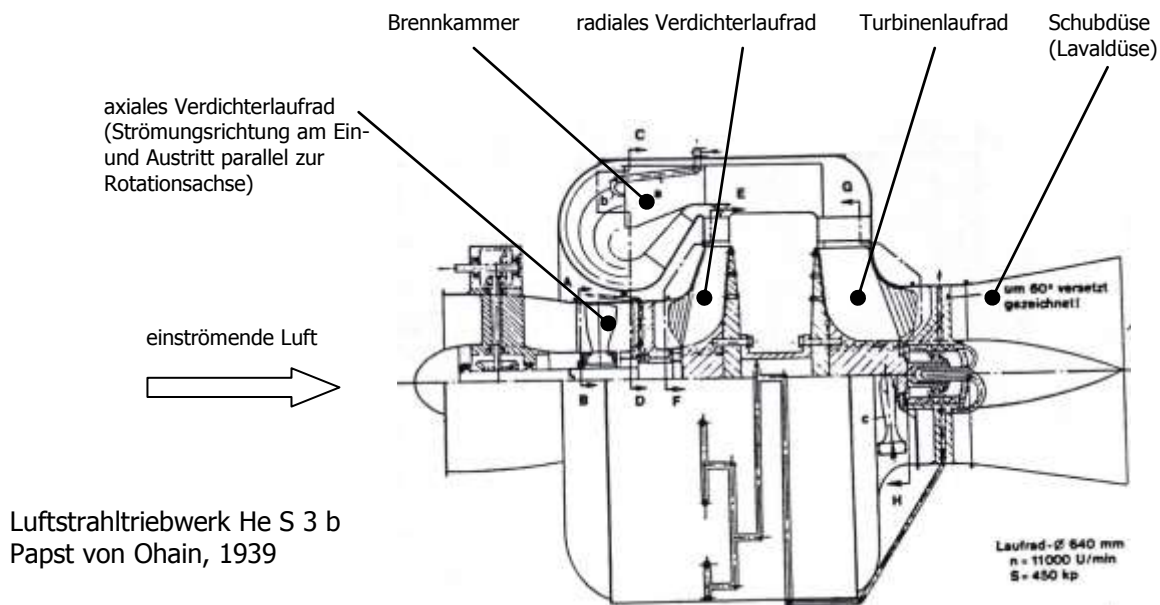


INGENIEURPROJEKT – STRAHLTRIEBWERK LOKI¹

Das erste propellerlose Motorflugzeug, die Heinkel 178, flog am 25. August 1939. Das eingesetzte Luftstrahltriebwerk bestand aus einem Turboverdichter mit einem axialen und radialen Laufrad, einer Brennkammer und einer Turbine mit einem radial angeströmten Laufrad.



Luftstrahltriebwerk He S 3 b
Papst von Ohain, 1939

Heutige Strahltriebwerke haben axiale Verdichter- und Turbinenlaufräder, Luftstrahltriebwerke sind Strömungsmaschinen.

Funktionsweise eines Turbinen-Luftstrahltriebwerks (turbojet engine)

Die einströmende Luft wird im Verdichter auf bis zu 40 bar komprimiert. Anschließend wird in der Brennkammer dieser „Pressluft“ der Kraftstoff beigemischt und stetig verbrannt. Dabei wird der Druck nicht erhöht (Gleichdruckverbrennung). Das bis zu 1400°C heiße Verbrennungsgas durchströmt die Turbine, die den Turboverdichter antreibt, und kühlt wegen des Energieentzugs auf ca. 500°C ab. Der am Turbinenausritt vorhandene Überdruck wird in der Schubdüse verlustfrei auf Umgebungsdruck abgesenkt.

Die Schubkraft des Triebwerks entsteht durch die Axialkräfte in der Strömungsmaschine (Differenz Verdichter – Turbine) und dem Überdruck am Austritt der Turbine. Der Standschub beträgt bei Großraumflugzeugen pro Triebwerk ca. 360 kN.

Vorführanlage LOKI

Die fahrbare Vorführanlage wurde im Schuljahr 2001/02 von fünf Schülern im Rahmen eines Ingenieurprojekts gebaut.

Für dieses Funktionsmodell eines Strahltriebwerks wurde der Turbolader eines Smart Dieselmotors gewählt. Das Laufzeug ähnelt dem Triebwerk He S 3 b und besteht aus einem radialen Verdichter- und Turbinenlaufrad. Das Verdichterlaufrad hat einen Außendurchmesser von 33 mm und erreicht bei einer maximalen Drehzahl von 280.000 U/min ein Verdichtungsverhältnis $\Pi=2,8$.

Mit drei Drucksensoren (Umgebungsdruck, Volumenstrommessung mit Venturirohr, Druck in der Brennkammer) und vier Temperaturfühlern (Umgebung, nach dem Verdichter, vor und nach der Turbine) wird der Betrieb überwacht und vollautomatisch mit dem Programm DASYLab aufgezeichnet. Die Drehzahl des Turbos kann über das Verdichterkennfeld abgeschätzt werden, da der Volumenstrom und das Verdichtungsverhältnis gemessen werden. Zusätzlich kann eine Abgasmessung erfolgen.

