

Besichtigung des Kernkraftwerks Mühleberg: Kurzbericht über die dritte SASEG Energie-Exkursion

Guided tour of the Mühleberg nuclear power plant near Bern: Report on SASEG's third stand-alone energy excursion

Heinz M. Bürgisser, Werner Leu und Ueli Seemann¹

Extended Abstract

The aim of SASEG's 23 November 2017 visit to the Mühleberg nuclear power plant (situated at the Aare river west of Bern) was to introduce the 27 participants to the workings of this plant that has been producing electricity since 1972 and that will be the first commercial nuclear power plant of Switzerland to permanently shut down in December 2019. Management committee member Ueli Seemann was the initiator of this third energy-related SASEG excursion, driven by the aim to deepen knowledge and expertise of the association in discussions on energy issues, as stipulated in Article 2 of the by-laws of the association.

Mühleberg possesses a General Electric boiling-water reactor of a worldwide unique design. Energy is provided by 240 rods containing uranium oxide. Two Brown Boveri steam turbine generators have a net capacity of 373 MW; in 2016, electricity generation was just below 3,000 GWh or 5% of Switzerland's total demand. Water pumped from the Aare river cools the plant, which has no cooling tower.

The guided visit consisted mainly of showing videos and of Q&A sessions. These took up about half of our visit time, which the participants highly appreciated. The first part of the visit was in the visitor centre, the second inside the power station.

In the visitor centre, a movie was first shown on how a boiling-water reactor works. Then our guides explained the very high energy density of uranium oxide pellets compared to e.g. lignite and focussed on the various mechanisms to protect power station workers from radiation. In a second room the guides first presented numbers on energy generation, on investments during the operating period (CHF 2.4 billion) and on employment (350 persons directly and 150 indirectly employed, plus 700 during revisions). A lengthy Q&A session followed, with cracks in the core shroud and earthquake safety as focus topics. The assumed maximum earthquake magnitude for the site is M 7½-8; protection measures include tie rods for the core of the plant and, probably more important, rock anchors for the reservoir dam situated a short distance upriver of the plant.

After 1½ hours we entered, observing appropriate security procedures, the actual power station. The guides first showed a short video on the decommissioning of the power station. After the owner company had developed plans to replace the plant by a new one with 4 times the capacity, the parliament of Canton Bern had approved these plans and inhabitants of the Canton had voted for submitting these plans to the federal government in 2011. However, following the Fukushima event, the

Swiss federal government announced the pullout from nuclear power, thereby stopping all plans for new Swiss nuclear power stations. Two years later, the owner company decided to close Mühleberg in December 2019 for commercial reasons, this being the first plant in Switzerland to do so. By 2024 all fuel rods are planned to be transported to Switzerland's temporary storage facility and by 2034 all buildings should be removed. Costs of this decommissioning are estimated at CHF 1.9 billion (0.8 billion for the decommissioning and 1.1 billion for the geological storage of the radioactive material) – which amounts to 25% of the CHF 0.06 total cost of 1 kWh electricity produced at this plant.

For the first time in Europe, the decommissioning work has started while the plant is still in operation. Half of the staff employed for the first phase of decommissioning have acquired experience in Germany.

Finally we viewed the plant's control centre, where operations have been monitored and steered since 1972 without interruption. Via livecam we also observed the inside of the reactor. After leaving the power station, SASEG president B. Gunzenhauser thanked the guides for the very professional guided tour and the energy and patience to answer our numerous questions.

1 Einführung

Am Nachmittag des 23. Novembers 2017 wurde eine 27-köpfige Gruppe von vorwiegend SASEG-Mitgliedern durchs Kernkraftwerk Mühleberg (KKM) geführt, das an der Aare westlich von Bern liegt (Fig. 1).



Fig. 1: Luftaufnahme des Kernkraftwerks Mühleberg an der Aare (Foto: BKW FMB Energie AG, <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/87/KernkraftwerkMühleberg.jpg>)

¹ Members of SASEG's management committee

Fig. 1: Aerial view of the Mühleberg nuclear power plant at the bank of the Aare river.

Dies war die dritte von der SASEG jemals durchgeführte Exkursion ausserhalb der Jahrestagungen. Das Ziel war, den Teilnehmern einen Eindruck dieser seit 1972 stromerzeugenden Anlage zu vermitteln, die als erstes Kernkraftwerk der Schweiz im Dezember 2019 stillgelegt werden wird. Während der Führung sollten die Themen Stromproduktion aus Uranbrennstoff, Sicherheit, Physik, Lagerung radioaktiver Abfälle, Stilllegung und Rückbau behandelt werden. Die Teilnehmer sollten zudem ausgiebig Gelegenheit erhalten, Fragen zu stellen.

