

# DER 1 x 1 M HYPERSCHALL-WINDKANAL IN KOCHEL/ TULLAHOMA 1940 – 1960

D. Eckardt, München/ Lenzerheide  
eckardt@bluewin.ch

## Zusammenfassung

Der technisch einzigartige Windkanal war Teil der bereits vor Beginn des 2. Weltkriegs konzipierten deutschen Langstrecken-Raketenentwicklung in Peenemünde. Erstmals wurde eine geschlossene Windkanalanlage zur kontinuierlichen Strömungssimulation hoher Machzahlen  $Ma = 7-10$  geplant, wie sie etwa beim Raketen-Wiedereintritt in die Atmosphäre auftreten. Der 1 x 1 m Messquerschnitt stellte eine für die damalige Zeit und den anvisierten Geschwindigkeitsbereich unerhörte Aufgabenstellung dar; Voith-Freistrahlturbinen mit insgesamt 57 MW Antriebsleistung sollten ein BBC-Verdichterfeld antreiben. Das benötigte hydraulische Gefälle von 200 Höhenmetern lieferte ein zu Beginn der 1940er Jahre festgelegter Standort neben dem bereits bestehenden Walchensee-Wasserkraftwerk am Kochelsee in Oberbayern. Vorbereitende Arbeiten für diese Hyperschall-Windkanalanlage liefen bis zu einem Baustopp im September 1944; Anfang Mai 1945 besetzten amerikanische Truppen den Ort Kochel und in Folge veranlassten Wissenschaftler der 'von Kármán - Mission' eine Verlagerung vorhandener Maschinen und Planunterlagen in die USA. Dort wurde dieser 'Tunnel A' am AEDC Arnold Engineering Development Center, Tullahoma TN 1957 in Betrieb genommen, und wird seither für aerodynamische Modelltests, etwa des Mach 7 Experimentalflugzeugs X-15, für die Entwicklung des Space Shuttle und noch weitgehend geheime Untersuchungen an Hyperschall-Flugkörpern genutzt.

Einziges noch heute erhaltenes Relikt der geplanten Hyperschall-Windkanalanlage in Oberbayern ist die Rissbachüberleitung, die zur Steigerung der Walchensee-Wasserkapazität für den Windkanalbetrieb geplant war und unmittelbar nach Kriegsende zu nunmehr alleinigem Nutzen für das Walchensee-Kraftwerk realisiert wurde.

## 1. TAG DER ENTSCHEIDUNG

Die Zäsur lässt sich genau angeben: Am 17. Aug. 1943 um 09.40 h gab der britische Luftmarschall Harris den Befehl zu den Operationen 'Hydra' und 'Whitebait'. Während letztere nur ein Ablenkungsmanöver Richtung Berlin darstellte, sollten 571 Bomber ihre geballte Ladung von 1'874 t Spreng- und Brandbomben auf die Heeresversuchsanstalt Peenemünde abwerfen, um den 'brain trust' der deutschen V-Waffenentwicklung (mit Familien) im Schlaf auszulöschen[1,2]. Die erste Angriffswelle, 17 min nach Mitternacht[3]<sup>1</sup> am frühen Mittwochmorgen des 18. August verfehlte jedoch durch einen Zielmarkierungsfehler die von 3'000-4'000 Menschen bewohnte 'Siedlung' des Raketenzentrums, und traf stattdessen 1-4 km weiter südlich Karlshagen und das mit Bau- und

Zwangsarbeitern gefüllte Barackenlager Trassenheide. Insgesamt gab es hier nach neueren Untersuchungen[4] 701 Tote, in der Mehrzahl Zivilisten aus Karlshagen; hinzu kamen 240 Besatzungsmitglieder von ca. 40 Flugzeugen, die nicht nach England zurückkehrten.[5,6] Die Schäden auf dem eigentlichen Werksgelände waren gering und insbesondere das Aerodynamische Institut mit den strategisch wichtigen Windkanal-Anlagen blieb fast unbeschädigt.<sup>2</sup>

Als Ergebnis des zerstörerischen Luftangriffs wurde der Standort Peenemünde weitgehend aufgegeben. Die anlaufende Produktion des 'Aggregats A4 (V2)' wurde unterirdisch in den Harz ausgelagert; hierzu entstand bereits am 24. Sept. 1943 die *Mittelwerk G.m.b.H.* als privatwirtschaftlich organisierte, jedoch reichs-eigene Gesellschaft mit begrenzter Haftung. Kurz

---

<sup>1</sup> Die umfangreiche Peenemünde-Literatur nennt hier unterschiedliche Zeiten, teilweise als Folge fehlerhafter Zeitzonen-Umrechnungen; Dornberger's Angaben zur Ortszeit werden von mehreren unabhängigen Quellen gestützt.

---

<sup>2</sup> Durch das Fehlen schneller Rechenmaschinen stellten Raketenmodell-Messungen in Ueberschall-Windkanälen damals praktisch das einzige aussagefähige Entwicklungswerkzeug dar.

darauf<sup>3</sup> erfolgte analog die Gründung der WVA *Wasserbau - Versuchsanstalt G.m.b.H.*, als Tarnbezeichnung für das Aerodynamische Institut, das danach samt seinen Windkanälen in einer aufwändigen, knapp einjährigen Aktion nach Kochel verlagert wurde.[5] (s. a. Abschnitt 6) Der Leiter des Aerodynamischen Instituts (AJ) Dr. Rudolf Hermann schreibt am 24. 3. 1944 unter dem Kürzel Wa Prüf 10/AJ an die Amtsgruppe für Zentralaufgaben Wa Z des Heereswaffenamtes: *„Das Aufgabengebiet der WVA umfasst in seinem Teil ‚A‘<sup>4</sup> den Bau und Betrieb einer neuen Versuchsanlage (der hier behandelte Hyperschall-WK – d. Verf.), in seinem Teil ‚B‘ die Verlagerung und den Betrieb der bisher in Karlshagen (HVP – Heeresversuchsanstalt Peenemünde) betriebenen Anlagen. Die Aufgaben werden der WVA durch das Heereswaffenamt gestellt, sie umfassen in erster Linie Messungen und Entwicklungen im Rahmen des hiesigen Programms, sowie neuartige und zum Teil kurz vor dem Abschluss stehende Geschossentwicklungen (A4/V2, Flakrakete ‚Wasserfall‘, PPG Peenemünder Pfeilgeschoss, usw.) in Verbindung mit Wa Prüf 1 (Abt. Munition und Ballistik). Die Arbeiten der WVA laufen unter der Dringlichkeitsstufe SS 4925.‘*[2]

## 2. WARUM KOCHEL ?

Während die bisherigen Informationen relativ konkret waren, bewegt man sich bei der Frage wer, wann und warum die Entscheidung für den Standort Kochel traf, weitgehend im spekulativen Bereich. Auffällig ist, dass die beiden von den West-Alliierten bei Kriegsende wie technische ‚Weltwunder‘ bestaunten Windkanalprojekte

- die 57 MW Hyperschallanlage in Kochel mit Wasser-Turbinenantrieb, gespeist aus der 200 m Höhendifferenz zwischen Walchen- und Kochelsee und

<sup>3</sup> Der WVA-Jahresbericht 1944 erwähnt als Auslöser für die Verlagerung nach Kochel ein Schreiben des Reichsministers Speer an Generaloberst Fromm vom 17.10.1943 mit der Aussage, dass die Arbeiten für den ‚Windkanal mit Wasserkraftanlage‘(A) *„unverzüglich in Angriff genommen und in beschleunigtem Tempo durchgeführt werden.“*

<sup>4</sup> Interessant, dass sich diese Buchstaben-Bezeichnung bis heute im Namen des ‚Tunnel A‘ des AEDC Tullahoma TN, USA erhalten hat. (s. Abschnitt 8)

- der grosse Unterschall-Windkanal mit 8 m Mess-Strecken-Durchmesser und 76 MW hydraulischer Leistung im Oetztal (heute ONERA S1 MA in Modane-Avrieux, F), wo durch Aufstau des Stuibenbachs sogar ein Höhenunterschied von 530 m anstand,

etwa gleichzeitig geplant wurden und die gleiche Design-Handschrift tragen. Während institutionelle Querverbindungen zwischen Heereswaffenamt (Wehrmacht) für Kochel und LFM (RLM, Luftwaffe) für Oetztal eher wenig wahrscheinlich sind, fällt auf, dass bei der industriellen Realisierung fast immer die gleichen Firmen genannt werden:

- BBC Brown Boveri & Cie., Mannheim und Baden, CH, die seit 1932 für 20 Jahre praktisch ein Monopol für Verdichterantriebe geschlossener Uberschall-Windkanalanlagen hatten,

- J.M. Voith Maschinenfabriken, Heidenheim (Brenz) für entsprechende Wasser-Antriebsturbinen und

- Dingler-Werke AG, Zweibrücken für Windkanal-Mess-Strecken und -Sondereinbauten, etwa die beiden gegenläufig mit  $220 \text{ min}^{-1}$  umlaufenden Windkanal-Gebläseräder von 15 m Durchmesser für die Oetztalanlage.

Es scheint also sehr gut möglich, dass bei diesen verwandten Projekten ein gewisser Erfahrungsaustausch im Rahmen der etablierten Industrie-Kooperation stattfand. Französische Nachkriegsrecherchen sollen ergeben haben, dass die Geschichte der grossen Windkanäle 1937 in Berlin begann<sup>5</sup> und die Detailplanung und -konstruktion ab 1940 betrieben wurde. Die Idee des direkten Antriebs durch Wasserkraft sei sowohl in Deutschland als auch in Frankreich bereits in den Jahren 1938/1939 diskutiert worden, um in Anbetracht des enormen Leistungsbedarfs solcher Anlagen vom Netz unabhängig zu sein.[7] In der Tat berichtet R. Hermann in seinen Memoiren als Argument für den autonomen Wasserantrieb (mit max. 6h Betriebszeit), dass beim reinen Elektro-Betrieb der AEDC Grossanlagen (mit externer Stromversorgung oder einem Kernreaktor) erhebliche Abstimmungsprobleme bezüglich Energieversorgung und Versuchszeiten aufgetreten sind.[8] Als zusätzliches Argument für den Windkanal-Wasserantrieb kann auf deutscher Seite eine Rolle gespielt haben, dass

<sup>5</sup> Vermutlich auf einer der grossen ‚Hochgeschwindigkeitssitzungen‘. Erste ‚Meteorogramme [Kochelsee]‘ datieren in Peenemünde aus dem Jahre 1938.

man beschränkte Kupfer-Ressourcen etwa ausschliesslich für kriegswichtige, elektrische U-Boot-Antriebe reservieren wollte.

Ebenfalls wenig gefestigt sind derzeit noch Informationen, dass die grosse Hyperschall-Windkanalanlage zunächst 35 km östlich von Kochel in Fischbachau-Aurach geplant war, wo die Wasserkraft aus einem Aufstau des Spitzingsees mit 14 m Hub hätte gewonnen werden sollen. Offensichtlich unter dem Einfluss des Reichsführers-SS H.Himmler, der 1941/1942 in der Valepp, südlich des Spitzingsees ein Jagdhaus ausbauen liess[9], wurde dann aber eine Projektverlagerung an den Kochelsee durchgesetzt. In diesem Zusammenhang finden sich im Bundes-Militärarchiv Freiburg Gebäude-Entwurfszeichnungen des neuen Aerodynamischen Instituts für den Standort Fischbachau-Aurach, die auszugsweise in BILD 7 wiedergegeben sind.

