

## Vorwort

Stephan Hloucal, Erfurt

Nachdem wir in der letzten Ausgabe Thüringer Glas in der Hochvakuum-elektronik aus historischer Sicht beschrieben haben, soll anlässlich des Internationalen Jahres des Glases 2022 diesmal Glas für elektronische Bauelemente in den Mittelpunkt gerückt werden. Es wird sicher im kommenden Jahr dazu eine Fortsetzung geben. Jubiläen sind immer ein Anlass einen Blick in den Rückspiegel zu werfen. Ohne den Blick zurück, kein zügiges Vorwärtskommen. Denn, ein Rückblick ist immer auch ein Stück Selbstvergewisserung. Bin ich (noch) auf dem richtigen Weg? Im Zuge der industriellen Revolution gewann die Nutzung der Wasserkraft zur Stromerzeugung zunehmend an Bedeutung. Diese saubere Energie hatte auch das Unternehmen Carl Zeiss für sich erkannt und am oberen Saalelauf diese Potenziale erschlossen. 100 Jahre Kraftwerk Ziegenrück, welches im Volksmund auch als Conrod-Kraftwerk bekannt ist, soll eine etwas intensivere Beschreibung wert sein und die bisherigen Aufzeichnungen von Historikern ergänzen. Des Weiteren informieren wir Sie über ein spezielles funktechnisches Thema mit Bezug zu Thüringen und über die schwierigen Bemühungen zur Überwindung der „energiewirtschaftlichen Kleinstaaterei“ in Thüringen mit der Gründung des Thüringenwerkes im Jahr 1923. 10 Jahre zuvor wurde mit der Gründung der ThELG in Gotha die Voraussetzung für die Elektrifizierung in Mittelthüringen geschaffen. Daran soll unser letzter Beitrag in diesem ON.LINE erinnern.

Wir wünschen Ihnen viel Spaß bei der Lektüre, sowie eine frohe und gesegnete Weihnachtszeit. Kommen Sie gesund ins neue Jahr und bleiben Sie uns gewogen.



Grafik von der Titelseite des Nachrichtenblatts der ThELG, Januar 1927, Jahrgang 3, Heft 1

## Inhalt

- Vorwort
- Aus aktuellem Anlass
- Historisches
- Autorenverzeichnis, Quellen, Copyrights, Impressum

## „ON.LINE“

Englische Fachbegriffe sind dem Elektrotechniker/Elektroniker hierzulande durchaus geläufig. Online steht übersetzt für gekoppelt, verbunden, abrufbereit, angeschlossen. Mit „to go on line“ / „online gehen“ gehen wir ans Netz oder gehen neudeutsch online.

Wir haben mit der ON.LINE 1.2017 den modernen on.line-Weg eingeschlagen, wollen uns mit der nunmehr 12. Ausgabe ON.LINE weiter zusammenschalten, bieten eine (Leitung) Verbindung zum fachlichen Austausch an, informieren und wünschen uns Ihren Anschluss.

Wir freuen uns über Ihre Rückkopplung.

Folgen Sie uns



Das ON.LINE 12.2022 wurde erstellt mit freundlicher Unterstützung der TEAG Thüringer Energie AG, Erfurt.

# AUS AKTUELLEM ANLASS

## Das Transport System Bögl - eine Erkundung

Stephan Hloucal, Erfurt

Mancher mag dahinter sicher ein System zum Transport von Fertigbeton vermuten, was bei dem Baukonzern Max Bögl auch naheliegen würde. Max Bögl, ein Familienbetrieb mit Hauptsitz im oberpfälzischen Sengenthal, Spezialist, wenn es um Verkehrswege, Fahrwegtechnologie, Hochbau, Brückenbau und Ingenieur-/Bautechnologie geht, hatte bereits die Fahrwege für den Transrapid in der Transrapid-Versuchsanlage (TVE) in Lathen und den seit 2002 im chinesischen Shanghai im Betrieb befindlichen Transrapid Shanghai (TR 08) gebaut. Die Gesellschaft zur Förderung der Magnetschwebetechnologie (GFM) e. V. war zu einer Exkursion zu Max Bögl eingeladen, an der ich teilnehmen konnte. [1] Etwas außerhalb von Sengenthal hat der Baukonzern seinen Stammsitz. Direkt neben einer Betonmischanlage, unmittelbar an der Bundesstraße 299, befindet sich das TSB-Zentrum und eine 840 m lange Teststrecke. Wie von Geisterhand bewegt, schwebt das TSB-Versuchsfahrzeug, vollautomatisch und führerlos, über die Strecke.



TSB auf der Teststrecke



Blick von der 10%igen Steilrampe auf die Teststrecke



Profil des TSB-Fahrwegs

Zu hören ist nur das von modernen Straßenbahnen gewohnte leise Summen der elektronischen Umrichter. Die Teststrecke realisiert eine Steigung von 10%, eine Querneigung von 8° und teilweise einen Kurvenradius von 45 m.

Nachdem 2011 die TVE in Lathen stillgelegt wurde und der betriebsfähige TR 09 im Rahmen einer VEBEG-Versteigerung 2016 an die Wurstfabrik Kemper in Nortrup verkauft wurde, schien die Zukunft der Magnetschwebetechnologie in Deutschland endgültig besiegelt. Doch der Fahrwegspezialist Max Bögl entschloss sich zu einer eigenen Weiterentwicklung. Das Transport System Bögl (TSB) soll im Nahverkehr Geschwindigkeiten bis zu 150 km/h realisieren und wurde ab 2010 völlig neu entwickelt. Das vom Transrapid her bekannte Trag-, Führ- und Antriebssystem, welches den Fahrweg umgreift, wurde zugunsten eines schmaleren trogförmigen Fahrwegs aus Beton-Fertigteilen aufgegeben, bei dem sich das Antriebssystem mit den Trag- und Antriebsmagneten im Fahrzeug befindet. Hier wird der wesentliche Unterschied zum Transrapid deutlich, bei dem der Fahrweg den Langstatorantrieb-Linearantrieb realisiert und das Fahrzeug, passiv schwebend, geführt und mitgezogen wird. Im TSB-Fahrweg befinden sich nur die 750-Volt-Gleichstromversorgung für das Fahrzeug über Stromschiene und die Magnetreaktions-schiene; er ist also passiv.

Die elektrischen Tragsmagnete, die das Fahrzeug in der Schwebelage halten, stellen gleichzeitig den asynchronen Kurzstator-Linearantrieb dar. Dazu dienen an beiden Seiten des Fahrgestells angeordnete Elektromagnete, rechts und links jeweils zehn Magnetpaare, die mit einer Wechselspannung versorgt werden, deren Frequenz der Fahrgeschwindigkeit

proportional ist, und die das Fahrzeug nach oben zur Magnetreaktionsschiene ziehen. So bleibt das Fahrzeug in der Schwebelage. Die über Schleifkontakte den Stromschiene entnommene Gleichspannung versorgt die steuerbaren Umrichter, die aus der zuverlässigen Straßenbahntechnik adaptiert wurden. Das ist übrigens der einzige ständige mechanische Kontakt zum Fahrweg. Wenn das Fahrzeug sich nicht in der Schwebelage befindet, ist es mittels Gleitelementen auf dem Fahrweg abgestellt, welche auch bei einem Nothalt für eine sanfte Gleitbremsung sorgen. Auffällig ist, dass beim TSB-Fahrzeug seitliche Führmagnete nicht vorhanden sind. Die beidseitig angeordneten Trag- und Antriebsmagnetpaare sorgen für eine gewisse „Spurtreue“ und darüber hinaus sichern seitlich angeordnete Gleitelemente bedarfsweise für eine zusätzliche Seitenführung. Bei den vorgesehenen Schwebegeschwindigkeiten von etwa 150 km/h halten die TSB-Entwickler das für ausreichend. In der Montagehalle waren Fotoaufnahmen strikt untersagt.



Weiche im TSB-Fahrweg

Zu sehen war ein Antriebs- und Schwebegestell. Daneben eine TSB-Fahrgastzelle. Das Antriebs- und Schwebegestell ist universell einsetzbar und zwar sowohl für den Personentransport mit der Fahrgastzelle als auch für den Gütertransport, z. B. mit einem 40-Fuß-Container. Gegenwärtig wird vor und in der Halle ein zweiter Fahrweg gebaut. Eine asymmetrische Y-Weiche ist bereits im Fahrweg installiert. Sie besteht aus mehreren Betonelementen, die auf Schienen geführt werden. Dafür gibt es nur einen zentralen elektrischen Antrieb.



Blick in die TSB-Montagehalle



TSB bereit zur Abfahrt



Fahrgastinnenraum des TSB-Fahrzeugs

Technische Informationen, insbesondere zum elektromagnetischen Antriebssystem des TSB, gibt es kaum. Stattdessen wirkt das futuristisch anmutende Fahrzeug eher emotional, was sicher auch so gewollt ist. Farbgebung, Form und Beleuchtung setzen das TSB, auf dem eher nüchternen Betonfahrweg, sehr gut in Szene. So auch in den Werbeprospekten und verfügbaren Videosequenzen, die übrigens teilweise in China entstanden sind. Als Nahverkehrssystem kann es bestehende Rad-Schiene-Systeme gut ergänzen und mit einer ganzen Reihe von Vorteilen gegenüber Letzterem überzeugen. Zu wenig wird allerdings bei der Magnetschwebetechnologie in den Vordergrund gestellt, dass es keine drehenden Teile, keinen Abrieb an mechanischen Bremsen, keine Räder und Schienen gibt, die einem geschwindigkeits- und belastungsabhängigen Verschleiß unterliegen. Im Gegensatz zu den Rad-Schiene-Systemen, wo die dauerhaften Instandhaltungskosten für rollendes Material, Schienenwege und Oberleitungen immens sind und dauerhaft zu Buche schlagen. Zudem gibt es ein nicht zu verachtendes Feinststaubproblem durch Abrieb von Rädern, Schienen und Bremsen sowie durch den Staub von fein zermahlenem Quarzsand, der die Haftreibung beim Anfahren verbessern soll. [3] Beim TSB ist lediglich ein geringer Verschleiß an den Stromabnehmern und den Gleitelementen zu verzeichnen. Für etwas Schmutzeln sorgt ein Piktogramm im Fahrzeug, welches die vorrangige Belegung einer der wenigen Sitzplätze kennzeichnen soll. In Bayern kann man allerdings nicht sicher sein, ob bei der oben dargestellten Person eine Frau in guter Hoffnung oder ein ruhebedürftiger Biergartenbesucher gemeint sein soll.



Sitzplatzreservierung im TSB



TSB vor dem Versuchszentrum

Das Transport System Bögl ist die umweltfreundliche, nahezu geräuschlose und effiziente Antwort auf die steigenden Mobilitätsanforderungen in urbanen Ballungsräumen. Sicher ist es auch geeignet, bestehende, verschleißträchtige S- und U-Bahnen abzulösen. Vom Lichtraumprofil und der Kurvengängigkeit her, könnte das TSB in vorhandene, natürlich vorher „entgleiste“, U-Bahn-Schächte, implementiert werden. Man darf gespannt sein, wann die erste U-Bahn-Großstadt damit beginnt. Zunächst ist der TSB schon mal in den politischen Fokus der bayerischen Metropole München gerückt. In der Diskussion sind verschiedene Trassen zur Verlängerung vorhandener U-Bahn-Strecken in München. [4] Zu hoffen ist, dass dieses innovative Magnetschwebetransportsystem endlich eine erste deutsche Referenzstrecke bekommt, und nicht

so endet, wie der im Winde „zerstoiberte“ Münchener Transrapid. [5] [6] Immerhin schwebt der TSB schon seit drei Jahren auf einer 3,5 km langen Demonstrationsstrecke im chinesischen Chengdu. [7] [8]

#### Technische Daten:

Fahrzeuglänge: 12 m (40 ft)  
Personentransport bzw. Cargo  
Breite: 2,85 m  
Leergewicht: 18,5 t  
Zuladung: 9,5 t  
Zugfolgezeit: 80 s  
Transportkapazität: max. 35.000 Personen pro Stunde pro Richtung bzw. 180 Container pro Stunde pro Richtung  
Beschleunigung/Verzögerung: 1,3 m/s<sup>2</sup>

#### Quellen:

- [1] <http://www.gfm-magnetbahn.org/de/index.html>
- [2] TSB-Transport System Bögl, Prospekt der Max Bögl Bauservice GmbH & Co. KG, 2021
- [3] <https://www.maglevboard.net/en/research/360-feinstaub-particulate-matter-in-high-speed-rail-and-maglev-systems>
- [4] <https://www.sueddeutsche.de/muenchen/muenchen-verkehr-magnetbahn-1.5264307>
- [5] <https://www.youtube.com/watch?v=f7TboWvVERU>
- [6] [https://de.wikipedia.org/wiki/Transrapid\\_M%C3%BCnchen](https://de.wikipedia.org/wiki/Transrapid_M%C3%BCnchen)
- [7] <https://mbquadrat.max-boegl.de/tsb-china/>
- [8] <https://max-boegl.de/news/tsb-knackt-hoehstgeschwindigkeit-in-china>

Alle Bildquellen: Stephan Hloucal

## Buchempfehlungen

*Stephan Hloucal, Erfurt*

### Die Technische Hochschule Ilmenau - eine sozialpolitische Studie

Unter diesem Titel hat die Technische Universität (TU) Ilmenau im Mai dieses Jahres die Ergebnisse der Forschungen des Historikers Dr. phil., Dipl.-Ing. Reinhard Buthmann herausgegeben. „Das Anliegen der Studie besteht in der Erforschung der an der Technischen Hochschule (TH) Ilmenau konkret umgesetzten

Hochschul- und Wissenschaftspolitik der SED im Zusammenhang mit der Überwachung der technischen Intelligenz durch die Staatssicherheit. Im Fokus der Forschung stand die Beantwortung der Frage nach den vielfältigen politischen Implikationen in den sozialen Feldern der Ilmenauer Hochschule. Methodisch stellt die Studie eine empirische Wissenschaftsforschung mit historisch-soziologischer Grundausrichtung dar, und dies mit besonderem Augenmerk auf verdeckte Steuerungsinstrumente im Rahmen der Hochschul- und Wissenschaftspolitik der SED seitens dem Ministeriums für Staatssicherheit (MfS).“



Das vorliegende Buch ist Ergebnis des 2014 vom Thüringer Landesbeauftragten des Freistaats Thüringen für die Aufarbeitung der SED-Diktatur an den Bundesbeauftragten für die Unterlagen des Staatssicherheitsdienstes der ehemaligen DDR gestellten Forschungsauftrags, an dem auch die Technische Universität (TU) Ilmenau, der Förder- und Freundeskreis der TU-Ilmenau e.V. und der Verein „Gesichter geben - Opfer der Diktatur von 1945 bis 1989 in Ilmenau“ e.V. mitgewirkt haben.

