

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 125/126 (1945)
Heft: 7

Artikel: Aktuelle Fragen des Transformatorenbaues
Autor: Troller, P.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-83605>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 16.05.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

nützliche Vergleiche liefert oder zur allfälligen Berichtigung der graphischen Darstellung der Beziehung Biege-Druckfestigkeit dient. Andererseits lässt sich der Gütebeiwert B des Zementes bestimmen, wenn neben der Druckfestigkeit K die Dichte ρ und die Zementbeigabe Z (hieraus das Verhältnis Z/W) bekannt sind.

Aktuelle Fragen des Transformatorenbaues

In den Nr. 22 und 23 des «SEV-Bulletin» vom 1. und 15. Nov. 1944 sind die Vorträge veröffentlicht, die an der Diskussions-tagung des SEV am 13. Juli 1944 von verschiedenen Fachleuten gehalten worden sind. Nachfolgend wird eine kurze Zusammenfassung davon gegeben und anschliessend werden noch einige weitere Fragen des heutigen Transformatorenbaues kurz berührt.

Mit dem Wachsen der Spannung und der Leistung der Transformatoren erreicht man allmählich die Grenzen der Ausführbarkeit der üblichen Bauweise. Zunächst seien zwei wichtige Neuerungen im Bau von *Grosstransformatoren* beschrieben, die sich bereits praktisch bewährt haben und von der Firma Brown Boveri entwickelt worden sind.

Die eine wesentliche Verbesserung für Grosstransformatoren mit über 50 kV Oberspannung hat man erzielt durch das Abgehen von der bisher üblichen Ausführung der Isolation zwischen der Ober- und Unterspannungswicklung. Diese Isolation bestand bei der bisher allgemein üblichen Bauart aus einer Anzahl von Hartpapierhüllen, zwischen denen sich Zonen von Isolieröl befanden. Die neue Bauart verwendet eine *kabelähnliche Isolation* aus ölgetränktem Papier, das den ganzen Zwischenraum zwischen der Unter- und Oberspannungswicklung ausfüllt. Infolge der besonderen konstruktiven Ausbildung dieser Isolation an den Enden hat sie den Namen «Isolation mit Spreizflanschwickel» erhalten. Diese neue Bauweise ermöglicht es, den Abstand zwischen Unter- und Oberspannungswicklung auf die Hälfte des bei dem bisherigen Verfahren notwendigen Wertes zu vermindern und damit eine wesentliche Verkleinerung der gesamten Transformatorenabmessungen zu erreichen, sodass allein durch diese konstruktive Verbesserung ohne Erhöhung der spezifischen Beanspruchung des Materials bei ungefähr gleichem Gesamtgewicht des betriebsbereiten Transformators die Leistung bei

den, dass sog. Wandertransformatoren für Spannungen von 220 000 Volt und Leistungen bis zu max. 140 000 kVA praktisch betriebsfertig mit Hilfe von Spezialfahrzeugen auf der Bahn transportiert werden konnten. Der Transformator ist dabei als Verbindungsstück zwischen den beiden Laufgestellen des Spezialwagens ausgebildet worden (Abb. 2). Die bisherigen Erfahrungen zeigen aber, dass für einen Dreiphasentransformator bei einer Leistung von rd. 150 000 kVA auch bei Spezialausführung des Bahnfahrzeuges die Grenze der Transportfähigkeit erreicht ist und dass für noch grössere Leistungen und höhere Spannungen der Dreiphasentransformator durch drei Einphasentransformatoren ersetzt werden muss. Hier bietet nun die neue Bauart des Kerns, nämlich der *radialgeblechte Kern* mit Ringrückschluss die Möglichkeit, die Höhe der Joche wesentlich zu verkleinern.

