totale bleibende Verschiebung, welche hauptsächlich davon abhängt, wie oft die kritische Beschleunigung im Verlauf des Erdbebens überschritten wird:

1) Ermittlung der kritischen Beschleunigung $a_{krit.}$, für welche der Gleitsicherheitsfaktor <1.0 ist;

2) Prüfung ob die Beschleunigung in Flussrichtung a_h in einem Knoten an der Gleitfläche die kritische Beschleunigung überschreitet;

3) Berechnung der Verschiebung zum Zeitpunkt t+Δt:

$$d_{tot.}(t + \Delta t) = \frac{1}{2} \cdot (a_h - a_{krit.}) \cdot \Delta t^2$$

mit:

- $d_{tot.}(t + \Delta t)$ Verschiebung zum Zeitpunkt t+Δt;
- $a_{krit.}$ kritische Beschleunigung;
- a_h Beschleunigung in Flussrichtung in einem Knoten an der Gleitfläche;
- Δt Zeitschritt der Erdbebenbeschleunigung.

4) Berechnung der totalen bleibenden Verschiebung durch Aufsummierung der Verschiebungen in jedem Zeitschritt.

Wenn man korrekterweise die Kohäsion weglässt, bleibt noch die (Rest-) Reibung übrig, um die Mauer zurückzuhalten. Anhand der im Gutachten ausgewiesenen Zahlen kann jedoch berechnet werden (siehe Kapitel 10), dass die Reibung alleine nicht genügt, um die Mauer nach dem Scherbruch in der Gleitfläche zu halten. Beim Maschinenhaus kann die Reibung im Erdbebenfall nur rund 40% der treibenden Horizontalkräfte aufnehmen. Selbst wenn das Erdbeben vorbei ist, kann die Reibung weniger als 60% der treibenden Horizontalkräfte aufnehmen. Eine Reduktion der Reibung (auf die sogenannte Restreibung) wurde dabei noch nicht einmal berücksichtigt.

Es muss schliesslich davon ausgegangen werden, dass die Mauer definitiv abgleitet.

Noch einmal sei an dieser Stelle die unterdrückte Richtlinie zitiert, die besagt, *„Die Sicherheitsfaktoren sind dann aber zu erhöhen, um den Unsicherheiten und dem Risiko, dass sich die Kohäsion infolge einer Bewegung vermindert oder verschwindet, Rechnung zu tragen."*

Es ist deshalb nicht weiter verwunderlich, dass jeder Hinweis auf „bleibende Verschiebungen" in der Mai-Version entfernt wurde. Offenbar handelte die Stucky AG dabei nach den Anweisungen der Behörden. Das ENSI schreibt dazu[30]:

Die Fassung vom 4. Mai 2012 diente der Vervollständigung und redaktionellen Berichtigung entsprechend den behördlichen Anforderungen.

[30] ENSI Begleitbrief zum ausgelieferten Gutachten, 10. Dezember 2012

5.3 Verschwindenlassen von Aussagen zur Kohäsion

Die Nichtanwendung von Sicherheitsfaktoren wurde von der Gutachterin mit der Anmerkung abgemildert, die Werte für die Kohäsion seien konservativ angesetzt.

> In der BWG-Richtlinie zum Nachweis der Erdbebensicherheit [13] wird bei einer Berücksichtigung der Kohäsion keine Erhöhung des Sicherheitsfaktors verlangt. Es wird jedoch vorausgesetzt, dass für die Kohäsion konservative Werte angesetzt werden.

Daher sind Hinweise, welche dies in Zweifel ziehen selbstverständlich nicht erwünscht. In der März-Version stand noch folgendes:

> **10.1.3 Beurteilung der Gleitsicherheit**
>
> Für die getroffenen Annahmen liegen die berechneten globalen Gleitsicherheitsfaktoren über einem Wert von 1.0. Sensitivitätsstudien für die direkt aus den Versuchsreihen erhaltenen Kohäsion von 300 kPa sowie für einen Sohlwasserdruck von 0% (Fundation vollständig dräniert), zeigen, dass die Gleitsicherheit für das Wehr auch für den gemessenen, geringeren Kohäsionswert erfüllt ist. Für das Maschinenhaus liegen die dynamischen Werte jedoch unter 1.0. Durch eine Reduktion des Sohlwasserdrucks kann die Gleitsicherheit erhöht werden.
>
> *Tabelle 10-3 Sensitivitätsstudie Gleitsicherheit.*

Annahmen			Maschinenhaus	Wehr
c = 300 kPa w: 100%	statisch		2.45	5.10
	dynamisch	S1	1.14	1.91
		S2	1.11	2.39
		S3	1.16	1.97

Aus dem Text wird klar, dass *„die direkt aus den Versuchsreihen erhaltenen Kohäsion“* eigentlich nur 300kPa beträgt. Die für die Berechnung verwendeten 400kPa sind durch das künstliche Aufrechnen eines Zuschlages entstanden, dessen Begründung und Berechnung sich dem Autor nicht erschliesst.

Des Weiteren passt der Satz *„Für das Maschinenhaus liegen die dynamischen Werte jedoch unter 1.0“* nicht zu den Zahlen in der Tabelle. Nach all den bereits festgestellten Ungereimtheiten werden weitere Zweifel an diesen Angaben geweckt.

In der Mai-Version wurden diese Aussagen „bereinigt“:

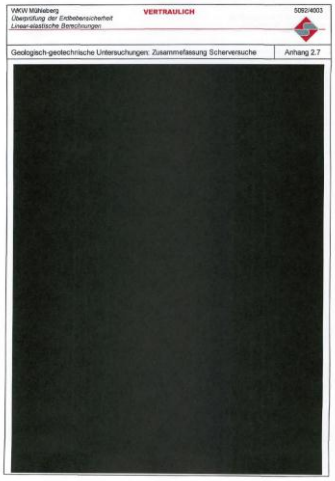
11.1 Kohäsion

Auch für eine reduziert angesetzte Kohäsion von 300 kPa (s. Sektion 4.5) ist die Gleitsicherheit für das Maschinenhaus und das Wehr erfüllt.

Tabelle 11-1 Sensitivität Kohäsion – Globale Sicherheitsfaktoren

Annahmen	Lastfall		Maschinenhaus	Wehr
c = 300 kPa w: 100%	Statisch		2.45	5.10
	Dynamisch	S1	1.14	1.91
		S2	1.11	2.39
		S3	1.16	1.97

An dieser Stelle sei noch angemerkt, dass die entsprechenden Anhänge zu den Laborversuchen (Triaxial- und Scherversuche) in den Dokumenten (alle Versionen) geschwärzt sind:



Später hat sich herausgestellt, dass die angerechnetenm erhöhten Kohäsionswerte auch einer wissenschaftlichen Prüfung nicht standhalten. Diese Diskussion sprengt aber den Rahmen des vorliegenden Dokumentes. Stattdessen sei auf das entsprechende unabhängige geotechnische Fachgutachten[31] verwiesen.

5.4 Absprache mit dem BFE

Eine weitere Suche nach Änderungen bringt noch diese Anpassung zutage. In der März Version steht folgendes:

In der BWG-Richtlinie zum Nachweis der Erdbebensicherheit [13] wird bei einer Berücksichtigung der Kohäsion keine Erhöhung des Sicherheitsfaktors verlangt. Es wird jedoch vorausgesetzt, dass für die Kohäsion konservative Werte angesetzt werden.

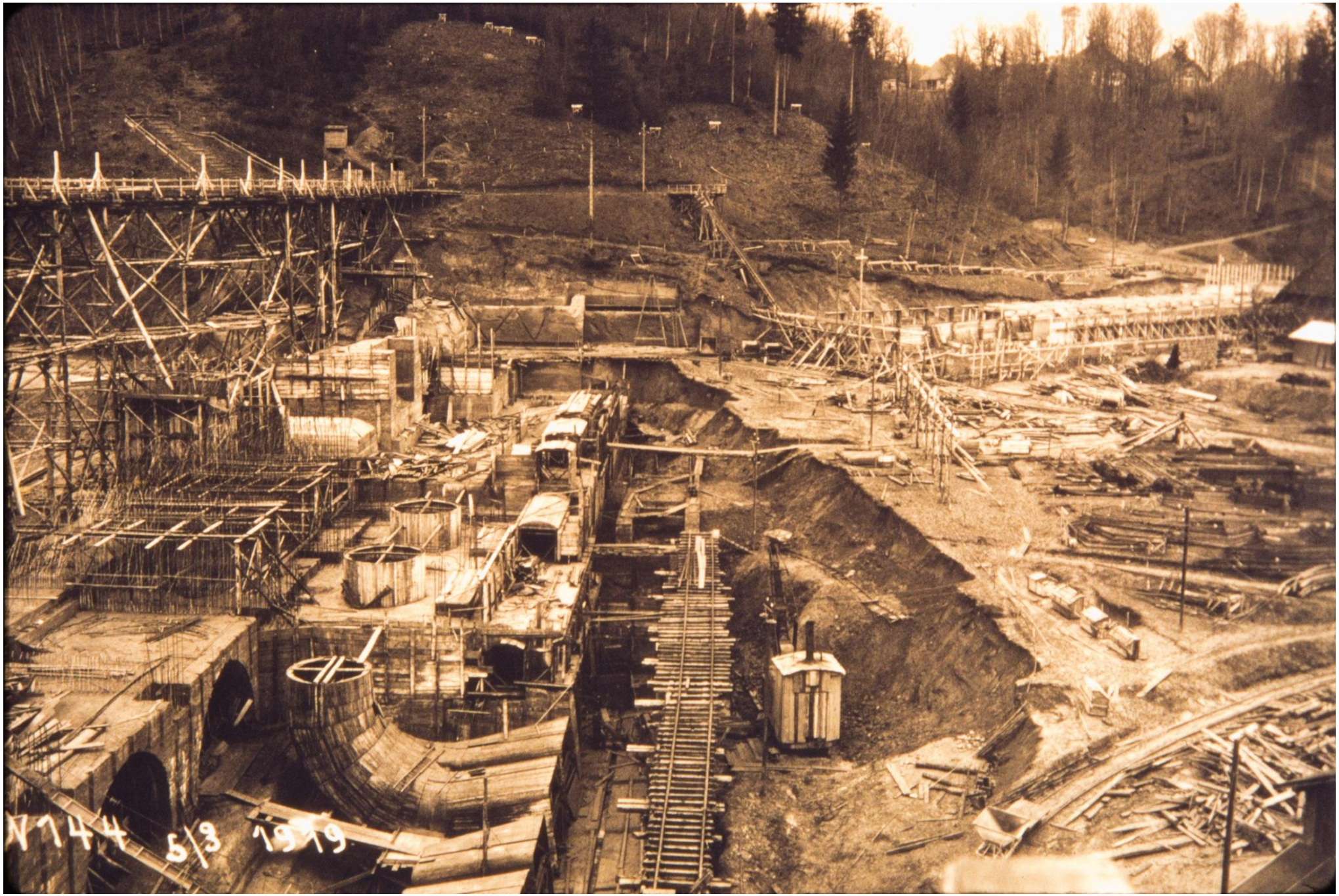
[31] Univ. Prof. Dr.-Ing. Wei Wu, Leiter Institut für Geotechnik, Universität für Bodenkultur Wien, Bericht zu Gutachten der BKW FMB Energie AG für das Wasserkraftwerk Mühleberg, 14.2.2013

Wir haben diese Aussage in den Kapiteln 4.3 bis 4.5 widerlegt. Offenbar war auch der Stucky AG nicht wohl dabei. In der Mai-Version sichert sie sich ab:

> Nach Rücksprache mit dem BFE ist in der BWG-Richtlinie zum Nachweis der Erdbebensicherheit [13] bei einer Berücksichtigung der Kohäsion keine Erhöhung des Sicherheitsfaktors vorgesehen. Es wird jedoch vorausgesetzt, dass für die Kohäsion konservative Werte angesetzt werden.