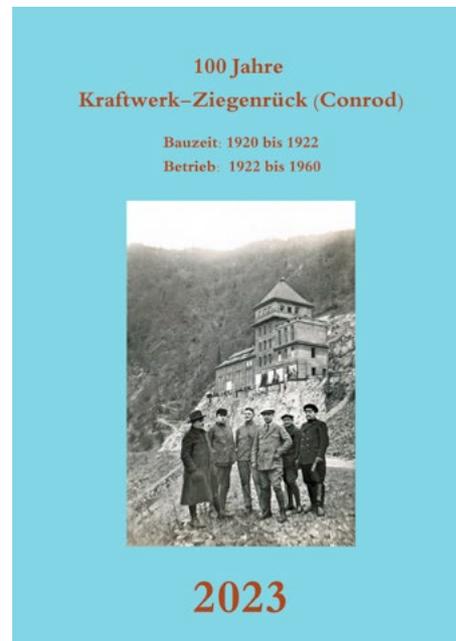
Das Werk mit 664 Seiten, ISBN: 978-3-86360-257-4, ist zum Preis von 35 Euro über den Buchhandel zu beziehen bzw. über den Buchshop der TU Ilmenau: <https://www.bod.de/buchshop/die-technische-hochschule-ilmenau-reinhard-buthmann-9783863602574>

## Das Conrod-Kraftwerk Ziegenrück

Anlässlich der 100-jährigen Inbetriebnahme des „Conrod-Kraftwerkes“ Ziegenrück, beschreibt Dipl.-Ing. (FH) Andreas Schmidt, der fast 30 Jahre lang das Wasserkraftmuseum in Ziegenrück geleitet hat, die wechselvolle Geschichte dieses Industriedenkmals, von der Planung, über Bau und Betrieb, bis zur Stilllegung 1960, aus verschiedenen technischen und sozialen Perspektiven, mit all den damaligen Problemen und Schwierigkeiten. Der Leser wird in eine Zeit des energietechnischen Aufbruchs nach dem 1. Weltkrieg versetzt, in welcher die Firma Carl Zeiss Jena neue, kostengünstige Möglichkeiten der Energiegewinnung an der oberen und mittleren Saale zur „restlosen Ausnutzung der Saale Wasserkraft von Hirschberg bis Zeutsch“, auf etwa 132 km Flusslauf, auslotete und dabei auch z. T. unkonventionelle Wege beschritt. Der Autor konnte auf viele originale Quellen, aus dem umfangreichen Zeiss-Archiv und Archivgut vom Wasserkraftmuseum Ziegenrück, zurückgreifen. Es entstand ein reich bebildertes Werk, welches mit vielen, bislang unbekannt Details aufwarten kann. Das Buch ist ein wichtiger Beitrag zur Erforschung Thüringer Industriekultur und stellt eine wertvolle und unverzichtbare Ergänzung der bisherigen Arbeiten von Historikern dar.

Das Buch hat 144 Seiten, kostet 30 Euro und kann beim Autor: Andreas Schmidt, Elsenau 14, 07924 Ziegenrück, blitz59@web.de, plus Versandkosten, bzw. über den Buchhandel mit der ISBN: 978-3-00-073872-2 bezogen werden.

Aus demselben Anlass hat der Verein zur Erforschung der Wasserkraftnutzung an der oberen Saale e.V. einen Bild-Kalender für das Jahr 2023 herausgegeben, welcher über den Buchbinder, Dirk Zaumsegel, Marktstraße 15, 07924 Ziegenrück, <https://www.bubi.zaumsegel.de/kalender.html>, per Mail: d.zaumsegel@gmx.de, bezogen werden kann.



## Zum International Year of Glass (IYOG) der UN: 2022

### Glas in der Elektrotechnik – Rückblick auf eine Ausstellung

Das „Kleinste Elektro- und Heimatmuseum der Welt“ im Ortsteil Döhlau der Gemeinde Frankenblick beteiligte sich am 15.10.2022 an der (langen) Regionalen Museumsnacht zwischen Rauenstein und Coburg. Gut 60 Besucher – mehr als der kleine Ort Einwohner aufweist – konnten im unteren Effeldertal von den Mitgliedern der Initiative Kultur, Natur, Döhlau (zum Rauensteiner Kultur- und Heimatverein gehörend) begrüßt werden. Das kleine Museum – ein ehem. Trafoturm – mit der Ausstellung zur Strom- und Heimatgeschichte des Ortes und unweit davon entfernt in der Kulturscheune eine kleine Reise durch die Glasgeschichte in Thüringen waren zu besichtigen. Vom grünen Waldglas bis zum Glasfaserkabel konnten anhand von etwa 100 Exponaten aus dem Fundus des Thüringer Museums für Elektrotechnik und der TEAG Thüringer Energie AG unterschiedlichste technische Anwendungen des Glases betrachtet und auch bestaunt werden. Dazu gehörten auch Sende-, Empfänger- und Fernrohrrohre, Glühlampen, Metalldampfampe für Straßenbeleuchtung und gläserne Leuchtschirme, Laborgläser und Glas für die heutigen Photovoltaikmodule. Altes Installationsmaterial war zu sehen wie auch Treppenlichtautomaten mit Quecksilberschalter. Viele Erinnerungen wurden wieder wach; so herrschte an dem langen Abend an Gesprächsstoff kein Mangel. Die Döhlauer hatten zudem für die kulinarische Verpflegung gesorgt. Das regnerische Wetter konnte die Begeisterung der Besucher nicht löschen – genauso wenig das lodernde, wärmende Lagerfeuer.



*Kleinstes Elektro- und Heimatmuseum der Welt, angestrahlt am 15.10.2022*



*Glasausstellung in der Kulturscheune, 15.10.2022  
(beide Fotos: Wolfgang Deschner)*

## Glas für elektronische Bauelemente

*Gerhard Roleder, Erfurt*

Die Vereinten Nationen haben das Jahr 2022 zum Jahr des Glases erklärt. In der betreffenden Erklärung [1] wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass der Werkstoff Glas neben Schmuck und Dekoration auch viele bedeutende technische Anwendungen kennt. Im Laufe des Jahres gab es einige Ausstellungen und Veranstaltungen, die sich auf unterschiedliche Weise dem Thema widmeten. Zu einer großen Resonanz, wie sie zum Beispiel das Bauhaus-Jahr erfahren hat, ist es allerdings nicht gekommen. Enttäuscht sein muss man darüber nicht. Schließlich sind Glasherstellung und Glasverarbeitung in Thüringen seit Jahrhunderten ein Dauerbrenner im wörtlichen und im übertragenen Sinn. Ein Glas Wasser in die Ilm zu gießen, könnte dafür als sinnbildlicher Vergleich stehen.

## Schwierigkeiten mit der Definition

Die Einteilung der Gläser nach ihrer chemischen Zusammensetzung ist derart vielseitig, dass es keine allumfassende Definition gibt. Beschränkt man sich auf die Gruppe der Silikatgläser, also solcher Glas-typen, die hauptsächlich aus Siliziumdioxid bestehen, kann man die in diversen Nachschlagewerken formulierte Definition verwenden. Danach ist Glas ein menschengemachter, nichtmetallischer Werkstoff mit unregelmäßiger (amorpher) Atomstruktur. Glas wird durch einen Schmelzprozess hergestellt und hat im Unterschied zu Metallen keinen definierten Schmelzpunkt, sondern einen Temperatur-Übergangsbereich, in welchem das Glas von einem festen in einen zähflüssigen Zustand übergeht.

## Technologie im Wandel

Beeinflusst durch die Verfügbarkeit von Rohstoffen und die unterschiedlichen Anforderungen der Anwender, unterliegt die Fertigungstechnologie bis heute einem stetigen Wandel. Die ältesten, noch nicht ortsfesten handwerklich betriebenen Glashütten sind im Thüringer Raum aus dem 12. Jahrhundert bekannt. Die älteste Glashütte bestand 1183 in Königsbreitungen, dem heutigen Breitungen an der Werra. Urkundlich ist 1196 auch eine erste Glashütte in der Umgebung von Klosterlausnitz

belegt. Als erste ortsfeste Glashütte im Thüringer Wald gilt die von 1525 bis 1589 bestehende Dorfglashütte Langenbach bei Schleusingen, die auch als „Mutterglashütte“ bezeichnet wird, da von ihr weitere Gründungen ausgingen.

Die ersten Glashütten in den Orten Gehlberg, Ilmenau und Stützerbach entstanden zwischen 1645 und 1675. [2] Außer dem Hauptbestandteil Sand ( $\text{SiO}_2$ ) wurde damals ein beträchtlicher Teil Holzasche dem Gemenge als Flussmittel beigefügt. Ein erster technologischer Meilenstein war die schrittweise Verwendung von Pottasche (Kaliumkarbonat,  $\text{K}_2\text{CO}_3$ ) als Flussmittel, das ab der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts aus Buchen- und Eichenholz gewonnen wurde. Die mit der steigenden Glasproduktion verbundene Abholzung der Wälder beruhte überwiegend auf der Aschegewinnung und nur zu einem geringen Teil auf der Verwendung von Holz als Brennstoff für die Schmelzöfen. Einen regelrechten Durchbruch zur Herstellung größerer Mengen von Silikatgläsern brachte eine weitgehende Reduzierung des Pottasche-Anteils zugunsten von Soda (Natriumkarbonat,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ). Die großtechnische Sodaherstellung nach dem Leblanc-Verfahren ab 1791 und dem seit 1860 bis heute praktizierten Solvay-Verfahren ermöglichen eine preisgünstige Massenproduktion von Glas. Das Solvay-Verfahren ist allerdings auch nicht gänzlich frei von Umweltbeeinträchtigungen.

Außer Siliziumdioxid und einem Flussmittel werden bei der Glasherstellung durch die Zugabe von Natrium-, Kalium- und Kalziumoxid Eigenschaften wie mechanische Festigkeit, chemische Beständigkeit und Färbung beeinflusst. In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts wurde „Thüringer Apparateglas“ auch außerhalb der Region bekannt. Zunächst bemerkten die Hersteller, dass der Sand aus Martinroda/Oberpörlitz eine gute Verarbeitbarkeit ermöglichte. Bei längerer Verweilzeit in der Flamme war die Tendenz zum Rau- oder Mattwerden geringer. Erst 1887 fand Otto Schott in Jena die Ursache: Ein geringer Prozentsatz von Tonerde (Aluminiumoxid,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) unterscheidet diesen Sand von dem anderer Abbau-Gebiete. Tabelle 1 zeigt die Zusammensetzung eines typischen Thüringer Apparateglases.

Oxid	Formel	Masse-%
Siliziumdioxid	$\text{SiO}_2$	68,0
Aluminiumoxid	$\text{Al}_2\text{O}_3$	3,5
Natriumoxid	$\text{Na}_2\text{O}$	16,6
Kaliumoxid	$\text{K}_2\text{O}$	3,5
Kalziumoxid	$\text{CaO}$	8,5

Chemische Zusammensetzung eines typischen Thüringer Apparateglases [3]

## Harte und weiche Gläser

Eine wichtige physikalische Größe zur Beschreibung von Glaseigenschaften ist der thermische Längenausdehnungskoeffizient  $\alpha$  (Alpha). Es handelt sich um eine stoffspezifische Größe, welche die relative Längenänderung bei einer Temperaturänderung angibt. Die Maßeinheit für  $\alpha$  ist  $\text{K}^{-1}$  (Kelvin hoch minus 1). Neben einer messtechnischen Ermittlung kann die temperaturabhängige Länge eines Körpers mittels einer Differentialgleichung berechnet werden. Für viele Anwendungen kann die temperaturabhängige Länge hinreichend genau mit folgender Näherungsformel berechnet werden:  $L \approx L_0 (1 + \alpha \cdot \Delta T)$  mit  $L_0$  = ursprüngliche Länge,  $\Delta T$  = Temperaturdifferenz

Anhand der Werte von Längenausdehnungskoeffizienten werden Gläser in die Kategorien hart, mittelhart und weich eingeteilt. Dabei gilt generell, dass mit steigender Härte die Verarbeitungstemperatur eines Glases steigt. Harte Gläser benötigen eine höhere Temperatur als weiche Gläser, um eine bestimmte Viskosität zu erreichen. Die Bezeichnungen „hart“ und „weich“ beziehen sich in diesem Zusammenhang ausschließlich auf das Temperaturverhalten der Gläser und haben hier nichts mit einer mechanischen Eigenschaft zu tun.

Glasbezeichnung	Ausdehnungskoeffizient $10^{-7} \text{ K}^{-1}$ (20 bis 100 °C)
Weiche Gläser (Thüringer Glas)	100 bis 80
Mittelharte Gläser	70 bis 60
Harte Gläser	50 bis 30
Quarzglas	6 bis 5

Einteilung der Gläser [4]

Die Bezeichnung „Thüringer Glas“ wurde von mehreren Herstellern als Hinweis auf Apparate-Weichglas verwendet. Die Bezeichnung ist nicht regional geschützt. Heutige Hersteller verwenden eigene Markennamen.