Der Grund für solche SASEG-Exkursionen ist im ausführlicheren Bericht über die erste Exkursion enthalten. Diese fand im Oktober 2015 statt und hatte den Braunkohleabbau und die assoziierte Stromproduktion in der Lausitz (Deutschland) zum Thema (Bürgisser & Seemann 2016a). Die Energiezentrale Forsthaus Bern war das Ziel der zweiten Exkursion im November 2016 (Bürgisser & Seemann 2016b).

Der Vorschlag zur Besichtigung stammte wiederum von SASEG-Vorstandsmitglied Ueli Seemann, der damit das Wissen und die Expertise der Vereinigung in Debatten zu Energiefragen gemäss Artikel 2 der SASEG-Statuten vertiefen möchte. Die Besichtigung war primär für Vorstandsmitglieder gedacht und fand anschliessend an eine Vorstandssitzung statt. Sie wurde aber auch allen in der Schweiz und angrenzenden Gebieten wohnenden SASEG-Mitgliedern angeboten, und die Organisatoren konnten auch einige Nicht-Mitglieder, vor allem

Studenten der Universität Bern und der ETH Zürich, interessieren.

Technische Eckdaten des Kernkraftwerks Mühleberg (u.a. BKW 2017a):

- **Reaktortyp: Siedewasserreaktor (Mark 1-Typ von General Electric)**
 - Spezifisches Design ist weltweit einzigartig
 - 240 Brennelemente; ausschliesslich Uran-dioxid als Kernbrennstoff
- **390 MW installierte Leistung (netto Leistung 373 MW)**
 - Etwa gleich gross wie Beznau 2, das aber ein Druckwasserreaktor ist
 - 38 bzw. 31% der Leistung des KKW Gösgen bzw. des KKW Leibstadt
- **Netto Stromproduktion 2017: 2998 GWh (während 339 Tagen) (BKW 2018)**
- **Totale Stromproduktion seit Betriebsbeginn in 1972: >120'000 GWh**

2 Besichtigung

Die Führung bestand vor allem aus dem Vorführen von Filmen und Q+A Zeit, die ungefähr die Hälfte des Besuches ausmachte, was von uns sehr geschätzt wurde. Wir verbrachten den ersten Teil im Besucherpavillon und den zweiten Teil innerhalb des eigentlichen Kraftwerks.

Nach dem Appell gestatteten die KKW-Führer das vom Erstautor gewünschte Erinnerungs-Gruppenfoto (Fig. 2). Danach mussten wir aus Sicherheitsgründen alle Smartphones, Computer, Kameras, Rucksäcke usw. in Schliessfächern deponieren.



Fig. 2: Die Exkursionsteilnehmer vor dem Eingang des Kernkraftwerks Mühleberg (Foto: KKM-Führer mit Fotoapparat von B. Schwendener)

Fig. 2: The excursion group at the entrance of the Mühleberg nuclear power plant.

2.1 Besucherzentrum

Im ersten Raum zeigte uns ein 8-minütiger Film das Funktionieren des Siedewasserreaktors Mühleberg, wo Dampf auf die beiden Brown Boveri Turbinen geleitet und so Strom erzeugt wird. Danach führte einer der drei FührerInnen Experimente vor.

- Wir lernten, dass die Energie von 7 Gramm schweren Uranpellets stammt, die in Röhrchen in 240 je 4 m langen Brennelementen gelagert sind. Obwohl ein Pellet zu 95% aus nicht-spaltbarem U-238 besteht und nur zu 5% aus U-235, liefern lediglich zwei Pellets die Energie, die eine durchschnittliche 4-köpfige Schweizer Familie pro Jahr benötigt, oder das Energie-Äquivalent von 1400 kg Braunkohle.
- Die Lebensdauer eines der 240 Brennelemente beträgt heutzutage 6 bis 7 Jahre. Jedes Jahr werden somit zwischen 30 und 40 Brennelemente ausgewechselt, weil sie nicht mehr genügend spaltbares Material enthalten.
- Eines dieser von General Electric produzierten Brennelemente kostet ca. 0.5 Mio Fr. „brutto“ bzw. ca. 1 Mio Fr. wenn man die Nachgeschichte des Brennelementes berücksichtigt (die ganze Entsorgung).
- Der Schutz von Mitarbeitern gegen die hohe radioaktive Strahlung wird auf verschiedene Arten erreicht:
 - o Durch Abstand von der Quelle, mittels Einsatz von Robotern
 - o Durch kurze Aufenthalte
 - o Durch Bleiplatten (das KKM hat 80 t Blei auf Vorrat, vor allem für Revisionen)
 - o Durch bis 3 m dicke Mauern aus Beton
 - o Durch demineralisiertes Wasser; bereits 1 m dieses Wassers, das in der Anlage selbst produziert wird, gibt einen guten Schutz.