### 3. WINDKANALBETRIEB IM UEBERSCHALL

Die Raketenentwicklung war unmittelbar an die erfolgreiche Entwicklung von Ueberschall-/ Hyperschall-Windkanälen<sup>6</sup> gekoppelt. Für derartige Windkanäle kommen nur allseits geschlossene Mess-Strecken in Frage. Um hier ein ‚Sperrn‘ der Kanalströmung bei Mach 1 zu verhindern, muss daher in einem Ueberschall-Windkanal stromauf der Mess-Strecke eine konvergent/divergente Lavaldüse eingebaut sein.<sup>7</sup> Im konvergenten Teil wird die Unterschallströmung beschleunigt, am engsten Querschnitt erreicht sie Schallgeschwindigkeit. Im divergenten Teil schließlich wird die Strömung weiter beschleunigt, erreicht also Überschallgeschwindigkeit. Die Ueberschall - Machzahl kann durch eine Aenderung der Düsenkontur<sup>8</sup> bzw. über das Flächenverhältnis von Austritts-

zu Engstellen-Querschnitt reguliert werden; sie hängt in ihrer erreichbaren Grösse letztlich vom Druckverhältnis zwischen Düsen-Eintrittsdruck  $p_0$  und -Austrittsdruck  $p_e$  ab. Um die Gesamtverluste klein zu halten, muss die Strömung nach der Mess-Strecke wiederum durch einen konvergent/divergenten Querschnittsverlauf auf Unterschall gebracht werden, wo sich nach der erneuten Engstelle ein verstellbarer, divergenter Diffusorkanal anschliesst. Beim ‚Starten‘ dieser Strömung (insbesondere mit in der Mess-Strecke eingebauten Messobjekten) kommt es zunächst zu einem ausgeprägten, stark verlustbehafteten Haupt-Verdichtungsstoss, der vom engsten Querschnitt der Eintritts-Lavaldüse stetig durch die anschliessende Mess-Strecke bis in den Austrittsdiffusor geschoben werden muss. Ist dieser Zustand erreicht, so kann die erforderliche Energie zur Aufrechterhaltung dieses Strömungszustandes (Machzahl  $> 1$  mit ‚gestarteter Strömung‘) wieder reduziert werden. Auf Grund von Erfahrungswerten lassen sich so - wie in BILD 1 beispielsweise auf Basis von 11 verschiedenen Windkanälen mit Modelleinbauten - zwei Kurven angeben, durch die für jede Test-Machzahl das maximal erforderliche Start-Druckverhältnis und das für gestarteten Betriebszustand benötigte minimale Betriebs-Druckverhältnis angegeben werden.[10] Man erkennt, dass für eine Kanal-Machzahl  $Ma = 2$  Düsendruckverhältnisse von 2 – 2.5 erforderlich sind, dass diese Bandbreite für  $Ma = 5$  bereits auf 12 – 40 steigt, dass aber für  $Ma = 10$ , wie für die Kochler Anlage als Obergrenze geplant, bereits sehr hohe Düsen-Druckverhältnisse zwischen knapp 400 und 875 erforderlich werden. Düsendruckverhältnis 875 bedeutet, ausgehend von einem für diesen Betriebsbereich der Kochler Anlage typischen Eintrittsdruck  $p_0 = 2$  bar (möglich waren bis zu 4 bar), dass bei grösster Düsenexpansion in der Messkammer nur ein Druck  $p_e = 0,002$  bar herrschte. Das gesamte Kanalsystem – etwa die 22 m<sup>2</sup> Querschnittsfläche mit Betonwänden im Bereich der Luft-Trocknungsanlage war also nicht nur gegen Ueberdruck zu dimensionieren, gleiche Aufmerksamkeit musste für die Stahlkonstruktion der insgesamt 20 m langen Mess-Strecke mit 1 x 1 m Querschnittsfläche gegen Unterdruck aufgewendet werden (BILDER 9, 11 und 14). Aehnlich eindrucksvoll ist die strömungsmechanische Aufgabe, den bei geschlossener Anlage (vorgesehen war auch offener Betrieb) maximalen Massendurchsatz von

<sup>6</sup> Der Begriff ‚Ueberschall‘ wird generell für den Machzahlbereich  $1 < Ma < 5$  verwendet, oberhalb davon spricht man von ‚Hyperschall‘.

<sup>7</sup> Bei einer Lavaldüse wird die Druckenergie am Düseneintritt nach Erreichen der Schallgeschwindigkeit an der engsten Stelle in Geschwindigkeitsenergie am Düsenaustritt umgesetzt.

<sup>8</sup> Dies setzte - in der hier diskutierten Frühzeit noch ohne Computer-Unterstützung - aufwändige Berechnungen für jede einzelne Test-Machzahl (Düsenkontur) nach dem Busemannschen Charakteristiken-Verfahren voraus.

Mittelwerte von 11 Windkanälen – mit installiertem Modell

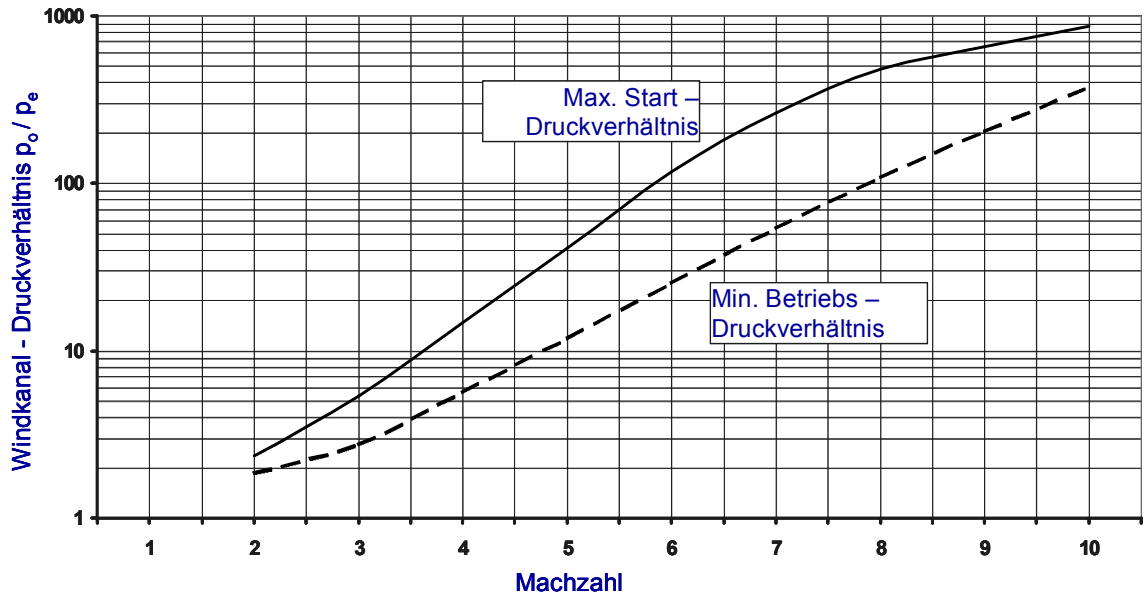


BILD 1. Max. erforderliches Windkanal-Start-Druckverhältnis und min. Druckverhältnis für ‚gestarteten‘ Dauerbetrieb aus Messerfahrungen mit 11 Ueberschallkanälen [10]

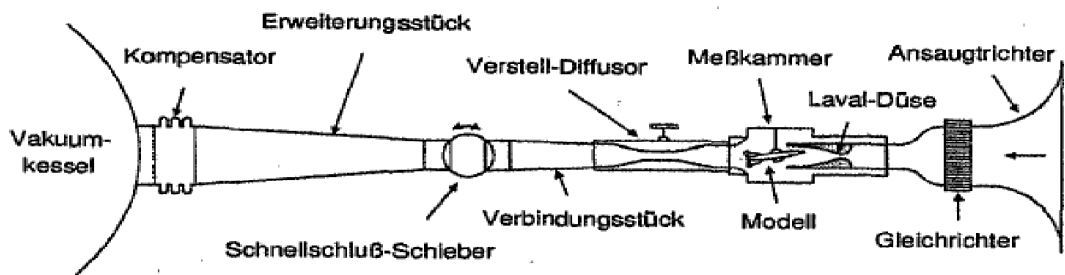


BILD 2. Offener 0,4 x 0,4 m Ueberschall-Windkanal Peenemünde 1937, Pumpen-Antriebsleistung 800 kW, max. Blaszeit ca. 20 s

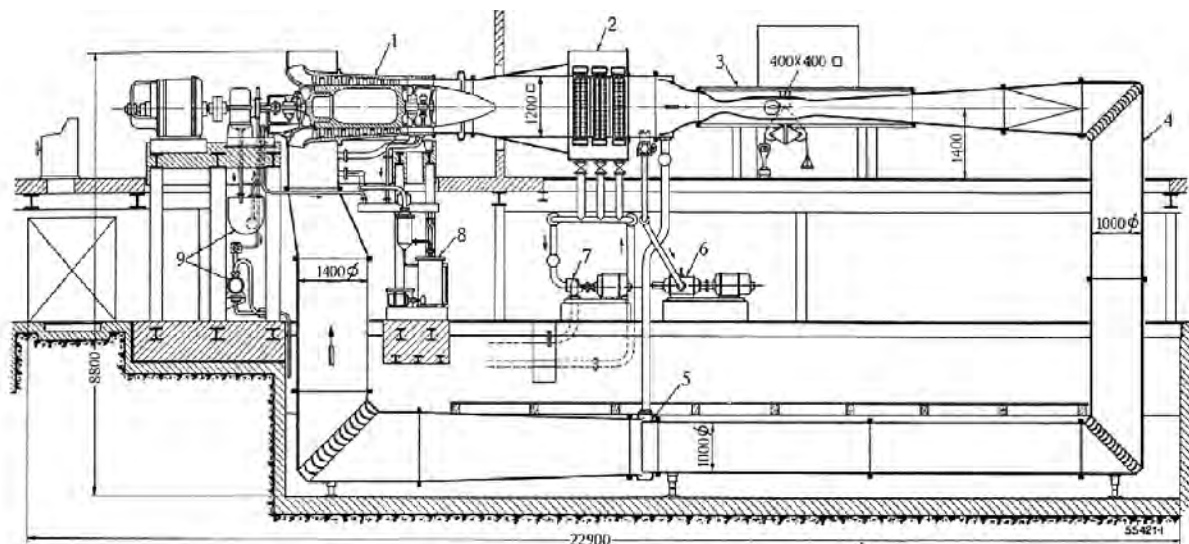


BILD 3. Geschlossener 0,4 x 0,4 m Ueberschall-Windkanal ETH Zürich 1935 mit erstem BBC-Axialverdichter, Verdichter-Antriebsleistung 700 kW

270 kg/s durch einen bei  $Ma = 10$  nur noch wenige Millimeter hohen Düsenpalt zu pressen, der über die gesamte 1 m – Düsenbreite präzise einzuhalten war (BILD 13). Unter diesen Prämissen würde der 1 x 1 m Hyperschallkanal eine Leistungsaufnahme von zunächst ca. 30 MW gehabt haben; die für die Maschinenanlage vorgesehene maximale Leistungsaufnahme von 57 MW wurde für eine später geplante Erweiterung auf 1,4 x 1,4 m Messquerschnitt vorgehalten.