## Glas für Röntgenröhren

Wilhelm Conrad Röntgen (1845–1923) arbeitete Ende des 19. Jahrhunderts mit Glasbläsern in Gehlberg und Stützerbach zusammen, um spezielle Gasentladungslampen zu konstruieren, die unsichtbare X-Strahlen erzeugen. Die Glaskörper der ersten Röntgenröhren bestanden aus einem Glas, das in seiner Zusammensetzung dem Thüringer Apparateglas nach Tabelle 1 ähnelte. Im Unterschied zum klassischen Glas wurde der Anteil von Aluminiumoxid auf 5% erhöht. Damit hatte Max Gundelach in Gehlberg ein Glas kreiert, das viele Jahre als Standardglas



Der Hafenofen in der ehemaligen Fischerhütte ist heute technisches Denkmal (Foto: Autor)

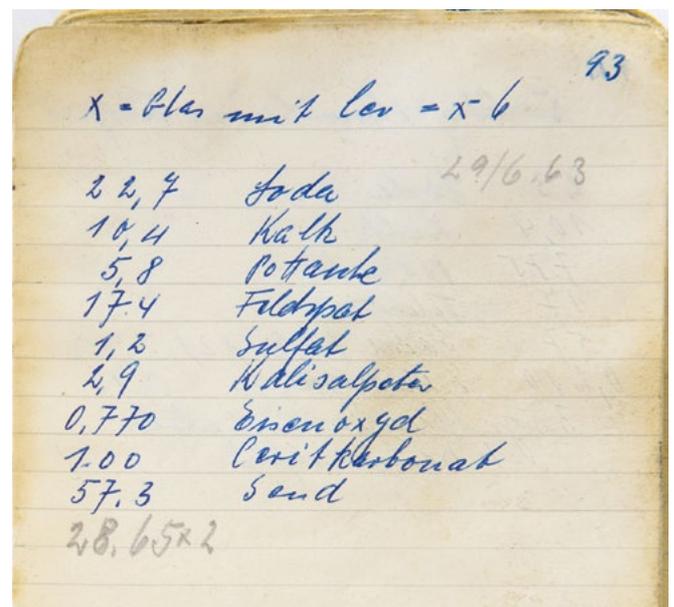
für Röntgenröhren diente und auch von anderen Glashütten hergestellt wurde. [5] Dieses ab 1890 hergestellte Glas zeichnete sich dadurch aus, dass die Ausdehnungskoeffizienten des Glases und der eingeschmolzenen Kontaktdrähte aus Platin weitgehend übereinstimmten, die Wasserhautbildung bei der Evakuierung gering blieb und der elektrische Isolationswiderstand ausreichend hoch war.

Oxid	Formel	Masse-%
Siliziumdioxid	SiO <sub>2</sub>	67,5
Aluminiumoxid	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,0
Natriumoxid	Na <sub>2</sub> O	15,0
Kaliumoxid	K <sub>2</sub> O	5,0
Kalziumoxid	CaO	7,5

Chemische Zusammensetzung des in Gehlberg hergestellten Standardglases für Röntgenröhren [5]

Von den Herstellern Glaswerk Gustav Fischer in Ilmenau und dem Glastechnischen Laboratorium Schott & Genossen in Jena sind Schmelzungsbücher überliefert, in denen auch Gläser für Röntgenröhren enthalten sind. Die von der Fischerhütte verwendete Zusammensetzung des „X-Glases“ basiert auf Thüringer Glas und enthält zusätzlich ein Masse-% Ceritkarbonat.

Das Element Cer (Ce) gehört zu den Metallen der Seltenen Erden. Es wirkt als Stabilisator gegen Röntgenstrahlung. Der vorliegende Eintrag stammt aus dem Jahr 1963. Die Fischerhütte war zu jener Zeit Zulieferer für das Röntgenröhrenwerk in Rudolstadt.



Eintrag für X-Glas im Schmelzungsbuch der Fischerhütte Ilmenau (Foto: Autor)

Das Glas mit der Schmelzungsnummer 331<sup>III</sup> von Schott enthält einen beträchtlichen Prozentsatz Borsäure  $H_3BO_3$  als Vorprodukt für die Umwandlung in Bortrioxid  $B_2O_3$ . Siliziumdioxid und Bortrioxid sind hier die eigentlichen Glasbildner. Das nach dem Schmelzen entstandene und aufgrund seiner Hauptbestandteile als Borosilikatglas bezeichnete Hartglas hat einen Ausdehnungskoeffizienten von etwa  $30 \cdot 10^{-7} K^{-1}$ . Das genaue Datum der Schmelzungsnummer ist nicht vermerkt. Die laufende Nummer 331 deutet auf Anfang des 20. Jahrhunderts hin. Es handelt sich um eine der ersten Schmelzungen für Röntgenröhren von Schott. Als regulärer Beginn der Herstellung von Borosilikatglas gilt die Schmelzungsnummer 202<sup>III</sup> im Jahr 1892. Die hochgestellte römische Drei wurde von Schott als Erkennungszeichen verwendet, um Verwechslungen mit anderen Herstellern auszuschließen. Das von Otto Schott entwickelte, gegenüber Chemikalien und schnellen Temperaturwechseln beständige Borosilikatglas wird bis heute weltweit in vielen Varianten als Haushalts- und Laborglas produziert. Als Einschmelzglas für elektronische Bauelemente findet es bis heute Verwendung.

Verbindung	Formel	Masse-%
Borsäure	$H_3BO_3$	30,0
Soda	$Na_2CO_3$	9,0
Chilesalpeter	$NaNO_3$	1,0
Aluminiumoxid	$Al_2O_3$	20,0
Arsen-3-Oxid	$As_2O_3$	0,4
Siliziumdioxid	$SiO_2$	39,6

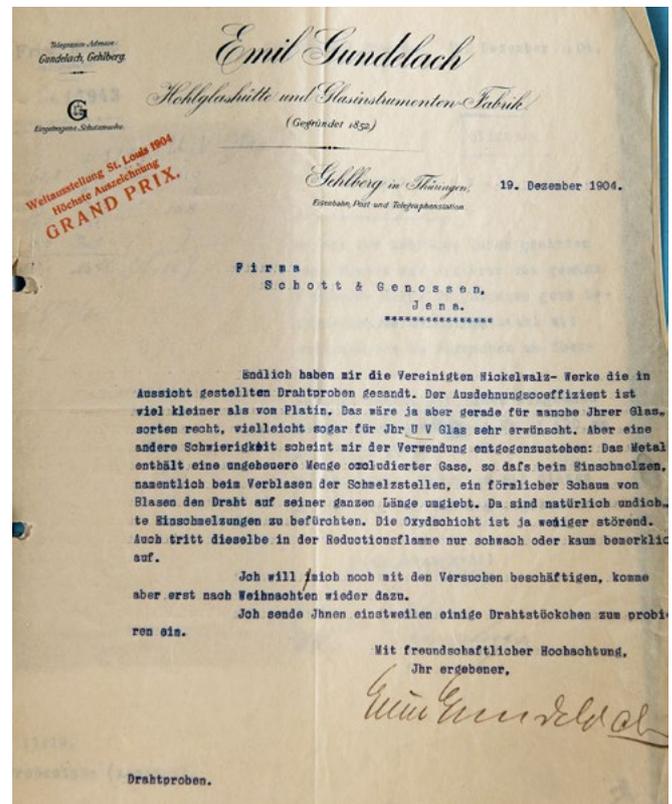
Chemische Zusammensetzung des Glases 331<sup>III</sup> von Schott

Glas für Röntgenröhren 331<sup>III</sup> 20/12/04

30,0 $H_3BO_3$	53,07	42,46
9,0 $Na_2CO_3$	15,86	12,09
1,0 $NaNO_3$	2,74	2,19
20,0 $Al_2O_3$	29,86	23,89
0,4 $As_2O_3$	0,40	0,32
39,6 $SiO_2$	29,60	21,69

4-5 Schmelzungen ausgeführt. Einige Sandkörner.  
 Platin, sonst gut zu verarbeiten u. nicht zu schwer schmelzbar.  
 Weit. Röhren.

Eintrag „Glas zu Röntgenröhren 331<sup>III</sup>“ im Schmelzbuch von Schott & Genossen Jena (Tabelle 4); „4-5 Schmelzungen ausgeführt. Einige Sandkörner. Knoten, sonst gut zu verarbeiten u. nicht zu schwer schmelzbar. Weite Röhren.“ (Foto: Autor)



Schreiben von Emil Gundelach an Fa. Schott & Genossen betreffs Drahtproben, 19.12.1904 (Foto: Autor)

Im Archiv der Schott AG Jena befinden sich unter anderem Dokumente, die einen Informations- und Gedankenaustausch mit dem Firmeninhaber Emil Gundelach in Gehlberg belegen. Ein Diskussionspunkt sind nickelhaltige Drahtproben für Glaseinschmelzungen. In einem Schreiben von Gundelach an Schott vom 19.12.1904 heißt es unter anderem: „Der Ausdehnungskoeffizient ist viel kleiner als der von Platin. Das wäre aber gerade für manche Ihrer Glassorten recht ...“ Weitere Dokumente beinhalten die Beziehungen zum Konkurrenten Corning Inc. in den USA. Die Korrespondenz überspannt einen Bogen über gegenseitige Besuche und fachlichen Austausch über Borosilikatglas zu Beginn des 20. Jahrhunderts bis hin zu Patentstreitigkeiten in den 1920er Jahren.



Röntgenröhren alter und neuer Bauart im Heimat- und Glasmuseum Stützerbach, (Foto: Autor)

## Glas für Empfängerröhren

Mit der im 20. Jahrhundert beginnenden Herstellung anderer Typen von Elektronenröhren, wie Empfänger-, Sende- und Oszillografenröhren, spielen die Punkte Einschmelzbarkeit von Drähten, Vakuum-Pumpfähigkeit und Isolationswiderstand weiterhin eine wichtige Rolle im Know-how der Röhrenherstellung. Die in Berlin und in Thüringen befindlichen Telefunken-Werke und deren Nachfolger in der DDR hatten keine eigene Glasherstellung. Wichtigster Zulieferer für Kolben- und Einschmelzgläser war das Osram-Werk in Weißwasser, der spätere VEB Spezialglaswerk „Einheit“ (SEW). Anfänglich wurden die für Empfängerröhren verwendeten Glaskolben als Untergruppe von Glühlampen-Glaskolben betrachtet. Standardgläser für Empfängerröhren waren die Typen 123a und 352. Beide Gläser wurden mit der jeweils gleichen Bezeichnung in Weißwasser von der Osram GmbH und ab 1948 vom VEB Spezialglaswerk hergestellt. Die Glastypen 123a und 352 sind Weichgläser mit einem hohen Anteil an Bleioxid (PbO). Im Glas 123a beträgt der Anteil an Bleioxid 28 bis 32 %, im Glas 352 sind es 20 bis 22 %. Beide Gläser unterscheiden sich leicht in ihren Ausdehnungskoeffizienten.

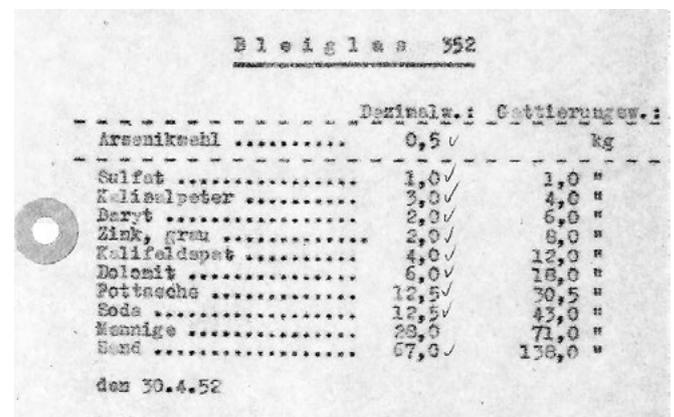
Oxid	Formel	123a	352
Siliziumdioxid	SiO <sub>2</sub>	55,0	63,0
Aluminiumoxid	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,0	0,4
Bleioxid	PbO	31,0	20,0
Natriumoxid	Na <sub>2</sub> O	3,8	10,2
Kaliumoxid	K <sub>2</sub> O	9,2	4,5
Zinkoxid	ZnO	-	1,6
Eisen-3-Oxid	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	0,2

Chemische Zusammensetzungen (Masse-%) der Gläser 123a [6] und 352 [7]

Konstante	Zeichen Einheit	123a	352
Ausdehnungskoeffizient (20 bis 100 °C)	$\alpha$ 10 <sup>-7</sup> K <sup>-1</sup>	87	91
Temperatur bei spezifischem elektr. Widerstand 10 <sup>8</sup> Ω · cm	T <sub>K100</sub> °C	325	270

Materialkonstanten der Gläser 123a und 352 [4]

Im VEB Funkwerk Erfurt wurde die aus dem Quarzsand stammende geringfügige Konzentration von Eisen-3-Oxid regelmäßig bestimmt. [7] Insbesondere bei der Verwendung als Fußglas sollte die Konzentration von Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> möglichst gering sein, da durch einen höheren Eisenanteil eine starke Temperaturabhängigkeit der Dielektrizitätskonstante verursacht wird, was eine Änderung der Eingangskapazität der Röhren bewirkt.



Bleiglas 352		
	Dezimal:	Gattierungsw.:
		kg
Arsenikwehl .....	0,5 ✓	
Sulfat .....	1,0 ✓	1,0 "
Kalialpeter .....	3,0 ✓	4,0 "
Beryt .....	2,0 ✓	6,0 "
Zink, grau .....	2,0 ✓	8,0 "
Kalifeldspat .....	4,0 ✓	12,0 "
Dolomit .....	6,0 ✓	18,0 "
Pottasche .....	12,5 ✓	30,5 "
Soda .....	12,5 ✓	43,0 "
Mennige .....	28,0 ✓	71,0 "
Sand .....	67,0 ✓	138,0 "

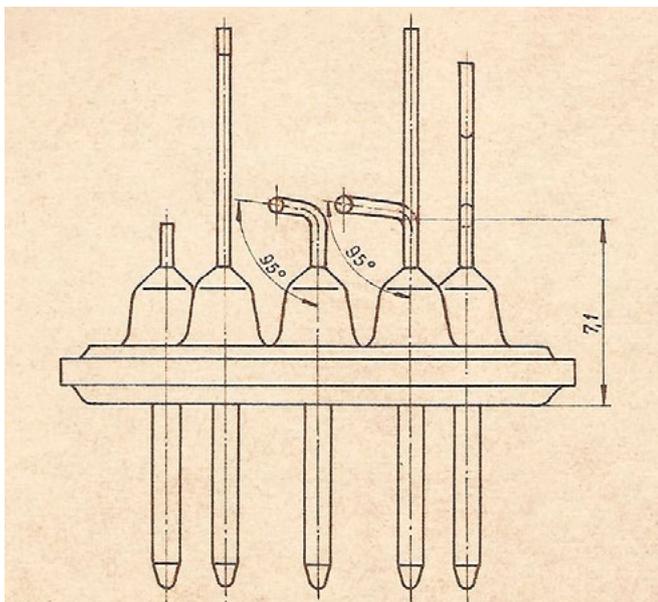
den 30.4.52

Eintrag für Glas 352 im Schmelzbuch des VEB Spezialglaswerk „Einheit“ Weißwasser vom 30.4.1952; „Gattierung“ in der rechten Spalte bedeutet die Zusammenstellung des Schmelzmaterials für die Beschickung des Schmelzofens,  
Foto: Archiv Telux Glasproducts & Components GmbH Weißwasser

Aus rein technischer Sicht waren die Gläser 123a und 352 optimal für die Herstellung von Empfängerröhren. Sie ließen sich gut verarbeiten und hatten einen hohen spezifischen Widerstand. Aufgrund des hohen Preises von bleihaltigem Glas waren die Hersteller bestrebt, bleifreie oder bleiarmer Gläser zu entwickeln, die den Eigenschaften der bleihaltigen Gläser nahekommen.