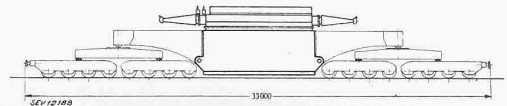


Abb. 2. Wandertransformator mit einer Typenleistung von > 140 MVA und 220 kV Oberspannung als Verbindungsbrücke zwischen den Laufgestellen des Transportwagens

Der Gedanke, einen radialgeblechten Kern mit magnetischem Rückschluss an der Mantelfläche herzustellen, ist nicht neu, aber erst die Entwicklung der Elektroschweissung ermöglichte seine praktische Ausführung. In Abb. 3 ist schematisch die alte und die neue Bauweise für einen Einphasentransformator dargestellt. Der Oelkasten erhält bei der Ausführung mit radialgeblechtem Kern zylindrische Form. Schwere Versteifungen wie bei einem viereckigen Kasten sind nicht mehr notwendig und der Oelinhalt des Transformators ist wegen des Wegfalls von nicht vollständig ausgenützten Zwischenräumen wesentlich kleiner. Genaue Berechnungen zeigen, dass für sehr hohe Spannungen und sehr grosse Leistungen drei betriebsfertig auf der Bahn transportierbare Einphasentransformatoren nur sehr wenig teurer kommen, als eine nur zerlegt transportierbare Dreiphaseneinheit gleicher Leistung. Für Freiluftaufstellung kann die neue Konstruktion nicht nur für Mammutanlagen, sondern bereits bei Einheiten von 30 000 kVA an gewisse Vorteile bieten. Bis jetzt wurde die neue Bauart hauptsächlich verwendet für Einphasentransformatoren für Lokomotiven, Triebwagen und ferner für regulierbare Löschdrosselspulen.

Transformatoren mit Aluminiumwicklung (nachstehend Al-Transformatoren genannt) wurden infolge der schwierigen Beschaffung von Kupfer erstmals in der Zeit von 1914/18 und dann seit 1939 in grösserer Anzahl gebaut. Eine umfassende Umfrage bei mehreren Elektrizitätswerken, Konstruktions- und Reparaturfirmen erfasste rund 2600 Al-Transformatoren, die während des jetzigen Krieges gebaut und abgeliefert wurden, und ferner noch etwa 100 Al-Transformatoren, die aus der Zeit des Weltkrieges 1914/18 stammen. Mit Ausnahme einiger Lokomotivtransformatoren handelt es sich ausschliesslich um Drehstrom-Transformatoren, 50 Hz, vorwiegend in Oel, mit Leistungen zwischen 8 und 22 000 kVA, Oberspannungen von 9 bis 73 kV und Unterspannungen von 220 V bis 10 kV. Die Beobachtungszeit beträgt wohl für die aus dem ersten Weltkrieg stammenden Transformatoren bis 25 Jahre, wogegen aber die Grosszahl der Lieferungen aus der gegenwärtigen Kriegszeit nur eine Betriebszeit von einigen Monaten bis höchstens vier Jahren hinter sich hat, was nach allgemeiner Ansicht für ein abschliessendes Urteil als zu kurz bezeichnet wird. Immerhin ist sehr bemerkenswert, dass bis jetzt keine der

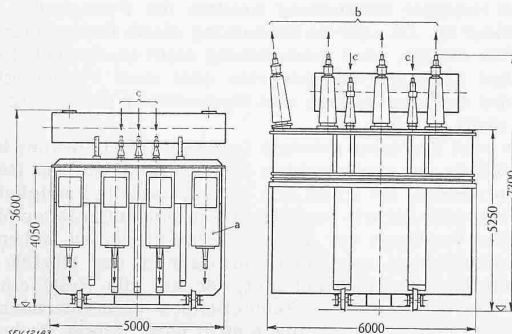


Abb. 1. Links Transformator von 1942 mit fast doppelter Leistung des viel grösseren Transformators von 1926 (rechts)

der neuen Isolierweise rund doppelt so gross ist. Als Beispiel sind in Abb. 1 die Transformatoren der Kraftwerke Oberhasli dargestellt. Rechts sieht man die alte Bauweise aus dem Jahre 1928 mit einer Leistung von 26 000 kVA und links im gleichen Masstabe die im Jahre 1942 gelieferten neuen Transformatoren mit neuer Isolierbauart und einer Leistung von 47 500 kVA. Da die neuen Transformatoren in einer Kaverne des Kraftwerkes Innerkirchens aufgestellt sind, wurden die Hochspannungskabel für 150 kV direkt am Transformator angeschlossen.