#### 4. WELCHER TYP WINDKANAL ?

Erste systematische Abwägungen zur Bauform von Windkanälen gehen auf Ludwig Prandtl (1875-1953) zurück, der 1906 in Göttingen vor der Aufgabe stand, ein optimales Windkanalkonzept zur Bestimmung von Luftwiderstand und Druck- bzw. Geschwindigkeitsverteilungen an Luftschiffmodellen zu entwickeln. Statt des bis dato üblichen ‚Eiffel-Kanals‘ mit offener Luftführung schlug er eine Lösung mit geschlossener Luftführung vor, bei der dieselbe Luftmenge im Kanal umläuft. Das heisst, statt den gesamten Luftstrom kontinuierlich immer wieder neu zu beschleunigen, sind beim geschlossenen Betrieb nur die allfälligen Kreislaufverluste zu kompensieren, so dass der Energiebedarf für diesen Windkanaltyp ‚Göttinger Bauart‘ erheblich geringer ist.

Wegen des bis in die 1930er Jahre bestehenden Fehlens leistungsfähiger, strömungsgünstig in den Windkanal-Kreislauf integrierbarer Axialverdichter arbeiteten alle zeitlich davor liegenden Uberschall-Windkanalprojekte nach dem Speicherprinzip, entweder mit Druckspeicher und Ausblasen der Luft durch die Mess-Strecke nach Öffnen eines Schnellschlussventils oder mit Vakuumkessel und Ansaugen der Luft aus der Atmosphäre.

Ein entsprechender Vorschlag für einen 10 x 10 cm Uberschallkanal mit Vakuumspeicher für geplante Geschossuntersuchungen kam bereits 1917 von Prandtl, konnte aber kurz vor Ende des 1. Weltkrieges nicht mehr realisiert werden. Der erste tatsächlich gebaute Uberschall-Windkanal ( $Ma=2$ ) war eine kontinuierlich betreibbare Ueberdruck-Miniaturanlage des britischen Ingenieurs Thomas E. Stanton am NPL Nat. Physical Laboratory, Teddington, UK mit ca. 20 mm Düsenrohr, in das Projektilmodelle bis zu 2,3 mm Durchmesser für ballistische Wi-

derstandsmessungen gesteckt werden konnten; dieser Kanal war 1921 einsatzbereit.[11]

Der erste nach dem Vakuumprinzip arbeitende 10 x 10 cm Uberschall-Windkanal mit variabler Machzahl bis  $Ma = 3.3$  (und 3 Komponenten-Waage) wurde von Rudolf Hermann (1904-1991) an dem vom Prandtl-Schüler Carl Wieselsberger (1887-1941)<sup>9</sup> geleiteten Aerodynamischen Institut der TH Aachen konstruiert und 1935 in Betrieb genommen. Hermann führte an diesem Windkanal 1936 im Auftrag von Werner von Braun erste aerodynamische Stabilitätsuntersuchungen an A3-Raketenmodellen durch und - diese Versuche bestätigten auch die Existenz von die Messungen verfälschenden Kondensationsstößen in Uberschall-Windkanaldüsen, wie in einem Diskussionsbeitrag von Wieselsberger bei der 5. Volta-Konferenz in Rom, 30.9. - 6.10.1935 bereits vermutet worden war. Dies führte zu der Erkenntnis einer zwingend notwendigen Lufttrocknung in Uberschallwindkanälen, unter Umständen gepaart mit einer Luftheritzeranlage, um Tendenzen zur Luftverflüssigung entgegenzuwirken. Für die Kochler Anlage bestand die Zielsetzung, die in Mitteleuropa übliche mittlere Luftfeuchtigkeit von 12 g H<sub>2</sub>O/ kg Luft mit einer sehr aufwändig gestalteten Silikagel-Lufttrocknungsanlage auf 0,5 g/kg abzusenken (BILD 9), allerdings wurden diese Ausgangswerte beim späteren Betrieb im feuchtwarmen Klima Tennesseees erheblich überschritten, so dass hier vor einem erfolgreichen Windkanalbetrieb noch zusätzlicher Entwicklungsbedarf entstand.

Im April 1937 folgte der 32jährige, frisch promovierte R. Hermann der Einladung (des 25jährigen) W. von Braun in Peenemünde ein eigenes Aerodynamisches Institut (mit zunächst 20 Mitarbeitern) aufzubauen, in dessen Zentrum zwei

<sup>9</sup> Wieselsberger übernahm 1940 zusätzlich die Leitung der neuen, im Aufbau befindlichen LFM Luftfahrt - Forschungsanstalt München (-Ottobrunn), zu der nicht nur der bereits erwähnte Grosse Windkanal im Oetztal gehörte, sondern auch ein 0,4 x 0,4 m Uberschall-Windkanal geschlossener Bauart, dessen 6.5 MW Axialverdichter-Anlage 1944 von BBC, Baden CH geliefert worden war (BILD 10) und bei Kriegsende, Mitte Juni 1945 - noch in Originalverpackung - über Paris-Orly mit einer B-17 zum Wright Field, Oh. in die USA ausgeflogen(!) wurde; trotz dieser enthusiastisch kolportierten Aktion ist von einer späteren Verwendung dieser Kriegsbeute bisher nichts bekannt.[12]

für Vakuumbetrieb ausgelegte 0,4 x 0,4 m Ueberschall-Windkanäle stehen sollten. Der erste dieser Windkanäle ging im Sommer 1939 in Betrieb, bis zum Erreichen von Machzahlen  $Ma > 4$  sollten aber fast noch 3 weitere Jahre vergehen.[6] R. Hermann, der in Peenemünde nicht W. von Braun sondern direkt General W. Dornberger unterstand, verwirklichte von Anfang an auch für das Aerodynamische Institut dessen „*alles unter einem Dach*“ - Prinzip, so dass alle theoretischen, betriebs- und versuchs-technischen Anforderungen mit eigenem, hochqualifiziertem Personal erledigt werden konnten.

BILD 2 zeigt die prinzipielle Anordnung dieses Windkanals für Kurzzeitmessungen (auf 20 s - Messperioden folgte typischerweise eine 3 min dauernde erneute Evakuierung der 1'000 m<sup>3</sup> Vakuum-Speicherkugel). Die Luft tritt nach Passieren des (nicht gezeigten) Lufttrockners durch einen Honeycomb-Gleichrichter und die der jeweiligen Test-Machzahl konturmässig angepasste Lavaldüse als paralleler Freistrah in die 0.4 x 0.4 m Mess-Strecke ein, in der das zu untersuchende Raketenmodell auf einer 3 Komponenten-Messwaage montiert ist. Der stromab folgende Diffusor hat eine rasch anpassbare Engfläche, um den für eine parallele Strahlausbreitung erforderlichen Messkammerdruck einzuregulieren. Nach dem Schnellschluss-Schieber gelangt die Luft über eine weitere Diffusorpassage in den Vakuumkessel.<sup>10</sup>

1942 war das Aerodynamische Institut auf 200 Mitarbeiter angewachsen und die beiden Windkanäle liefen im Schichtbetrieb praktisch rund um die Uhr: manchmal mit mehr als 30 Mitarbeitern für Windkanalbetrieb, Ablesen der Druckmess-Säulen und Protokollieren der Daten eng gedrängt im Messraum, unter Beschallung im Minutentakt, sicherlich ein nervenaufreibendes Prozedere.

Die Vorteile eines ununterbrochenen Dauerbetriebs mit einer geschlossenen Windkanalanlage müssen bald zu Tage getreten sein; wichtiger war aber wohl schon ab 1939 die Erkenntnis, dass Langstrecken-Raketenprojek-

te Untersuchungen bei grösseren Modell-Abmessungen und deutlich höheren Machzahlen im Dauerbetrieb erforderlich machten, um auch immer wichtiger werdende thermische Probleme behandeln zu können. Der Weg hin zu einer Hyperschall-Windkanalanlage mit geplant, Betriebszeiten von bis zu 6 h, war fast zwangsläufig vorgezeichnet. Für den ehrgeizigen Institutsleiter sicherlich mehr als nur ein Prestige-projekt: Waren die Peenemünder Windkanäle noch für ca. 2 Millionen Reichsmark (MRM) zu haben, so ergaben Kostenabschätzungen für die Hyperschall-Windkanalanlage eine Größenordnung von 50 MRM.<sup>11</sup>

Den Weg zum ersten geschlossenen Ueberschall-Windkanal ebnete unter Inkaufnahme erheblicher persönlicher Risiken ein anderer Prandtl-Schüler: Jakob Ackeret (1898-1981). Nach geplant einjährigem Aufenthalt in Göttingen ab 1921, kehrte er schliesslich nach 7jährigem Aufenthalt 1927 in die Schweiz zurück und setzte für sein IfA Institut für Aerodynamik in den folgenden Berufungsverhandlungen mit der Leitung der ETH Zürich (und gegen den ausdrücklichen Vorbehalt des gutachtenden Prof. Stodola) in der Zeit von 1932-1934 den Bau von gleich zwei grossen Windkanälen durch:

- einen atmosphärischer Unterschall-Windkanal in Kreislauf-Bauweise mit 3 x 2 m Rechteck-Messquerschnitt und zwei parallel montierten Antriebsgebläsen von je 220 kW Antriebsleistung,
- einen 0,4 x 0,4 m Ueberschall-Windkanal in geschlossener Bauweise für Spitzen-Machzahlen  $Ma = 2$ , BILD 3, der weitgehend von BBC Baden, CH konzipiert und geliefert wurde, darunter der weltweit erste erfolgreich eingesetzte Axialverdichter (13 Verdichterstufen, Druckverhältnis  $PR = 3$  bei  $3'800 \text{ min}^{-1}$ , 700 kW Antriebsleistung, Spitzen-Wirkungsgrad  $\eta = 0,75$ ).[12]

Ackerets Mut zu diesen Schritt bestand schlicht darin, dass er die Entscheidung für den BBC-Axialverdichter in der Erstausführung akzeptierte - ohne entsprechende Referenzen. Die Hoffnungen wurden nicht enttäuscht, die Anlage erfüllte auf Anhieb alle Garantiewerte und

<sup>10</sup> Einzelheiten der messtechnischen Ausstattung der Peenemünder Windkanäle und zu deren Nutzung finden sich in [6,13]. Eine ausführliche Schilderung der frühen Windkanalgeschichte in Deutschland enthält [14], zusammen mit interessanten Kurzportraits der wichtigsten Akteure.