In einem Entwicklungsbericht des Zentrallaboratoriums für Empfängerröhren (ZLE) aus dem Jahr 1953 [8] werden an zwei bleifreien Gläsern Messungen der thermischen Ausdehnung, des elektrischen Widerstandes und der Transformationstemperatur vorgenommen. Im Transformationspunkt ändert sich die Wärmeausdehnung eines Glases plötzlich. Bei Abkühlung geht das Glas im Transformationspunkt vom plastischen in den starren Zustand über. Neben den an insgesamt etwa 33.000 Röhren vorgenommenen Versuchen werden auch theoretische Über-

legungen zum Ersatz bleihaltigen Glases angestellt. Die Schlussfolgerung des Entwicklungsberichtes lautet, dass die Glaskolben, jedoch nicht die Glasfüße, der Empfängerröhren durch bleifreie Gläser ersetzt werden können. „Für die Verarbeitung zu Füßen erscheint es mit Rücksicht auf den geringeren Isolationswiderstand, insbesondere bei höheren Temperaturen, wie sie beim Betrieb von Elektronenröhren vorkommen können, als nicht möglich, das Glas 352 durch die bleifreien Gläser generell und vollständig zu ersetzen.“ [8]



Seitenansicht eines Glasfußes von einer Allglasröhre mit neun Kontaktstiften (Novalröhre); der Durchmesser der Glasscheibe beträgt 22 mm (Foto: Thüringer Industriearchiv)

Ein weiterer Entwicklungsbericht aus dem Jahr 1953 beinhaltet die Verbindung zwischen Röhrenkolben und Röhrenfüßen durch Glaslot. „Man kann nämlich entweder, so wie das normalerweise bisher geschah, die beiden Teile miteinander verschmelzen, wobei man die zu vereinigenden Stellen in den zähflüssigen Zustand bringen muß, indem man sie auf 900 ... 1000 °C erhitzt, oder man kann die Verbindung bei erheblich niedrigerer Temperatur mit Hilfe des sog. Glaslötverfahrens vornehmen, bei dem mittels eines Glases, das eine niedrigere Erweichungstemperatur besitzt als das Glas der zu verbindenden Teile, die beiden Teile verbunden werden.“ [9] Das direkte Verschmelzen war mit der Gefahr verbunden, dass die Innenteile der Röhre oxidieren und damit ihre ursprünglichen Eigenschaften verlieren. Beim Lötverfahren mussten die Ausdehnungskoeffizienten von Röhrenkolben, Röhrenfuß und Glaslot aufeinander abgestimmt werden. Nach Messungen von Ausdehnungskoeffizienten, Transformationstemperaturen und inneren mechanischen Spannungen wird als zweckmäßigste Kombination für Fußglas, Glaslot und Kolbenglas ein Verhältnis der Ausdehnungskoeffizienten von 92 : 95 : 98 angegeben. Es kommt also darauf an, dass eine leichte Erhöhung der Ausdehnungskoeffizienten von innen nach außen realisiert wird.

Im Jahr 1956 führte das ZLE einen großtechnischen Versuch durch, mit dem Ziel ein neues, bleifreies Kolbenglas zu finden. [10] Die geringste Ausfallrate ergab sich beim SEW-Glastyp 954. Dieses bleifreie Glas hat einen Ausdehnungskoeffizienten von  $94 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ . Der  $Tk_{100}$ -Wert liegt mit 129 °C deutlich unter dem von bleihaltigen Gläsern, so dass dieses Glas nicht in Frage kam für Röhrenkolben mit großer Erwärmung und hoher Spannungsfestigkeit. Röhren, an denen Spannungsimpulse im Kilovoltbereich anliegen, wie zum Beispiel die Schalter-Diode PY 88, werden vollständig aus bleihaltigem Glas hergestellt. Für die Röhrenfüße mit ihren dicht benachbarten Kontaktstiften ist ein ausreichend hoher Isolationswiderstand erforderlich, um unerwünschte Schwingungen zu verhindern.

### Untersuchung des Bleigehaltes

Dank der Arbeit von Dr. Ulrike Brokmann, Fachgebiet Anorganisch-nichtmetallische Werkstoffe der TU Ilmenau, war es möglich, einige Empfängerröhren aus der Sammlung des Thüringer Museums für Elektrotechnik auf das Vorhandensein von bleihaltigem Glas zu untersuchen. Die Ergebnisse der mittels Röntgenfluoreszenz-Analyse durchgeführten qualitativen Untersuchungen sind in der folgenden Tabelle angegeben.

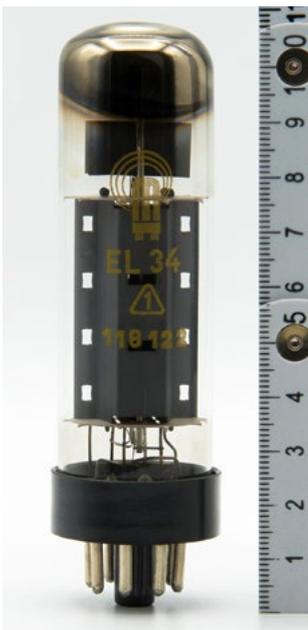
Typ, Hersteller	Funktion	Blei in Glaskolben	Blei in Pressteller
ECH 11 (Bj. 1950) Funkwerk Erfurt	Triode-Hexode für Oszillator u. Mischer	nein	ja
PY 88 (1960er Jahre) Funkwerk Erfurt	Schalter-Diode für Zeilen-Ab-lenkeinheiten	ja	ja
PL 500 (1960er Jahre) Röhrenwerk Mühlhausen	Endpentode für Zeilenablenkung	nein	ja
EF 183 (1960er Jahre) Funkwerk Erfurt	HF-Pentode für ZF-Verstärker in TV-Geräten	nein	ja
EL 34 (1960er Jahre) Röhrenwerk Mühlhausen	NF-Endpentode für Audio-verstärker	ja	ja

Bleigehalt in Glaskolben und Presstellern von Empfängerröhren

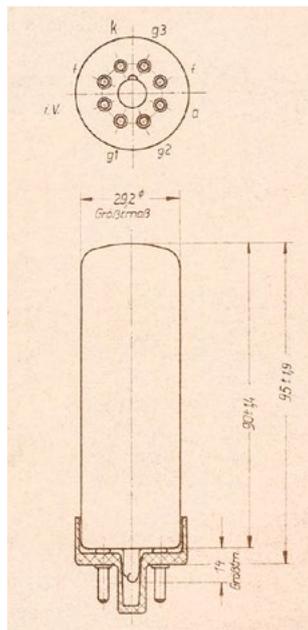
### Glaslot für Spangitter

Ein spezieller Anwendungsfall für niedrigschmelzendes Glaslot ergab sich bei der Herstellung der Spangitter von Spangitterröhren. Die Spangitterstreben bestehen aus Molybdän, der Wickeldraht aus 8 µm starkem Wolfram. Es musste ein Lot entwickelt werden, mit dem die Windungen des dicht gespannten Wickeldrahtes festgelegt werden können. Das Lot muss bei deutlich unter 800 °C schmelzen, um eine Lockerung des mit Zugspannung aufgewickelten Drahtes zu vermeiden. Im Ergebnis der Entwicklungsarbeit

entstand ein Lot aus einer Kombination von Zinkoxid (ZnO), Bortrioxid ( $B_2O_3$ ), Diphosphorpentoxid ( $P_2O_5$ ) und Thallium-1-Oxid ( $Tl_2O$ ) mit einer Erweichungstemperatur von 660 °C. [11]



Kolben und Fuß der Pentode EL 34 bestehen aus bleihaltigem Glas; Fuß und Unterteil des Kolbens sind in einen Sockel eingeklebt (Foto: Autor)



Schnittdarstellung der Pentode EL 34; der Pumpstutzen am Glasboden wird durch den Sockel verdeckt, Zeichnung aus Entwicklungsbericht [13]

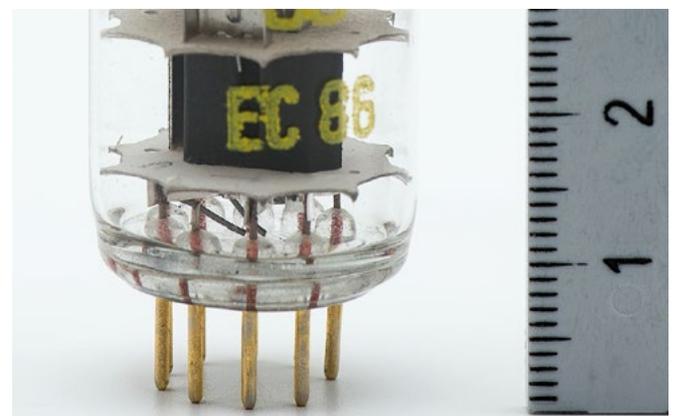


Spangitter einer HF-Pentode EF 183; die bewickelte Fläche ist etwa 5 x 10 mm groß (Foto: Autor)

## Material für Drahteinschmelzungen

Das Einschmelzen von Kontaktdrähten in Röhrenfüßen aus Glas ist aufgrund mehrerer Einflussgrößen ein komplexes Thema. Für die ersten Röntgenröhren wurden mit Erfolg Platindrähte verwendet. Eine wirtschaftliche Massenproduktion lässt sich mit diesem teuren Metall nicht erreichen. Ein grundsätzliches Problem besteht darin, dass das Ausdehnungsverhalten von Gläsern und Metallen innerhalb eines

größeren Temperaturbereiches nicht übereinstimmt. Unlegierte Metalle dehnen sich in etwa linear mit der Temperatur aus. Legierungen haben bei Temperaturen über 400 °C Knickpunkte in den Ausdehnungskurven, und Gläser sind bei Annäherung an ihre Erweichungstemperaturen durch einen nichtlinearen Verlauf gekennzeichnet. Es gibt somit keine Metall-Glas-Kombination, die ein übereinstimmendes Ausdehnungsverhalten im jeweils erforderlichen Temperaturbereich aufweist. Um einen vakuumdichten Verschluss zu gewährleisten, dürfen die Metalle nicht gasen, und das Glas muss am Metall haften. Häufig verwendete Elemente für Legierungen von Einschmelzdrähten sind Eisen, Nickel, Kobalt und Chrom. Für bleihaltige Weichgläser von Empfängerröhren wurde vielfach Kupfermanteldraht verwendet, dessen mittlerer thermischer Ausdehnungskoeffizient dem des Glases angepasst ist. Der auch als „Finkdraht“ und „Dumetdraht“ bezeichnete Draht hat einen Kern, der aus etwa 42 % Nickel und 58 % Eisen besteht. Der Kupfermantel macht 25 bis 30 % der gesamten Drahtmasse aus. Der handelsübliche Kupfermanteldraht wird voroxidiert und mit einer 10 µm starken Boraxschicht überzogen, wodurch eine gute Benetzung durch das Glas gewährleistet ist. In Allglasröhren der E- und P-Serien ist der Kupfermanteldraht gut zu erkennen anhand der Rotfärbung an den Einschmelzstellen. Im Jahr 1961 wurde in Zusammenarbeit zwischen dem VEB Funkwerk Erfurt und der Hochschule für Elektrotechnik Ilmenau ein spezieller Kupfermanteldraht entwickelt, der für den Glastyp 123a optimiert ist. Der Kern dieses Drahtes besteht aus 48 % Nickel, 47 % Eisen und 5 % Mangan. [12]

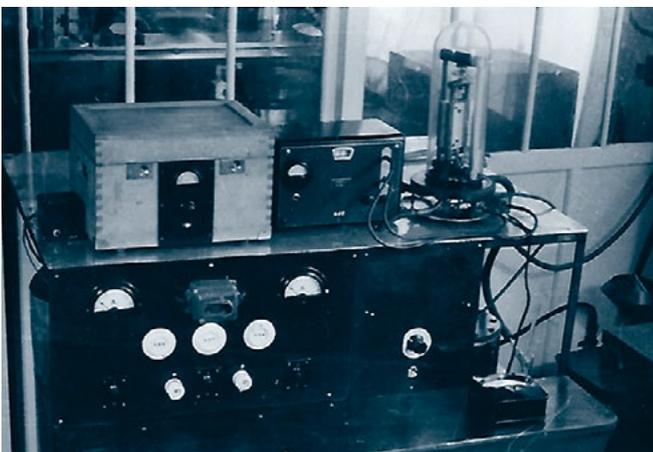


Rot verfärbter Finkdraht im Einschmelzbereich einer UHF-Triode EC 86 (Foto: Autor)

## Eigene Produktions- und Messmittel

Der VEB Funkwerk Erfurt stellte viele Produktionsmittel selbst her. Dazu gehörten auch Ausrüstungen, die mit der Glasverarbeitung verbunden waren, wie zum Beispiel Temperöfen und Pressglasautomaten für Scheibenfüße von Elektronenröhren. Einige dieser Ausrüstungen wurden an andere Röhrenhersteller geliefert. In einem Bericht des Oberspreewerkes Berlin über die Weiterentwicklung der Fertigungstechnologie von Rundfunkröhren wird die Bestellung eines Automaten zur Herstellung von Scheibenfüßen erwähnt: „Auf einen besonderen Auftrag wurde beim „Funkwerk Erfurt“ ein zwölfstufiger Automat zum Preise von etwa 40.000 DM, lieferbar zum März 1951, bestellt.“ [13] Als Durchschnittsleistung werden 150 Stück Scheibenfüße pro Stunde genannt. Bei dreischichtiger Auslastung des Automaten rechnet man mit einer Monatsproduktion von 95.000 Stück. Die laut Bericht im Jahr 1951 geplante Monatsproduktion von Scheibenfuß-Röhren, in diesem Fall Oktalröhren („Amerika-Röhren“), beträgt 84.000 Stück.

