

Messenger Nr. 2/19

IndustrieWelt Baden

Weltweit erste Kraftwerks-Gasturbine feiert Geburtstag!

Man weiß nicht, ob salutierte wurde beim Start der ersten Kraftwerks-Gasturbine am 7. Juli 1939 bei Brown Boveri & Cie. in Baden, so wie es Wochen später der Maschinenführer in Uniform bei den täglichen Vorführungen derselben Gasturbine im Rahmen der mit insgesamt 10,5 Millionen Besuchern ungeheuer populären ‚Landi‘ 1939 in den Zürcher Ausstellungshallen tat. Die weiteren Einzelheiten des Erstlaufs wurden aber unumstößlich dokumentiert vom allseits verehrten Altmeister der Thermischen Turbomaschinen, dem emeritierten, schon 80jährigen ETH-Professor Aurel Stodola, der an diesem Tag das Kommando hatte. So weiß man, dass es knapp 15 Minuten dauerte bis der Gasturbinenrotor auf die Betriebsdrehzahl von sirrenden 3000 U/min beschleunigt war, ehe die eigentlichen Messungen bei voller Generatorleistung von 4 MW zwischen 10.10 Uhr und 11.10 Uhr an diesem Freitag, wenige Wochen vor Ausbruch des 2. Weltkriegs, durchgeführt wurden. Die anschließende Auswertung ergab mit Stodolascher Präzision einen thermischen Wirkungsgrad von 17,38 Prozent. Das reichte zwar mit Blick auf die Energieausnutzung nicht an die Bestwerte von ca. 25 Prozent damaliger Dampfturbinen heran, aber die Gasturbine war nach 150 Jahren steten Bemühens als Alternative für die Stromerzeugung etabliert; 7 Wochen später gefolgt vom Erstflug einer Flugzeug-Gasturbine He S3B des Erfinders Hans-Joachim Pabst von Ohain am 27. Aug. 1939 in Rostock, D.



Das historische Foto zeigt den im traditionellen Stil englischer Ingenieure gewandeten Stodola mit Bowler und Gehrock neben Jean von Freudenreich, dem Leiter des BBC Versuchslokals im hellen Leinenanzug und dem Ableser Hans Bellati (23) im ‚Blaumann‘, der später zum Leiter des Konstruktionsbüros für BBC-Großdampfturbinen bis 1300 MW Leistung aufstieg.

Editorial:

Carol Nater Cartier
Dr. Phil.
Museumsleiterin
Historisches Museum
Baden



Eine einzigartige Chance für Baden

#ZeitsprungIndustrie. So heisst das Projekt, das demnächst durch den gesamten Aargau wandert und die reiche Industriekultur im Kanton sichtbar macht. Baden bildet den krönenden Abschluss von August bis November 2020: Fast 20 Institutionen aus Kultur, Bildung, Forschung und Industrie haben sich bereit erklärt, die Geschichte von der industriellen Revolution zur digitalen Transformation mit zahlreichen Angeboten in der Region Baden sichtbar zu machen und gebündelt durchzuführen. Lanciert hat das Projekt das Netzwerk Industriewelt Aargau, der kantonale Swisslos-Fonds unterstützt es mit 2 Mio. Franken.

Die industrielle Revolution beginnt in Baden vergleichsweise spät, doch kaum verbindet die Spanischbrötlibahn Baden mit Zürich, ist die Industrialisierung in der Region nicht mehr aufzuhalten. Im 20. Jahrhundert erlangt die Stadt dank den Pionieren Charles L. Brown und Walter Boveri Weltruhm. Und heute ist Baden mit dem Sitz bedeutender Firmen wie ABB, GE, Ansaldo Energia, Axpo und vielen mehr in der Industrie 4.0 angekommen.

Der Verein IndustrieWelt Baden und seine geplante Erlebnisausstellung "UNTER STROM" in der Alten Schmiede ist auf dem Platz Baden einer der wichtigsten Partner von #ZeitsprungIndustrie. Dank den engagierten Vereinsmitgliedern kann Baden bald einmal mehr mit Pioniertaten glänzen und einen nachhaltigen Dialog schaffen zwischen Kultur, Industrie und Wirtschaft.