Das Unrechtsbewusstsein ist evident.

Folgeseite: Fundamentbereich des fraglichen Maschinenhausteils des Wasserkraftwerks im Bau.
Foto: BKW. Quelle: Staatsarchiv Bern, N P. Böhm 15


N744 5/3 1919

6 Stellungnahme des BFE vom 27.2.2012

6.1 Anweisung des BFE hinsichtlich der Sicherheitsfaktoren

Ebenfalls mittels Bundesgesetz über das Öffentlichkeitsprinzip der Verwaltung (BGÖ) konnte der Autor schliesslich auch noch die Stellungnahme des BFE zur ersten Version des Stucky-Gutachtens sicherstellen[32].

Anhand dieser Stellungnahme (Seite 13) kann nun tatsächlich festgestellt werden, dass es das BFE war, welches die Stucky AG zum Weglassen der Sicherheitsfaktoren anwies:

> *Präzisierend zu Abschnitt 3.7.2 sowie Abschnitt 7 in [4] ist zu sagen, dass die angenommenen Sicherheitsfaktoren nicht in der Richtlinie [1] enthalten sind, sondern im Basisdokument zur konstruktiven Sicherheit [3]. Dieses Basisdokument definiert Sicherheitsfaktoren für extreme Einwirkungen im Allgemeinen. Nebst diesen Anforderungen gelten jedoch speziell für die Erdbebeneinwirkung die Anforderungen im Basisdokument zum Nachweis der Erdbebensicherheit [2]. Dieses Basisdokument lässt tatsächlich Gleiten zu (d.h. ohne zusätzliche Sicherheitsfaktoren), sofern dies nicht zu einer lokalen oder globalen Instabilität führen kann (Basisdokument Teil D, Abschnitt 1.4.2). Die Kohäsion darf berücksichtigt werden, es sind dann entsprechend konservative Werte anzusetzen.*

Die Begründung kann der Autor in mehrfacher Weise nicht nachvollziehen.

6.2 Gelten die Sicherheitsfaktoren nur für „extreme Einwirkungen im Allgemeinen"?

Dass die Sicherheitsfaktoren nicht für das Erdbeben, sondern laut BFE nur für „extreme Einwirkungen im Allgemeinen" gelten sollen haben wir bereits im Kapitel 4.5 ausführlich widerlegt. Zwei von drei Szenarien für Lastfall-Typ „extrem" sind ausdrücklich Erdbeben-Szenarien[33].

Seite 26 von 36
Version 1.0 (August 2002)

Bundesamt für Wasser und Geologie
Basisdokument zur konstruktiven Sicherheit

EINWIRKUNGEN	GEWICHTSMAUER, WEHR							
	Typ 1		Typ 2			Typ 3		
	Normalfall		ausserordentlicher Fall			extremer Fall		
	See leer	See voll	Hoch-wasser	Eis	Lawine	Hoch-wasser	Erd-beben See leer[2)]	Erd-beben See voll

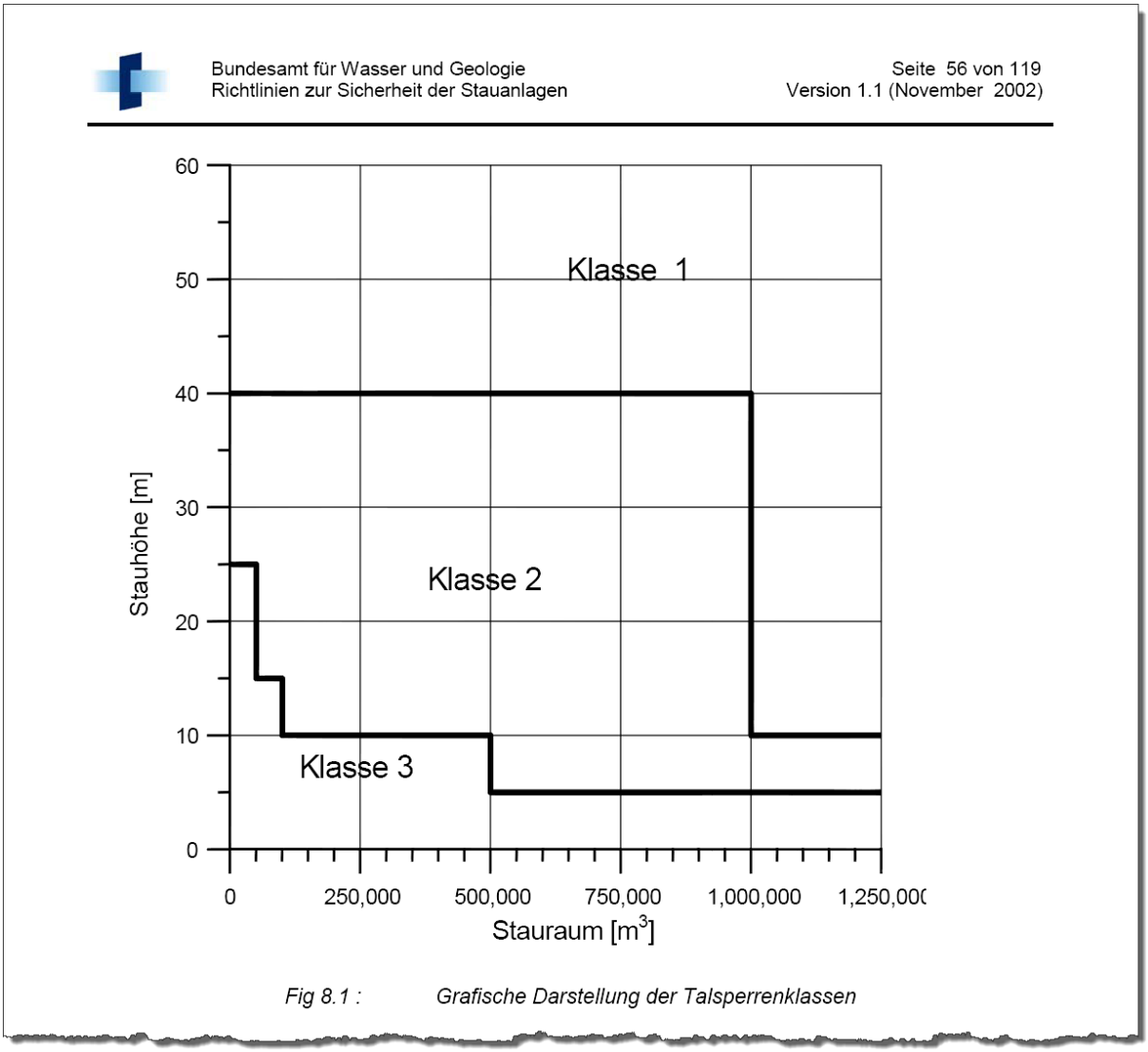
Man müsste sich fragen, wozu die Richtlinie Lastfall-Typen und zugehörige Sicherheitsfaktoren definiert, wenn sie in den lastfallspezifischen Richtlinien gleich wieder ausgehebelt würden.

[32] Überprüfung der Erdbebensicherheit des Wasserkraftwerks Mühleberg, Stellungnahme des BFE zum Nachweis der Stabilität unter Erdbebeneinwirkung (Bericht Stucky AG vom 31. Januar 2012), 27.2.2012
[33] vgl. Kapitel 4.5

6.3 Gibt es abweichende Nachweismethoden für das Erdbeben?

Es ist zu prüfen, ob die Erdbebenrichtlinie diese Sicherheitsfaktoren oder die Nachweismethode irgendwie übersteuert.

Bei der Analyse der Richtlinie stellen wir fest, dass diese im Teil D in drei Kapitel 2, 3, 4 aufgeteilt ist. Jedes dieser Kapitel steht für eine sog. „Sperrenklasse". Je nach Stauhöhe und Stauraum einer Stauanlage (und damit je nach Gefährdungspotenzial), sind diese in drei Klassen aufgeteilt[34]:



Anmerkung: Die Strukturierung der Richtlinie in drei parallel ausformulierte Kapitel kann verwirren, weil auf den entsprechenden Dokumentseiten (etwa in der Fusszeile) kein Hinweis darauf enthalten ist, für welche Sperrenklasse das laufende Kapitel gilt[35].

[34] Kapitel 8, "Erdbebensicherheit" aus BFE, Sicherheit der Stauanlagen, Richtlinien des BWG, Version 1.1 (November 2002) http://www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=de&name=de_706228939.pdf

[35] Die Stucky AG, die BKW (und zugegebenermassen zeitweise auch der Autor selber) sind mehrfach auf diese Kapitelstruktur "hereingefallen". So wird im Gutachten und von der BKW zum Beispiel unzulässigerweise ein vereinfachtes Verfahren für den Kippsicherheitsnachweis verwendet. Auch die Kippsicherheit ist folglich nicht regelkonform nachgewiesen, steht hier aber nicht zur Diskussion.

Wir stellen fest, dass das Wasserkraftwerk Mühleberg deutlich der Sperrenklasse I zuzuordnen ist. Das hält auch die Gutachterin in allen Versionen des Gutachtens klar fest (jeweils in Kapitel 3.2):

3.2 Sperrenklasse

Die Einteilung in Sperrenklassen beruht auf der Stauhöhe und dem Stauraum. Für das WKW Mühleberg gilt:

- Maximale Höhe über Fundament: 22.6 m
- Reservoirvolumen: 18 Mio. m^3

Gemäss den Klassifikationskriterien des BWG ([1], [13]), handelt es sich somit, Höhe ≥ 10 m und Stauraum > 1'000'000 m^3, um eine **Sperre der Klasse I**.

Es sei hier erwähnt, dass die Richtlinie für kleine Stauanlagen der Sperrenklasse III (Kapitel 2) und II (Kapitel 3) tatsächlich vereinfachte Nachweisverfahren „Gleiten" angibt (und damit erlaubt)[36]:

2.2.6 Stabilitätsnachweis

Beim Stabilitätsnachweis ist nachzuweisen, dass während des Erdbebens kein Gleiten oder Kippen der Sperre oder Teile davon stattfinden kann. Beide Nachweise erfolgen an einem Starrkörpermodell mit der tatsächlichen Geometrie von Sperre und Fundation.