Die Glasverarbeitung spielte naturgemäß in mehreren Themen der Röhrenentwicklung eine wichtige Rolle. Um das Ausdehnungsverhalten der verwendeten Gläser im eigenen Unternehmen untersuchen zu können, wurde Anfang der 1950er Jahre im Zentrallaboratorium für Empfängerröhren ein Dilatometer entwickelt. [9] Dabei wird das zu untersuchende Glas als Dielektrikum eines Kondensators verwendet. Temperaturbedingte Längenänderungen des Glaskörpers werden als Kapazitätsänderungen gemessen.



*Eigenbau-Dilatometer des VEB Funkwerk Erfurt  
(Foto aus Entwicklungsbericht) [9]*

Mit der Ablösung von Elektronenröhren durch Halbleiter-Bauelemente ändern sich grundlegend Bauformen und Abmessungen. Bei der Herstellung von Elektronenröhren gewonnene Erkenntnisse werden dadurch nicht überflüssig. Im Gegenteil, die Beherrschung des Werkstoffes Glas bleibt Bestandteil der neuen Technologien.

Fortsetzung folgt.

Dank für Literaturhinweise und Bereitstellung von Dokumenten geht an folgende Damen und Herren:

- Dr. Ulrike Brokmann, TU Ilmenau
- Michael Fischer, Ilmenau
- Judith Hanft, Schott AG Jena
- Lutz Huckauf, Telux Glasproducts & Components GmbH Weißwasser
- Prof. Andreas Keller, TU Ilmenau

### Quellen:

- [1] Website <https://iyog2022.org/>
- [2] Martin Hübscher: Anfänge der Glasherstellung in Thüringen, Glas in Ilmenau, Förder- und Freundeskreis Ilmenauer Glasmuseum e.V., 1998
- [3] Martin Hübscher: Zur Entwicklung des Thüringer Apparateglases und seiner Produktionsstätten in Ilmenau, Glas in Ilmenau, Förder- und Freundeskreis Ilmenauer Glasmuseum e.V., 1998
- [4] Günther Christian Mönch: Neues und Bewährtes aus der Hochvakuumtechnik, VEB Verlag Technik Berlin, 1961
- [5] Martin Hübscher: Thüringer Glas - Werkstoff der ersten Röntgenröhren, Festschrift zur Veranstaltung „100 Jahre Röntgenstrahlen“, TU Ilmenau, 1995
- [6] Oscar Knapp: Die chemische Zusammensetzung der vakuumtechnischen Gläser, Silikatechnik Heft 3, 1955
- [7] Helmut Wlokka: Spektrografische Analysenvorschriften für Röhrenbaustoffe, Entwicklungsbericht, VEB Funkwerk Erfurt, 1956, Thüringer Industriearchiv
- [8] Walter Heinze: Ersatz von bleihaltigem Glas durch bleifreies Glas, Entwicklungsbericht, VEB Funkwerk Erfurt, 1953, Thüringer Industriearchiv
- [9] Walter Heinze: Untersuchung zwecks Vervollkommnung des Glaslotes, Entwicklungsbericht, VEB Funkwerk Erfurt, 1953, Thüringer Industriearchiv
- [10] Rolf Rigo: Jahresbericht 1956 des Zentrallaboratoriums für Empfängerröhren im VEB Funkwerk Erfurt, Thüringer Industriearchiv
- [11] Burkhard Rateitzak: Entwicklung eines niedriger schmelzenden Glas- oder Metallots zur Festlegung von Spanngittern, Entwicklungsbericht, VEB Funkwerk Erfurt, 1965, Thüringer Industriearchiv
- [11] Helmert, Sprung: Entwicklung einer Ni-Fe-Legierung für den Kern eines Finkdrahtes, der ausdehnungsmäßig optimal an das Bleiglas 123a angepasst ist, Abschlussbericht, HfE Ilmenau, 1961, Thüringer Industriearchiv
- [12] Kirchner: Bericht über Weiterentwicklung des technologischen Verfahrens zur rationellen Herstellung von Quetsch- und Scheibenfüßen von Rundfunkröhren, Werk für Fernmeldewesen „HF“ Berlin, 1950
- [13] Ladurner, Zoberbier: Entwicklung der Endpentode EL 34, VEB Werk für Fernmeldewesen Berlin, 1958

## HISTORISCHES

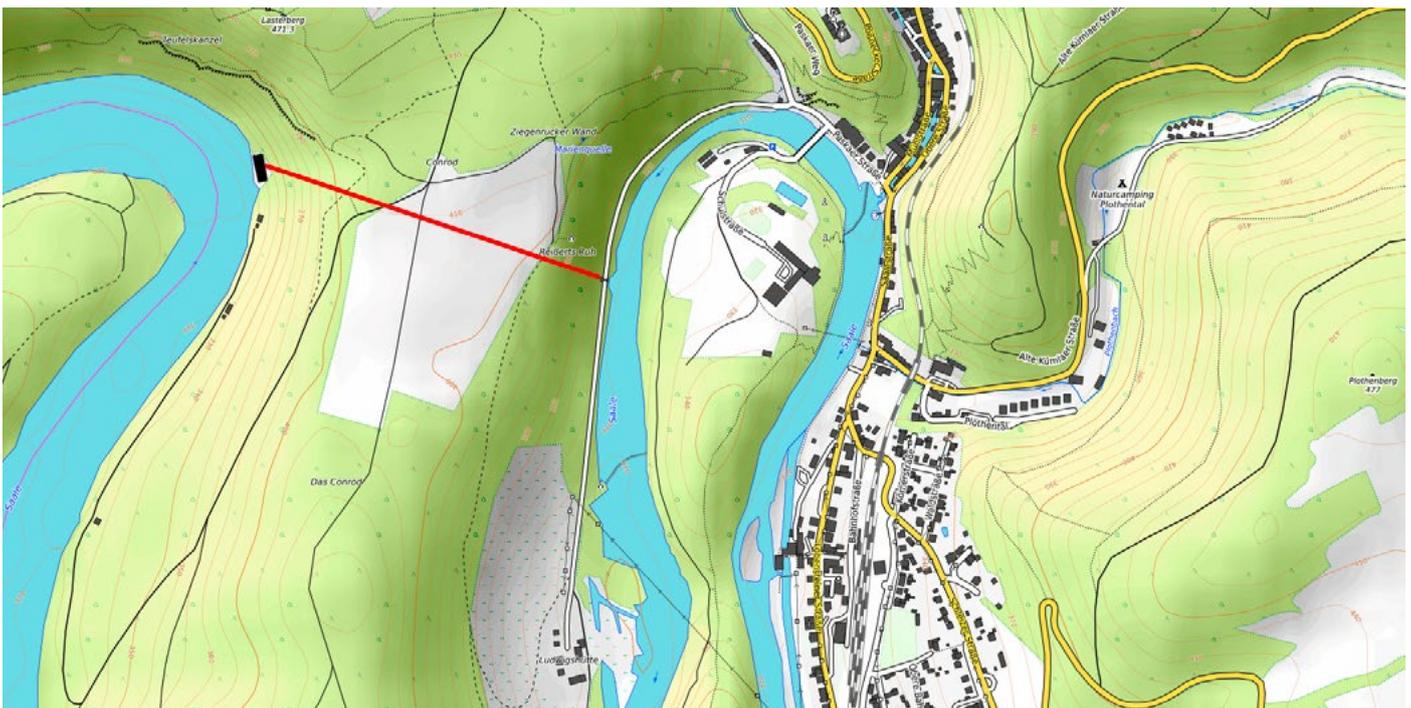
### 100 Jahre Kraftwerk Ziegenrück

Stephan Hloucal, Erfurt

Im Dezember 1922 nahm das Wasserkraftwerk Ziegenrück den Probebetrieb auf. Hinsichtlich der Planung, des Baus und des Betriebes, ist es das wohl spektakulärste Wasserkraftwerk an der oberen Saale. In der damaligen Zeit eine ingenieurtechnische Meisterleistung. Für den Entwurf und den Bau zeichnete der Leiter des 1917 gegründeten Hydro-Büros der Carl Zeiss Stiftung, Prof. Dr. Rudolf Straubel, verantwortlich. Da anlässlich des 100-jährigen Jubiläums der ehemalige Leiter des Wasserkraftmuseums Ziegenrück, Herr Andreas Schmidt, ein reich bebildertes Buch im A4-Format zu diesem Kraftwerk herausgegeben hat, wird sich der Autor hier auf einige technische Fakten beschränken und seine persönlichen Erkundungen darstellen. [1]

Die Saale durchschneidet an ihrem Oberlauf zwischen Blankenstein und Saalfeld das Thüringer Schiefergebirge in einem tief eingeschnittenen Tal mit vielen Flussschleifen. Bei der Stadt Ziegenrück umfließt die Saale auf einer Länge von etwa 6 km den Conrodberg, wobei sich ein natürliches Gefälle von etwa 16 Metern ergibt. Dieses energetisch für das Unternehmen Carl Zeiss auszunutzen, hatte sich das Hydro-Büro der Carl Zeiss Stiftung zum Ziel gesetzt. Nach umfangreichen Vorarbeiten, verschiedenen verworfenen Plänen und entsprechenden Grundstückskäufen, entschied sich Straubel unterhalb der Teufelskanzle am Lasterberg ein Wasserkraftwerk zu errichten, welches sein Triebwasser über einen Stollen durch den Conrodberg vom flussaufwärtigen rechten Saaleufer unterhalb von Ziegenrück erhalten sollte.

Am 5.12.1918 stellte die Carl Zeiss Stiftung ein „Konzessionsgesuch über die Errichtung eines hydroelektrischen Kraftwerks mit automatischer Wehranlage bei Ziegenrück/Königreich Preußen“.



Topographische Karte Ziegenrück (Druckstellen rot)

Die Ausleitung des Triebwassers sollte am Flusskilometer 41,994 über einen Stollen durch den Conrodberg erfolgen. Das Kraftwerk sollte vollständig im Felsen errichtet werden und die Wiedereinleitung am Flusskilometer 47,831 erfolgen. „Mit Rücksicht auf die Bestrebungen des Heimatschutzes und die vorhandenen Geländeverhältnisse ist das Kraftwerk in den Berg gebaut.“ Nur die Fensterflächen des Maschinenraumes sollten von außen sichtbar sein. Für die Flößerei sollten Anlagen vorgesehen werden. Sie sollte durch den Betriebsstollen erfolgen, da durch die Wasserentnahme vor der Holzstoff- und Pappenfabrik Ludwigshütte der Wasserstand in der Saale dafür nicht mehr gereicht hätte. Den hydraulischen Berechnungen lag ein Jahresabfluss von 480 Mio. m<sup>3</sup> zugrunde, sodass durchschnittlich mit 15,5 m<sup>3</sup>/s gerechnet werden konnte.

Letztlich wurde die Anlage mit vier Turbinen ausgelegt, die jeweils ein Schluckvermögen von 6 m<sup>3</sup>/s haben sollten. Bei einem Wirkungsgrad von 82 %, einem Mittelwasserabfluss von 12 m<sup>3</sup>/s sollte eine Gesamtleistung von 2.478 PS (1.823 kW) erzielbar sein. Am Stollenauslauf sollte eine Oberwasserkammer mit Feinrechen und Sandfang angeordnet werden. Die dahinter befindlichen vier Turbineneinläufe, mit Dammbalken und Schützen, konnten separat verschlossen werden. Neben den Turbinenschächten sollte ein Freilauf- und Überfallschacht vorhanden sein, der mit Dammbalken und Doppelschützen abschließbar, dem Spülen und Entleeren des Betriebsstollens diene. Außerdem sollten damit auch Pendelungen des Wasserstandes ausgeglichen und das Überströmen von Überschusswasser gesichert werden. Die Flößerei der Einzelstämme sollte über eine Öffnung am Grobrechen am Einlauf erfolgen, indem sie vor dem Einlaufbauwerk aufgelöst den Freispiegelstollen einzeln durchschwimmen und vor der Turbinenanlage durch ein schwimmendes Leitwerk in die Triftholzablauffrinne abgeleitet werden. Im Unterwasser sollten die Flöße dann wieder zusammengestellt werden. Für die Fischdurchgängigkeit sollte ein Fischpass am Wehr sorgen.

Nachdem die Antragsunterlagen öffentlich ausgelegt waren, erhielt die Carl Zeiss Stiftung mit der Verleihungsurkunde des Bezirksausschusses Erfurt vom 8.6.1919 das Recht, zwischen Ziegenrück und der Holzstoff- und Pappenfabrik Ludwigshütte ein Wehr zu errichten, am Flusskilometer 42,015 über einen Stollen das Triebwasser auszuleiten, unterhalb der Teufelskanzel ein Werk zur Nutzung hydroelektrischer Kräfte zu betreiben und das Triebwasser am Flusskilometer 47,768 wieder einzuleiten. Die Flößerei war unentgeltlich zu ermöglichen. Für die Fischdurchgängigkeit waren eine Aalleiter und ein Fischpass vorzusehen. Der Stababstand am Einlaufrechen durfte 20 mm nicht überschreiten, bei einer Stabstärke von 4,7 mm. [2]



Einlaufbauwerk mit Blickrichtung Ziegenrück, 2018



Einlaufbauwerk Wasserseite, 2018



Einlaufbauwerk mit Blick in das Mundloch des Druckstollens, 2018

Der Bau der Kraftwerksanlage und des Stollens erwiesen sich als sehr schwierig. Die genehmigten Pläne wurden mehrfach geändert. Der flößerei-bedingte Freispiegelstollen wurde zugunsten eines Druckstollens aufgegeben, weil „alle Fachmänner aus betriebstechnischen Gründen (Schwierigkeiten bei der Turbinenregelung) gegen die Ausführung eines Freispiegelstollens Stellung“ genommen hatten. Die ursprünglichen Baupläne wurden nun dahingehend revidiert, als dass nur drei statt vier Turbinen gebaut und das Kavernenkraftwerk, zugunsten eines am Ufer errichteten Maschinen- und Schalt-hauses, aufgegeben wurde. Demzufolge war nun ein kostspieliges Wasserschloss notwendig, welches vollständig in den Berg gebaut wurde. Ebenso entfiel der Freilauf- und Überfallschacht, sodass die Flößerei auch weiterhin über die Saale erfolgen musste. Der Bau wurde, wie bereits beim Spitzenkraftwerk Wisenta (siehe ON.LINE 08.2020), von der Firma Dyckerhoff & Widmann A. G., Nürnberg (D&W), ausgeführt. So wurden Steinbrecheranlage und Betonmischmaschine von dort nach Ziegenrück umgesetzt. Mit dem Bau wurde im September 1920 begonnen. Baumaterial und die Anlagenteile wurden über den Bahnhof Ziegenrück angeliefert und von dort mit Fuhrwerken zur Baustelle transportiert. [4]

Das Steilufer unterhalb der Teufelskanzel war für den Bau des Kraftwerks denkbar ungeeignet. Schwerer Fuhrwerksverkehr war über den schmalen Weg von



Wehr an der Ludwigshütte, 2018

der Ludwigshütte aus nicht möglich. Daher erfolgte der Transport sämtlicher Maschinen und des Baumaterials durch den Druckstollen, der somit als Erstes errichtet werden musste. Am rechten Saaleufer, etwa 500 m oberhalb des Ludwigshüttenwehres, wurde das Einlaufbauwerk errichtet, welches zugleich für Transportaufgaben mit einem Portalkran ausgerüstet ist.