Messenger Nr. 2/19

Die Erfindung der Gasturbine gelang bereits 1791 dem Engländer John Barber, der praktischen Realisierung kam man aber erst 100 Jahre später näher. Um 1900 baute der Berliner Franz Stolze eine ‚Heißluftmaschine‘, die schon weitgehend einer modernen Gasturbine mit mehrstufigem Verdichter und Turbine in axialer Bauweise entsprach. Die Wirkungsgrade seiner Axialmaschinen waren aber ungenügend; statt einer aerodynamisch effektiven Profilierung verwendete er zu stark umlenkende Schaufelbleche – ein entscheidender Mangel. Nur 20 km von Stolze entfernt testete damals Otto Lilienthal am Berliner Stadtrand erfolgreich erste Hängegleiter, deren Tragflächen profilierten Storchenflügeln nachgebaut waren; beide Pioniere sind sich jedoch vermutlich nie begegnet. Stattdessen schickte Lilienthal im März 1894 - vor 125 Jahren - mit dem an den Firmengründer Charles E.L. Brown gelieferten ‚Normalsegelapparat #1‘ auch die Luftfahrtbegeisterung nach Baden, die in der Firmengeschichte der BBC Gasturbinen immer wieder aufleuchten wird.

Noch vor dem 1. Weltkrieg scheiterten mehrere Gasturbinen-Konstruktionen – auch mit Beteiligung der 1891 in Baden gegründeten BBC, Brown Boveri & Cie. – im Wesentlichen daran, dass der für die Luftverdichtung geleistete Aufwand kaum die kontinuierliche Abgabe von Nutzleistung ermöglichte; es galt also zuerst den Verdichtungsprozess verlustärmer zu gestalten. Erste Erfolge zeitigte das von Hans Holzwarth vorgeschlagene Konzept einer ‚Explosionsturbine‘, an deren Entwicklung Brown Boveri in Baden und Mannheim immerhin über einen Zeitraum von 1909-1938 beteiligt war. Wie im Kolbenmotor geschah hier die erforderliche Druckerhöhung durch Zündung/Verpuffung des Brennstoff/Luft-Gemisches in einem durch Ventile kurzzeitig abgeschlossenen Brennraum. Damit gelang gegenüber dem Gasturbinenkonzept mit kontinuierlicher Verbrennung eine deutlich verminderte thermische Belastung der nachfolgenden Turbine, allerdings erkauft durch allfällige mechanische Defekte und Instabilitäten (Verschleiß, Fehlzündungen). Im Auftrag von Holzwarth und engagiert beraten durch Stodola baute BBC Baden in 1929 eine experimentelle 2 MW Gasturbine mit zwei, durch Niederdruckgebläse aufgeladenen, ventilgesteuerten Verpuffungskammern, die wechselweise im Gegentakt gezündet wurden. Diese Anlage wurde erfolgreich über immerhin 500 Betriebsstunden zum Antrieb eines 3 Phasen-Stromgenerators in der August-Thyssen-Hütte in Hamborn, D eingesetzt – allerdings mit einem unbefriedigend niedrigen, thermischen Wirkungsgrad von nur ca. 13 Prozent.

Vorarbeiten zu einer alternativen technischen Lösung begannen bei BBC Baden und deren französischem Tochterunternehmen C.E.M. Cie. Électro-Mécanique, Paris bereits 1927. Unter der energisch-dynamischen Führung von Adolf Meyer gelangen in den 1930/1940er Jahren nicht nur wesentliche ingenieurtechnische Verbesserungen im BBC Hauptgeschäftsfeld der Hochdruck-Dampfturbinen, sondern in 1939 auch die letztlich erfolgreiche Realisierung der ersten Kraftwerks-Gasturbine. Möglich wurde dieser Erfolg durch entscheidende BBC-Beiträge von Claude Seippel, dem ‚Vater des Axialverdichters‘ und von Walter Noack, von dem die Erfindung des ‚Velox Boilers‘ stammt. Zurückgekehrt aus den USA, wo er sich erstmals mit der Auslegung mehrstufiger Axialverdichter auseinandersetzen musste, begann Seippel eine Serie systematischer Entwicklungsversuche, die – nach Rückschlägen – in 1933 zur Beauftragung eines Überschall-Windkanals für das Aerodynamische Institut des neu an die ETH Zürich berufenen Professors Jakob Ackeret führte. Eine mehrfach glückliche Konstellation; Ackeret wagte die Entscheidung, ohne dass wirklich überzeugende Testergebnisse vorlagen und Seippel rechtfertigte das in BBC gesetzte Vertrauen, indem der gelieferte 13stufige Axialverdichter als Herzstück des Mach 2 Windkanals auf Antrieb Spitzen-Druckverhältnisse bis zum 3,3fachen Eintrittsdruck und Wirkungsgrad-Bestwerte von 75 Prozent lieferte. Damit ergaben sich BBC-intern fast gleichzeitig alle Zutaten für die Gasturbine. Noacks geniale Idee, die in den wassergekühlten Gaskanälen der Holzwarth-Gasturbine als negativ beobachteten, exzessiv hohen