Gleiten

Beim Gleitsicherheitsnachweis muss der maximal mobilisierbare Widerstand zwischen Sperre und Fundation grösser als der gesamte Schub sein gemäss

$$c + \sigma_m \cdot tg(\varphi + i) \geq \tau_m$$

Mit

φ	Reibungswinkel Beton/Gestein der Kontaktfuge
i	Dilatationswinkel Mauer/Fels der Kontaktfuge
c	Kohäsion Beton/Gestein der Kontaktfuge ev. Fundationsaushub
σ_m	Mittlere effektive Normalspannung über die Kontaktfuge
τ_m	Mittlere Schubspannung über die Kontaktfuge

Die Einbindung der Sperre in den Untergrund (Fundationsaushub) darf nur als Widerstand mittels einer Kohäsion mitberücksichtigt werden, wenn nachweislich ein Verbund zwischen Sperre und Fels besteht. Kann dieser Beweis nicht erbracht werden, ist nur der Widerstand in der horizontalen Kontaktfuge (Aufstandsfläche) anzusetzen.

Sperrenklasse III
Sperrenklasse II

Bei kleinen Sperren scheint also ein vereinfachter Nachweis ohne Sicherheitsfaktoren erlaubt zu sein.

[36] Kapitel 2.2.6 für Sperrenklasse III und 3.2.6 für Sperrenklasse II sind identisch.

Für die Sperrenklasse I (Kapitel 4) hingegen steht Folgendes im entsprechenden Kapitel[37]:

> ***4.2.6 Stabilitätsnachweis***
>
> Beim Stabilitätsnachweis ist nachzuweisen, dass während des Erdbebens kein Gleiten oder Kippen der Sperre oder Teile davon stattfinden kann.
>
> ***Stabilität der Fundation***
>
> Beim Stabilitätsnachweis der Fundation selbst ist nachzuweisen, dass während des Erdbebens kein lokales Versagen der Fundation auftritt.
>
> ***Nachweiserfüllung***
>
> Ist der Stabilitätsnachweis nicht erbracht, muss nachgewiesen werden, dass
>
> - Die Stabilität der gesamten Sperre unter Berücksichtigung der Teilinstabilität nicht gefährdet ist, und
> - Die entstehende Beschädigung der Sperre (Risse, Instabilität einzelner Blöcke, etc.) zu keinem unkontrollierten Ausfliessen vom Reservoirwasser führen kann.
>
> Können die entsprechenden Nachweise nicht erbracht werden, dann sind entsprechende bauliche oder betriebliche Korrekturmassnahmen zu treffen.

Es ist für Sperrenklasse I kein vereinfachtes Nachweisverfahren angegeben und somit auch nicht zulässig. Damit wird offensichtlich das allgemeingültige Nachweisverfahren aus der Richtlinie „konstruktive Sicherheit“ übernommen (siehe Kapitel 3.3). Dass die Erdbebenrichtlinie nicht alleine steht, haben wir in Kapitel 4.3 ausführlich dargelegt. Zur Erinnerung sei der allererste Satz aus deren Einleitung wiedergegeben:

> Bundesamt für wasser und geologie
> Basisdokument zu dem Nachweis der Erdbebensicherheit
> Seite 8 von 139
> Version 1.2
>
> **EINLEITUNG**
>
> Die vorliegende Richtlinie ist immer zusammen mit der Stauanlagenverordnung und den übrigen Richtlinien für Stauanlagen anzuwenden.

Dazu sei angemerkt, dass die Erdbebenrichtlinie neueren Datums ist, als die Richtlinie für konstruktive Sicherheit. Somit musste den Autoren klar sein, welche allgemeingültigen Nachweisverfahren sie mit dieser Einleitung ansprechen.

6.4 Vergleich mit der internationalen Praxis

Um letzte Zweifel zur Gültigkeit der hohen Sicherheitsfaktoren bei Kohäsion auszuräumen, kann ein Vergleich mit der internationalen Praxis vorgenommen werden. Interessanterweise hat die „International Commission On Large Dams“ (ICOLD) eine Vergleichsstudie „Sliding Safety of Existing Gravity

[37] man beachte, wie die Unterkapitel analog nummeriert und somit die Kapitel 2, 3, 4 jeweils in sich vollständig sind (und nicht etwa aufeinander aufbauen).

Dams“[38] (Gleitsicherheit von bestehenden Gewichtsstaumauern) erstellt, die perfekt für das Wasserkraftwerk Mühleberg zutrifft.

Die folgende Tabelle zeigt die partiellen Sicherheitsfaktoren für Kohäsion, die im Normalfall (d.h. ohne Erdbeben) anzuwenden sind (für Länder, die eine vergleichbare Berechnungsmethode anwenden):

Table 1.2 - Safety factors for cohesion and friction (for “Usual Loads”)

	Strength Reduction Factors					
	Spain	France (1)	Portugal	Switzerland	China	India
Friction Φ	1.5	1.5	1.5 ÷ 1.2	1.5	1.3	1.5
Cohesion C	5.	3.	3 ÷ 5	5.	3.	3.6 ÷ 4.5 (2)

(1) - *Coyne & Bellier practice*

(2) - *Min value: dam body, dam-foundation surface. Max value: not thoroughly investigated foundation*

Wir stellen fest, dass alle Länder hohe Sicherheitsfaktoren kennen. Der Schweizer Wert ist zwar bei den höchsten Anforderungen mit dabei, steht aber keineswegs da. Die Sicherheitsfaktoren sind weit entfernt von 1.0.

In der Vergleichsstudie werden zudem die folgenden partiellen Sicherheitsfaktoren für Kohäsion im Erdbebenfall ausgewiesen (für Länder, die im Erdbebenfall eine vergleichbare Berechnungsmethode anwenden):

Land	**Partieller Sicherheitsfaktor für Kohäsion im Erdbebenfall**	**Seite**
Spanien	4	85
Portugal	„unendlich“ (Kohäsion darf gar nicht angerechnet werden)	86
Schweiz	3	101
Indien	3 (für Gleitfläche in der Fundation, wie in unserem Fall)	109

Man beachte, wie der Schweizer Vertreter in der ICOLD Arbeitsgruppe[39] die Richtlinien für die Schweiz dargestellt hat. Er ist gleichzeitig Mitautor der Schweizer Richtlinie „Erdbebensicherheit“[40].

[38] ICOLD, Sliding Safety of Existing Gravity Dams - Final Report, Giovanni Ruggeri, Chairman of the European Working Group, 2004
http://cnpgb.inag.pt/IcoldClub/documents/Sliding_safety_FinalReport.pdf
[39] Zusammensetzung Arbeitsgruppe, siehe Vorwort der obengenannten Studie
[40] Sicherheit der Stauanlagen, Basisdokument zu dem Nachweis der Erdbebensicherheit, Berichte des BWG, Serie Wasser, Version 1.2 (März 2003), PDF-Seite 2 (Vorwort)

Der Autor ist gespannt darauf, wie das BFE erklären will, dass ausgerechnet für eine grosse Gewichtsstaumauer oberhalb eines AKW keinerlei Sicherheitsmargen gelten sollen wenn Spanien und Indien derart hohe Faktoren fordern, bzw. Portugal das Anrechnen von Kohäsion überhaupt nicht zulässt.

6.5 Zulässiges Gleiten

Die Aussage des BFE enthält einen zweiten Teil:

> *Präzisierend zu Abschnitt 3.7.2 sowie Abschnitt 7 in [4] ist zu sagen, dass die angenommenen Sicherheitsfaktoren nicht in der Richtlinie [1] enthalten sind, sondern im Basisdokument zur konstruktiven Sicherheit [3]. Dieses Basisdokument definiert Sicherheitsfaktoren für extreme Einwirkungen im Allgemeinen. Nebst diesen Anforderungen gelten jedoch speziell für die Erdbebeneinwirkung die Anforderungen im Basisdokument zum Nachweis der Erdbebensicherheit [2]. Dieses Basisdokument lässt tatsächlich Gleiten zu (d.h. ohne zusätzliche Sicherheitsfaktoren), sofern dies nicht zu einer lokalen oder globalen Instabilität führen kann (Basisdokument Teil D, Abschnitt 1.4.2). Die Kohäsion darf berücksichtigt werden, es sind dann entsprechend konservative Werte anzusetzen.*

Dieser Passus ist schon in sich widersprüchlich. Entweder man schliesst Gleiten <u>sicher</u> aus, dann muss man aber Sicherheitsfaktoren anrechnen. Oder man gesteht ein, dass Gleiten stattfinden kann und muss dann nachweisen, dass dieses Gleiten akzeptabel bleibt (siehe Kapitel 6.6).

Das BFE folgert, man könne die Sicherheitsfaktoren bereits *vorauseilend* weglassen, weil *rein theoretisch* noch die Möglichkeit bestünde, den Erdbebennachweis bei einem nachweislich begrenzten Gleiten doch noch zu erbringen. Gleichzeitig fordert es keinen Nachweis, dass das Gleiten begrenzt bleibt, es also *nicht zu einer lokalen oder globalen Instabilität führt*, solange der Sicherheitsfaktor über 1.0 liegt. Damit installiert das BFE eine hoch gefährliche <u>Nachweislücke</u> zwischen Sicherheitsfaktor 1.0 und 3.0, wo *weder* das Gleiten sicher ausgeschlossen, *noch* dessen Begrenztheit und Schadlosigkeit nachgewiesen werden muss.

Die Frage stellt sich, welche anderen grossen Stauanlagen der Schweiz ebenfalls nach diesem „Weder-Noch“-Nachweisverfahren durchgewinkt wurden.

6.6 Nachweiserfüllung bei nicht auszuschliessendem Gleiten

Bisher haben wir ausschliesslich die Frage betrachtet, ob die Gleitsicherheit gewährleistet ist oder nicht bzw. ob dieser Nachweis korrekt geführt wird. Tatsächlich bedeutet ein Scheitern des Gleitsicherheitsnachweises noch nicht automatisch, dass auch der Erdbebensicherheitsnachweis misslingt. Wir untersuchen also den Hinweis des BFE darauf, ein Gleiten sei zulässig, sofern dies nicht zu einer lokalen oder globalen Instabilität führen könne.

Das zitierte Kapitel 1.4.2 (Teil D) ist sehr allgemein gehalten:

> ***1.4.2 Stabilitätsnachweis***
>
> Beim Stabilitätsnachweis wird geprüft, dass kein Gleiten zwischen Sperre und Fundation oder anderen potentiellen Gleitflächen bzw. kein Kippen der Sperre auftritt, das zu einer lokalen oder globalen Instabilität führen kann.