<sup>11</sup> Diese Kosten dürften heute einen Wert von ca. 300-400 Millionen Euro darstellen; ein anderer Vergleich: der Bau des Schlachtschiffs 'Bismarck' wurde von Blohm & Voss mit 72 MRM abgerechnet.

legte so für mehr als 20 Jahre die Grundlage für ein de-facto Monopol von BBC bei Bau und Lieferung grosser, leistungsfähiger Axialverdichter (meist mit E-Antriebsmotoren und Getrieben) – auch für geschlossene Ueberschall-Windkanäle. In [12] sind in diesem Zeitraum sieben, teilweise erst nach dem Krieg komplett realisierte BBC-Grossanlagen meist mit 0,4 x 0,4 m Messquerschnitt aufgeführt, darunter auch die hier behandelte 1 x 1 m Anlage des Kochler Hyperschall-Windkanals bzw. dessen AEDC-Nachbaus:

- 1) ETH Zürich IfA, CH; Ma = 2, Ackeret 1934,
- 2) Citta dell' Aria, Guidonia nahe Rom, I; Ma = 2, G.A. und L. Crocco, A. Ferri 1937,
- 3) AVA Göttingen, LFM München, Ma = 2,6 und WVA Kochel, Ma = 7-10, 1941, davon nur Teillieferungen bis Kriegsende an LFM und WVA. Für das WVA-Projekt war BBC Mannheim/Heidelberg, Abt. Turbo-Verdichter unter Leitung von M. Schattschneider verantwortlich,
- 4) LRBA 'C4' Vernon, F; Ma = 4, 1949/1950,
- 5) AEDC 'Tunnel A' Tullahoma, TN, USA; Ma = 7-10, 1949; unter Verwendung von LFM- bzw. WVA-Maschinen und/oder Allis-Chalmers Lieferungen (mit BBC Lizenz),
- 6) VKI S1 Ueberschallkanal, Ma = 2.2, 1950,
- 7) Politecnico di Torino, Ma = 2.2, 1950-1954.

## 5. DIE AMERIKA-RAKETE

Das umfangreiche Programm an Flüssigkeitsraketen des Heereswaffenamtes ist inzwischen ein Spezialgebiet, das hier nur sehr verkürzt behandelt werden kann (ausf. [5], Anhang 1). Die ‚Aggregat‘-Bezeichnungen reichen von A1 durchgehend bis A12, B7 und B8, C1 und C2.

Hervorzuheben ist die A4, besser bekannt unter der im Herbst 1944 eingeführten Bezeichnung als ‚Vergeltungswaffe V2‘, die schon 1936 für einen Raketenschub von 25 t konzipiert, zwischen 1939 und 1941 in Peenemünde entwickelt wurde. Die normale Reichweite lag bei 270 km, - mit Steigerung bei einigen Versuchsmodellen auf 385 km. Die Höhe der A4 betrug 14,3 m, ihr maximaler Durchmesser 1,65 m und ihre Leitwerk-Spannweite 3,56 m, BILD 4. Vollgetankt wog sie 12,9 t. Der erste Versuchsstart erfolgte im Juni 1942, der erste erfolgreiche Schuss war am 3. Okt. 1942 über eine Distanz von 190,64 km mit einer Flugzeit von 295,5 s. Die in BILD 4 ebenfalls gezeigte A4b ist eine ‚Gleiterversion‘ der A4, die zunächst ab 1940

unter der Bezeichnung A9 als Oberstufe der 2-Stufenrakete gezeigt wurde, mit der 5'000 km entfernte Ziele erreichbar sein sollten, und für die sich die Bezeichnung ‚Amerika-Rakete‘ eingebürgert hat.<sup>12</sup> Ab Oktober 1942 wurden die A9-Arbeiten unterbrochen, ehe sich zwischen Oktober 1944 und Januar 1945 nochmals eine kurze Entwicklungsphase für die geflügelte Variante anschloss, für die die Bezeichnung A4b gewählt wurde, um von der Priorität des A4-Programms zu profitieren.

Bereits 1936 plante die Heeresraketenabteilung auch ein A4-Nachfolgemodell A10 mit einem 100 t Triebwerk und einer Reichweite von 500 km (die Peenemünder Startanlagen waren bereits für diese Dimensionen ausgelegt), die allerdings 1939/1940 wegen anderer Prioritäten zurückgestellt wurde, ehe mit der Kriegserklärung Deutschlands und Italiens an die USA am 11. Dez. 1941 schlagartig der Gedanke (neu?) belebt wurde, das A10 als Trägerrakete einer A9/A10 2-Stufen-Kombination mit ca. 26 m Gesamthöhe einzusetzen. Planungen im Jahre 1941 gingen von einer A10-Schubsteigerung auf 180 t aus, die es ermöglichen sollten, die USA zu beschiessen. Als mögliche Abschussorte wurden die Ile de Ouessant, westlich Brest, F und Cabo da Roca, westlich Lissabon, P untersucht, - mit den Zielorten New York, Washington und Pittsburg.[15] 1942 wurden diese Arbeiten zunächst ausgesetzt und stattdessen, die notwendigen Vorarbeiten für die grosse Kochler Windkanalanlage (mit ausreichender Wasserversorgung) und entsprechenden Produktionsstätten in Ebensee am Traunsee, A forciert.

Ueberraschenderweise ist dies aber nicht die vollständige Rezeptionsgeschichte der Amerika-Rakete. Bereits 1930(!)<sup>13</sup> erschienen in der Zeitschrift ‚Die Gartenlaube – Illustriertes Familienblatt‘, seit 1853 bis 1944 (1984) das erste erfolgreiche grosse deutsche Massenblatt,

<sup>12</sup> Kurz nach Kriegsende, als man sich der Begeisterung der Amerikaner für diese Technik noch nicht ganz sicher war, wurde auf deutscher Seite ersatzweise auch von der ‚Ural-Rakete‘ gesprochen.

<sup>13</sup> Es ist nicht auszuschliessen, dass diese Veröffentlichungen auch Hitlers lebenslange Obsession eines Raketenangriffs auf New York befeuert haben. H. von Schirach berichtet in ihren Erinnerungen, dass er damals regelmässiger Leser der im Foto-Atelier Hoffmann, München, Ecke Amalien-/Theresienstrasse ausliegenden Zeitschriften war.

Farbabbildungen zum Thema ‚Raketenüberfall auf New York‘. Es handelt sich um einen von Willy Ley im Namen von Hermann Oberth lancierten Artikel ‚Die drei Gesichter der Rakete‘[16], bei dem neben der militärischen Anwendung, Verkehr und Weltraumforschung angesprochen wurden, nicht zuletzt auch um die allzeit finanziell klammen Mitglieder des ‚Vereins für Raumschiffahrt‘ (dem W. von Braun 1929 beigetreten war) am ‚Raketenflugplatz Berlin-Reinickendorf‘ im Gespräch zu halten.

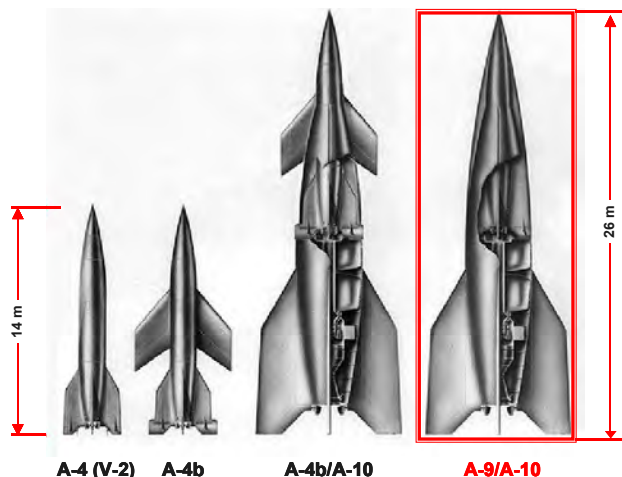


BILD 4. Größenvergleich der Raketen-Aggregate A4, A4b, A4b/A10 und A9/A10

Zu Spekulationen um die Amerika-Rakete geben auch die erstmaligen Hyperschall-Windkanalmessungen Anlass, bei denen Siegfried Erdmann (1916-2002)<sup>14</sup> am 17. April 1944 im zweiten noch in Peenemünde verbliebenen, modifizierten 0,4 x 0,4 m Ueberschall-Windkanal für 15 s Mach 8,8 erreichte, BILD 5. Erdmann hatte zu einem Zeitpunkt, als sich das Aerodynamische Institut unter Leitung von R. Hermann schon weitgehend in Kochel neu etabliert hatte, angeblich mit Wissen von W. von Braun eine passende Lavaldüse berechnet und fertigen lassen, für sich genommen bereits ein erheblicher Aufwand, und zusätzlich den Windkanal auf Druck-/Saugbetrieb mit ca. 100 bar Eintrittsdruck umgerüstet. Natürlich kann

<sup>14</sup> S. Erdmann leitete innerhalb des Aerodynamischen Instituts die ‚Versuchsgruppe II‘ zu der u.a. P.P. Wegener (sein Nachfolger in dieser Position in Kochel) und Pascual Jordan (1902-1980) zählten, letzterer ein deutscher theoret. Physiker, der maßgeblich an der Entwicklung und mathematischen Formulierung der Quantenmechanik mitwirkte.

bezweifelt werden, dass hinter dieser Meisterleistung nur wissenschaftliche Grundlagen-Interessen steckten. In der Folge kam es zu erheblichen Zerwürfnissen zwischen R. Hermann und S. Erdmann, die in einem kriegsgerichtsähnlichen Verfahren in Kochel kulminierten und zur fristlosen Entlassung Erdmanns aus dem Aerodynamischen Institut und am nächsten Tag zu seiner ‚Einberufung zur Wehrpflicht am 7. Sept. 1944, 7.00 h in Augsburg‘ führten.[17, 6]

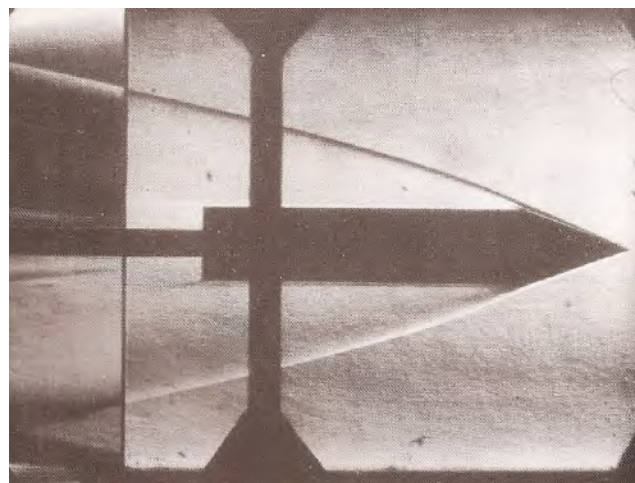


BILD 5. Siegfried ERDMANN, Peenemünde 17. April 1944: Schlierenaufnahme zur erstmaligen Hyperschall-Windkanalsimulation bei Mach 8,8 – für 15 s

## 6. ZUR STANDORTSUCHE

Bisher fehlen in der deutschen technisch-historischen Fachliteratur detailliertere Angaben zum 1 x 1 m Hyperschall-Windkanalprojekt in Kochel. Erste weitergehende Informationen erhielt der Autor vor einigen Jahren auszugswiese aus einem ‚Technical Intelligence Supplement‘ Report aus dem Jahre 1946, der inzwischen im Internet frei zugänglich ist.[18] Dieser Bericht behandelt in einem von Frank L. Wattendorf<sup>15</sup> verfassten Part III ‚Reports of