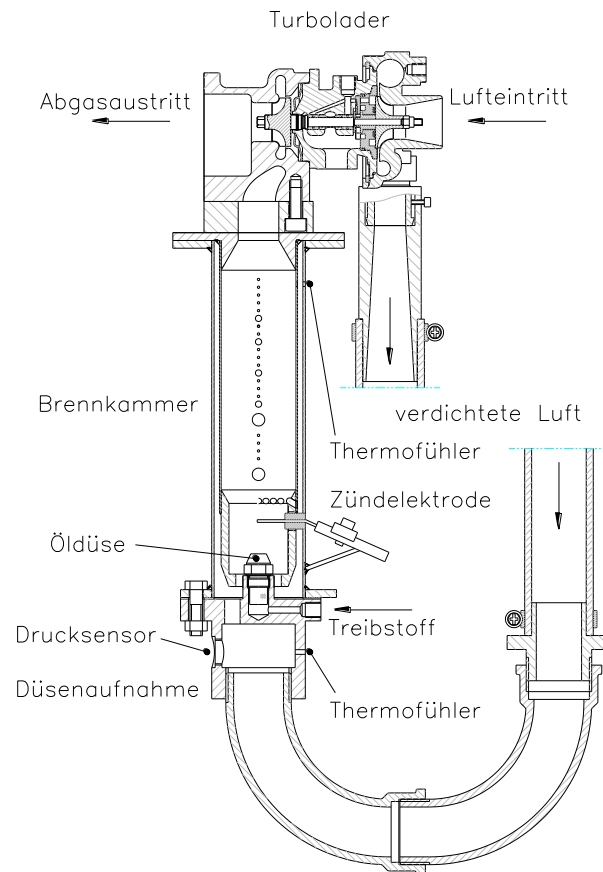
¹ LOKI = **L**ehrreiches **O**bjekt eines **k**omplexen **I**ngenieurprojekts

Im alt-nordischen Mythos ist der Gott Loki eine sehr widersprüchliche Gestalt, die mit großer Vorsicht zu behandeln ist, wie eben auch das Strahltriebwerk während des Betriebs.

Da das Strahltriebwerk mit Petroleum als Treibstoff gut funktionierte, konnte in diesem Schuljahr wieder Geld in die Anlage investiert werden. Im Rahmen einer Diplomarbeit führte der Schüler Bergkirchner eine Vielzahl von Änderungen und Verbesserungen durch. Die Anlage erreicht nun nicht nur ein höheres Verdichtungsverhältnis, sondern wird auch umweltbewusst mit Biodiesel betrieben.