Die zweite Verbesserung betrifft eine Aenderung im Aufbau des Kerns der Transformatoren. In Europa hat sich für Drehstromgrosstransformatoren allgemein der dreischenkige Typ mit stehenden Säulen eingeführt. Es war aber nicht möglich, bei grösseren Leistungen den betriebsbereiten Transformator auf der Bahn zu befördern. Vielmehr musste der Transformator in der Fabrik fertig zusammengebaut und geprüft werden, dann für den Bahntransport teilweise zerlegt und am Aufstellungsort in oft wochenlanger Arbeit wieder zusammengesetzt werden. Für die nochmalige vollständige Austrocknung und Entgasung am Montageort sind umfangreiche und kostspielige Einrichtungen erforderlich. Die Bauhöhe für den Bahntransport ist durch das Bahnprofil auf 4,5 m beschränkt. Durch den Uebergang vom drei- zum fünfschenkigen Kern gelang es dann, die Jochhöhe des Transformators und damit die Gesamthöhe so zu vermin-

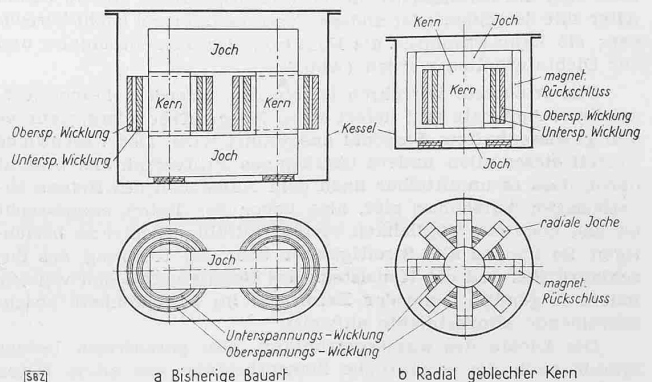


Abb. 3. Schematische Darstellung eines Einphasentransformators in bisheriger Bauart (a) und mit radial geblechtem Kern (b)

aufgetretenen Störungen an den über 2300 Al-Transformatoren auf die Verwendung von Aluminium als Wicklungsmaterial zurückgeführt wird. Bisher sind keine Schäden an Al-Transformatoren infolge von Kurzschlüssen aufgetreten, trotzdem in dieser Beziehung wegen der weniger guten elastischen Eigenschaften des Al gegenüber Cu bei stossweiser Belastung gewisse Bedenken bestanden.

Da der Widerstand des Aluminiums etwa 1,65 mal grösser ist als bei Kupfer, muss der leitwertgleiche Al-Leiter auch den 1,65-fachen Querschnitt aufweisen. Aus diesem Grunde hat der leitwertgleiche Al-Leiter trotz der nur etwa halb so grossen Zugfestigkeit des Aluminiums gegenüber geglühtem Kupfer zufolge seines grösseren Querschnittes eine absolute Festigkeit von 70 bis 90% des Kupferleiters. Der konstruktive Aufbau des Al-Transformators ist im Prinzip gleich wie bei Kupferwicklung, weist aber ein grösseres Eisengewicht, ein grösseres Gesamtvolumen und eine grössere Oelmenge auf. Das Gesamtgewicht des Al-Transformators ist aber wegen dem geringen spezifischen Gewicht des Aluminiums trotzdem etwa gleich gross wie dasjenige eines Transformators gleicher Leistung mit Kupferwicklung.

Verbindungen von Aluminiumleitern erfordern eine grundsätzlich andere Behandlung und Herstellungsweise als Kupferleiter. Anfänglich bot die Herstellung einer einwandfreien Al-Lötverbindung gewisse Schwierigkeiten, die aber heute behoben sind. Die Hartlötung ermöglicht jetzt, absolut korrosionsfeste Verbindungen herzustellen. Verschraubte Verbindung mit genügend starken Eisenschrauben, gut vorbereiteten Kontaktstellen und federnden Zwischenlagen haben sich ebenfalls bewährt, während sich Al-Schrauben als nicht zweckmässig erwiesen haben, weil sie sich mit der Zeit streckten. Die Schweissung von Al wird heute als die beste und sicherste Verbindungsart bezeichnet erfordert aber besonders dazu eingeschulte Arbeiter.