Genaueres enthält wiederum das Kapitel 4.2.6, welches für Bautyp und Grösse des Wasserkraftwerks Mühleberg gilt (Teil D, Sperrenklasse I):

> ***4.2.6 Stabilitätsnachweis***
>
> Beim Stabilitätsnachweis ist nachzuweisen, dass während des Erdbebens kein Gleiten oder Kippen der Sperre oder Teile davon stattfinden kann.
>
> ***Stabilität der Fundation***
>
> Beim Stabilitätsnachweis der Fundation selbst ist nachzuweisen, dass während des Erdbebens kein lokales Versagen der Fundation auftritt.
>
> ***Nachweiserfüllung***
>
> Ist der Stabilitätsnachweis nicht erbracht, muss nachgewiesen werden, dass
>
> - Die Stabilität der gesamten Sperre unter Berücksichtigung der Teilinstabilität nicht gefährdet ist, und
> - Die entstehende Beschädigung der Sperre (Risse, Instabilität einzelner Blöcke, etc.) zu keinem unkontrollierten Ausfliessen vom Reservoirwasser führen kann.
>
> Können die entsprechenden Nachweise nicht erbracht werden, dann sind entsprechende bauliche oder betriebliche Korrekturmassnahmen zu treffen.

Unter dem Abschnitt „Nachweiserfüllung“ wird ein Nachweis verlangt, dass Teilinstabilitäten nicht zur Gefährdung der gesamten Sperre führen und es zudem zu keinem unkontrollierten Ausfliessen von Reservoirwasser kommen kann. Man müsste also zeigen, dass das Gleiten beschränkt bleibt und dadurch keine inakzeptablen Schäden auftreten.

Dabei wäre allerdings noch zu prüfen, ob ein solcher Nachweis im Rahmen einer nuklearen Auslegungsüberprüfung[41] überhaupt zulässig wäre. Die dort geforderte deterministische Nachweismethode verlangt (wie ihr Name sagt) klare Ergebnisse. Bauwerke und Ausrüstungen werden entweder als verfügbar oder ausgefallen betrachtet. „Halbe Sachen“ sind nicht zugelassen. Ob ein „begrenztes Gleiten“ einer Staumauer oberhalb eines AKW akzeptabel wäre, wagt der Autor zu bezweifeln.

Die Diskussion erübrigt sich jedoch: wie wir in Kapitel 5.2 gesehen haben, wurde das Thema „bleibende Verschiebungen“ in der abschliessend vom BFE und ENSI beurteilten Mai-Version des Erdbebennachweises vollständig entfernt. Das Gutachten stellt lediglich fest, dass die Gleitsicherheit nachgewiesen sei, weil die Sicherheitsfaktoren über 1.0 blieben. Somit fehlt jeder Nachweis gemäss der obenstehenden Richtlinien-Bestimmung.

Der Stabilitätsnachweis muss insgesamt als nicht erbracht betrachtet werden.

In Kapitel 10 wird zudem im Detail dargelegt, dass gemäss bereits ausgewiesenen Angaben keine Aussicht darauf besteht, den Nachweis eines „begrenzten Gleitens“ erbringen zu können.

6.7 BFE Stellungnahme und Lastfall „normal“

Abschliessend sei noch darauf hingewiesen, dass die Stellungnahme des BFE vollständig ausblendet, dass die Sicherheitsfaktoren auch für den statischen Fall (Lastfall „normal“), d.h. ohne Erdbeben

[41] Der vorliegende Erdbebennachweis läuft gemäss Verfügung des ENSI vom 1.4.2013 unter dem Art.2, Überprüfung der Auslegung, Verordnung des UVEK über die Methodik und die Randbedingungen zur Überprüfung der Kriterien für die vorläufige Ausserbetriebnahme von Kernkraftwerken (SR 732.114.5)
http://www.admin.ch/ch/d/sr/732_114_5/a2.html

deutlich nicht erfüllt sind (siehe Kapitel 3.1). Auch das BFE wird wohl kaum behaupten, die Erdbebenrichtlinie gelte für den alltäglichen Betrieb. Somit sind sämtliche Behauptungen, man könne die Sicherheitsfaktoren wegen der Erdbebenrichtlinie weglassen, per se gegenstandslos.

Die BWG-Richtlinien sind also auch für den Lastfall „normal“, also den betrieblichen Alltag nicht erfüllt. Die Staumauer muss gemäss den gesetzlichen Anforderungen als andauernd unsicher gelten.

7 Fazit

7.1 Das AKW Mühleberg wurde rechtswidrig nicht ausser Betrieb genommen

Wie der Einleitung diskutiert wird, musste die BKW per 31.1.2012 nachweisen, dass die Erdbebensicherheit der Staumauer gewährleistet ist. Das Gutachten vom 31.1.2012 kommt nachweislich zum Schluss, dass diese nach den BWG-Richtlinien nicht nachgewiesen wurde.

Gemäss der Ausserbetriebnahmeverordnung gilt[42]:

> *Der Bewilligungsinhaber hat das Kernkraftwerk unverzüglich vorläufig ausser Betrieb zu nehmen, wenn die Überprüfung nach Artikel 2 zeigt, dass die Dosisgrenzwerte nach Artikel 94 Absätze 3–5 und 96 Absatz 5 der Strahlenschutzverordnung vom 22. Juni 1994 nicht eingehalten werden.*

Auch Dr. Georg Schwarz, Stv. Direktor ENSI, Leiter Aufsichtsbereich Kernkraftwerke stellte am 1. Februar klar[43] in einem hausinternen Interview folgendes klar:

> ***Mühleberg kommt offenbar nach Prüfung der Daten zum Schluss, dass der Wohlensee-Staudamm keine Gefahr für das Kernkraftwerk Mühleberg darstellt. Stimmt das?***
>
> *Die Ausserbetriebnahmeverordnung schreibt vor, dass ein Kernkraftwerk abgeschaltet werden muss, wenn die Sicherheit nicht gewährleistet werden kann. Die BKW kennt diese Verordnung und hat zuletzt im vergangenen Sommer schon danach gehandelt. Dieses Mal kommen sie offenbar zum Schluss, dass kein Ausserbetriebnahmekriterium erfüllt ist.*

Dass die in der Ausserbetriebnahmeverordnung genannten Dosisgrenzwerte mit der erforderlichen Nachweismethode (deterministische Störfallanalyse) bei einem Staumauerbruch nicht eingehalten werden können, stand schon damals ausser Zweifel. Die BKW hatte bereits im EU Stresstest im Oktober zuvor dokumentiert, dass bei einem Staumauerbruch die Auslegungsbasis nicht eingehalten werden kann[44]. Das angeführte „Feed and Bleed“ Szenario darf *innerhalb* der Auslegung nicht angerechnet werden, sondern nur im auslegungsüberschreitenden Fall, was die BKW hier auch korrekt darstellt. Weil es beim vorliegenden Erdbebennachweis aber ausdrücklich um die Überprüfung der Auslegung geht, ist die Konsequenz klar.

> Für den Auslegungs-Staumauerbruch sind diese Massnahmen bzw. die Nachrüstung wahrscheinlich wenig wirksam. Auch in diesem Fall kann durch den Transport von Material (Geschiebe, Geröll etc.) eine Verstopfung des SUSAN-Einlaufbauwerks nicht ausgeschlossen werden; die Funktion der o.g. Ansaugrohre ist durch mögliche Beschädigungen nicht ausreichend gesichert. Demzufolge kann die Auslegungsbasis, wie in [2] dargelegt, nicht mehr ganz eingehalten werden, und es muss mit einem „feed and bleed“-Szenario die Nachzerfallswärme über den Torus abgeführt werden (siehe Kap. 5.2), sodass es zu geringen Abgaben von radioaktiven Stoffen an die Atmosphäre kommen kann, was aber für diesen auslegungsüberschreitenden/hypothetischen Störfall zulässig ist.

[42] Verordnung des UVEK über die Methodik und die Randbedingungen zur Überprüfung der Kriterien für die vorläufige Ausserbetriebnahme von Kernkraftwerken, Art. 3 Ausserbetriebnahme
http://www.admin.ch/ch/d/sr/732_114_5/a3.html

[43] „ENSI und BFE prüfen den Nachweis der BKW zum Wohlensee-Stauwehr“, 1.2.2012
http://www.ensi.ch/de/2012/02/01/ensi-und-bfe-prufen-den-nachweis-der-bkw-zum-wohlensee-stauwehr/

[44] KKM: EU-Stresstest Oktober 2011, AN-BM-2011/121, Seite 73/139

Später hat die BKW in ihrem Erdbebennachweis dieses „Feed and Bleed“ Szenario erklärt[45]. Die dort vorgestellte *„betriebliche Fahrweise […] die dem Betriebspersonal als AccidentManagement-Massnahme zur Verfügung gestellt wird“* kann nicht einmal ansatzweise nachvollzogen werden[46].

Die BKW hat ganz klar rechtswidrig das erreichte Ausserbetriebnahmekriterium ignoriert.

7.2 Das BFE muss sich erklären

Wie in Kapitel 6 dargelegt, war es das BFE, welches die Fachgutachterin der BKW anwies, die Sicherheitsfaktoren auszuschalten. Die Begründung dafür bleibt in sich unlogisch und nicht nachvollziehbar. Es muss festgestellt werden, dass die Gleitsicherheit nicht nachgewiesen ist.

Sämtliche Angaben der Fachgutachterin zu „bleibenden Verschiebungen“, also einem gemäss Richtlinien tatsächlich im Erdbebenfall zulässigen begrenzten Gleiten wurden in der letzten Version des Erdbebennachweises entfernt. Abgesehen davon, dass diese Berechnungen in grundsätzlicher Weise fehlerhaft waren, fehlt damit der zwingende zweite Schritt für einen Stabilitätsnachweis nach gescheitertem Gleitsicherheitsnachweis.

In der abschliessenden Stellungnahme hat das BFE den Erdbebennachweis trotzdem „weithin“ akzeptiert[47].

Die Schlussfolgerung in den eingereichten Erdbebensicherheitsnachweisen lautet, dass die überprüften Anlagen einem Erdbeben gemäss den vom ENSI vorgegebenen Gefährdungsannahmen ohne lokale oder globale Instabilität widerstehen können.

Das BFE kommt zum Schluss, dass die geprüften Unterlagen den Anforderungen an die Erdbebensicherheit von Stauanlagen weithin genügen. Zur Vervollständigung der Nachweise sind einzelne ergänzende Erläuterungen und Aussagen notwendig.

Wir sind gerne bereit, unsere Stellungnahmen mit Ihnen zu besprechen.

Mit freundlichen Grüssen

Bundesamt für Energie BFE

Diese Handlungen sind nicht nachvollziehbar. Angesichts des Gefährdungspotenzials muss sich das BFE dringend erklären.