<sup>15</sup> Frank L. Wattendorf (1906-1986) war langjähriger enger Mitarbeiter Th. von Kármáns am CalTech, aber auch in den letzten Jahren von dessen Lehr-tätigkeit bis 1933 an der TH Aachen, so dass er über ausreichende Deutschkenntnisse verfügte. Die beschriebene Rundreise wurde zwischen 1. Mai und 19. Juni 1945 durchgeführt; interessant dabei der auf den Report-S. 114-117 beschriebene Abstecher zu BBC Baden, CH (zus. mit Th. von Kármán), der in [12] ausführlich abgehandelt wird. Später erwarb



selected topics of German and Swiss aeronautical developments' auf den S. 96-99 und 103-105 auch den ‚Kochel Supersonic Tunnel‘. Dies ist allerdings eine rein verbale Beschreibung der Windkanalanlage (ohne Zeichnungen), mit teilweise missverständlichen Formulierungen zum Grad der Fertigstellung der Anlage bei Kriegsende und ausser der pauschalen Ortsangabe ‚Kochel, Kochelsee‘ ohne weitere Lokalisierungsmöglichkeit. Wattendorf gilt als einer der ‚Väter des AEDC‘, womit er sicherlich durch Transfer und Inbetriebnahme des BMW-Triebwerks-Höhenprüfstands (‚Herbitus-Anlage‘) und die Errichtung des 1x1 m Hyperschall-Windkanals ‚Tunnel A‘ wesentlich beitrug. Immerhin gelang durch seine Beschreibung bereits eine zutreffende Rekonstruktion des prinzipiellen Anlagenaufbaus in Kochel, wie er in BILD 9 wiedergegeben ist.[12] Einen ersten optischen Eindruck der Mess-Streckenordnung lieferte das in [6] reproduzierte Modellfoto, BILD 11. Sehr wertvoll war auch die Veröffentlichung von Sebastian Klapdor[19], insbesondere die sehr grosszügige Weitergabe aller von ihm in 2001 in den US National Archives, College Park, MD und an der University of Alabama, Huntsville, USA unter den inzwischen sogenannten ‚Rudolf Hermann Papers‘ gesicherten WVA-Dokumente.

Auch diese Unterlagen waren zunächst keine Hilfe bei der Standortsuche, allerdings war nach der Auswertung rasch klar, dass für die Unterbringung dieser Grossanlage in keinem Fall die heute noch auf dem Nebengelände der Fa. Dorst in Kochel-Herrenkreuth stehenden WVA-Gebäude in Frage kamen. Dieser Standort (WVA I) diente allein zur Aufnahme der aus Peenemünde ab Ende 1943 in ca. 300 Güterwagen verlagerten Anlagen; als einzig sinnvolle Option blieb für die Hyperschall-Windkanalanlage ein Bereich östlich oder westlich des Walchensee-Kraftwerkes in Kochel-Altjoch, wobei unterirdische Bauwerke prinzipiell nicht ausgeschlossen waren. Dabei bot bei der Suche speziell der Bereich westlich der Kraftwerks-Rohrfallstrecke mehrere solcher Ansätze, die aber wohl alle noch aus der eigentlichen Kraftwerks-Bauphase bis 1924 stammen.

Eine eindeutige Klärung der Situation erbrachte erst ein Dokumentenfund bei einem Besuch im

---

sich Wattendorf Verdienste bei Aufbau und Leitung der NATO-Forschungsorganisation AGARD.

Bundes-Militärarchiv Freiburg (BA-MA) im Juli 2013. Der in BILD 8 verwendete, ehemals geheime Lageplan (RH 8 I/ 4756), datierend vom 15. Jan. 1944 und abgenommen durch ‚Regierungsbaumeister (Ingenieurbüro) Schlegel München 38, Guntherstrasse 29‘ zeigte deutlich etwa 200 m östlich des bestehenden Wasserschlosses ein neu geplantes und eine gerade, unterirdische Betonröhre von 3,5 m Durchmesser zum Walchensee, die dort ca. 300 m südlich vom bestehenden Einlauf des Walchensee-Kraftwerkes beginnen sollte. In Kochel-Altjoch, im Auslaufbereich in den Kochelsee beanspruchte die WVA damit im wesentlichen das 16,5 ha umfassende Gelände des ‚Lutzhofes‘ (in BILD 8 ist diese Fläche dunkel eingefärbt), für den tatsächlich ab 1943 ein entsprechendes Umsiedlungsverfahren aktenkundig ist. Damit war ein zunächst unlösbar scheinendes Rätsel gelöst, die Wasserbau-Versuchsanstalt war in Kochel tatsächlich an zwei getrennten Standorten vertreten, wie in BILD 6 markiert:

- WVA I als tägliche Arbeitsstelle in Kochel-Herrenkreuth um die ehemals Peenemünder 0,4 x 0,4 m Ueberschall-Windkanäle und
- WVA II in Kochel-Altjoch als Standort für den neu geplanten 1 x 1 m Hyperschall-Windkanal.

Dieses BILD 6 illustriert auch die mit der Bezeichnung WVA Wasserbau-Versuchsanstalt G.m.b.H. bezweckte Tarnung in relativer Nähe zur damals schon etablierten FWW in der Süd-West-Ecke des Walchensees, dem Forschungsinstitut für Wasserbau und Wasserkraft e.V. Obernach, von 1926-1952 eine eigenständige Institution, die inzwischen als ‚Versuchsanstalt Obernach‘ von der TU München unterhalten wird. Gleichzeitig wurde im WVA-Postverkehr jeder Hinweis auf Standorte am Kochelsee unterlassen, die Postanschrift lautete:

Wasserbau-Versuchsanstalt G.m.b.H.  
München 2 BS (= Bayerstrasse)  
Postschliessfach 60

und die Post wurde konsequent über Kradfahrer nach und von München abgewickelt.

Bereits in Abschnitt 2 war auf einen früheren WVA-Standort in Fischbachau-Aurach verwiesen worden, für den es bereits eine Baugenehmigung durch Rüstungsminister Speer gab, ehe die Projektverlagerung nach Kochel eingeleitet wurde. BILD 7 zeigt hierzu Planunterlagen der beiden grösseren Institutsgebäude aus dem

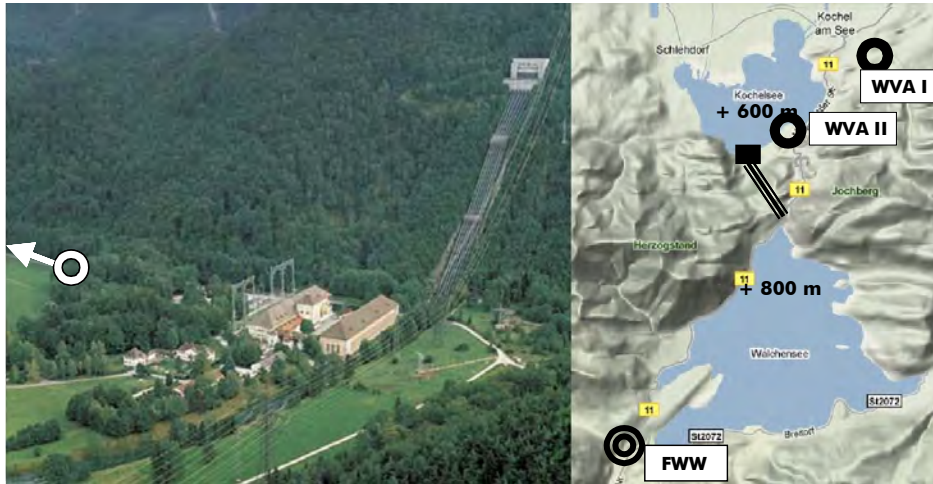
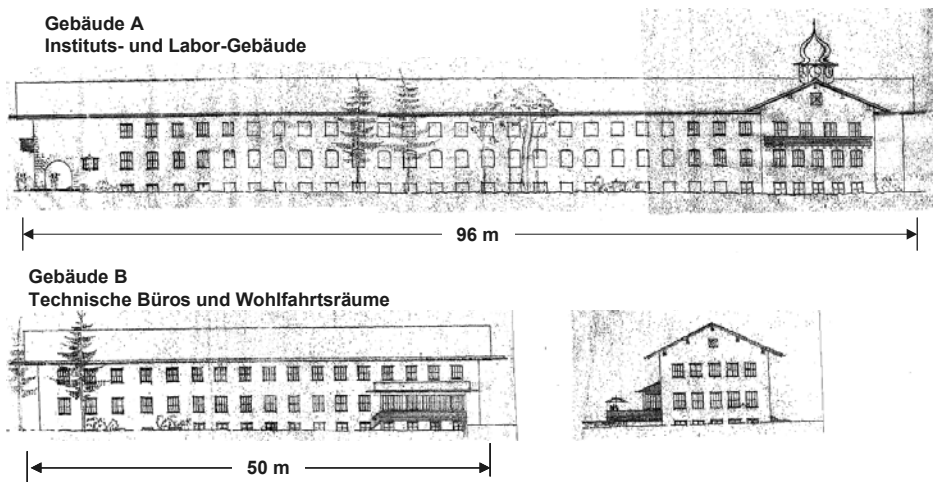


BILD 6. Walchensee-Kraftwerk mit Lagen der WVA Wasserbau-Versuchsanstalt Kochelsee GmbH



RH 8 I / 4937

BILD 7. WVA-Planung: Aerodynamisches Institut Fischbachau-Aurach/ Kochel-Altjoch ca.1942

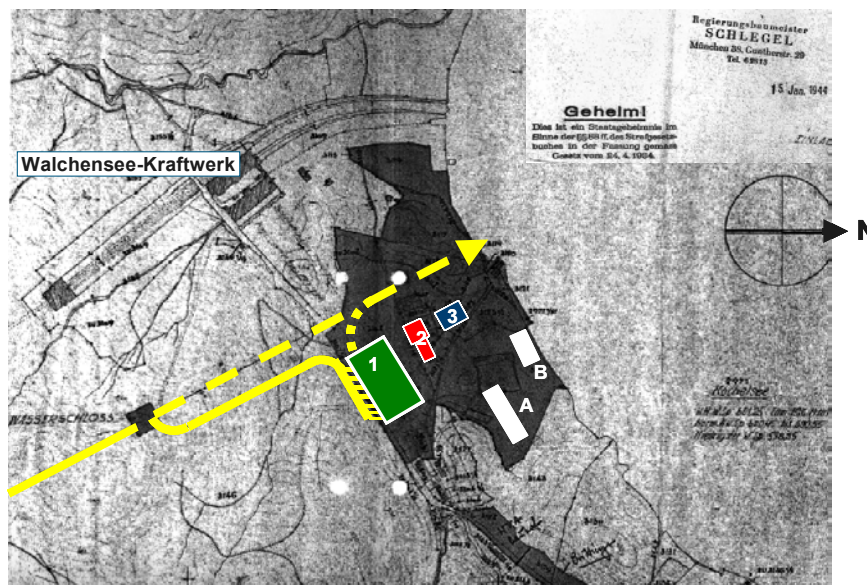


BILD 8. WVA II Lageplan Kochel-Altjoch 15.Jan.1944, RH 8 I / 4756: 1 - Maschinenhalle, 2 - Messhalle, 3 - Trocknerhalle, A - Instituts- und Laborgebäude, B - Tech. Büros und Wohlfahrtsräume

BA-MA Bestand (RH 8 I/4937). Damit wäre Büro-, Labor- und Kantinenraum (mit Seeterasse) für ca. 250 WVA-Mitarbeiter geschaffen worden. BILD 8 zeigt entsprechend diesen Vorgaben die Anordnung der Baukörper:

1 - Maschinenhalle, mit den imposanten Abmessungen von ca. 100 x 55 m zur Aufnahme des 57 MW Maschinenparks, bestehend aus vier 13 MW Voith-Freistrahlturbinen und 3 kleineren Stromgenerator-Turbinen als Antrieb für die BBC-Verdichteranlage, bestehend aus sieben 11stufigen Axialverdichtern und vier 4stufigen Radialverdichtern, hinzu kommen min. 13 Luft-Zwischenkühler bzw. -erhitzer.