Im zweiten Raum erhielten wir zuerst einige Zahlen zum KKM:

- Es lieferte in 2017 5% des Strombedarfs der Schweiz (BKW 2018) oder Strom für 700'000 Haushaltungen.
- 2370 Mio Franken betragen die Investitionen für Nachrüstungen während der ganzen Laufzeit. Für die seit 2015 ausgeführten Massnahmen siehe BKW 2017a.
- Nicht weniger als 350 Personen sind (im Schichtbetrieb) direkt und 150 indirekt während des KKM-Normalbetriebs beschäftigt, dazu kommen 700 Personen während den Revisionen.
- 8000 m³ (20x20x20 m) ist das Volumen des während der gesamten

Lebensdauer produzierten radioaktiven Abfalls.

Es folgte eine längere Q+A Sitzung; wir hatten viele Fragen über verschiedenste Aspekte von Kernzentralen im allgemeinen und Mühleberg im speziellen:

- Seit 2006 findet keine Aufbereitung von abgebrannten Stäben im Ausland mehr statt.
- Risse: Der (nicht druckführende) Kernmantel besteht aus Elementen, die in den 80er-Jahren zusammengeschweisst wurden. An diesen Schweissnähten des Kernmantels (nicht am inneren Sicherheitsbehälter) entstanden ab 1991 Haarrisse, die in den folgenden Jahren deutlich anwuchsen (siehe BKW 2017a und Wikipedia 2017).
- Natürlich kam die Erdbebensicherheit zur Sprache. M 7½-8 ist die angenommene maximale Magnitude eines Bebens für dieses Gebiet; die Führer betonten, dass die Beschleunigung eigentlich ein wichtigerer Indikator wäre. Zuganker schützen den Kernmantel vor Erdbebenerschütterungen. Fast noch wichtiger ist die Erdbebensicherheit des Wohlensee-Staudamms oberhalb des KKM: 72 neue Felsanker beschützen das KKM gegen ein mögliches Rutschen dieses Damms.

2.2 Kernkraftwerk

Nach 1½ Stunden schleusten wir uns – nach einer Identitätskontrolle – einzeln ins eigentliche Kraftwerkgebäude ein und pausierten dann mit offeriertem Getränk. Bald gings weiter mit einem 4-minütigen Film zur Stilllegung und zum Rückbau des Kraftwerks.

- Erstmals in Europa findet in Mühleberg die Planung der Stilllegung eines Kernkraftwerks während des Betriebs statt.
- Bis 2024 sollten alle Brennelemente ins Zwischenlager in Würenlingen (Kt. Aargau) abtransportiert sein.
- Bis 2034 fallen 200'000 t Schutt an, die entsorgt werden müssen.
- Die geschätzten anfallenden Kosten nach der Stilllegung sind dementsprechend hoch: 800 Mio Fr., dazu kommen 1100 Mio Fr. für die geologische Entsorgung des radioaktiven Materials. Dies resultiert in die im folgenden Textblock erwähnten 1½ Rp. von den 6 Rp. Gestehungskosten pro kWh.

Viel Information zur Stilllegung und zum Fahrplan des Rückbaus ist auf der BKW-Website publiziert (BKW 2017b).

Der Weg zur Stilllegung:

- Der Kanton Bern ist Mehrheitsbesitzer (51%) der Betreibergesellschaft BKW Energie AG.
- Der Berner Grossrat befürwortete den Ersatz des Kraftwerkes, mit einem vergleichsweise hohen Alter sowohl der Anlage aus auch der zugrundeliegenden Technik, durch ein neues KKW mit bis zu 4x höherer Leistung.
- Am 13. Februar 2011 genehmigten die Stimmbürger des Kantons Bern in einer Konsultativabstimmung knapp (51.2 % Ja), dass dieser Grossratsbeschluss an die Bundesbehörden weitergeleitet wird.
- Weniger als einen Monat später (11. März 2011) ereignete sich die Nuklearkatastrophe von Fukushima.
 - Gleich nach Fukushima verkündete Bundesrätin Leuthard den Ausstieg der Schweiz aus der Atomkraft.
 - Daraufhin beschloss das UVEK, sämtliche Bewilligungsverfahren für neue Kernkraftwerke auf Schweizer Boden auf unbestimmte Zeit einzufrieren.
- Im Dezember 2013 beschloss die BKW Energie, das KKM in 6 Jahren aus betriebswirtschaftlichen Gründen als erstes in der Schweiz abzuschalten:
 - 1) Nach Fukushima schrieb das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI) eine teure Nachrüstung vor;
 - 2) Die Vorschriften könnten noch weiter verschärft werden;
 - 3) Die Entstehungskosten sind beim KKM 6 Rp./kWh (darin sind 1½ Rp/kWh für die Entsorgung enthalten), bei Kohlekraftwerken derzeit nur 3 Rp/kWh.