---

[45] KKM Aktennotiz vom 29.03.2012 (AN-AM-2012/058), „4 Erdbebennachweis des KKM (Variante 2)“, Seite 10
http://static.ensi.ch/1341581129/dokumente-kkm_kombination_geschwaerzt.pdf

[46] Das dort genannte Hochdruckeinspeisesystem heisst „Reactor Core isolation Cooling“ (RCIC). Das Wort „isolation“ steht dafür, dass der Reaktor wegen des Störfalls vom Maschinenhaus abgetrennt wurde. Im Erdbebennachweis wird davon ausgegangen, dass die Frischdampfleitung zerstört wird, daher passiert die Isolation vollautomatisch. Andernfalls könnte der Dampfdruck gar nicht aufrechterhalten werden, der für den Turbinenantrieb der Hochdruckpumpe notwendig ist. Zudem wird das Maschinenhaus (welches nicht Erdbebenfest ist und daher als eingestürzt betrachtet werden muss) gemäss Sicherheitsberichten bei einem Staumauerbruch überflutet (Ausfachungswände sind absichtlich so gebaut, dass sie von der Flut eingedrückt werden). Die Kondensatoren stehen dann vermutlich mitten in einer Ruine, die mit einer Geschiebe- und Schlammmasse zugeschüttet ist. Wie das Betriebspersonal dort noch „Accident Management“ Massnahmen treffen will (Öffnen einer Ausdampföffnung am Kondensator), oder wie der Dampf überhaupt eingeleitet werden soll, bleibt rätselhaft.

[47] „Überprüfung der Erdbebensicherheit der Stauanlagen Mühieberg, Schiffenen und Rossens - Stellungnahmen des BFE zu den Erdbebensicherheitsnachweisen“
sowie insbesondere
„Überprüfung der Erdbebensicherheit des Wasserkraftwerks Mühleberg - Stellungnahme des BFE zum Erdbebensicherheitsnachweis (Bericht Stucky AG CSE/JO 5092/4003a vom 4. Mai 2012)“, 26. Juni 2012
http://static.ensi.ch/1341815595/20120626_bfe_stauanlagen_geschwaerzt.pdf

7.3 Das AKW ist akut gefährdet

Das Wasserkraftwerk Mühleberg erfüllt nicht einmal die Sicherheitsfaktoren für den Normalfall, also ohne Erdbeben. Es müsste rund 30% stabiler sein, um die Richtlinien des BWG zu erfüllen.

Die ganze Diskussion um die Annahmen der Erdbebengefährdung (alte Gefährdungsannahme 1977 mit 0.15g, PEGASOS mit 0.39g, PEGASOS Refinement Project Intermediate Hazard mit 0.24g, PEGASOS Refinement Project Endresultat im Sommer 2013?) ist folglich irrelevant.

Die Sicherheit ist schon heute, andauernd nicht nach gesetzlichen Vorgaben gewährleistet. Schon ein kleineres, viel häufiger zu erwartendes Erdbeben, könnte die labile Stabilität der Mauer gefährden.

Das AKW muss unverzüglich ausser Betrieb genommen werden.

8 Epilog – Aufsicht und Regelwerke

Um der Bedeutung der hier aufgedeckten Vorgänge bewusster zu werden, soll dieses Kapitel kurz die Verantwortung der Sicherheitsaufsicht und die Bedeutung von Gesetzen und Richtlinien beleuchten.

8.1 Gegenstand: AKW oder Stauanlage?

Das AKW Mühleberg liegt 1.3 km unterhalb des Wasserkraftwerks Mühleberg (Wohlenseestaumauer). Bei einem Bruch der Mauer wäre das AKW massiv gefährdet. Nach Fukushima hat die Nukleararaufsichtsbehörde ENSI in ihrer Verfügung vom 1.4.2011 deshalb unter anderem den Nachweis der Erdbebensicherheit des Wasserkraftwerks Mühleberg angeordnet[48].

3.3 Kombination von Erdbeben und Hochwasser

Die Beherrschung der Kombination von Erdbeben und dem durch das Erdbeben ausgelöste Versagen der Stauanlagen im Einflussbereich des Kernkraftwerks ist bis zum 31. März 2012 nachzuweisen. Der Nachweis kann auf zwei verschiedene Arten geführt werden.

Variante 1
Für alle Stauanlagen, welche die Kernkraftwerke potenziell gefährden können, ist deterministisch nachzuweisen, dass bei einem 10 000-jährlichen Erdbeben eine unkontrollierte Wasserabgabe ausgeschlossen werden kann. Der deterministische Erdbebennachweis ist gemäss der BWG-Richtlinie (heute Bundesamt für Energie) zur Sicherheit von Stauanlagen zu führen. In Abweichung von der BWG-Richtlinie sind die seismischen Gefährdungsannahmen auf der Grundlage des neuen Erdbebenkataloges des SED zu ermitteln. Für die Berechnung der Gefährdung auf Felsniveau sind die aktuellen Resultate der Abminderungsmodellierung zu verwenden. Die Resultate auf Felsniveau sind an die lokalen geologischen Standortverhältnisse anzupassen.

Variante 2
Falls bei einem 10 000-jährlichen Erdbeben ein unkontrollierter Wasserabfluss deterministisch nicht ausgeschlossen werden kann, ist der deterministische Nachweis für die Beherrschung der Kombination von Erdbeben und Versagen der Stauanlagen im Einflussbereich des Kernkraftwerks zu führen. Dafür gelten folgende Randbedingungen:

Schon die Verfügung legt also fest, dass die BWG-Richtlinien anzuwenden seien (und nicht etwa generische Anforderungen aus dem Nuklearsicherheitsregelwerk). Mit Brief vom 31.1.2012 bzw. 24.4.2012 bat das ENSI das Bundesamt für Energie (BFE) als Oberaufsichtsbehörde für die Sicherheit der Stauanlagen in der Schweiz um Unterstützung bei der Prüfung der eingereichten Nachweise.[49]

Es kann also festgestellt werden, dass die Sicherheitsprüfungen beider Behörden miteinander verkettet sind. Die tatsächliche Sicherheit der Bevölkerung ist nur so gut, wie das schwächste Glied in dieser Kette. Im vorliegenden Verfahren geht es zwar rechtlich um die Sicherheit des AKW, aber die Stauanlage gefährdet selbstverständlich auch direkt die Bevölkerung und das Hab und Gut, welche sich im Flutpfad befinden.

Keinesfalls darf diese Verantwortungsdelegation zu einer *Verantwortungsdiffussion* führen, wo das eine oder andere Regelwerk nur halbwegs angewendet wird, weil man annimmt, die jeweils andere Aufsichtsbehörde übernehme ja die „eigentliche“ Verantwortung.

---

[48] ENSI: Verfügung: Vorgehensvorgaben zur Überprüfung der Auslegung bezüglich Erdbeben und Überflutung, 1.4.2011 http://www.ensi.ch/de/2011/04/01/2-verfuegung-des-ensi-an-das-kkw-muehleberg/

[49] Überprüfung der Erdbebensicherheit der Stauanlagen Mühieberg, Schiffenen und Rossens Stellungnahmen des BFE zu den Erdbebensicherheitsnachweisen, PDF-Seiten 1 bzw. 5 http://static.ensi.ch/1341815595/20120626_bfe_stauanlagen_geschwaerzt.pdf

8.2 Betriebsbewilligung: befristet vs. unbefristet

In vielen Nationen (allen voran den USA) werden für AKW grundsätzlich befristete Bewilligungen erteilt. Der Bewilligungsinhaber erhält in diesen Ländern einen gewissen Rechtsanspruch, seine Anlage bis zum Ablauf dieser Frist zu betreiben. Geänderte Sicherheitseinschätzungen, die in der Zwischenzeit auftauchen, können nur nach einer Abwägung der Interessen zu einer Nachrüstpflicht oder gar zur Ausserbetriebnahme führen.

Sobald die Frist jedoch abgelaufen ist, hat der Bewilligungsinhaber in diesen Ländern keinerlei Anspruch mehr auf den Weiterbetrieb. Das wusste er jedoch von Beginn weg und konnte so auch seine Investitionsbereitschaft abwägen. Für einen Weiterbetrieb muss er hernach erneut beweisen, dass die Sicherheit auch nach den aktuell gültigen Gesetzen, Richtlinien und Gefährdungsannahmen, inkl. voraussichtlicher Alterungseffekte bis zum Ablauf der verlängerten Frist vollständig gewährt ist.

Ganz anders in der Schweiz: hier werden prinzipiell unbefristete Bewilligungen für die AKW erteilt[50]. Nachdem die Sicherheitsfragen grundlegend geklärt sind und die Bewilligung erteilt wurde, muss die Aufsichtsbehörde (ENSI) die laufende Aufsicht über die Sicherheit der Anlagen übernehmen. Die Anlage darf ausdrücklich betrieben werden, solange sie als sicher gilt (keine Frist). Auf der anderen Seite muss laufend überprüft werden, ob diese Sicherheit *auch nach neuen Erkenntnissen* noch gewährleistet ist (kein Besitzstand in Sicherheitsfragen).

Es sei an dieser Stelle erwähnt, dass die Bewilligung von Stauanlagen ebenfalls keine Befristung kennt und stattdessen eine laufende/periodische Sicherheitsüberprüfung und -aufsicht gesetzlich verankert ist[51].

8.3 Ausserbetriebnahme und Stilllegung

Es ist somit klar, dass den Aufsichtsbehörden in der Schweiz mit den unbefristeten Bewilligungen eine ungleich grössere Verantwortung auferlegt wird.

Die Behörde bestimmt durch ihre Aufsichtstätigkeit faktisch alleine[52] bis wann eine Anlage betrieben werden kann. Sie steht direkt und ungefiltert den vollen ökonomischen und politischen Interessen[53] an einem Weiterbetrieb entgegen. Es gibt keinen vorgegebenen Termin, wo der rechtlich-wirtschaftliche Anspruch des Bewilligungsinhabers offiziell erlischt und für einen Weiterbetrieb die faktische Beweisumkehr gilt, wie dies bei einer befristeten Bewilligung der Fall wäre.

---

[50] Das AKW Mühleberg ist die Ausnahme, welche die Regel bestätigt. Hier wurde die Bewilligung immer wieder wegen offener Sicherheitsfragen oder aus politischen Erwägungen befristet. Aktuell ist ein Verfahren um unbefristete Bewilligung vor Bundesgericht hängig.

[51] Art. 14 Sicherheitsüberprüfung, Verordnung über die Sicherheit der Stauanlagen
http://www.admin.ch/ch/d/sr/721_102/a14.html

[52] Einmal abgesehen von einer Havarie, ist es doch unrealistisch anzunehmen, dass ein Bewilligungsinhaber von sich aus freiwillig eine Ausserbetriebnahme vornehmen würde. Die ökonomischen Interessen (Grenzkostenüberlegungen) sind bei längst abgeschriebenen Anlagen derart übermächtig (gerade auch im Zusammenhang mit der Finanzierung der Stilllegungs- und Entsorgungsfonds), dass „hypothetische“ Überlegungen zu irgendwelchen „unwahrscheinlichen“ Störfällen immer relativiert und dazu notwendigen Unregelmässigkeiten bei Sicherheitsnachweisen leicht rationalisiert werden können. Das vorliegende Dokument liefert letztlich den konkreten Beweis für so einen Fall.