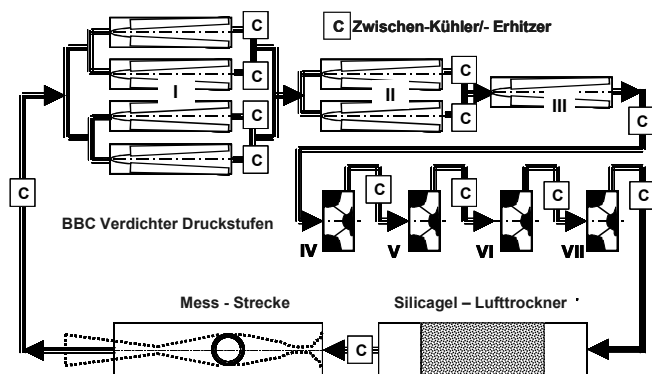


BILD 9. WVA II Geschlossene 1 x 1 m Hyperschall-Windkanalanlage mit 57 MW hydr. Antriebsleistung für BBC-Verdichterfeld: I - III 11stufige Axialverdichter, IV – VII 4stufige Radialverdichter

BILD 9 zeigt entsprechend das gesamte Anlagenschema für den Luftkreislauf, beginnend oben links mit den Verdichter-Druckstufen I – VII in der Maschinenhalle, in Strömungsrichtung gefolgt von der Silicagel-Lufttrockneranlage (in Gebäude Nr. 3 in BILD 8) und der, wie bereits erwähnt, 20 m langen Mess-Strecke mit Modellträger (in Gebäude Nr. 2 in BILD 8), bestehend aus konvergent/divergenter Lavaldüse für die jeweilige Test-Machzahl, der eigentlichen Messkammer mit Beobachtungsfenster für optische Schlieren- und Interferometrie-Aufnahmen und dem fernverstellbaren Austrittsdiffusor, ehe die Luft im geschlossenen Versuchsbetrieb zum Eintritt der vier parallel-geschalteten Axialverdichter der Verdichterstufe I zurückströmt.

Diese vier, parallel angeordneten Eingangs-Axialverdichter der Druckstufe I repräsentieren entweder einen Zwischenstand (1941) der rasch voranschreitenden BBC-Axialverdichtertechno-

logie oder es war kostenmässig ein gewisser Synergieeffekt durch die Verwendung von insgesamt 6 baugleichen 11-stufigen Axialverdichtern beabsichtigt; nachteilig wäre in jedem Fall die verlustbehaftete Luftverteilung auf 4 (I) bzw. 2 Axialverdichterstränge (II) gewesen. Diese Konfiguration wurde daher im Juni 1945 von Th. von Kármán beim Besuch bei BBC Baden, CH konkret hinterfragt, und man kann davon ausgehen, dass die AEDC-Anlage für 'Tunnel A' an diesen Stellen jeweils nur einen Axialverdichter mit einem max. Eintrittsdurchmesser von bis zu 4 m besitzt; [12, Fig. 4-48] zeigt einen entsprechenden Gehäuseabguss für eine BBC-Lieferung in die USA im Jahre 1954.

Als Muster für die in Kochel vorgesehenen grossen Getriebe-Axialverdichter in Tandemanordnung, zeigt BILD 10 die vergleichbare BBC, CH - Lieferung aus dem Jahre 1944 an die LFM. Während in dieser Abbildung nur ein Verdichter-Getriebeabtrieb besteht, war für Kochel vorgesehen, dass eine Wasserturbine von 13 MW Abtriebsleistung über die Getriebeverzweigung zwei gegensinnig drehende Axialverdichter antreibt.

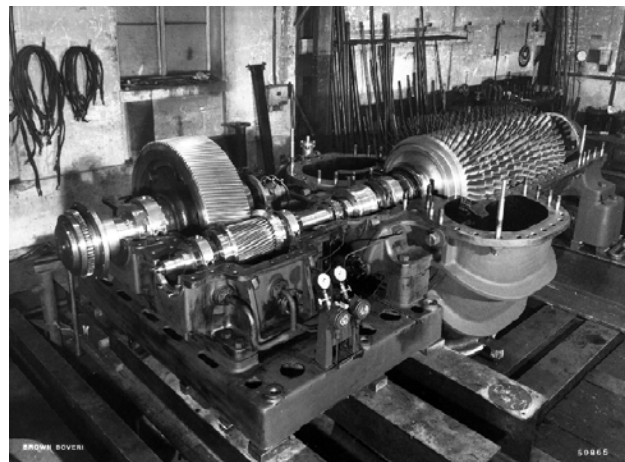


BILD 10. BBC Getriebe-Axialverdichter (19 Stufen) mit 6.5 MW Antriebsleistung, Gesamtdruckverhältnis PR=3 und 48 m<sup>3</sup>/s max. Volumenstrom für den 0,4 x 0,4 m, Ma=2,6 Uberschall-Windkanal der LFM

Insgesamt waren Vorbereitungen für äusserst flexible Verdichterschaltungen getroffen, so dass in jedem Fall die Möglichkeit des offenen und geschlossenen Kreislaufbetriebs bei unabhängig veränderlichen Mach- und Reynoldszahlen gegeben war.

2 - Messhalle In Rückgriff auf BILD 8, Gebäude Nr. 2 zeigt BILD 11 die dort angesiedelte Mess-Strecke des 1 x 1 m Hyperschall-Windkanals in einer Modellaufnahme aus dem Jahre 1941. Es ist anzunehmen, dass dieses Modell bei Lieferantenkontakten und zur Mitarbeiter-/Besucher-Information in Peenemünde eingesetzt wurde. Insgesamt sollten in dieser Messhalle vier Mess-Strecken nebeneinander installiert werden:

- a) 1,4 x 1,4 m,
- b) 1,0 x 1,0 m,
- c) 0,4 x 0,4 m,
- d) 0,25 x 0,25 m.

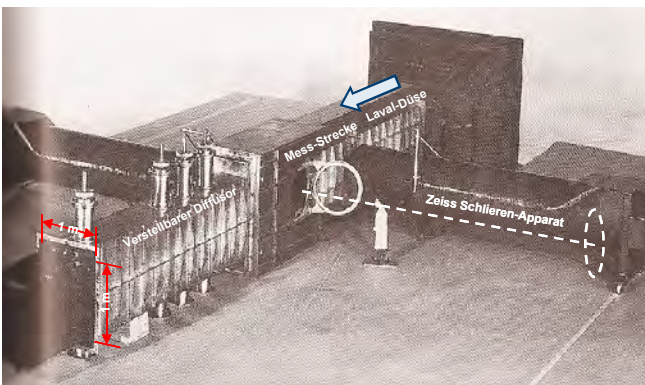


BILD 11. Anlagenmodell der WVA II Hyperschall-Windkanal 1 x 1 m Mess-Strecke, ca. 1941 (Vorderteil der Zeiss-Schlierenapparatur auf Schienen aus der Beobachtungsachse nach hinten verschoben)

Man erkennt in Durchströmrichtung zunächst die Position der für jede geplante Test-Machzahl angepassten bzw. auszutauschenden Lavaldüse, gefolgt von der eigentlichen Mess-Strecke (hier gezeigt mit geöffnetem vorderen Beobachtungsfenster) mit partiell fernverstellbarem Modellträger mit 3 Komponenten-Messwaage. Quer zur Hauptströmungsrichtung sieht man die beiden, je knapp 10 m langen, schwarzen Zylinder der Zeiss-Schlierenapparatur. Offensichtlich handelt es sich um eine im Konzept unveränderte, vergrößerte Ausführung der bewährten Peenemünder Anlage mit der auch die erste Hyperschall-Schlierenaufnahme, BILD 5, gemacht worden war. Die für Kochel vorgesehenen hochpräzisen Hohlspiegel sollten statt 0,5 m Durchmesser wie in Peenemünde auf 1,2 m Durchmesser vergrößert werden, bei gleichzeitiger Vergrößerung der Spiegel-Brennweiten von 5 auf 9,25 m. [20, 6]

3 - Trocknerhalle Sie ist im Referenz-BILD 8 als Gebäude Nr. 3 markiert, die prinzipielle Position des ‚Silicagel-Lufttrockners‘ im Windkanal-Luftkreislauf erkennt man in BILD 9. Es handelt sich im Rahmen der ingenieurtechnisch bemerkenswerten Hyperschall-Windkanalanlage um eine weitere herausragende Pionierentwicklung.

Die erste ausführlichere Darstellung dieser Anlage stammt von Klapdor[19]; danach datiert das früheste von ihm auffindbare Dokument in diesem Zusammenhang vom 10.6.1944 zur ‚Lufttrocknungsanlage für Teil A‘. Die Anlage sollte wie die deutlich kleineren Peenemünder Anlagen von der Fa. Silicagel Berlin ausgelegt, gebaut und geliefert werden. Ein Gel-Bett des Adsorptionsapparates sollte 2,18 x 12 m messen; vier dieser Betten waren in der Trocknerhalle parallel nebeneinander gestellt und in 6 Lagen mit Zwischenraum übereinander gestapelt. Die geforderte maximale Trocknungsleistung im offenen Betrieb konnte nur für ca. 1 h erwartet werden, ehe die Gel-Masse regeneriert werden musste. Zur Herstellung hatte die Fa. Silicagel einen Bedarf von 2'000 t Wasserglas und 500 t 99%ige Schwefelsäure angemeldet.

Die Baukörper der beiden in BILD 7 gezeigten Gebäude A (96 m lang) und Gebäude B (50 m lang) des Aerodynamischen Instituts wurden in BILD 8 - ohne dass bisher genaue Lagepläne für die WVA II in Kochel-Altjoch vorliegen - relativ willkürlich auf die verbliebene Freifläche verteilt.