Zunächst wurde die Stollensole am Einlaufbauwerk auf etwa 11 m Tiefe abgetäuft, sodass der Druckstollen etwa 5 m unterhalb der Stauwasserlinie liegt. Am Einlauf konnte mit zwei Metallschützen der Druckstollen vollkommen abgedichtet werden. Davor wurde ein zweifeldriger Rechen mit einer Fläche von etwa 54 m<sup>2</sup> eingebaut. Dieser verhindert, dass Treibgut in den Stollen eingeschwemmt wird. Einen automatischen Rechenreiniger, wie heute an modernen Wasserkraftanlagen üblich, gab es damals nicht. Der Einlaufrechen musste manuell gereinigt werden. Auf das ursprünglich geplante und auch genehmigte, automatisch regelnde, Segmentwehr mit 20 Meter langer Fischtreppe, einer Aalleiter und einer Floßgasse, kurz hinter dem Stolleneinlauf, verzichtete man und nutzte stattdessen das vorhandene Wehr der Ludwigshütte.

Der konzessionierte Stau verringerte sich so von 18,12 m auf 16,32 m, was natürlich zu einer geringeren Kraftwerksleistung führte. Das Kranhaus am Einlaufbauwerk überspannt den Fuhrweg zur Ludwigshütte. Der Portalkran konnte so Lasten von auf dem Weg stehenden Fuhrwerken aufnehmen und auf dem im Druckstollen befindlichen Transportwagen absetzen. Auf den hierfür im Stollen eingebauten normalspurigen Schienen wurden die Lasten zur Baustelle des Maschinenhauses transportiert. Das Gleis endet im Verteilschacht, sodass mit dem Portalkran im Maschinenhaus die Lasten übernommen werden konnten. Den Kran mit einer Spannweite von 7,10 m und einer Tragfähigkeit von 15 Tonnen lieferte die Gebrüder Bolzani GmbH Berlin. Der Kran am Einlaufbauwerk, mit einer Spannweite von 5 m und einer Tragfähigkeit von ebenfalls 15 Tonnen, stellte die Firma Zobel & Neubert Co. Schmalkalden her. [6] Der vollständig betonierete Druckstollen, mit einer Länge von 644,27 m, endet in einem Verteilschacht mit einem Lichtraumprofil von 4,50 m.



Im Druckstollen, 2018

Der Stollen hat einen Durchmesser von 3,28 m und ein Gefälle von 1 ‰. Über den Verteilschacht erfolgt die Triebwasserzuführung zu den Turbinen I und II. Etwa sieben Meter vor dem Verteilschacht zweigt ein sieben Meter langer Seitenstollen ab, der die Turbine III mit Triebwasser versorgt. Das Wasserschloss, welches Druckstöße des Triebwassers abfangen muss, die bei einer Sofortabschaltung der Turbinen entstehen, ist oberhalb des Druckstollens in den Berg gebaut. Es ist als kreisförmiger Behälter mit einem Durchmesser von 18 m und einem parabelförmigen Profil mit 5 m Höhe und 4,88 m Sohlenbreite ausgebildet.

Zwei Steigschächte mit einem Durchmesser von 2,20 m verbinden den Druckstollen mit dem Wasserschloss. Im Wasserschloss sorgen zwei Überfalltrichter für Entlastung, sodass überfließendes Triebwasser gefahrlos in den Unterwasserkanal abgeleitet werden kann. Für Montage- und Wartungsarbeiten an den Überfalltrichtern ist am First des Wasserschlosses eine Laufkatze eingebaut. Die Ableitung des Triebwassers aus den Turbinen I und II erfolgt über zwei 23,4 m lange und von Turbine III über einen 21,6 m langen Stollen in die Saale. [3] Die drei Francis Schacht-turbinen mit vertikaler Achse lieferte die Firma Escher-Wyss & Cie. Ravensburg. Bei einem Schluckvermögen von 7,7 m<sup>3</sup>/s und einer konzessionierten Stauhöhe von 18,12 m hatten Turbine I und II bei 300 U/Min. eine Leistung von jeweils 1.522 PS und Turbine III 925 PS bei 375 U/Min. und einem Schluckvermögen



Blick vom Druckstollen in den Verteilschacht nach oben in das Maschinenhaus, 2018



Überlauftrichter im Wasserschloss, 2018



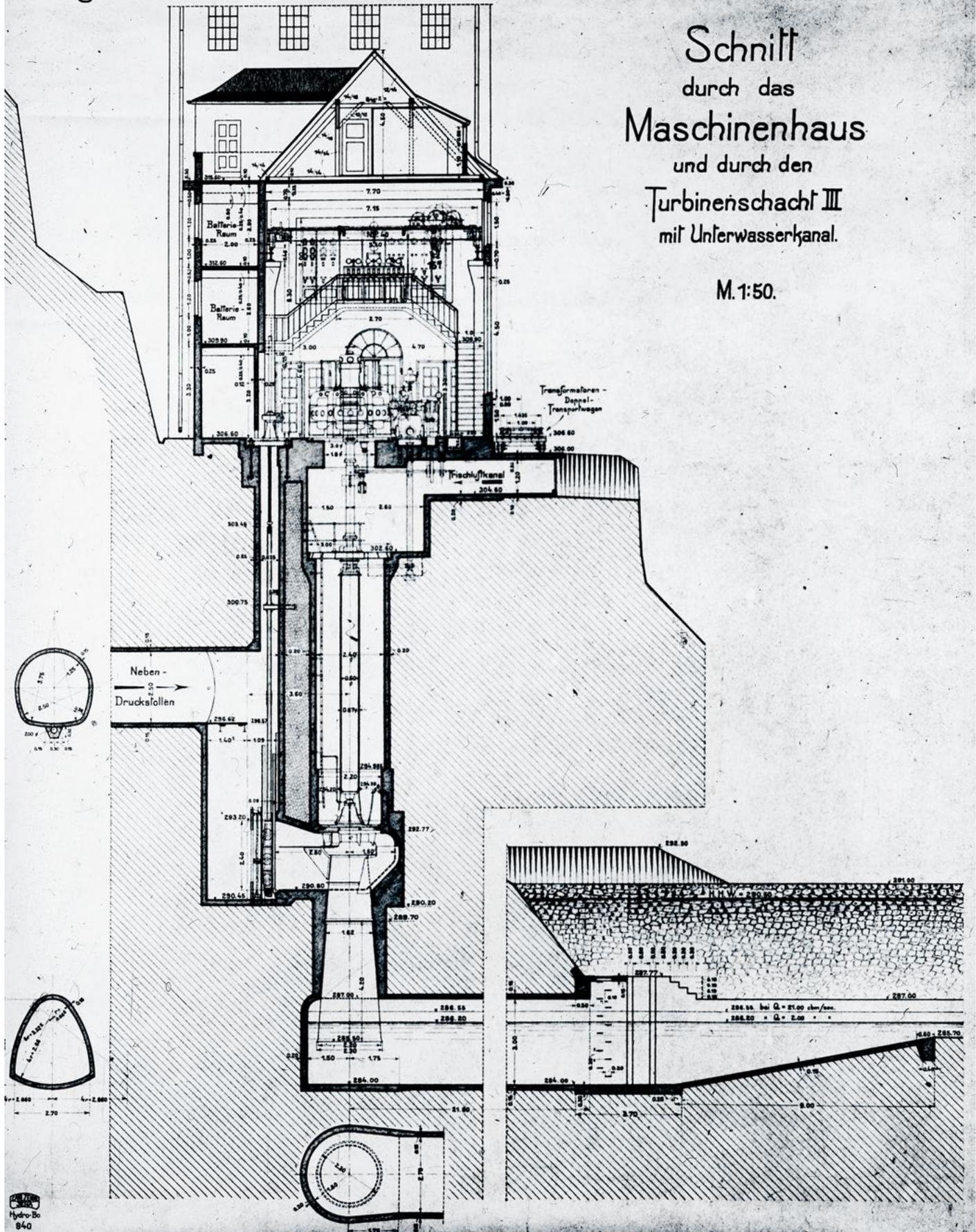
Wasserschloss mit Laufkatze und Ausgang zum Entlüftungsschacht, 2018



# Kraftwerk Ziegenrück.

## Schnitt durch das Maschinenhaus und durch den Turbinenschacht III mit Unterwasserkanal.

M. 1:50.



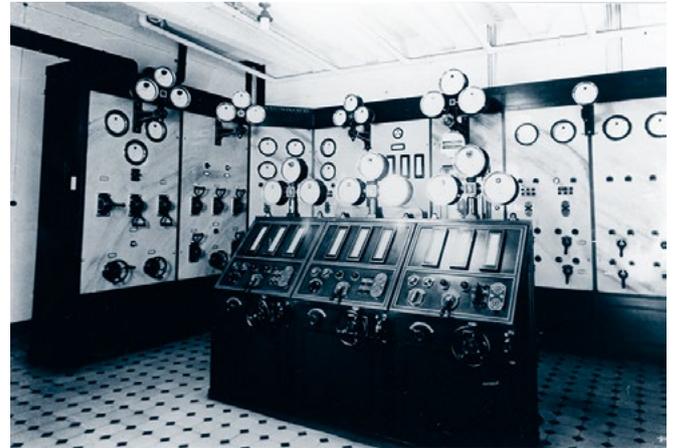
Schnitt durch das Maschinenhaus und Turbine III, 1922



Maschinenhaus mit Generator I und II, um 1924

Die Generatoren arbeiteten auf eine 10.000 Volt Doppelsammelschiene, an welcher über Ölschalter die Transformatoren angeschlossen waren. Zwei AEG-Transformatoren mit 1.250 kVA, 10.500/50.000 V, ein Transformator 500 kVA, 10.500/15.000 V, vom Sachsenwerk Niedersedlitz und ein Eigenbedarfsumspanner, 10.500/380/220 V, versorgten die Freileitungen nach Burgau und Saalfeld. Der kleine Transformator diente der Stromversorgung im Kraftwerk. Die Schaltanlagen lieferte die Firma Siemens & Schuckert Berlin. [7] [8]

Die Energieableitung des Kraftwerks Ziegenrück, der Fernmühle und des Spitzenkraftwerks Wisenta erfolgte nach Burgau mittels einer 50.000-Volt-Doppelleitung auf Masten aus Schleuderbeton, die vom D&W Schleuderwerk in Cossebaude bei Dresden geliefert wurden. Es wurden 129 Tragmasten und 37 Doppelmasten als Abspanner, mit einer Spannweite



Schaltwarte mit Generatorsteuerung um 1924

zwischen 136 m und 344 m, errichtet. Die Höhe der Masten variierte zwischen 14 und 22 m. Die Kupferdrähte für die Leitungen, mit einem Querschnitt von 50 mm<sup>2</sup>, lieferte das Mannfeldische Kupfer- und Messingwerk, Hettstedt. Die Isolatoren wurden von der Porzellanfabrik Hescho Hermsdorf bezogen.

1923 wurden auch Glasisolatoren erprobt, die die Glaswerke Schott & Gen. in Jena herstellten. Beim Leitungsbau, bei dem auch BBC-Monteure beteiligt waren, kam es immer wieder zu Verzögerungen durch falsch aufgestellte Masten, Lieferschwierigkeiten bei Isolatoren, Cu-Drähten und anderen Materialien. Auch sind Mastumbrüche infolge eines Sturmes in der Nacht vom 7. auf den 8.12.1922 überliefert. [5] [10] Über eine 15.000-Volt-Freileitung wurden die Saale Elektrizitätswerke Saalfeld nachrangig beliefert. [7]

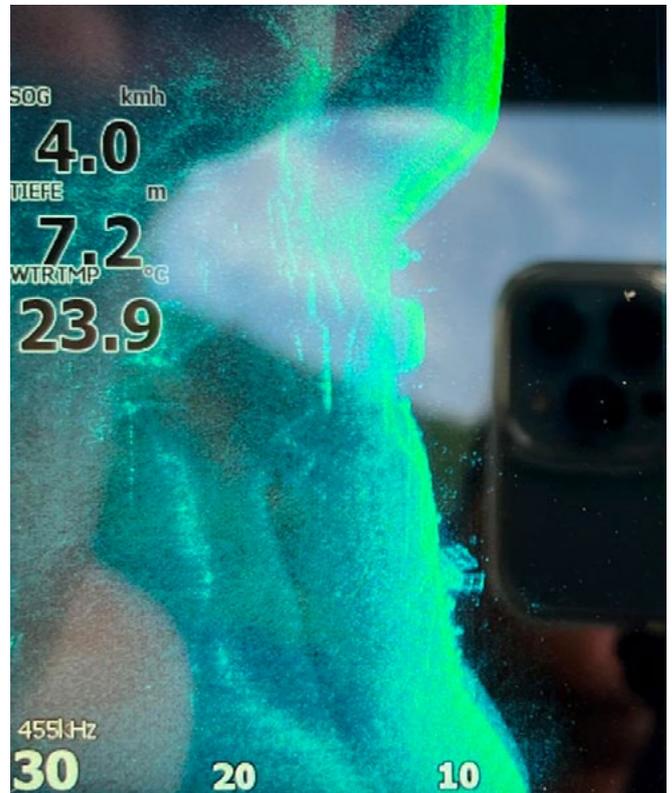
In den ersten Jahren lief das Kraftwerk mit großen Problemen. So mussten die beiden großen Einlaufschützen per Hand betätigt werden, da dort erst 1925 Elektroantriebe eingebaut wurden. Das vollständige Öffnen im Handbetrieb dauerte immerhin sechs Stunden und beanspruchte vier starke Männer. Des Weiteren kam es zu Vibrationen an den Maschinen, ausgelöst durch das Schleudern der 16 m langen Turbinenwellen. Glimmerscheinungen, Isolationsdurchschläge an den Synchrongeneratoren, undichte Transformatoren, Probleme an den Ölleistungsschaltern bzw. Wassereintritte in die Wellenschächte erzwangen immer wieder Stillstände des Kraftwerks. Sehr große Probleme bereiteten strenge Winter

durch festgefrorene Einlaufschütze, Eisgang am Einlauf, Schmiereisbildung am Einlaufrechen, den Feinrechen vor den Turbinen und im Verteilschacht, was nur von Hand beseitigt werden konnte. Hierzu musste immer wieder auch der Druckstollen vollständig abgelassen werden. Am 28.8.1924 lief das Kraftwerk Ziegenrück erstmals im Volllastbetrieb. Die Jahreshöchstleistung war 1944 mit über 12 Mio. kWh zu verzeichnen. [4]