[53] dabei ist nicht nur das Interesse des Bewilligungsinhabers zu berücksichtigen, sondern auch dasjenige der Verwaltung (also des UVEK/BFE), wo die nationalpseudoautarke Definition einer Versorgungssicherheit als oberstes Ziel gehandhabt wird

Die riesige Verantwortung des ENSI liegt konkret darin, andauernd zu überprüfen, ob *„die Methodik und die Randbedingungen zur Überprüfung der Kriterien für die vorläufige Ausserbetriebnahme von Kernkraftwerken"* jederzeit korrekt zur Anwendung kommen[54].

Schliesslich muss auch folgendes klar sein: auch wenn hier von der *vorläufigen* Ausserbetriebnahme gesprochen wird, bestimmt diese letztlich auch den Zeitpunkt einer *definitiven* Stilllegung. Nämlich dann, wenn es für die Bewilligungsinhaberin nicht mehr rentiert, die Anlage nachzurüsten, um den Sicherheitsmangel (das Ausserbetriebnahmekriterium) zu beheben[55].

Langsam scheint sich das ENSI seiner Situation bewusst zu werden. Statt jedoch seine gesetzliche Verantwortung zu schultern, sucht es mittels politischen Ideen[56] nach einer Lösung, die diffus in Richtung befristeter Bewilligungen zielen. Es ist zu hoffen dass sich der Gesetzgeber hier auf keine „halben Sachen" einlässt.

8.4 Bedeutung von Gesetzgebung und Richtlinien

Die bereits im Titel der Ausserbetriebnahmeverordnung geführten Begriffe der *„Methodik und [der] Randbedingungen"* bringt uns sogleich zur eminent wichtigen Bedeutung von Gesetzgebung und Richtlinien, wo solche Methoden und Randbedingungen konkret festgeschrieben sind.

Von der Aufsichtsbehörde wird letztlich ein „Ja" oder ein „Nein" zur Frage der Sicherheit bzw. der Ausserbetriebnahme verlangt. Dieses Verdikt ist das Ergebnis einer technischen Sicherheitsüberprüfung, die im Wesentlichen auf einen Vergleich des IST-Zustand der Anlage mit dem SOLL-Zustand gemäss Regelwerk hinausläuft.

Das bedeutet, dass berechnete Kennwerte der Anlage mit Sicherheitsgrenzwerten aus den Richtlinien verglichen werden. Werden diese Grenzwerte nicht eingehalten, so müssen Massnahmen ergriffen werden. Es gibt keine Graustufen. So will es das Gesetz.

Welche Massnahmen dies sind, hängt wiederum vom Regelwerk ab. Im vorliegenden Fall der Überprüfung nach Ausserbetriebnahmeverordnung ist es die unverzüglichen Ausserbetriebnahme des AKW. Auch für die Stauanlage gilt gemäss Stauanlagengesetz: *„Die Betreiberin hat während des Betriebs dafür zu sorgen, dass: … der Schutz der Bevölkerung und der Umwelt gewährleistet ist"*[57].

Nach Ansicht des Autors kann in diesem Umfeld nur die strikt sicherheitsgerichtete Auslegung von Richtlinien und darin geforderten Grenzwerten dem gesetzlich verbürgten öffentlichen Recht auf Sicherheit gerecht werden. Wenn die Aufsichtsbehörden anfangen, Sicherheitsgrenzwerte zu ver-

---

[54] Verordnung des UVEK über die Methodik und die Randbedingungen zur Überprüfung der Kriterien für die vorläufige Ausserbetriebnahme von Kernkraftwerken
http://www.admin.ch/ch/d/sr/732_114_5/index.html

[55] Dabei ist auch wichtig, anzumerken, dass erst die vorläufige Ausserbetriebnahme bis zur erfolgten Nachrüstung den tatsächlichen Zwang ausübt. Darf der Betreiber die Anlage zwischenzeitlich weiter betreiben, wird er gemäss historisch dokumentierter Usanz alles tun und lassen, die Nachrüstung zu verzögern, zu reduzieren oder zu verhindern. Bei nur noch geringen bzw. unsicheren Restlaufzeiten kann ein Betreiber durch reine *Ankündigung* einer Nachrüstung noch Jahre Betriebszeit herausholen.

[56] *„In seinem Referat hatte ENSI-Direktor Hans Wanner die Idee ins Spiel gebracht, die Betreiber sollten ein umfassendes Konzept für die Restlaufzeit erstellen, inklusive die nötigen Investitionen in die laufende, weitere Verbesserung der Sicherheit. Denn ‚entscheidend für die Lebensdauer eines Kraftwerks ist die Bereitschaft der Betreiber, diese Investitionen zu tätigen.'"*
http://www.ensi.ch/de/2012/09/04/ensi-forum-erstmals-diskutieren-alle-akteure-miteinander-ueber-sicherheit/

[57] Art. 8 Betrieb, Bundesgesetz über die Stauanlagen (SR 721.101)
http://www.admin.ch/ch/d/sr/721_101/a8.html

wässern oder gar (wie im vorliegenden Fall) gänzlich auszuschalten, werden die Betreiber keine Hemmungen mehr haben, immer eine *noch laxere* Auslegung der Gesetze zu fordern[58].

Die Behörde ist nach einem erstmaligen „fragwürdigen“ Entgegenkommen bereits effektiv „mitgefangen“. Diese Gefahr nennt sich im Fachbegriff „Regulatory Capture“. Wie anfällig der Nuklearbereich auf dieses Phänomen ist, wird eindrücklich im Bericht der parlamentarischen Untersuchungskommission zur Nuklearkatastrophe von Fukushima aufgezeigt[59].

8.5 Theorie und Praxis

In der Theorie sehen auch die Verantwortlichen der Sicherheitsbehörden es ein, dass sie sich strikt an die Gesetze zu halten haben. In persönlichen Kommentaren zeichnen die Verantwortlichen deshalb das Bild der unbeugsamen Aufsicht, die sich strikt an gesetzliche Sicherheitskriterien hält und weder von der Nuklearkatastrophe von Fukushima noch von der eigenen politischen Gesinnung in Sachen Atomenergie beeinflussen lässt.

Dr. Anne Eckhardt, Präsidentin ENSI-Rat, 23. März 2012[60]:

Die Sicherheit der Schweizer Kernkraftwerke ist gesetzlich definiert

23. März 2012 – Sicher ist, wer sich nicht gefährdet fühlt. Der Unfall von Fukushima hat vielen diese Sicherheit geraubt. Wie sicher ist sicher genug? In der Schweiz haben wir uns in einem umfassenden demokratischen Prozess darauf geeignet, was „sicher“ im Bereich der Nuklearenergie bedeutet. » weiterlesen

Wie sicher ist sicher genug? Diese Frage wird von verschiedenen Menschen unterschiedlich beantwortet. In der Schweiz haben wir uns daher vor einigen Jahren in einem umfassenden demokratischen Prozess darauf geeignet, was „sicher“ im Bereich der Nuklearenergie bedeutet. In der Kernenergiegesetzgebung gibt es dazu klare Regelungen.

Das ENSI wacht darüber, dass diese Regelungen eingehalten werden. Als Behörde des Bundes setzt es die rechtlichen Vorgaben um, die es von Bundesrat und Parlament erhält. Der Unfall von Fukushima hat die rechtlichen Vorgaben nicht verändert – auch wenn sich das Sicherheitsempfinden vieler Menschen danach gewandelt hat. Der Unfall führt daher nicht dazu, dass sich das ENSI an neuen Sicherheitsstandards ausrichtet oder dass das Eidgenössische Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK einem Kernkraftwerk die Bewilligung entzieht.

[58] es gibt nach der persönlichen Ansicht des Autors leider keinerlei Grund anzunehmen, dass dies nicht schon längst „Courant Normale“ ist.
[59] http://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/3856371/naiic.go.jp/en/report/index.html
[60] http://www.ensi.ch/de/2012/03/23/die-sicherheit-der-schweizer-kkw-ist-gesetzlich-definiert/

Dr. Hans Wanner, Direktor ENSI, 22. September 2011[61]:

Kein politischer Ermessensspielraum

22. September 2011 – Meine Mitarbeiter und ich werden immer mal wieder gefragt, wie wir es denn persönlich, also so ganz privat mit der Kernkraft halten. Ob wir dafür oder dagegen seien. Denn, so die Annahme, es könne bei der Eidgenössischen Nuklearaufsichtsbehörde wohl nur arbeiten, wer ein Befürworter der Atomenergie sei. Ehrlich gesagt – wir denken beim ENSI nicht in solchen Kategorien. » weiterlesen

Es gilt: Erfüllt die Anlage einer Betreiberin die vom Gesetzgeber festgelegten und vom ENSI überprüften Sicherheitskriterien, hat sie das Recht, ihre Anlage wieder ans Netz zu schalten. Für die Nuklearaufsicht gibt es keinen politischen Ermessensspielraum.

Faktum ist, dass es in der Schweiz Kernkraftwerke gibt, und dass diese nach geltendem Recht so lange betrieben werden können, als deren sicherer Betrieb gewährleistet ist.

Das vorliegende Dokument wirft ein Licht darauf, inwiefern die Aufsichtsbehörden diesem Anspruch gerecht werden.

Besonders „passend“ erscheint dieser *aktuelle* Kommentar von Dr. Hans Wanner, 7. Dezember 2012[62]:

Das Sicherheitsgefühl der Bevölkerung stärken

7. Dezember 2012 – Einige mögen das Resultat unserer Bevölkerungsbefragung erfreulich finden, dass nur gerade 19 Prozent der Schweizer Bevölkerung die Schweizer Kernkraftwerke als „nicht sicher“ bezeichnen. Ich aber sehe zwei andere Zahlen. » weiterlesen

Wollen wir Ziel 2 erreichen, dass noch mehr Leute – unabhängig von ihrer grundsätzlichen Einstellung zur Atomenergie – darauf vertrauen, dass das Risiko eines grossen Unfalls in einem Schweizer Kernkraftwerk wirklich sehr, sehr klein ist, dann müssen wir dafür sorgen, dass die Kraftwerke weiterhin nicht nur die strengen gesetzlichen Mindestanforderungen erfüllen, sondern bis zum letzten Betriebstag über eine grosse Sicherheitsmarge verfügen.

Nur auf dieser Basis kann unsere Kommunikation erfolgreich sein und ist das Vertrauen der Bevölkerung in die Aufsichtsbehörde gerechtfertigt. Sonst verkommen unsere zentralen Werte wie Kompetenz, Verlässlichkeit, Unabhängigkeit und Transparenz zu durchsichtigen PR-Schlagworten.

Das könnte man nicht schöner ausdrücken.

[61] http://www.ensi.ch/de/2011/09/22/kein-politischer-ermessensspielraum/
[62] http://www.ensi.ch/de/2012/12/07/das-sicherheitsgefuhl-der-bevolkerung-starken/

9 Anhang 1 – Zeitlinie

Dieser Angang soll aufzuzeigen, dass die in diesem Dokument dargestellten Unregelmässigkeiten kaum als „bedauerlicher Irrtum“ erklärt werden können. Sie sind viel mehr die nicht mehr länger zu vermeidende Quintessenz einer sicherheitstechnischen Binsenwahrheit:

Man betreibt unmittelbar unterhalb einer Staumauer kein AKW. Schon gar keines, das als einziges AKW der Schweiz (und eines von zwei in ganz Europa) über keine zweite, alternative Notkühlwasserquelle verfügt[63].

