**Zeitschrift:** Bulletin de l'Association suisse des électriciens
**Herausgeber:** Association suisse des électriciens
**Band:** 49 (1958)
**Heft:** 15

**Artikel:** Die Misoxer Kraftwerke
**Autor:** [s.n.]
**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-1058538

**Nutzungsbedingungen**
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

**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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

**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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

**Download PDF:** 22.08.2025

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

49e année N° 15 Samedi, le 19 Juillet 1958

# BULLETIN

DE L'ASSOCIATION SUISSE DES ELECTRICIENS

ORGANE COMMUN

DE L'ASSOCIATION SUISSE DES ELECTRICIENS (ASE) ET DE L'UNION DES CENTRALES SUISSES D'ELECTRICITE (UCS)

## Die Misoxer Kraftwerke

Mitteilung der *Elektro-Watt*, Elektrische und Industrielle Unternehmungen A.-G., Zürich

621.311.21(494.262.43)

*Der Ausbau der Misoxer Kraftwerkgruppe bedeutet eine weitere wichtige Etappe in der Nutzung der Bündnerischen Wasserkräfte. Gleichzeitig wird mit dieser Werkgruppe, welche bei einer installierten Leistung von 190 000 kW eine durchschnittliche jährliche Energieproduktion von 530 Millionen kWh aufweist, ein wertvoller Beitrag zur Deckung des stets zunehmenden schweizerischen Energiebedarfs geleistet. Die Bauarbeiten für die erste Hauptstufe Pian San Giacomo–Soazza sind im vollen Gange; die zweite Stufe mit dem Speicherbecken Isola wird noch diesen Sommer in Angriff genommen. Im Herbst dieses Jahres soll bereits die dritte Stufe Valbella–Spina begonnen werden, welche in erster Linie der Zuleitung von Calancascawasser in die Kraftwerkanlagen im Misox dient. Die Anlagekosten für die gesamte Werkgruppe betragen, auf Preisbasis 1956 bezogen, 250 Millionen Franken.*

*L'aménagement hydro-électrique de la Mesolcina marque un nouveau pas dans la mise en valeur des forces hydrauliques grisonnes et contribue de façon non négligéable à la couverture des besoins énergétiques toujours croissants de notre pays. En effet, les centrales auront une puissance installée de 190 000 kW et produiront en année moyenne 530 millions de kWh. Les travaux du palier Pian San Giacomo–Soazza sont en cours. Les ouvrages d'un deuxième palier seront commencés cet été même avec la création du bassin d'Isola, tandis que les ouvrages du palier Valbella–Spina, permettant de dériver les eaux du Val Calanca dans la vallée de la Moësa, seront entrepris pendant l'automne. Le devis établi en 1956 de l'aménagement hydro-électrique de la Mesolcina se monte à 250 millions de francs.*