Die Wirtschaftlichkeit moderner Al-Transformatoren kann wegen zu kurzer Betriebs- und Beobachtungszeit noch nicht richtig und endgültig beurteilt werden, denn sie hängt neben andern Faktoren besonders vom gegenseitigen Preisverhältnis zwischen Kupfer und Aluminium ab. Die Anschaffung von Al-

Transformatoren kann aber heute ohne weiteres gerechtfertigt werden, wenn auch das Al gegenüber Cu als Wicklungsmaterial für Transformatoren in wirtschaftlicher Beziehung etwas ungünstiger dasteht.

Zwischen der Verwendung von Transformatoren mit Aluminiumwicklung und dem Transformatoröl von Kriegsqualität besteht der folgende interessante Zusammenhang: Die Qualität des Isolieröles für die Verwendung in Transformatoren hatte sich bereits im Verlaufe des Weltkrieges 1914/18 sehr stark verschlechtert. Nach kurzer Betriebszeit zeigte sich in Transformatoren, die mit solchem Öl gefüllt waren, sehr starke Schlamm- und Harzbildung, die wegen Hinderung der Wärmeabfuhr zu Ubertemperaturen führte. Nach durchgeführter Reinigung ging die Schlamm- und Harzbildung weiter und es zeigte sich auch eine starke Verminderung der mechanischen Festigkeit der zur Leiterisolation verwendeten Baumwolle. Das heute erhältliche Isolieröl weist auch nicht Vorkriegsqualität auf, ist aber nicht so schlecht wie 1914/18. Es erscheint nun nach den bisherigen Beobachtungen als sehr wahrscheinlich, dass sich Al-Wicklungen mit schlechtem Isolieröl viel besser vertragen als Cu-Wicklungen, weil Kupfer auf die Alterungsvorgänge bei Isolieröl stark katalytisch wirkt, während Al die Alterung praktisch nicht beschleunigt. Soweit man die Angelegenheit heute überblicken kann, ergibt sich wahrscheinlich aus gegenwärtig noch laufenden Versuchen, dass die meisten heute erhältlichen Isolieröle in kupferfreien Transformatoren ohne weiteres verwendet werden können.

Kühlung der Transformatoren. Die neueren Grosstransformatoren werden meist mit Zwangs-Oelumlauf (Umwälzpumpe) gekühlt, weil sich dadurch Oelvolumen und Platzbedarf vermindern lassen. Je nach den Verhältnissen erfolgt die Kühlung des Oeles mit Wasserkühlern (sehr kleiner Platzbedarf) oder in Luftkühlern, mit natürlicher Luftzirkulation oder künstlicher Bebläsung durch Ventilatoren, wobei Ventilatorleistungen bis zu 80 kW nötig werden, wenn man die Kühlflächen sehr klein halten will. Eine führende Schweizerfirma gibt heute dem forcierten Oelumlauf mit Wasserkühlung den Vorzug, während im Ausland in vielen Fällen die forcierte Luftkühlung (kein Wasserbedarf, keine Korrosionsgefahr, keine Frostgefahr) vorgezogen wird. Es werden aber auch in der Schweiz eine Anzahl von Grosstransformatoren mit künstlicher Luftkühlung betrieben, wobei die Kühlflächen aber so gross bemessen sind, dass während einem grossen Teil des Jahres bei Teillast die natürliche Kühlung ausreicht.

Lärm von Grosstransformatoren (Brummen). Der von Grosstransformatoren erzeugte Lärm hat bei Aufstellung in Freiluftanlagen in besiedelten Gebieten schon zu Anständen mit den benachbarten Einwohnern geführt. Durch starkes Anziehen aller Schrauben kann mitunter schon eine wesentliche Lärmverminderung erzielt werden. Ein gewisses Geräusch bleibt aber immer noch vorhanden, denn auch ein in sich geschlossenes, fugenloses Torroid gibt zufolge Magnetostriktion ein gewisses Geräusch ab. Die Verminderung der Induktion ist ein sehr unwirtschaftliches Mittel zur Geräuschbekämpfung. Erfahrungen in USA zeigen, dass durch entsprechende Konstruktion der entwickelte Lärm stark vermindert werden kann. Lässt sich der Lärm bei einer heiklen Umgebung durch konstruktive Massnahmen nicht unter das zulässige Mass senken, so müssen die Transformatoren in Gebäuden aufgestellt werden, oder es kann in Freiluftanlagen durch Einschaltung des Transformators mit schalldämmenden Wandungen Abhilfe geschaffen werden, wobei allfällige Kühlflächen selbstverständlich ausserhalb dieses «Kastens» aufzustellen sind.