Messenger Nr. 2/19

Wärmeübergänge umzusetzen in einen nach ähnlichen Prinzipien konstruierten ‚Velox‘ Dampferzeuger, schuf für BBC in 1932 das erste in Großserie hergestellte, gasturbinenartige Produkt mit Gleichdruck-Verbrennung unter Verwendung der neu entwickelten Axialmaschinen. Er benötigte vergleichsweise kleinere Heizflächen, ließ sich damit gegenüber herkömmlichen Boilern deutlich kompakter bauen – und ‚nomen est omen‘ deutlich schneller aufheizen, der ‚Velox‘ brauchte nur etwa die Zeit in Minuten, die vorher die Inbetriebnahme herkömmlicher Dampfkessel in Stunden gedauert hatte. Ein speziell mit Blick auf die Kriegsmarinen zunächst als unschlagbar eingeschätztes Argument, das jedoch bei der konservativen Klientel und den langen Planungs- und Bauzeiten von Kriegsschiffen kurz vor Ausbruch des 2. Weltkriegs keine Wirkung zeigte.

Gleichzeitig mit dem ‚Velox‘-Verkaufserfolg entwickelte BBC die entscheidend neue Axialverdichter-Technologie weiter. Die so stetig verbesserten Strömungsmaschinen erlaubten es schließlich mit der Expansionsturbine nicht nur den Verdichter anzutreiben, sondern zusätzlich noch elektrische Leistung zu erzeugen. Das Druckverhältnis des 23stufigen Axialverdichters für die erste Kraftwerks-Gasturbine stieg auf 4,4 unter gleichzeitiger Anhebung des Verdichter-Wirkungsgrades auf knapp 85 Prozent. Durch schlichtes Weglassen der Dampferzeugung mutierte der ‚Velox‘ Kessel zur heißgaserzeugenden Brennkammer und knapp 150 Jahre nach Barber's Erfindung war die kontinuierlich betriebene ‚Gleichdruck-Gasturbine‘ geschaffen, prinzipiell bereit nicht nur für die Stromerzeugung sondern auch als ‚Turbo-Strahltriebwerk‘ für Flugzeuge.

Nach dem Ende der ‚Landi‘ am 29. Oktober 1939 wurde die Maschine in Baden überholt und dann im März 1940 als Notstromanlage des Städtischen Kraftwerks Neuenburg, NE in Dienst gestellt, wo sie nach 62 Jahren störungsfreien Betriebs am 18. Aug. 2002 stillgelegt wurde. Schon 1988 hatte die Vereinigung amerikanischer Maschinenbau-Ingenieure ASME der Neuenburg-Gasturbine den Ehrentitel einer technisch-historischen Landmarke verliehen und seit dem 4. Juni 2007 kann sie auf dem Werksgelände der General Electric in Birr, AG täglich besichtigt werden.



Die Neuenburg Kraftwerks-Gasturbine von Brown Boveri im Ausstellungspavillon Birr AG

Messenger Nr. 2/19

Nach der ersten Kraftwerks-Gasturbine trat das Ingenieurteam in Baden in der Folgezeit immer wieder mit herausragenden Entwicklungsleistungen hervor. Bereits 1945 wurde mit einer 10 MW Gasturbinen-Kraftwerksanlage für Bukarest ein neuer Weltrekord aufgestellt, der in 1948 mit 40 MW (13+27 MW) an das Kraftwerk in Beznau AG ging, ehe 1960 die wiederum mit 4x25 MW die größte Gasturbinenstation der Welt von BBC nach Kanada geliefert wurde. Ein für die weitere Entwicklung der weltweiten, effektiven Energieversorgung entscheidender Meilenstein gelang schließlich 1961 mit der Errichtung des ersten Gas-/Dampfturbinen-Kombi-Kraftwerks durch BBC in Korneuburg, A. Dieser Maschinentyp belegt in der Zwischenzeit mit Anlagen-Wirkungsgraden von bis zu 63 Prozent einen unangefochtenen Spitzenplatz unter allen Wärme-Kraftmaschinen.