## 7. DIE ABWICKLUNG

Im Jahr 1944 konzentrierte sich das Aerodynamische Institut in Kochel vorrangig auf die Wieder-Inbetriebnahme der verlagerten Peenemünder Anlagen in Kochel-Herrenkreuth und weiterhin auf mögliche Vorarbeiten für die Errichtung der Hyperschall-Windkanalanlage in Kochel-Altjoch; hierzu zählten:

- Bestellung (vermutlich) aller Maschinen mit längeren Lieferzeiten und teilweise Anlieferung (BBC-Radialverdichter der Stufen IV und V, BILD 9, Getriebe und E-Motoren)[12],
- Baugrund-Untersuchungen (Probebohrungen) am Fuss der neu zu bauenden Fallrohrstrecke durch das Geologische Institut der TH Wien, Prof. Stiny – offensichtlich mit zufriedenstellenden Ergebnissen,

- Vorbereitung umfangreicher Enteignungs- und Umsiedlungsaktionen für den ‚Lutzhof‘ in Kochel-Altjoch und (in geringerem Umfang) für von der WVA beanspruchte Flächen in Kochel-Herrenkreuth,
- schliesslich als wohl wichtigste und aufwändigste Erstmassnahme, die Sicherung einer ausreichenden Wasserversorgung für den Parallelbetrieb von Walchensee-Kraftwerk und Hyperschall-Windkanal aus dem gemeinsamen Reservoir Walchensee.

Zu dem letzten Punkt fanden sich im Bayerischen Hauptstaatsarchiv München eine Reihe interessanter Dokumente, deren Auswertung einer künftigen, erweiterten Bestandsaufnahme zum Thema vorbehalten bleiben muss. Hier nur ein kurzer Auszug aus einer Besprechungsniederschrift<sup>16</sup> des Reichs-Finanzministeriums Berlin vom 20. Jan. 1944 bzgl. des Tagesordnungspunktes „B. Neues Walchenseewerk“:

*... Reichsminister Speer hat zugestimmt, dass der Bau des neuen Stollens am Walchensee und die Rissbachüberleitung<sup>17</sup> als eine Bau-massnahme behandelt werden. ...*

Auch wenn vorerst weiterhin unklar bleibt, ob mit dem Bau des zusätzlichen Verbindungsstollens zwischen Walchen- und Kochelsee und der Rissbachüberleitung noch während des Krieges begonnen wurde, so war die tatsächliche Ausführung der letzteren so rasch nach Kriegsende zwischen 1947-1950 sicherlich nur auf Grundlage der Planungsvorarbeiten für das Windkanalprojekt möglich.

Am 2. Mai 1945 wurden Kochel und die WVA-Anlagen in Herrenkreuth an die vorrückenden Truppen der US Armee übergeben, ca. 2 Wochen später übernahm eine Teilgruppe des ‚von Kármán Inspection Teams‘ die wissenschaftliche Voraufklärung und danach setzte ein nahezu ununterbrochener Besucherstrom von ca. 150 westalliierten Militärs und Wissenschaftlern ein, die sich neben der imposanten Oetztal-Windkanalanlage auch Informationen

<sup>16</sup> Quelle BayHSTA MF 70475

<sup>17</sup> Der aus Oesterreich kommende, umgeleitete Rissbach erhöhte die Wasser-Zulaufmenge zum Walchensee beträchtlich, so dass die Strom-Jahresproduktion des Walchensee-Kraftwerkes im Mittel um ca. 40% stieg; bautechnisch hervorzuheben ist dabei die Unterquerung des Isarbettes und einer parallel laufenden Mautstrasse in einem ‚Düker‘.

über die deutschen Hochgeschwindigkeits-Windkanäle verschaffen wollten. Bis Mitte September 1945 wurde das normale Messprogramm mit eingespieltem Personal unter den Augen der Besucher fortgeführt. Neben von Kármáns Assistenten Frank Wattendorf (s. Abschnitt 6) und H.-S. Tsien<sup>18</sup> trat bei der Koordination vor Ort in den nächsten Monaten vor allem der Schweizer Fritz Zwicky<sup>19</sup> in Erscheinung; alle Genannten haben Beiträge zu dem umfangreichen, 1946 erschienenen Abschlussbericht [18] geliefert.

Zu den begehrtesten Objekten für eine Demontage zählte bei Amerikanern und Franzosen die Oetztalanlage, von der auch tatsächlich zentrale Bauteile in die USA verschifft wurden. Daraufhin sicherte sich Frankreich, in deren österreichischer Zone inzwischen Oetztal lag, bei den Dingler Werken, Zweibrücken, Saarland vor allem die Mess-Strecke und umfangreiche Fertigungsunterlagen für die Kochler Hyperschall-Anlage, ehe es 1947/8 zu einem endgültig ausgleichenden Deal kam und die Oetztalanlage komplett in Modane, F aufgebaut wurde – während die USA unbeschränkten Zugriff auf die WVA-Windkanäle behielten. Hier gab es inzwischen vor Ort Rivalitäten zwischen US Army und Navy, die letztendlich so gelöst wurden, dass AAF Army Air Force (erst ab 1947 USAF) wie gewünscht die Hyperschall-Anlage und – Unterlagen übernahm, während Ende 1945 die Peenemünder 0,4 x 0,4 m Ueberschallkanäle

<sup>18</sup> Hsue-Shen Tsien (1911-2009) trug wesentlich zu den Raketen- und Weltraum-Programmen der USA und ab 1955 der VR China bei. Am 5. Mai 1945 interviewte er(34) in Kochel unmittelbar nach der ersten Kontaktaufnahme W. von Braun(33) und sorgte für eine Dokumentation von dessen Ideen und Visionen. 2007 wählte ihn Aviation Week zur ‚Person des Jahres‘ und stellte in Bezug auf diese Befragung lakonisch fest: *‘No one then knew that the father of the future US space program was being quizzed by the father of the future Chinese space program‘.*

R. Hermann[8] berichtete über eine andere erstaunliche Episode im Zusammenhang mit H.-S.Tsien, der 1938 eine Theorie zu ‚Supersonic Flow Over an Inclined Body of Revolution‘[21] veröffentlicht hatte, zu der ihm Hermann nun in Kochel die bestätigenden Versuchsergebnisse vorlegen konnte.

<sup>19</sup> Fritz Zwicky (1898-1974) war Physiker und Astronom am CalTech, Pasadena, CA, USA; u.a. führte er den Begriff der ‚Dunklen Materie‘ ein. Friedrich Dürrenmatt verewigte ihn als Möbius in den ‚Physikern‘.

von Herrenkreuth im Auftrag der US Navy zum NOL Navy Ordnance Laboratory in White Oak, MD verbracht wurden und dort davon einer bis ca. 1992 genutzt wurde (GE-Hermes-Programm in Fortsetzung des A4, Flugabwehr-raketen als Weiterentwicklung der C2 ‚Wasserfall‘, Sidewinder, usw.).

## 8. VON WVA ZU VKF

Als F. Wattendorf Mitte Juni 1945 aus Europa heimkehrte, stellte er noch im Flugzeug im Auftrag Th. von Kármáns eine Windkanal-Bedarfsliste zusammen. Im Vergleich des in Deutschland Gesehenen zu dem in den USA Bestehenden schlug er einen radikalen Neuanfang in einem ‚Air Force Research and Development Center‘ vor: *“This establishment should be located near a source of large power, for instance in the Boulder Dam or Grand Coulee Dam regions.”* Die Wattendorf-Initiative rief natürlich rasch vergleichbare Ansprüche von NACA und Navy hervor, in deren Zuständigkeit künftig die Realisierung einer Kopie der Oetzal-Anlage fiel, während sich die Air Force den Neuaufbau aller Kochler Windkanäle (ausser NOL) und des BMW-Höhenprüfstands zum Ziel setzte. Bereits am 1. Jan. 1947 konnte eine konsolidierte Planung vorgestellt werden, die für fünf Air Force Anlagen einen Investitionsbedarf von 330 MUSD auswies, davon mehr als die Hälfte für den Triebwerks-Höhenprüfstand und vergleichsweise bescheidene 19,3 MUSD für das ‚Kochel Package‘, vier Windkanäle (nun in „ 1 inch = 2,54 cm):

- 55“ x 55“,
- 40“ x 40“,
- 16“ x 16“,
- 10“ x 10“,

für gestaffelte Machzahlbereiche  $Ma$  1,2–10, Eintrittsdrücke 1,4–4,5 bar und Eintrittstemperaturen zwischen 20–300 °C; für die erforderliche Gesamtantriebsleistung wurden die bereits für die WVA Kochel bekannten 57 MW (71'500 hp) genannt, alles seit 1959 zusammengefasst in der ‚VKF Von Kármán Gas Dynamics Facility‘ des AEDC Arnold<sup>20</sup> Engineering Development Center, Tullahoma, TN, USA.[18] Der in BILD 12 gezeigte Kartenausschnitt und die zugehörige Luftaufnahme geben

<sup>20</sup> General Henry ‚HAP‘ Arnold (1886-1950), Gründer der eigenständigen US Air Force, 1947

einen Eindruck zu Lage und Ausdehnung des Testgeländes. Dank Google Maps besteht auch die Möglichkeit im Satellite View einen Ausflug dorthin zu unternehmen – die VKF-Koordinaten lauten <35.382952, -86.046487>.

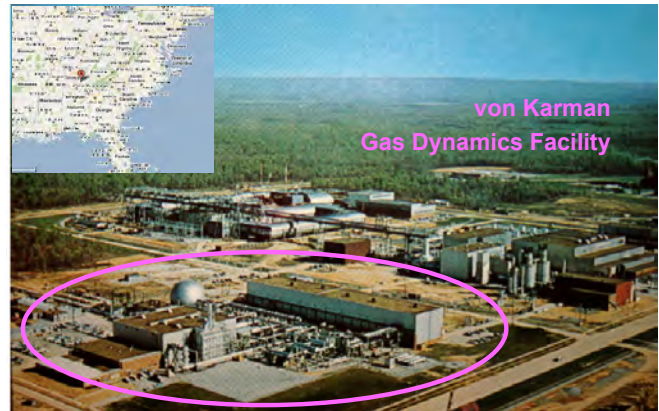


BILD 12. AEDC Tullahoma, TN, USA mit VKF Von Kármán Gas Dynamics Facility im Vordergrund

Der Betrieb dieses USAF Testzentrums ist weitgehend geheim; nach einer Veröffentlichung aus dem Jahre 2002 (ohne kleinere Kanäle) gibt es dort tatsächlich drei grosse Hyperschall-Windkanäle:

- Tunnel A, 40“x40“ für geschlossenen, kontinuierlichen Betrieb bei variabler Dichte, max. Eintrittstemperatur 140°C und einer einzigartigen Düse mit stetigem Konturverlauf zur computer-gesteuerten Machzahl-Einstellung, BILD 13. Inzwischen sind die Tunnel A Betriebs-Machzahlen nach Inbetriebnahme in 1957 wohl altersbedingt reduziert auf  $Ma = 1,5 - 5,5$ .

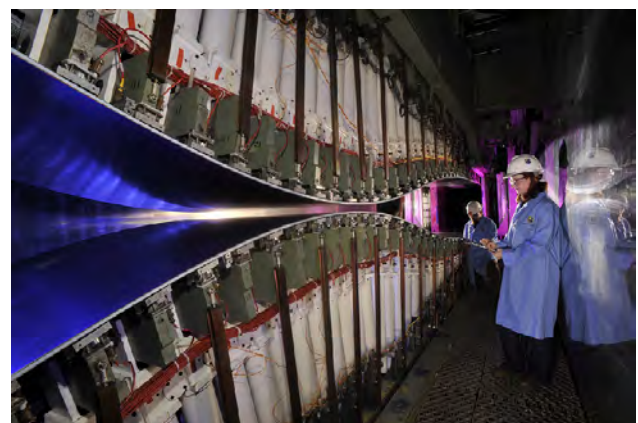


BILD 13. 40“x40“ AEDC-VKF Hypersonic Wind Tunnel A mit flexibel einstellbarer Düsenkontur

- Tunnel B, 50“ Ø für geschlossenen, kontinuierlichen Betrieb bei  $Ma = 6$  und  $8$ , max. Eintrittstemperatur 480 °C,

- Tunnel C, 50“ Ø für kontinuierlichen Betrieb zu vorzugsweise Space-Material-Untersuchungen bei Ma = 4, 6 und 10, max. Eintrittstemperatur 780 °C.