Der vorliegende Ueberblick lag bereits druckfertig vor, als am 31. Januar 1945 in der «NZZ, Beilage Technik» ein ausführlicher Bericht über einen neuen, von der Maschinenfabrik Oerlikon unlängst fertiggestellten *Grosstransformator* von 60 000 kVA erschien. Die hauptsächlichsten Daten dieses Transformators (Abb. 4), der zu den grössten bisher in der Schweiz gebauten Einheiten gehört, sind die folgenden: Dreiwicklungs-Oeltransformator für Freiluftaufstellung, mit zweiteiligem, vakuumfestem Oelkessel, dreisäuliger Kerntyp mit Aluminiumwicklung und Isolation aus Papier und Zellwolle. Der betriebsfertige Transformator hat ohne den Kühler und das getrennt aufgestellte Oelausdehnungsgefäss eine Länge von 8,6 m, eine Breite von 3,3 m und eine Höhe von 8,5 m. Das während der Montage aufgenommene Bild mit dem auf dem Oelkessel stehenden Arbeiter gibt einen Anhaltspunkt über die Grössenverhältnisse. Die Verlustziffer des für den aktiven Teil verwendeten Bleches beträgt 1,3 Watt/kg, der mittlere Wirkungsgrad des Transformators nahezu 99%. Die Verlustleistung von 600 kW bei Vollast wird durch Kühlerbatterien abgeführt, die durch vier Ventilatoren

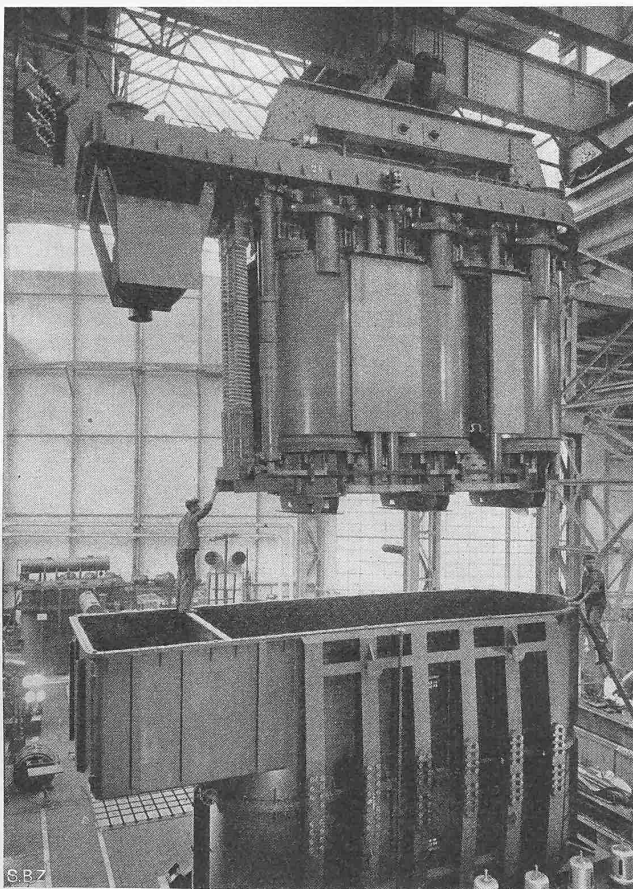
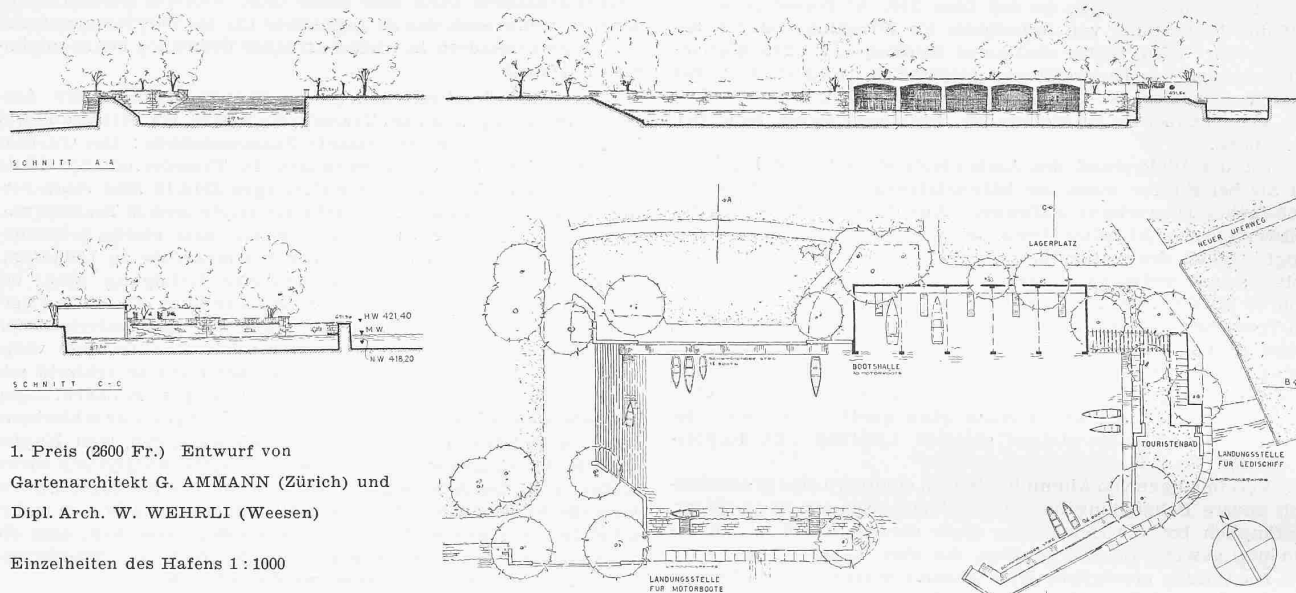