*Socema-Grégoire Gasturbinen-Prototyp
100 PS, 200 km/h, 1952*

Unmittelbar nach Ende des 2. Weltkrieges versuchte Brown Boveri wie General Electric im Markt für Flug-Gasturbinen Fuß zu fassen, nachdem partielle Kooperationen in diesem Bereich zuvor in Großbritannien und Deutschland die technologischen und kommerziellen Dual-Use-Chancen verdeutlicht hatten. Als Kooperationspartner hierfür war C.E.M. und deren auf Flugantriebe spezialisierte Tochterfirma SOCEMA vorgesehen; durch Intervention der Regierung wurden aber ab 1950 alle entsprechenden Aktivitäten in Frankreich zugunsten des neu gegründeten Staatsbetriebs SNECMA eingeschränkt. Übrig blieb von BBC's Luftfahrtträumen – ein Gasturbinen-Auto.

Brown Boveri verlor ab Mitte der 1950er Jahre - nach dem Koreakrieg, der der Fluggasturbine zum Durchbruch verhalf - ihre führende Position im Bereich Gasturbinen an General Electric; 1988 war man gezwungen den Kraftwerksbereich in die durch Fusion neu entstandene ABB Asea Brown Boveri einzubringen. Ingenieurtechnischer Höhepunkt war in den 1990er Jahren die Entwicklung der Familie von Großgasturbinen GT24/GT26 für den 60/50 Hz-Markt – ab 2000 als Teil der französischen Alstom – mit Leistungseinheiten bis 350 MW und Wirkungsgrad-Spitzenwerten von ca. 40 Prozent. 2014 übernahm schließlich GE den Alstom-Kraftwerksbereich, allerdings – nach EU Intervention – ohne die Gasturbinen-Entwicklung, die an die italienische Ansaldo Energia abgegeben werden musste. Die Wende hin zu erneuerbaren Energien brachte den Kraftwerksmarkt für Großgasturbinen in den letzten Jahren fast völlig zum Erliegen, was zum Schluss zu einer etwas ahistorischen Überlegung führt: Schon 1930 legte BBC's französische Tochterfirma C.E.M. die Grundlagen für axiale Turbomaschinen u.a. durch den Bau von Windturbinen mit bis zu 20 m Durchmesser. Statt dieser im Nachhinein offenkundigen Entwicklungs-Abkürzung kam die Kraftwerks-Gasturbine – und in ihrem Schlepptau die Flug-Gasturbine. Als Folge des wirtschaftlichen Anpassungsprozesses im Bereich der Kraftwerkstechnik hat in den letzten Jahren nicht zuletzt die Schweiz schmerzhaft Einschnitte hinnehmen müssen. Erst in den letzten Monaten zeichnet sich der berühmte Silberstreifen am Horizont ab: Ansaldo Energia verkaufte von der in Baden neu entwickelten 500 MW Großgasturbine GT36 die ersten Maschinen nach China und eroberte sich für ein in Italien zu bauendes GT36 Kombi-Kraftwerk den Spitzenplatz als effektivstes Großkraftwerk in Europa; General Electric stellte im März 2019 die GT26 HE als hocheffiziente Upgrade-Lösung für die GT26 Gasturbinenflotte vor.

Dietrich Eckardt

Prof. Dr.-Ing. D. Eckardt ist Autor des 2017 mit dem ASME Engineer-Historian Award ausgezeichneten Buches 'Gas Turbine Powerhouse' zur Entwicklung der Kraftwerks-Gasturbine bei BBC-ABB-Alstom, DeGruyter Oldenbourg, 2.Auflage 2014, 500 S, 60 Fr.

Der Verein «IndustrieWelt Baden», getragen von Privaten, Vertretern aus Industrie und Gewerbe, Bildung und Forschung sowie den Gemeinden Baden, Wettingen und Ennetbaden will Industriekultur an authentischen Orten für ein breites Publikum jeder Altersgruppe mit allen Sinnen erlebbar machen.