Aus heutiger Sicht verwundert es, dass erst im Jahr 1924 eine Kommunikationsverbindung zwischen dem Kraftwerk Ziegenrück und Burgau geschaffen wurde. Mit Vertrag vom 3.1.1924 wurde mit der „Antenna“ Aktiengesellschaft für Fernmeldetechnik Berlin der Bau einer Hochfrequenztelegraphenleitung längs der 50-kV-Freileitung, zum Preis von 2.250 Dollar, vereinbart. Zuvor gab es nur eine Telefonverbindung von der Schaltwarte im Maschinenhaus zum Wärter am Einlaufbauwerk und zur Ludwigshütte. [11] Interessant ist, dass mit Vertrag vom 16.3.1924 die Überlandzentrale des Kreises Ziegenrück der Carl Zeiss Stiftung ein Darlehen in Höhe von 250.000 Reichsmark über vier Jahre gewährte. Die Carl Zeiss Stiftung verpflichtete sich über 20 Jahre 200.000 kWh unentgeltlich zu liefern, wovon 50.000 kWh zur Darlehenstilgung für gemeinnützige und öffentliche Zwecke (Krankenhäuser, Straßenbeleuchtung, Wasserversorgung, ...) zu verwenden sind. Darüber hinaus sollten weitere 30 Jahre lang 50.000 kWh für öffentliche Zwecke unentgeltlich geliefert werden. [9]

Durch den Bau der Hohenwartetalsperre, die nicht nur der Energieerzeugung, sondern auch der Wasseranreicherung der Elbe und der damit verbundenen durchgehenden Schiffbarkeit sowie der „Verdünnung“ der salzhaltigen Abwasserfracht aus den Südhartzkalibergwerken dienen sollte, kam es ab dem Jahr 1936 zu Rückstau bedingten Leistungsminderungen und gänzlichen Stillstandszeiten des Kraftwerks. Zwar wurden die Turbinen noch durch Abdichtungsmaßnahmen an den Turbinenlagern, Verlegung der Frischluftkanäle und eine Metallauspannung der Wellenschächte gegen Sickerwasser ertüchtigt, sodass sie immerhin bis 1946 ohne große Beeinträchtigungen betrieben werden konnten. Doch dann kam es schon zu längeren Kraftwerksstillständen, sodass man sich 1948 entschloss, die Maschinengruppe I auszubauen und in das Spitzenkraftwerk Wisenta umzusetzen. Ab 1948 stand das, auch Conrod-Kraftwerk genannte Wasserkraftwerk bereits mehrere Monate still und wurde am 1.2.1960 endgültig außer Betrieb genommen. Sämtliche technische Einrichtungen wurden entfernt und teilweise verschrottet. Die Turbinen II und III liegen noch immer tief im Wasser der Hohenwartetalsperre. [4]

Kraftwerk Ziegenrück, 2022



Blick mit einem Sonar zum Turbinenauslauf, 2022 (Foto: René Steinhardt)



50-kV-Abspanndoppelmast am Lasterberg, 2018



50-kV-Tragmast oberhalb der Teufelskanzel, 2018



Heute stehen das Einlaufbauwerk, der Druckstollen mit Wasserschloss und das Kraftwerksgebäude sowie der Abspanndoppelmast oberhalb der Teufelskanzel und der nächste Tragmast unter Denkmalschutz. Die alte Freileitung war 1993 vollständig demontiert worden. Einlaufbauwerk und Kraftwerksgebäude befinden sich heute in privater Hand. Der Eigentümer des Kraftwerks hat dieses in den letzten Jahren vorbildlich sanieren lassen.

Anmerkung: Wegen Wartungsarbeiten an den Talsperren Bleiloch und Hohenwarte hatte die Vattenfall Wasserkraft GmbH im Jahr 2018 den Pegel des Hohenwartestausees über einige Wochen um etwa 6 m abgesenkt. Daher waren der ansonsten überflutete Druckstollen und das imposante Einlaufbauwerk für einige Zeit zugänglich. In dieser Zeit konnte der Autor die Eindrücke von diesem imposanten Zeugnis deutscher Industrie- und Innovationsgeschichte der Carl Zeiss Stiftung im Bild festhalten. Ein Erkundungsbericht ist in ON.LINE 04.2018 veröffentlicht.

#### Quellen:

- [1] Erkundungen des Autors am 20. November, 7. Dezember, 10. Dezember, 22. Dezember 2018 und 1. Dezember 2022
- [2] Zeiss-Archiv BACZ 6012
- [3] Zeiss-Archiv BACZ 18403
- [4] Das Conrod-Kraftwerk, unveröffentlichtes Manuskript des Vereins zur Erforschung der Wasserkraftnutzung an der oberen Saale e.V., 2009, Thüringer Industriearchiv
- [5] Zeiss-Archiv BACZ 9272
- [6] Zeiss-Archiv BACZ 6060
- [7] Zeiss-Archiv BACZ 9271
- [8] Zeiss-Archiv BACZ 16298
- [9] Zeiss-Archiv BACZ 13410
- [10] Zeiss-Archiv BACZ 3992
- [11] Zeiss-Archiv BACZ 11730

#### Bildquellen:

Seiten 15-18, 22 Mitte und unten: Autor  
Seiten 19-21: Archiv Wasserkraftmuseum Ziegenrück

## Zur Überwindung der „energiewirtschaftlichen Kleinstaaterei“ Thüringens durch das „Thüringenwerk“

*Dr. Peter Glatz, Erfurt*

### Der Arbeitskreis „Stromgeschichte Thüringens“ der TEAG

Die TEAG Thüringer Energie AG nahm im Jahr 1998 die 75-jährige Wiederkehr der Gründung des Thüringenwerks im Oktober 1923 zum Anlass, der thüringischen Stromgeschichte eine Reihe von Veranstaltungen und Veröffentlichungen zu widmen und auf diese Weise die enorme Bedeutung des elektrischen Stroms als Energieträger in Vergangenheit und Gegenwart zu würdigen und für eine breite Öffentlichkeit darzustellen. Zur Unterstützung dieser und in der Folge weiterer Vorhaben wurde vor 25 Jahren der Arbeitskreis „Stromgeschichte Thüringens“ der TEAG gebildet, der am 6.2.1997 zum ersten Mal zusammenkam. [1]



Titelseite  
Broschüre  
„25 Jahre AK  
Stromgeschichte  
Thüringens“



Aber schon auf der Stufe der Weiterentwicklung von der ortsgebundenen Versorgung zur Überlandversorgung (etwa von 1900 bis 1914) machten sich in Thüringen die engen Landesgrenzen bemerkbar. Schmid-Burgk urteilt: „Wohl ging die Entwicklung verschiedentlich über die zu engen Grenzpfähle hinweg, aber das Gesamtversorgungsbild Thüringens bis zum Zusammenschluss der Einzelstaaten ... ist doch im Gegensatz zum Versorgungsbild vieler größerer deutscher Gebiete reichlich zersplittert und ein getreues wirtschaftliches Spiegelbild der Kleinstaaterei.“ ([4], S. 6)

In der Landtagsvorlage 1236 von 1921 wurde eingeschätzt: „So bietet Thüringen das Bild einer zwar außerordentlich starken Verästelung der elektrischen Leitungen (von rund 2300 Gemeinden sind etwa 1900 mit elektrischem Strom versorgt), mit der aber die Erweiterung der Erzeugungsstätten im allgemeinen nicht Schritt gehalten hat, vor allem auch, weil der Krieg die wohl denkbare gleichmäßige Entwicklung verhinderte.“ ([5], S. 1592)

Rings um Thüringen war die Konzentration der Elektrizitätswirtschaft am Ende des 1. Weltkrieges schon erheblich weiter fortgeschritten. So arbeiteten

- im Norden: die Elektrizitätswerk-Sachsen-Anhalt-A.-G.,
- im Süden: das Bayernwerk,
- im Osten: die A.-G. Sächsische Werke,
- im Westen: die Preußischen Kraftwerke Oberweser (später in der Preußischen Elektrizitäts-Aktiengesellschaft aufgegangen).

1920/1921 kamen die Unternehmenlenker der thüringischen Elektrizitätswirtschaft zusammen mit dem noch im Aufbau befindlichen Thüringer Wirtschaftsministerium zu der Erkenntnis, dass das Land an einem Scheideweg stehe:

- Entweder es kommt zu einer Vierteilung in der Fernversorgung mit viergeteiltem Anschluss an die genannten Nachbarunternehmen
- oder es gelingt der Aufbau einer eigenen landesweiten Stromversorgung mit der Möglichkeit, eigenständig zu agieren. ([4], S. 6)

Neben dem Abschaffen der politischen Kleinstaaterei musste nun auch die „elektrische Kleinstaaterei“ überwunden werden. Zu wichtigen Abschnitten dieser Entwicklung bis 1923 gehörten u. a.:

- der Beginn des Ausbaus der Oberen Saale durch die Firma Carl Zeiss Jena (sowie dem Wirken von Prof. Rudolf Straubel),
- das Bemühen einer Interessengemeinschaft thüringischer E-Werke um einen eigenständigen Elektrizitätsbezirk in Deutschland (Zusammenarbeit von Ministerialrat Gerhard Schmid-Burgk mit den Direktoren Wilhelm Müller/EW Jena und Albert Lange/EW Gispersleben),
- die Vorschläge des Ingenieurbüros Oskar von Miller, München,
- die Verhandlungen im Thüringer Landtag unter verschiedenen Regierungen.

An diese und weitere „Bausteine“ zur Gründung des Thüringenwerkes sowie an einige der damals auf verschiedenen Ebenen verantwortlichen Persönlichkeiten wird der Arbeitskreis „Stromgeschichte Thüringens der TEAG“ im Jahr 1923 in geeigneter Form erinnern.

#### Quellen:

- [1] 25 Jahre TEAG-Arbeitskreis „Stromgeschichte Thüringens“ (1997 – 2022), Hrsg.: TEAG Thüringer Energie AG, Erfurt, 2022
- [2] Trunit, Hanno: Thüringen im Strom der Zeit, Hrsg.: TEAG Thüringer Energie AG, München/Leipzig, 1998
- [3] Neuhaus, Siegmund; Glatz, Peter; Will, Klemens: Das Thüringenwerk. Ein Rückblick in die Stromgeschichte Thüringens, Hrsg.: TEAG Thüringer Energie AG, Erfurt, 2003
- [4] Das Thüringenwerk. Entwicklung und Aufbau von der Gründung bis zum Jahre 1929, Weimar o. J. (1929), darin: Schmid-Burgk, Gerhard: Vorgeschichte. S. 5-10
- [5] Vorlage Nr. 1236, betreffend Landeselektrizitätsversorgung für Thüringen, Ausbau der Wasserkräfte und Kapitalbedarf. vom 5. Juni 1923, in: Drucksachen des II. Landtages von Thüringen 1921-1923, Bd. II, S. 1590-1598



In den Folgejahren entwickelte sich ein dringendes Bedürfnis für eine umfassende Elektrizitätsversorgung auch auf dem „flachen Land“ außerhalb der größeren Städte. Die bereits bestehenden E-Werke (Schmalkalden, Ruhla, Brotterode, Mehliß, Waltershausen, Floh, Friedrichroda, Zella St. Blasii, Steinbach (Meiningen), Seligenthal, Schweina, Georgenthal, Ohrdruf) waren zudem ausschließlich Gleichstrom-E-Werke. Sie reichten nur aus, um den damaligen örtlichen Bedarf an Elektrizität, und zwar vorwiegend für Lichtzwecke, zu befriedigen. Eine Ausdehnung der Stromlieferung über das Weichbild der Städte hinaus war aus technischen Gründen mit Gleichstrom nicht möglich. [1] Dem schnell wachsenden Bedarf waren sie nicht mehr gewachsen. In den Jahren von 1909 bis 1911 verhandelten so das Staatsministerium des Herzogtums und die Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft (AEG) über eine einheitliche Versorgung des Gothaer Landesteiles. Im Ergebnis der Verhandlungen entstand im Jahre 1911 ein langfristiger Vertrag, in dem die AEG sich verpflichtete, ein Überlandwerk zu errichten und eine Überlandbahn von Gotha über Friedrichroda nach Tabarz zu bauen (heute: Thüringerwaldbahn, d. A.). Ähnliche Verträge wie mit dem Herzogtum Gotha und der AEG wurden etwa zur gleichen Zeit mit den preußischen Kreisen Schmalkalden und Schleusingen sowie mit der Stadt Suhl abgeschlossen. [2]