Schnittzeichnung des Triebwerks



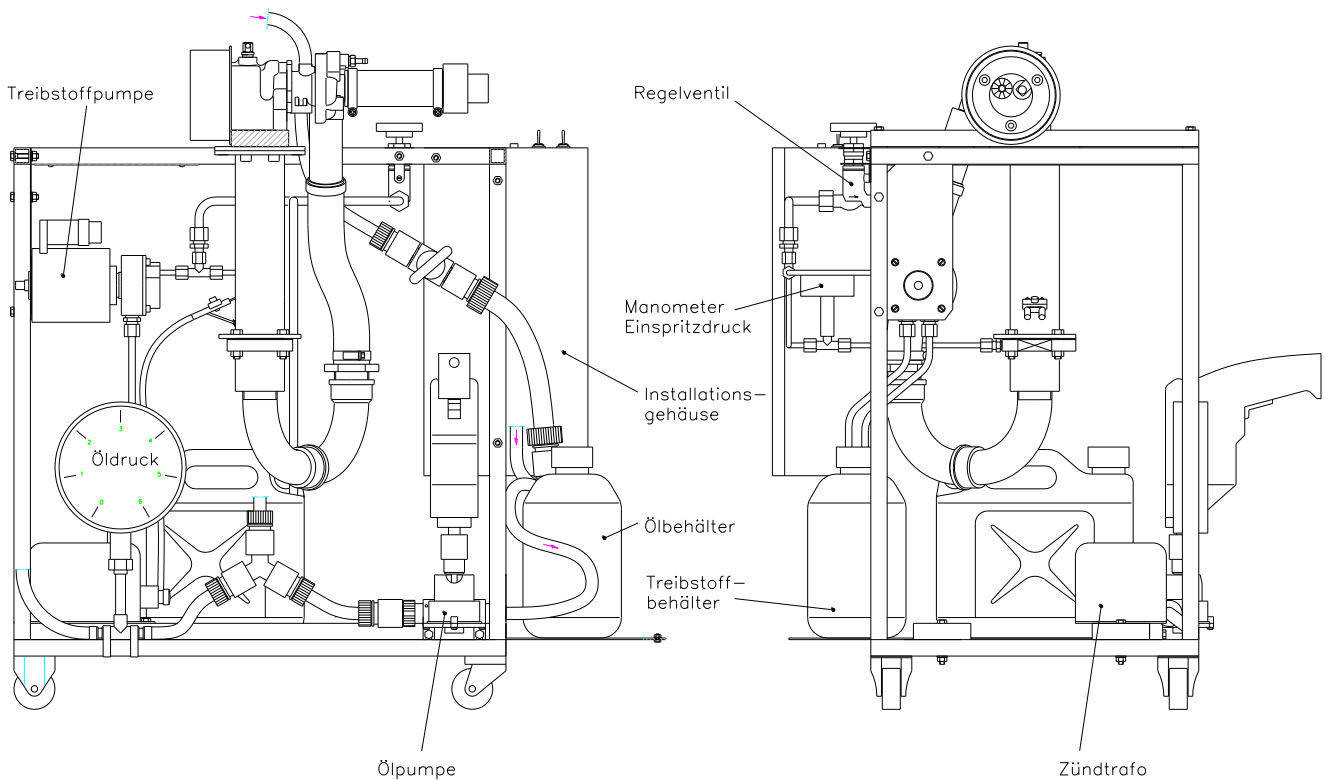
Verbesserungen an der Vorführanlage

- Für die feine Zerstäubung des Kraftstoffs mit der Öldüse ist ein Mindestdruck notwendig (z.B. Petroleum 7 bar, Biodiesel 10 bar). In der ersten Version wurde dieser Einspritzdruck mit zwei gekoppelten Pneumatikzylindern erzeugt, die samt Steuerung aus dem MSRT-Labor entlehnt wurden. Diese Lösung war gratis, begrenzte aber die Laufzeit des Turboladers auf 50 s und das Starten verlangte eine gute Koordination von drei Personen. Diese Situation wurde durch eine Ölpumpe (Innenzahnradpumpe mit 230V Motor) mit integriertem Magnet- und Überdruckventil verbessert. Sie senkt die notwendige Crew auf zwei Mann und erlaubt einen längeren Betrieb.
- Die Steuerungen für die Treibstoffpumpe und die automatische Zündung wurden in einem Installationsgehäuse untergebracht. Zwei Multifunktionsrelais steuern das Öffnen des Magnetventils (3 sec nach dem Starten der Pumpe) und das begrenzte Brennen des Zündfunken (5 sec).
- Um verschiedene Brennerdüsen (z.B. Öldüse Typ OD 60°S, Durchsatz 2,9 l/h) einsetzen zu können, werden diese in die Düsenaufnahme mit einem Gewinde 9/16"-24 UNEF eingeschraubt. Da dafür ein exotischer Gewindebohrersatz erforderlich ist (ca. €110,-; Lieferzeit 2 Wochen), wurde im Vorjahr das Innengewinde mit einem Gewindebohrer M14 hergestellt. Leider war diese Schraubverbindung nicht druckdicht, die Öldüse wurde daher mit der Düsenaufnahme hartverlötet. Nicht nur aus diesem Grund wurde die Düsenaufnahme in diesem Schuljahr neu gefertigt, gleichzeitig wurde der lichte Querschnitt vor der Öldüse vergrößert und die Luftzuführung vom Turboverdichter auf 1¼" Rohrbögen geändert.
- Die Treibstoffleitung wurde komplett erneuert. Durch ein Regelventil im Nebenstrom wird der Einspritzdruck und somit der Durchsatz durch die Öldüse verändert. Der Einspritzdruck wird an einem Manometer angezeigt. Mit Hilfe eines Diagramms wird mit dem Einspritzdruck die verbrauchte Kraftstoffmenge ermittelt.

- Veränderungen an der Schmieranlage verhindern eine Önebelbildung, die beim Starten und in der Abkühlphase durch die eingeblasene Druckluft aus dem Hausnetz entstanden ist.
- Der Anschluss an den Kamin wurde vereinfacht.
- Alle notwendigen Geräte und Leitungen wurden auf den fahrbaren Grundrahmen montiert.

Zusammenstellungszeichnung LOKI²

Um die Vorführanlage LOKI herzustellen und Informationen aus dem technischen Umfeld von Strahltriebwerken und Gasturbinen zu sammeln, benötigten die sechs Schüler ca. 950 Arbeitsstunden.



Die Schule stellte einen Betrag von €1390,- zu Verfügung. Einen großen Anteil am Erfolg haben auch viele Werkstättenlehrer (FOL Braunhofer, FL Lassl, FOL Zeiner, um nur einige namentlich zu erwähnen) und die Mitarbeiter der Fa. Duplex (Feuerungstechnik), die den Schülern immer mit Rat und Tat zur Seite standen.

² Um die Zusammenstellungszeichnung auch in dieser Größe übersichtlich darstellen zu können, wurden die Mittellinien, die Messwertaufnehmer und Teile der Schmierleitung weggelassen.