Die Unregelmässigkeiten entstehen zuletzt zwangsläufig, weil sich Betreiber und Behörden über Jahrzehnte hinweg mit unhaltbaren Zusicherungen in eine „unmögliche“ Position hinein manövriert haben.

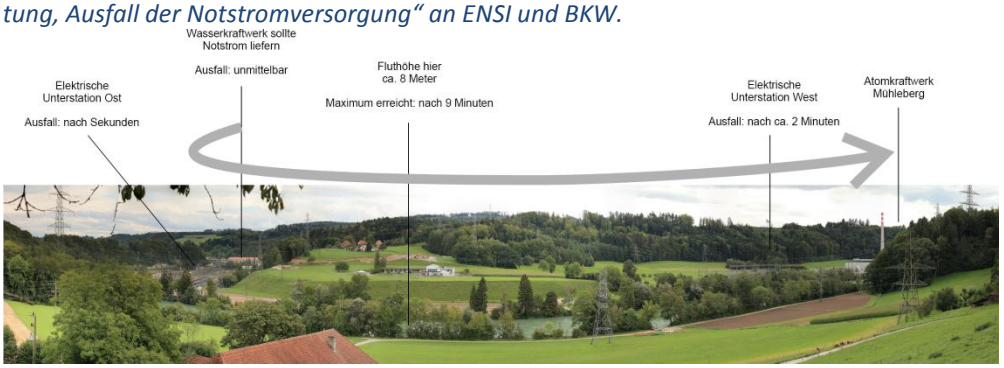
Die folgende Zeitlinie greift die wichtigsten Stationen dieser Geschichte auf. Die Themen Staumauer, Erdbeben, Überflutung, Notkühlwasserquelle werden behandelt, da sie sich erst in ihrer Kombination zum nuklearen Grossrisiko verdichten.

Die Aufstellung soll auch zeigen, dass es sich hier auch nicht um einen Zufallsfund des Autors handelt. Die relevanten Recherchen des Autors werden deshalb ebenfalls kurz angesprochen.

Zeitlinie

1917-1921	Bau des Wasserkraftwerks Mühleberg (WKM), mitten im Ersten Weltkrieg unter prekären Bedingungen. Es entsteht der Wohlensee mit ca. 20 Millionen Kubikmeter Wasser auf ca. 20m Höhe gestaut.
1967-1971	Bau des AKW Mühleberg, ca. 1.3km unterhalb der Staumauer. Damals wird der Bruch der Staumauer bei der Auslegung des Atomkraftwerks „berücksichtigt“. Man behauptet, das AKW könne eine solche Überflutung verkraften, man könne den Reaktor mit Wasser aus einem Hochreservoir kühlen. Schon eine kleine Handrechnung mit der nuklearen Nachzerfallswärme zeigt, dass diese Behauptung auch nach damaligem Wissenstand jeder Grundlage entbehrt. Sowohl die Leitung vom Hochreservoir, als auch die Stromversorgung (soweit damals verfügbar) sind zudem nicht erdbebenfest.
1992	Das AKW bekommt nach umfangreichen Nachrüstungen (Projekt SUSAN) und 20 Jahren Provisorium endlich seine erste „richtige“ Betriebsbewilligung. Im dafür notwendigen Sicherheitsbericht wird nun festgehalten, *„dass die Staumauer des Wohlensees einem Erdbeben mit einer horizontalen Grundbeschleunigung von 0.15 g standhält“*. Das Problem ist also „beseitigt“.
1999	Die Neubestimmung der Erdbebengefährdung in der Schweiz (Projekt PEGASOS) wird gestartet.
2004	Projekt PEGASOS ist abgeschlossen und von der Aufsichtsbehörde offiziell anerkannt. Statt einer bisher angenommenen maximalen Bodenbeschleunigung von 0.15g gelten nun 0.39g (Standort Mühleberg).
2004-heute	Die Nuklearindustrie bekämpft erfolgreich die verbindliche (sog. deterministische) Anwendung der neuen Erkenntnisse. Unter dem wissenschaftlich unhaltbaren Vorwand, man müsse zuerst die statistische Unsicherheit verringern, wird das Nachfolgeprojekt „PEGASOS Refinement Project“ gestartet. Ende 2007 sollte es fertig sein. Seine Fertigstellung wurde zum x-ten Male verschoben und soll nun Mitte 2013 erfolgen.

[63] http://energisch.ch/der-bund-nuklearprofessor-akw-muehleberg-weist-grundlegenden-sicherheitsmangel-auf/1377/

Jahreswende 2010/2011	*Der Autor recherchiert einen Bericht zum Thema Staumauerbruch und AKW.* *Bild: Versuch einer Computer-Simulation, Januar 2011*[64]
11.3.2011	Die Nuklearkatastrophe von Fukushima Daiichi beginnt.
14.3.2011	*Der Schadensmechanismus von Fukushima Daiichi – ein Erdbeben, das eine Überflutung auslöst und dann die Stromversorgung zerstört – erinnert fatal an das recherchierte Dammbruch-Szenario des Autors. Er sendet seinen hastig fertiggestellten Bericht "Erdbeben und Überflutung, Ausfall der Notstromversorgung" an ENSI und BKW.*  *Der Bericht zeigt auf, dass die Notkühlwasserfassung des Notstandsystems am Schluss alleine darüber entscheidet, ob es zur Katastrophe kommt. Sie stellt nicht nur die Kühlung des Reaktors sicher, sondern auch diejenige der letzten Notstromversorgung. Diese Wasserfassung liegt am Grund der Aare mitten im Flutpfad aus dem Stausee. Es stellt sich die gravierende Frage, ob tatsächlich garantiert werden kann, dass bei einem unkontrollierten Abfluss die Öffnungen nicht zugeschüttet oder anderweitig verstopft werden.*[65]
17.3.2011	*Nachdem ENSI und BKW trotz mehrmaligen telefonischen Nachhakens nicht einmal den Empfang des Berichts bestätigen wollen, veröffentlicht der Autor seinen Bericht.*
18.3.2011	ENSI weist AKW-Betreiber an, Schutz gegen Erdbeben und Überflutung neu zu überprüfen.
1.4.2011	ENSI konkretisiert die Anweisungen und schreibt konkrete Fristen vor: 30.6.2011 Hochwassernachweis 30.11.2011 Erdbebenfestigkeitsnachweise (Fragilities) 31.3.2012 Erdbeben, inkl. Ausschluss oder Beherrschung Dammbruch
Mai 2011	swissnuclear erstellt einen Zwischenbericht des PEGASOS Refinement Project (Intermediate Seismic Hazard), welcher die Erdbeben-Gefährdung der AKW und Staumauern für die Prüfung festlegt (Werte werden mehr als ein Jahr lang geheim gehalten). Für den Standort Mühleberg werden schliesslich 0.24g ausgewiesen.
29.6.2011	BKW nimmt das AKW ausser Betrieb, weil Untersuchungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW) der ETH Zürich ergeben haben, dass die Notkühlwasserversorgung verstopfen kann. Und zwar schon bei einem Hochwasser, nicht erst bei einem Dammbruch. BKW will die Notkühlwasserfassung nachrüsten mit neuen Ansaugstutzen (Periskopen) und einer Einspeisestelle für mobile Feuerwehrpumpen.

[64] http://energisch.ch/versuch-simulation-des-bruchs-der-wohlenseestaumauer/847/
[65] http://energisch.ch/erdbeben-und-ueberflutung-ausfall-der-notstromversorgung/549/

7.9.2011	ENSI bescheinigt BKW, den Hochwassersicherheitsnachweis erbracht zu haben. Zwar wird sogar *noch ein neues Problem* zugegeben: der Feinrechen der Notkühlwasserfassung kann durch mitgeschwemmtes pflanzliches Material verstopft werden. Aber das ENSI erlaubt dem AKW dennoch den Weiterbetrieb. Man könne mit mobilen Feuerwehrpumpen die Notkühlwasserspeisung sicherstellen. *Das Anrechnen von „Feuerwehrübungen" verstösst nach Ansicht des Autors gegen Grundprinzipien nuklearer Sicherheit sowie gegen das Gesetz. Ein Rechtsverfahren ist mittlerweile eingeleitet.* Eines wird klar: bei einem Dammbruch besteht weder die Vorbereitungszeit noch die Möglichkeit mit mobilen Pumpen abzuhelfen. Die Einspeisestelle wird gemäss offiziellen Angaben bis zu 5.5m hoch überflutet.
10.1.2012	ENSI stellt fest, dass BKW entgegen der Verfügung vom 1.4.2011 noch keinen Erdbebenfestigkeitsnachweis für das Wasserkraftwerk Mühleberg eingereicht hat. Zudem zeigen Angaben des Betreibers im EU Stresstest, dass die Staumauer nur geringe Reserven aufweist. Die BKW wird aufgefordert bis am 31.1.2012 den Nachweis nachzuliefern.
31.1.2012	Die BKW liefert den am 10.1.2012 geforderten Nachweis ab. Dieser basiert auf dem Bericht der Stucky SA, Lausanne vom gleichen Datum. Diese Studie (CSE/TM/JO 5092/4001) steht im Zentrum der vorliegenden Analyse.
1.2.2012	ENSI bestätigt den Empfang des Nachweises Erdbebenfestigkeitsnachweis für das Wasserkraftwerk Mühleberg. Das ENSI will aber offenbar erst abschliessend prüfen, wenn auch die weiteren Nachweise bis am 31.3. 2012 eingereicht sind. Das ENSI bestätigt auf seiner Homepage, dass der Betreiber das AKW unverzüglich ausser Betrieb nehmen müsste, wenn er zum Schluss gekommen wäre, dass der Nachweise nicht erbracht wäre. Das tut die BKW nicht.
27.2.2012	Das BFE nimmt Stellung zum eingereichten Gutachten. Es stellt diverse Nachforderungen.
6.3.2012	*Brief des Autors an BKW.* *Ein Bauingenieur mit langjähriger Erfahrung bei Erdbebenberechnungen für Talsperren (u.a.) hatte sich beim Autor gemeldet. Der Bauingenieur rechnete mit den öffentlich verfügbaren Plänen die WKM-Staumauer (Wehrteil) durch. Gemäss seinen Berechnungen können die erforderlichen Nachweise nach BWG-Richtlinien <u>nicht</u> erbracht werden. Jedoch fehlen ihm genaue Berechnungsgrundlagen (etwa Fels- und Betoneigenschaften).* *Im Brief bittet der Autor deshalb die BKW um Offenlegung der Berechnungsgrundlagen.*
14.3.2012	BKW kündigt die Nachrüstung des Wasserkraftwerks Mühleberg mittels Pfählen an. Angeblich freiwillig. An der gleichen Medienkonferenz behauptet der damalige BKW-CEO Kurt Rohrbach wörtlich, die Stauanlagenverordnung werde eingehalten.
15.3.2012	*BKW antwortet dem Autor und bittet um Geduld bis das ENSI Mitte Jahr entscheidet.*
30.3.2012	BKW liefert den am 1.4.2011 geforderten Nachweis ans ENSI ab. Dazu gehört der „Bericht Stucky AG, TM-JO 5092-4003" vom gleichen Datum.
26.6.2012	Das BFE nimmt Stellung zum „Bericht Stucky AG, CSE/JO 5092/4003a vom 4. Mai 2012".
9.7.2012	ENSI stellt fest: „Schweizer Kernkraftwerke widerstehen Erdbeben". Das ENSI stützt sich hinsichtlich des Erdbebenfestigkeitsnachweises für das Wasserkraftwerk Mühleberg auf die Stellungnahme des BFE und referenziert seinerseits die Berichte der Stucky SA.
12.7.2012	Die BKW reicht ein Baugesuch für die Verstärkung des Untergrunds des Wasserkraftwerks Mühleberg ein.
16.8.2012	*Der Autor stellt ein Gesuch nach dem Bundesgesetz über das Öffentlichkeitsprinzip (BGÖ) um die Berichte der Stucky AG zu erhalten. Das ENSI veranschlagt Gebühren von CHF 2'450.- Zwei NGOs versprechen Deckung der Kosten. Der Autor bestellt.*
27.8.2012	*Nach einer Analyse des BKW-Baugesuches vom 12.7.2012 durch den beigezogenen Bauingenieur wird dem Nachrüstprojekt der BKW nur eine unbedeutende Verbesserung der Gleitsicherheit zugesprochen. Zudem steht zu befürchten, dass das Nachrüstprojekt in anderer Hinsicht (Kippen) eine Verschlimmbesserung darstellt.* *Zusammen mit anderen Anwohnern des AKW Mühleberg reicht der Autor deshalb Einsprache gegen das Baugesuch ein.*