Abb. 4. Bau eines Drehstrom-Dreiwicklungs-Transformators 60 000 kVA, $10,5/116 \pm 16 \times 1,45/145 \pm 5\%$ kV, 50 Hz, in den Werkstätten der Maschinenfabrik Oerlikon. Der aktive Teil des Transformators wird in den Oelkessel eingefahren; Gewicht am Kranhaken rd. 100 t



1. Preis (2600 Fr.) Entwurf von
Gartenarchitekt G. AMMANN (Zürich) und
Dipl. Arch. W. WEHRLI (Weesen)

Einzelheiten des Hafens 1:1000

mit je einem 4 PS-Antriebmotor künstlich belüftet werden. Die Öelpumpen für die Umwälzung des zu kühlenden Öeles bilden mit den zugehörigen Motoren eine bewährte, stopfbüchsenlose Sonderkonstruktion, bei der der aktive Teil des Motors im gleichen Öelbad mit der Pumpe liegt. Der Grosstransformator übernimmt die Leistung einer Zentrale mit 10 kV Maschinenspannung und gibt sie überspannungsseitig an zwei verschiedene Hochspannungsnetze von 116 und 145 kV weiter. Die Unterspannungs-

wicklung ist entsprechend der Zentralenleistung für 35 000 kVA bemessen, während die Überspannungswicklungen, die auch noch den Energieaustausch zwischen den beiden Hochspannungsnetzen übernehmen müssen, für 60 000 kVA bemessen sind. Die 145 kV-Seite hat nur spannungslos schaltbare Anzapfungen für eine Spannungsänderung von $\pm 5\%$, wogegen die 116 kV-Seite einen unter Last schaltbaren Stufenschalter mit 32 Stufen von je 1450 Volt aufweist.

P. Troller

Ideenwettbewerb für die Gestaltung des Seeufers in Weesen (St. Gallen)

Aufgabe dieses Wettbewerbs (vgl. Bd. 124, S. 89 und 278) war es in erster Linie, die Führung der Gemeindestrasse nach Amden durch die Ortschaft Weesen hindurch abzuklären und in diesem Zusammenhang Schutzzonen, Freiflächen und Fusswege zur Erschliessung der Seeufer anzuordnen. Im Einzelnen wurden weiter verlangt: Parkplätze für 80 Personen- und 10 Gesellschaftsautos, neuer Bootshafen mit offenen Anlegeplätzen für 40 Ruderboote und geschlossener Bootshalle für 10 Motorboote, ein Landesteg für Motorboote und ein Anlegeplatz für ein Ledschiff mit anschliessendem Lagerplatz von 120 m². Etappenweise, sparsame Ausführungsmöglichkeit war zu beachten; der Seespiegel kann Schwankungen bis zu 3,30 m unterliegen.