Zur Durchführung des Elektrifizierungsprogramms war es geboten, die schon bestehenden örtlichen Gleichstrom-Elektrizitätswerke soweit wie möglich in den Versorgungsplan der AEG einzubeziehen. Die hierauf gerichteten Bestrebungen führten zunächst zu einer Verständigung der mittelbar oder unmittelbar an der Stromversorgung der West- und Südthüringer Gebiete interessierten Elektrizitätsunternehmen. Dazu gehörten die AEG und die 1897 von der AEG gegründete Elektrizitäts-Lieferungs-Gesellschaft Berlin (ELG) als Besitzerin der Elektrizitätswerke Ruhla, Schmalkalden und Mehliß. Außerdem kamen dazu die Elektrizitäts-Aktiengesellschaft, vorm. Lahmeyer & Co., Frankfurt a. M. als Besitzerin der Aktien der „Elektrizitätswerk und Straßenbahn Gotha AG“ (1903 gegründet) sowie die „Bank für elektrische Unternehmungen“, Zürich. Die „Bank für Elektrische Unternehmungen“ wurde 1895 von der AEG in Verbindung mit einem Bankenconsortium unter Führung der Schwei-

zerischen Kreditanstalt gegründet. Sie war eine typische Finanzierungsgesellschaft der europäischen Elektroindustrie des ausgehenden 19. Jahrhunderts. Wegen des großen Kapitalbedarfes und des hohen unternehmerischen Risikos in dieser Phase der Industrialisierung gründeten einige große Industrieunternehmen (wie die AEG) in Verbindung mit Banken und anderen Geldgebern Tochtergesellschaften ohne operatives Geschäft, die ausschließlich der Beteiligung an anderen Unternehmen (meist über Obligationen) dienten. [3]

Auch die Aktiengesellschaft für elektrische Licht- und Kraftanlagen Berlin, die für die Versorgung einzelner Gebietsteile Südthüringens verantwortlich war und bereits Elektrifizierungsvorarbeiten geleistet hatte, wurde einbezogen. Die aus diesen Firmen bestehende Vereinigung gründete ein Tochterunternehmen, das die umfassende Stromversorgung der West- und Südthüringer Gebiete vorzunehmen hatte. Das neue Unternehmen wurde der „Elektrizitätswerk und Straßenbahn Gotha AG“ angegliedert und war damit Rechtsnachfolgerin dieser AG. In der außerordentlichen Generalversammlung dieser Gesellschaft am 3.2.1912 wurde beschlossen, dem erweiterten Unternehmen den Namen „Thüringer Elektrizitäts-Lieferungs-Gesellschaft Aktiengesellschaft“ mit Sitz in Gotha zu geben. [2]

Nach ihrer Gründung übernahm die ThELG die Verpflichtungen, die sich aus den Verträgen der AEG ergaben. Außerdem übernahm sie von der Elektrizitäts-Lieferungs-Gesellschaft Berlin die Elektrizitätswerke Ruhla, Schmalkalden und Mehliß sowie von der Elektrizitätswerk- und Straßenbahn Gotha AG das Kraftwerk Gotha mit seinen nachgeordneten Gleichstrom-Verteilungsanlagen. [2]

Mit dem Herzogtum Meiningen schloss die ThELG einen ähnlichen Stromlieferungsvertrag wie mit dem Herzogtum Gotha ab. 1912 erwarb die Gesellschaft die oben genannten, kleinen Elektrizitätswerke Floh, Friedrichroda, Zella St. Blasii, Steinbach und Seligenthal. Mit den als Großabnehmer geführten selbständigen Elektrizitätsunternehmen Waltershausen, Eisenach, Schweina und Georgenthal wurden Sonderverträge vereinbart. Die Stadt Ohrdruf verpachtete 1912 ihr Elektrizitätswerk an die ThELG für 30 Jahre. [2]

# THÜRINGER ELEKTRICITÄTS-LIEFERUNGSGESELLSCHAFT

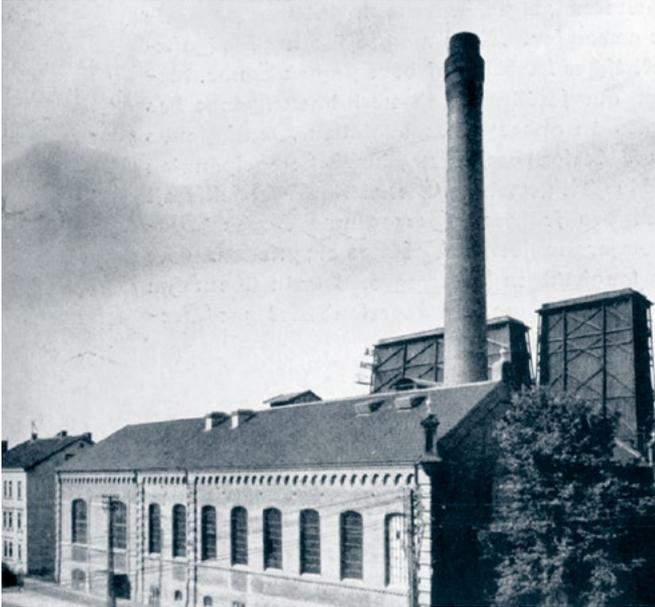
Versorgungsgebiet.



- ERKLÄRUNGEN:**
- Größere Städte
  - Größere Ortschaften
  - Kleinere "
  - Eisenbahnen
  - Flüsse
  - Landes- bzw. Kreisgrenzen
  - Kraftwerke
  - Haupt-Transformations-Stationen
  - Abgeschlossene Ortschaften
  - Freileitung bis 6000 Volt
  - Freileitung über 15000 Volt
  - Kabel
  - Leitungen im fremden Besitz

2 1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 km

Plan des Mittelspannungsnetzes der ThELG - Netzplan aus ThELG-Festschrift



E-Werk Gotha um 1925



E-Werk Ohrdruf um 1910

Ende 1916 erstreckte sich das Versorgungsgebiet der ThELG nach Westen bis Eisenach und nach Süden über Meiningen bis Suhl. Es waren bereits 96 Ortschaften an ihr Netz angeschlossen. Bis 1924 kamen weitere 53 Ortschaften hinzu. Im Jahr 1937 bezogen sieben Städte, 154 Gemeinden sowie 26 Elektrizitätswerke und Überlandzentralen Strom aus dem ThELG-Netz. Im Jahre 1937 gehörten zu den Netzanlagen der ThELG (neben den Dampfkraftwerken in Breitungen und Gotha):

- 13 Umspannwerke (UW) mit einer Gesamtleistung von 43,311 MVA (dazu kamen UW Ohrdruf 1939, UW Gotha-Ost 1940 und UW Westhausen 1943),
- 246 Ortsnetzstationen mit einer Gesamtnennleistung von 12,530 MVA,
- 180 Großabnehmerstationen mit einer Gesamtnennleistung von 34,290 MVA,
- 722 km 30-kV- und 6-kV-Mittelspannungsleitungen,
- 883 km Niederspannungs-Ortsnetzleitungen und
- 8 Drehstrom-Gleichstrom-Umformer mit einer Gesamtleistung von ca. 1,800 MW. [2]

Am 1.7.1948 wurde die ThELG wie auch andere Energieversorgungsbetriebe in Thüringen auf Grund des Befehls Nr. 64 der Sowjetischen Militäradministration enteignet und in Volkseigentum überführt. Sie wurde in die neu gegründete Vereinigung Volkseigener Betriebe Energiebezirk-Süd mit Sitz in Weimar eingegliedert. Heute gehören die Netzbereiche außerhalb der größeren Städte mit eigenen Stadtwerken zur TEAG Thüringer Energie AG. [2]

Quellen:

- [1] 25 Jahre Überlandversorgung durch die Thüringer Elektrizitäts-Lieferungs-Gesellschaft Aktiengesellschaft, Gotha, 1937
- [2] Neuhaus, Siegmund; Rauchhaus, Hans: Thüringer Elektrizitäts-Lieferungs-Gesellschaft Aktiengesellschaft Gotha, Hrsg.: E.ON Thüringer Energie AG, Erfurt, 3. veränd. Aufl., 2010
- [3] [https://de.wikipedia.org/wiki/Gesellschaft\\_f%C3%BCr\\_elektrische\\_Unternehmungen](https://de.wikipedia.org/wiki/Gesellschaft_f%C3%BCr_elektrische_Unternehmungen)

# AUTORENVERZEICHNIS

## Dipl.-Ing. Stephan Hloucal

(Regierungsdirektor a. D.)  
studierte von 1972 bis 1976 Informationstechnik und Theoretische Elektrotechnik an der Technischen Hochschule Ilmenau. Von 1976 bis 1990 war er im VEB Funkwerk Erfurt (FWE) tätig. Er beschäftigte sich mit elektronischer Messtechnik im Halbleiterbauelemente-Prüffeld und im Messgerätewerk. Von 1987 bis 1991 lehrte er nebenberuflich als Dozent an der Ingenieurschule Eisleben, Mess- und Prüftechnologie. Von 1990 bis 2006 war er Beamter in der Thüringer Staatskanzlei und dem Thüringer Kultusministerium. Ab 2006 berufliche Selbstständigkeit im Bereich Erneuerbarer Energien und Speichertechnologien. Seit 1990 ist er Vorsitzender des Thüringer Museums für Elektrotechnik e. V.

## Dipl.-Ing. Gerhard Roleder

studierte von 1975 bis 1979 Physik und Elektronische Bauelemente an der Technischen Hochschule Ilmenau. Von 1979 bis 1989 war er Technologe und Entwicklungsingenieur im VEB Elektroglass Ilmenau bzw. im VEB Mikroelektronik „Karl Marx“ Erfurt. Von 1990 bis 1995 wissenschaftlicher Mitarbeiter im Hygieneinstitut, danach Vertriebsingenieur bei Electronicon Gera und seit 2003 Account Manager für Produkte der Glasfaser- und Netzwerkübertragung bei GE / UTC Fire & Security. Mitglied im Thüringer Museum für Elektrotechnik e. V., Funkamateurlizenz seit 1971.

## Dr. Peter Glatz

studierte von 1952 bis 1956 Physik und Mathematik an der Universität Jena. Nach einer mehrjährigen Tätigkeit als Fachlehrer in Freiberg/Sa. und Sondershausen ab 1960 Mitarbeit im Bereich Physik des Pädagogischen Instituts Erfurt, der späteren Pädagogischen Hochschule (PH) Erfurt. 1975 Promotion an der PH Potsdam mit einer Arbeit zur historischen Entwicklung der physikalischen Einheiten und Einheitensysteme. Ab 1987 Hochschuldozent für Geschichte der Physik an der PH Erfurt, ab 1998 einige Jahre Gastdozent an der TU Ilmenau. Er ist Gründungsmitglied des Thüringer Museums für Elektrotechnik e. V. und seit 1997 Mitglied im Arbeitskreis Stromgeschichte Thüringens der TEAG. Beteiligung am Aufbau des historischen Archivs der TEAG.

## Dipl.-Ing. Matthias Wenzel

studierte von 1978 bis 1983 Elektrotechnik an der Technischen Universität Dresden. Von 1983 bis 1986 war er Technologe für piezokeramische Erzeugnisse im VEB Elektronik Gera in Gera. Mit dem Wechsel in den Direktionsbereich Energie- und Brennstoffökonomie des VEB Energiekombinat Gera im Jahr 1986 begann eine bis heute andauernde Beschäftigung in der Thüringer Energiewirtschaft (OTEV, TEAG, E.ON Thüringer Energie AG, TEAG Thüringer Energie AG) in verschiedenen Bereichen und Funktionen. Er vertritt die TEAG von Beginn an im Thüringer Museum für Elektrotechnik e. V., ist Mitglied im Arbeitskreis Stromgeschichte Thüringens der TEAG sowie im VDE-Arbeitskreis Geschichte der Elektrotechnik/Elektronik.

# IMPRESSUM

## Herausgeber:

Thüringer Museum für Elektrotechnik e. V.  
(Der Newsletter erscheint zweimal jährlich ausschließlich in elektronischer Form.)

## V. i. S. d. P.:

Stephan Hloucal

## Redaktion:

Matthias Wenzel, Stephan Hloucal

Anschrift: Thüringer Museum für Elektrotechnik e. V.,  
Hohe Str. 24, D-99094 Erfurt

[www.elektromuseum.de](http://www.elektromuseum.de)

Mail: [info@elektromuseum.de](mailto:info@elektromuseum.de)

Facebook: Thüringer Museum für Elektrotechnik

Twitter: ElektromuseumEF

Instagram: elektromuseum

Fon: 01 76 44 44 58 22

Bank: IBAN DE87820510000130084298

BIC HELADEF1WEM

Finanzamt Erfurt 151/141/18963

Amtsgericht Erfurt VR160490

## Haftungsausschluss:

Herausgeber und Redaktion übernehmen keine Forderungen, die aus Rechten Dritter zu einzelnen Beiträgen entstehen.

Für unverlangt eingesandte Texte, Fotos und Materialien wird keine Haftung übernommen.

Das ON.LINE-Magazin und alle in ihm enthaltene Beiträge, Fotos und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechts

ist ohne Zustimmung der Autoren oder der Rechteinhaber bzw. der Redaktion unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen jeder Art, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Speicherung in elektronische Systeme.

© Thüringer Museum für Elektrotechnik e. V., bei den Autoren und Fotografen 2022. Falls nicht anders vermerkt, liegen die Nutzungsrechte an den Fotos beim Thüringer Museum für Elektrotechnik e. V.

## Datenschutzerklärung - personenbezogene Daten:

Im Zuge der neuen EU-Datenschutz-Grundverordnung gelten strengere Regeln für die digitale Kommunikation. Ohne Ihre Zustimmung können wir Ihnen die nächsten ON.LINE-Ausgaben nicht mehr zusenden. Wir legen großen Wert auf den verantwortungsvollen Umgang mit Ihren Daten. Personenbezogene Daten wie z. B. Name und E-Mail-Adresse werden nicht erfasst, es sei denn, Sie geben uns diese Informationen freiwillig, z. B. zur Bearbeitung von Anfragen, bei Kommentaren, bei der Newsletter-Anmeldung. Die freiwillig gegebenen Daten werden ausschließlich für den Zweck verwendet, für den sie überlassen wurden und werden nicht an Dritte weitergegeben. Wenn Sie unser ON.LINE nicht mehr empfangen möchten, informieren Sie uns bitte per E-Mail. Ihnen steht das Recht zu, Ihre Einwilligung jederzeit mit Wirkung für die Zukunft gegenüber uns zu widerrufen. Dieser Widerruf kann formlos per E-Mail erfolgen.

Falls Ihnen die ersten Ausgaben von ON.LINE abhandengekommen sind, so Sie finden sie diese zum Herunterladen unter:

<https://www.elektromuseum.de/newsletter.html>.

Wir freuen uns, wenn Sie ON.LINE auch an interessierte Freunde, Bekannte und Kolleginnen und Kollegen weitergeben. Aktuelles von uns finden Sie auf Facebook, Twitter und Instagram!