Auch zu diesem Thema gaben uns die Führer die Gelegenheit, Fragen zu stellen.

- Erfahrungen im Rückbau von Kernkraftwerken wurden vor allem in Deutschland gemacht. Das KKM ist glücklich, dass ca. 50% der für den Rückbau zusätzlich in Dienst genommenen Leute in Deutschland gemachte Erfahrungen im Rückbau mitbrachten.
- Gleichzeitig machten die Führer deutlich, dass noch nirgends ein KKW bis zur „Grünen Wiese“ rückgebaut worden ist.
- Vor einem Jahr begann BKW CEO Suzanne Thoma persönlich, die Bevölkerung über die Stilllegung und den Abbruch sowie die Folgen für die Beschäftigten zu orientieren.

Der letzte gezeigte Film war über die Entsorgung von radioaktivem Abfall. Dies war für viele von uns bekanntes Gebiet, besonders nachdem die SASEG-Jahrestagung 2015 in Baden die geologischen Aspekte der geplanten Endlagerung von radioaktiven Abfällen im Opalinuston in Vorzugsgebieten in der Nordostschweiz zum Thema hatte (Bürgisser 2015). Neu waren für viele von uns die Details zur Bereitstellung des ausgebrannten Materials zum Abtransport.

Endlich konnten wir durch Glasscheiben den Kommandoraum, sehen, wo seit 1972 ohne Unterbruch mindestens drei Angestellte den Betrieb überwachen und steuern. Es sind dazu 6 Schichten nötig: 3 Arbeitsschichten, eine Reserveschicht, eine Schicht in Ausbildung und eine Schicht auf Erholung. Es sind über 2000 Kontroll- und Steuerknöpfe vorhanden, die mit der Aussenwelt nicht verbunden sind. Via Livecam konnten wir einen Blick ins Reaktorgebäude werfen.

Danach schleusten wir aus. SASEG-Präsident Bernhard Gunzenhauser dankte den Führern im Namen aller für die dreistündige sehr professionelle Führung und die Energie und Geduld fürs Beantworten unserer zahlreichen Fragen und überreichte ihnen ein Geschenk. Mit doch einer modifizierten Sicht auf die Kernenergie machten sich manche Teilnehmer auf den Heimweg.

Zitierte Quellen

BKW 2017a: Kernkraftwerk Mühleberg auf einen Blick, erhältlich bei <https://www.bkw.ch/de/ueber-bkw/unsere-infrastruktur/kernkraftwerk-muehleberg/auf-einen-blick/> (Zugriff Dezember 2017).

BKW 2017b: Stilllegung des Kernkraftwerks Mühleberg, erhältlich bei <https://www.bkw.ch/ueber-bkw/unsere-infrastruktur/kernkraftwerk-muehleberg/stilllegung/> (Zugriff Dezember 2017).

BKW 2018: Pressemitteilung, publiziert am 9.1.2018 in verschiedenen Schweizer Zeitungen, z.B. Berner Oberländer, S.9.

Bürgisser, Heinz M. 2015: Bericht der 82. Jahresversammlung der SASEG vom 20. bis 22. Juni 2015 in Baden. Swiss Bull. angew. Geol. 20/2, 97-109.

Bürgisser, Heinz M. & Seemann, Ueli 2016a: Lignite mining and electricity generation in the Lusatia (Lausitz) area of Germany: Report on SASEG's first stand-alone excursion. Swiss Bull. angew. Geol. 21/1, 121-129.

Bürgisser, Heinz M. & Seemann, Ueli 2016b: Besichtigung der bahnbrechenden Energiezentrale Forsthaus Bern: Kurzbericht über SASEG's zweite eigenständige Exkursion. Swiss Bull. angew. Geol. 21/2, 79-82.

Wikipedia 2017: Kernkraftwerk Mühleberg, erhältlich bei https://de.wikipedia.org/wiki/Kernkraftwerk_Mühleberg (Zugriff Dezember 2017).