Aus dem Bericht des Preisgerichts

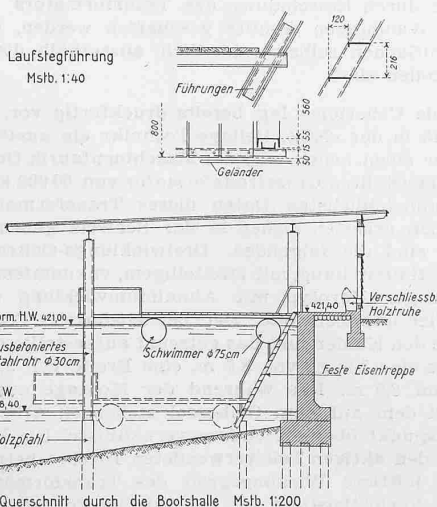
Dem Gemeinderat Weesen wurden innert der Frist 10 Entwürfe eingereicht. Am 13. und 14. November 1944 trat das Preisgericht vollzählig zur Prüfung der Projekte in Weesen zusammen. Arch. E. Fehr (St. Gallen) nahm als Ersatz-Preisrichter mit be-

ratender Stimme an den Verhandlungen teil. Im Anschluss an die Vorbesichtigung der Entwürfe fand eine nochmalige Begehung des Wettbewerbsgebietes statt.

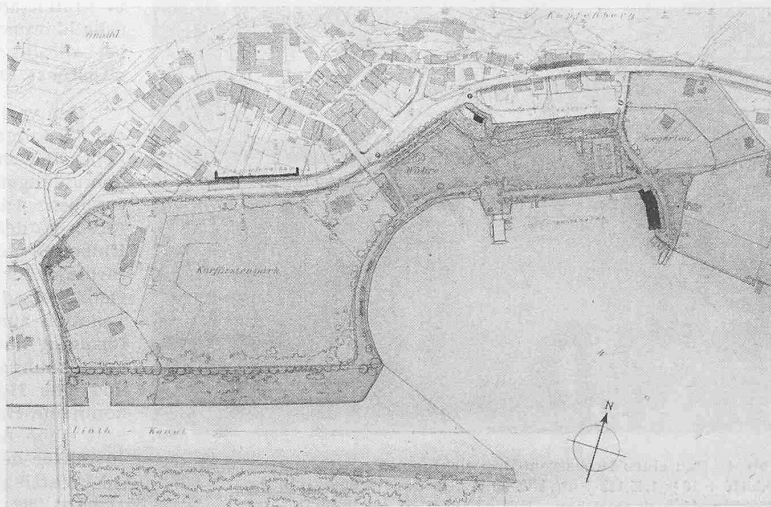
Die einzelnen Entwürfe werden wie folgt beurteilt (sie sind in der Reihenfolge der Bewertung aufgeführt):

Entwurf Nr. 3 bringt gut durchgearbeitete Vorschläge für alle im Programm enthaltenen Probleme. Nicht nur das engere Quaiegebiet, sondern auch die weiteren Einflussgebiete vom Bahnhof bis zur Gemeinde-Grenze Amden wurden sorgfältig studiert. Der Ausbau-Vorschlag für die Gemeinde-Strasse ist gut, diese bedarf aber noch eines Schutzstreifens auf der Bergseite. Die Anpassung des Fussgängerstreifens an die bestehende Bepflanzung ist vorbildlich. Die Aufhebung der Landzunge in der Bucht ermöglicht eine grosszügige Führung der Uferlinie. Die Auffüllung im östlichen Teil der Bucht ist richtig, dürfte aber zur Gewinnung einer noch grösseren Freifläche etwas erweitert werden.

Im Hinblick auf die Windverhältnisse, den Wellengang und die starken Schwankungen des Seespiegels ist die vorgeschla-



2. Preis (2000 Fr.) Entwurf Nr. 10. — Verfasser Arch. R. WALCHER, Rapperswil



Lageplan 1:6000