26.10.2012	*Das BFE geht nicht auf unsere Bedenken ein, die Stauanlage sei bereits im heutigen Zustand unsicher bzw. das Nachrüstprojekt bringe keine bedeutende Verbesserung der Gleitsicherheit. In seiner Stellungnahme schreibt es:* *Im heutigen Zustand erfüllt die Stauanlage Wohlensee die Anforderungen an die Gleitsicherheit. Des halb fällt es für das BFE aus sicherheitstechnischer Sicht nicht ins Gewicht, falls eine Verbesserung der Gleitsicherheit, wie von den Einsprechern behauptet, nur "bescheiden" oder "unbedeutend" sein sollte.*
30.10.2012	*ENSI liefert die Dokumente mit vielen Schwärzungen an den Autor aus (verrechnet werden CHF 950.-).*

Für eine weitere Vertiefung sei die Website des Autors empfohlen: http://energisch.ch

10 Anhang 2 – Vertiefte technische Diskussion

10.1 Rückbestimmung der Anteile Reibung/Kohäsion an den Sicherheitsfaktoren

Aus den Angaben im Januar-Gutachten lassen sich die Anteile der rückhaltenden Kräfte am Sicherheitsfaktor bestimmen. Gemäss BWG Richtlinie "konstruktive Sicherheit" gilt die folgende Formel für den globalen Gleitsicherheitsfaktor (Seite 31):

1) $FS = [(tg\ \phi\ * \Sigma V) + (c * A)] / H$

Sowie folgende Formel für partielle Sicherheitsfaktoren (Seite 32):

2) $H < [(tg\ \phi * \Sigma V) / FS1] + [(c * A) / FS2]$

Wir versuchen, die beiden Formeln in die Form linearer Gleichungen zu bringen. Zuerst teilen wir den Bruch aus Formel 1) in zwei Summanden auf:

1.1) $FS = (tg\ \phi\ * \Sigma V) / H \quad + \quad (c * A) / H$

Wir erkennen, dass sich der globale Sicherheitsfaktor aus zwei Anteilen addiert: Reibungs- und Kohäsionsanteil. Und wir halten dabei fest, dass es sich bei den Anteilen **um physisch reale Rückhaltefaktoren** gegen die treibenden Kräfte H handelt.

Nun versuchen wir auch die Formel für partielle Sicherheitsfaktoren 2) in diese Form zu bringen.

Die Ungleichung 2) verwandeln wir in eine Gleichung für die Grenzbetrachtung:

2.1) $H = [(tg\ \phi * \Sigma V) / FS1] + [(c * A) / FS2]$

Wir nehmen den SF-Teiler jeweils nach vorne:

2.2) $H = (1 / FS1) * (tg\ \phi * \Sigma V) \quad + \quad (1 / FS2) * (c * A)$

Dann teilen wir die Gleichung durch H:

2.3) $1 = (1 / FS1) * (tg\ \phi * \Sigma V) / H \quad + \quad (1 / FS2) * (c * A) / H$

Wir erkennen die zwei Anteile von Gleichung 1.1) wieder, allerdings jeweils um den partiellen Sicherheitsfaktor reduziert.

Wir betrachten die beiden Anteile als *Variablen* $SF_{Reibung}$ und $SF_{Kohäsion}$ und erhalten somit ein lineares Gleichungssystem aus 1.1) und 2.3).

Wenn wir nun die Sicherheitsfaktoren aus dem Stucky Gutachten vom 31.1.2012, Kapitel 7.1.1 nehmen und in Matrixform einfüllen erhalten wir folgendes:

7.1.1 Maschinenhaus

Die berechneten globalen Gleitsicherheitsfaktoren (statischer und dynamischer Lastfall) für das Maschinenhaus sind in Tabelle 7-1 zusammengefasst (siehe auch Anhang 5.2).

Tabelle 7-1 Maschinenhaus - Globale Gleitsicherheitsfaktoren.

	Zeitverlauf		
	S1	S2	S3
statisch	2.97	2.97	2.97
dynamisch	1.36	1.32	1.38
Bleibende Verschiebung [mm]	18.54	9.10	14.71

Zusätzlich wurde der minimale partielle Sicherheitsfaktor für die Kohäsion, für einen gegebenen partiellen Sicherheitsfaktor von 1.1 für den Reibungswinkel, ermittelt, so dass ein Zielwert (siehe Kapitel 3.7.2: Gleitsicherheitsnachweis mit partiellen Sicherheitsbeiwerten) von 1 erreicht wird. Mit diesem Vorgehen ergibt sich ein minimaler partieller Sicherheitsfaktor für die Kohäsion von 3.85 (statisch) resp. 1.44 (dynamisch).

Statisch (gelb markierte Zahlen):

	$SF_{Reibung}$	$SF_{Kohäsion}$	=
global 1.1)	1	1	2.97
partiell 2.3)	1/1.5	1/3.85	1

Die Brüche rechnen wir aus und lösen die Matrix auf.

	$SF_{Reibung}$	$SF_{Kohäsion}$	=
global	1	1	2.97
partiell	0.667	0.260	1
Lösung	0.562	2.408	

Weil wir die Zahlen ab Papier ablesen, müssen wir die Dezimalrundungsfehler analysieren. Wir variieren die abgelesenen Zahlen um ±0.005 und erhalten Reibungsanteile von 0.557 bis 0.567, sowie Kohäsionsanteile von 2.398 bis 2.418.

Dynamisch, zeitreihe S2 (blau markierte Zahlen):

	$SF_{Reibung}$	$SF_{Kohäsion}$	=
global 1.1)	1	1	1.32
partiell 2.3)	1/1.1	1/1.44	1

Die Brüche rechnen wir aus und lösen die Matrix auf.

	$SF_{Reibung}$	$SF_{Kohäsion}$	=
global	1	1	1.32

partiell	0.909	0.694	1
Lösung	0.388	0.932	

Weil wir die Zahlen ab Papier ablesen, müssen wir die Dezimalrundungsfehler analysieren. Wir variieren die abgelesenen Zahlen um ±0.005 und erhalten Reibungsanteile von 0.361 bis 0.414, sowie Kohäsionsanteile von 0.901 bis 0.964.

Wir können insbesondere feststellen, dass der Reibungsanteil im dynamisch Fall maximal 0.42 sowie im statischen Fall (ohne Erdbeben) maximal 0.57 beträgt. Dies bedeutet insbesondere, dass Gleiten bei zerstörter Kohäsion (während und nach einem Erdbeben) nicht begrenzt ist und davon ausgegangen werden muss, dass die Mauer unaufhaltsam abgleiten wird.

10.2 Bleibende Verschiebungen

Wie in Kapitel 5.2 dargelegt, wurden die Berechnungen um eine bleibende Verschiebung nach Newmark's „rigid block model" aus dem Gutachten entfernt. Es wird folglich weder Gleiten sicher ausgeschlossen, noch der Nachweis erbracht, dass ein Gleiten begrenzt und akzeptabel wäre (vgl. Kapitel 6.5).

Aber auch wenn man eine solche Berechnung wieder anstrengen wollte, wäre dies aussichtslos. Bei einer Überbeanspruchung der Scherfestigkeit des Felses (Überschreiten der kritischen Beschleunigung nach dem „rigid block model") muss mit einem Scherbruch in der Fundation gerechnet werden. Da sich somit die Kräfte auf eine immer kleinere Kohäsionsfläche (Formelzeichen A) konzentrieren, breitet sich der Bruch schlagartig aus. Die postulierte Gleitfläche (siehe Kapitel 4.5 des Stucky-Gutachtens) verläuft im Untergrund, so dass weder in Flussrichtung, noch seitlich eine natürliche Begrenzung der Bruchfläche zu erwarten ist.

Der Bruch heilt nach dem Erdstoss nicht „magisch" wieder. Es muss davon ausgegangen werden, dass die Kohäsion stark reduziert wird oder verschwindet. Daher ist es üblich, für das Newmark-Verfahren die Kohäsion auf 0 zu setzen. Dies stellt beispielweise die entsprechende US-Richtlinie der FEMA fest[66]:

- If the analysis indicates that the sliding resistance on the potential sliding plane (frictional resistance plus intact rock cohesion) is exceeded at some point during the earthquake loading, a strength reduction (typically reduction or elimination of cohesion) is necessary. Dynamic strengths of the intact rock and/or concrete must also be accounted for in making the analysis.

- Deformations can be computed for the foundation blocks by a Newmark-type rigid-block sliding analysis, and the dam's performance can be evaluated by comparison with acceptable-deformation criteria. This approach is especially valuable for cases where blocks can be assumed to be formed by continuous joints, faults, and shear zones. For atypical dams, commonly-used criteria may not be applicable, and there can be separate issues for appurtenant features.

[66] FEMA: Federal Guidelines for Dam Safety Earthquake Analyses and Design of Dams, May 2005, p. 24 http://www.ferc.gov/industries/hydropower/safety/guidelines/fema-65.pdf

Wie wir in Kapitel 10.1 berechnet haben, beträgt der Reibungsanteil jedoch sogar ohne Erdbeben lediglich 0.57. Also kann eine bleibende Verschiebung nicht begrenzt werden. Es muss davon ausgegangen werden, dass die Mauer definitiv abgleitet.