Bis Ende 1948 blieb die AEDC-Standort-Vorauswahl durch das Kochel-/Oetztal-Vorbild auf das Gebiet Moses Lake, WA mit entsprechender Wasserkraft-Versorgung beschränkt, ehe ranghohen Air Force Militärs die strategische Verletzlichkeit dieses Standortes in Analogie zu Peenemünde bewusst wurde; gleichzeitig realisierte man die kriegsbedingten Gründe für die Wasser-Antriebslösung in Deutschland, so dass nunmehr Tullahoma, TN im geschützten Binnenland und sein aufgelassenes 300 km<sup>2</sup> Camp Forrest Areal als AEDC-Standort für eines der grössten Windkanal-Testgelände weltweit festgelegt werden konnte. Heute umfasst der Arnold Engineering Development Complex (neue Bezeichnung seit Juli 2012) 58 Windkanäle, Raketen- und Strahtriebwerks-Prüfstände, Weltraum-Simulationskammern, usw.

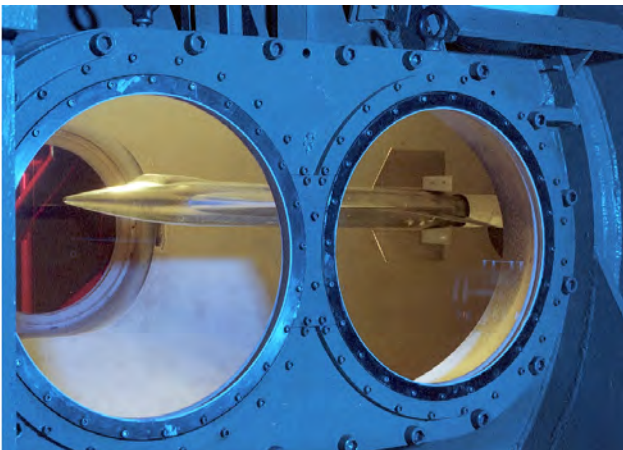


BILD 14. 1/18 Modell des NAA X-15 Raketenflugzeugs im 1 x 1 m AEDC Wind Tunnel A, ~1960

Als ein abschliessendes Beispiel für die inzwischen bereits historische Tunnel A – Nutzung zeigt BILD 14 eine Aufnahme, vermutlich aus dem Jahre 1960, der 40“ x 40“ (1 x 1 m) Messstrecke (von Dingler?) mit einem ca. 1 m langen Windkanal-Modell des X-15 Raketen-Versuchsflugzeugs der NAA North American Aviation, an dessen Entwicklung General Dornberger bei seiner Tätigkeit für Bell Aircraft Corp. Ende der 1950er Jahre beratend beteiligt war.

## 9. ZUSAMMENFASSUNG

Nach über 75 Jahren wird hier erstmals der Versuch einer wissenschaftlich-technischen Gesamtschau zum ersten kontinuierlich betriebenen Hyperschall-Windkanal für die Jahre 1940-1960 unternommen. Die Anlage repräsentierte in vielen Entwurfsaspekten technisches Neuland: der bis dahin unerreichte Windkanalquerschnitt von 1x1 m, das Machzahl-Niveau von 7-10, der erstmalige Einsatz entsprechender optischer Messverfahren, die Einführung grosstechnischer Systemlösungen, etwa bei der einzigartigen Trocknungsanlage und der mit 57 MW Gesamtleistung noch heute eindrucksvollen hydraulisch-elektrischen Antriebsanlage. Nach ersten Planungen noch in Peenemünde und der Detailplanung mit umfangreichen Vorbereitungsarbeiten in Kochel galt das Projekt bei Kriegsende zu 50-70% abgeschlossen[18], ehe schliesslich Aufbau und Inbetriebnahme bis ca. 1957 in Tullahoma, TN, USA realisiert wurden. Im Jahre 1971 wurde geschätzt, dass die USA durch den Know How Transfer im Bereich der Ueber- und Hyperschall-Windkanäle in einer kritischen Phase des Kalten Krieges (1950) ca. fünf Entwicklungsjahre einsparten.[23] Mit dieser Veröffentlichung verbindet sich die Hoffnung, dass immer noch bestehende Informationslücken zu diesem faszinierenden Projekt in absehbarer Zeit durch neues Archivmaterial und willkommene Mitarbeit, insbesondere auch aus den USA, geschlossen werden könnten.

## 10. SCHRIFTTUM

- [1] Middlebrook, M.: 'The Peenemünde Raid: The Night of 17-18 August 1943', Bobs-Merrill, Boston (1982)
- [2] Fetzer, G.: 'Windkanalanlagen für die Entwicklung der V-Waffen und anderer Raketenprojekte', Bestand RH 8 I Anh. III Wasserbauversuchsanstalt Kochel am See, Mitteilungen aus dem Bundesarchiv 1997, S. 45-49
- [3] Dornberger, W.: 'V-2 - Hitler's Space Age Missile - The secret weapon that almost changed the course of World War II', Bantam War Book 12660, The Viking Press Inc., 1954
- [4] Kanetzki, M.: 'Operation Crossbow: Bomben auf Peenemünde', Ch. Links, 2014, 144 S.

- [5] Neufeld, M.J.: ‚Die Rakete und das Reich. Wernher von Braun, Peenemünde und der Beginn des Raketenzeitalters‘, 2. Aufl., Berlin: Henschel, 1999, 400 S.
- [6] Wegener, P.P.: ‚The Peenemünde Wind Tunnels‘, New Haven: Yale Univ. Press, 1996, 187 S.
- [7] Thiel, E.: ‚Von Oetztl nach Modane – aus der Geschichte des grossen Hochgeschwindigkeitswindkanals <Bauvorhaben 101> der Luftfahrtforschungsanstalt (LFM) München, später Anlage S1 MA der Onera‘, DGLR-Jahrbuch 1986, Teil II, S. 773-795
- [8] Hermann, R. und Sherman, S.: ‚Memoirs of Dr. Rudolf Hermann‘ in Wind Tunnel Oral History, Number 2, [http://www.wolaa.org/files/Summer\\_2007\\_OHS\\_-\\_Windtunnels.pdf](http://www.wolaa.org/files/Summer_2007_OHS_-_Windtunnels.pdf) [19.10.2014]
- [9] Friedrich, R.: ‚Spuren des Nationalsozialismus im Bayerischen Oberland‘, Books on Demand Norderstedt, 2011, 227 S. [http://de.wikipedia.org/wiki/KZ-Au%C3%9Fenkommando\\_Valepp\\_Jagdh\\_aus\\_Himmler](http://de.wikipedia.org/wiki/KZ-Au%C3%9Fenkommando_Valepp_Jagdh_aus_Himmler) [19.02.2015]
- [10] Pope, A. und Goins, K. L.: ‚High-Speed Wind Tunnel Testing‘, New York: John Wiley & Sons, Inc., 1965, 485 S.
- [11] Krehl, P.O.K.: ‚History of Shock Waves, Explosions and Impact‘, Berlin: Springer, 2009, 1288 S.
- [12] Eckardt, D.: ‚Gas Turbine Powerhouse. The Development of the Power Generation Gas Turbine at BBC-ABB-Alstom‘, 2. Aufl., München: De Gruyter Oldenburg, 2014, 497 S.
- [13] Hermann, R.: ‚The Supersonic Wind Tunnel Installations at Peenemünde and Kochel and Their Contributions to the Aerodynamics of Rocket-Powered Vehicles‘, Space: Mankind’s Fourth Environment, Proceedings of the XXXII International Astronautical Congress, Rome 1981, S. 435-446
- [14] Hirschel, E.H., Prem, H. und Madelung, G.: ‚Luftfahrtforschung in Deutschland‘, Bonn: Bernhard & Graefe, 2001, 638 S.
- [15] Klee, E. und Merk, O.: ‚The Birth of the Missile. The Secrets of Peenemünde‘, London: G.G. Harrap & Co. Ltd, 1965, 126 S.
- [16] Oberth, H. (Ley, W.): ‚Die drei Gesichter der Rakete‘, in Die Gartenlaube 1930, Bibliothek des Deutschen Museums München, Sig. ZB 1680, S. 887 ff.
- [17] Erdmann, S.F.: ‚Deutsch-Niederländische Odyssee im Anlauf der Raumfahrt. Autobiografischer Zeitspiegel‘, DUP Satellite 2001, 216 S.
- [18] Tsien, H.-S., Dryden, H.L., Wattendorf, F.L., Williams, F.W., Zwicky, F. und Pickering, W.H.: ‚Technical Intelligence Supplement‘, AAF Scientific Advisory Group, HQ Air Material Command Wright Field, Dayton Oh., USA, May 1946, 177S. [http://www.governmentattic.org/vonK/TechnicalIntelligenceSupplement\\_VKarman\\_V3.pdf](http://www.governmentattic.org/vonK/TechnicalIntelligenceSupplement_VKarman_V3.pdf) [21.10.2014]
- [19] Klapdor, S.: ‚Der Technologietransfer Deutschland – USA nach dem Zweiten Weltkrieg am Beispiel der Kochel Windkanalanlage‘, GRIN 2004, 176 S.
- [20] Gattnar, K.-D.: ‚ZEISS-Schlierenapparatur im Überschall-Windkanal in Peenemünde‘, Sonderdruck aus Jenaer Jahrbuch zur Technik- und Industriegeschichte, Band 12/ 2009, S. 213-226
- [21] Tsien, H.-S.: ‚Supersonic Flow Over an Inclined Body of Revolution‘, J. of the Aeronautical Sciences, Vol. 5, No. 12 (1938), S. 480-483
- [22] Hiebert, D.M. und Steinle jr., F.W.: ‚Historical Perspective of Design Requirements For AEDC’s Propulsion Wind Tunnel and Von Kármán Facilities‘, AIAA 2010-138
- [23] Lasby, C.G.: ‚Project Paperclip: German Scientists and the Cold War‘, New York: Atheneum, 1971, 338 S.
- DANKSAGUNG Beim Zusammensetzen dieses historischen Technik-Puzzles haben mir viele Kollegen und Freunde geholfen; besonderer Dank geht an W.J. Bannink, TU Delft; M. Dorst, Kochel; K.-D. Gattnar, Jena; H.G. Hungerberg, Köln; S. Klapdor, Saxler; Th. Köhler, HTM Peenemünde; H.-J. Lichtfuss, München; R. Lory, Weilheim; H. Renner, Kochel; M. Röschner, DM München; H. Schubert, München; H. Sensen, DGLR München.
- BILDNACHWEIS
- Nr. 7, 8 Bundes-/Militärarchiv Freiburg,
  - Nr. 12,13,14 AEDC Tullahoma, TN, USA,
  - alle anderen s. [12].