### 1. Geschichtlicher Rückblick

Zu Beginn des Jahres 1952 konnte die der Elektro-Watt, Elektrische und Industrielle Unternehmungen A.-G., in Zürich, nahestehende Calancasca A.-G., Roveredo, das Kraftwerk Calancasca in Betrieb nehmen, welches die Wasserkraft der Calancasca zwischen Buseno im unteren Calancatal und Roveredo im Misox ausnützt und jährlich rund 100 Millionen kWh elektrischer Energie erzeugt. In den folgenden Jahren arbeitete die Elektro-Watt verschiedene Projektstudien für den weiteren und umfassenden Ausbau der Wasserkräfte im Misox und im Calancatal aus. Bei näherer Untersuchung der Nutzungsmöglichkeiten ergaben sich zunächst gleiche Schwierigkeiten, wie sie verschiedenen Gesellschaften begegnet waren, die seit der Jahrhundertwende nacheinander die Nutzungsrechte an der Moesa erworben hatten; man musste das Fehlen von geeigneten Staumöglichkeiten feststellen. Wohl waren durch verschiedene Amtsstellen und Gesellschaften zahlreiche Projekte für eine umfassende Nutzung aufgestellt worden, so z. B. durch Einbezug des Greina- und Zervreila-Beckens sowie des auf Boden der Gemeinde Mesocco liegenden Curciusa-Beckens. Doch durfte nicht daran gedacht werden, diese Akkumulierbecken, die sich natürlicherweise nach dem Vorder- und Hinterrhein entwässern, in ein Kraftwerkprojekt für das Misox einzubeziehen und dadurch dem Rheingebiet Wasser zu Gunsten des Misox zu entziehen. In verschiedenen Projektvarianten wurde daher versucht, auf diese in fremden Einzugsgebieten liegenden Becken zu verzichten und durch die Schaffung eines Stausees San Bernardino von 40...60 Millionen m³ Nutzinhalt eine wirtschaftlichere Nutzung zu ermöglichen. Aus verschiedenen Gründen — wäre doch u. a. das ganze Dorf San Bernardino unter Wasser gesetzt worden — musste von der Ausführung dieses Projektes abgesehen werden. Später zeigte sich dann auf Grund der von Dr. Liver, Chur, und von Ing. Passet, Thusis, entwickelten Idee des Wasseraustausches zwischen den Einzugsgebieten der Moesa und des Hinterrheins ein Weg für die rationelle Nutzung der Misoxer Wasserkräfte. Im Frühjahr 1953 bewarb sich die der Elektro-Watt nahestehende Calancasca A.-G. bei den Gemeinden Mesocco und Soazza um die Konzessionen für die Kraftwerkgruppe Curciusa-Pian San Giacomo und Pian San Giacomo-Soazza, die im Juni des gleichen Jahres erteilt wurden. Die daran anschliessenden weiteren Projektstudien führten hierauf zur Ausarbeitung eines Projektes für die umfassende Nutzung der Misoxer Wasserkräfte, unter Einbezug der oberen Calancasca. Die letzten Konzessionen der total 18 Verleihungsgemeinden wurden im Herbst 1956 erteilt und im Februar 1957 durch den Kleinen Rat genehmigt. Nur wenige Monate später, am 7. Juni 1957, wurde die Misoxer Kraftwerke A.-G. in Mesocco gegründet und am gleichen Tag der Baubeschluss für die Erstellung des Kraftwerkes Soazza gefasst. An dieser neuen Kraftwerksgesellschaft mit Sitz in Mesocco sind folgende fünf Aktionäre beteiligt:

die Elektro-Watt, Elektrische und Industrielle Unternehmungen A.-G., Zürich;
die Elektrizitätsgesellschaft Laufenburg A.-G., Laufenburg;
der Kanton Graubünden;
die Centralschweizerischen Kraftwerke, Luzern;
die Schweizerische Kreditanstalt, Zürich.

Ferner haben die Verleihungsgemeinden das Recht, sich zu Lasten der Quote des Kantons mit insgesamt 2 % an der Gesellschaft zu beteiligen.

## 2. Hydrologische und geologische Verhältnisse

### *a) Hydrologie*

Die durch die Misoxer Kraftwerke ausnutzbaren Wasserkräfte weisen ein Gesamteinzugsgebiet von 215 km² auf. Als wasserwirtschaftliche Grundlagen zur Projektierung der Misoxer Kraftwerke dienten die Aufzeichnungen der folgenden, vom Eidg. Amt für Wasserwirtschaft betriebenen Limnigraphenstationen:

Moesa — Pian San Giacomo 1909 bis 1929
Moesa — Lumino seit 1913.

Auf die langjährige Periode 1913 bis 1951 bezogen ergeben sich folgende Abflusswerte:

*Abflusswerte*

Tabelle I

| Meßstelle | mittlerer Jahresabfluss l/s·km² | Abflusshöhe Winter m | Sommer m | Jahr m |
|---|---|---|---|---|
| Pian San Giacomo | 54 | 0,35 | 1,35 | 1,70 |
| Lumino . . . . | 46 | 0,35 | 1,10 | 1,45 |

Im Monat April ist im Gegensatz zu den meisten Flüssen der Alpennordseite schon relativ viel Wasser vorhanden, ein Umstand, der sich in der Verkopplung des südlich und des nördlich der Alpen herrschenden Wasserregimes energiewirtschaftlich günstig auswirkt.

Für das natürliche Einzugsgebiet des Kraftwerkes Soazza wurden die Abflusswerte der Meßstation Pian San Giacomo übernommen. Für die Werkeinzugsgebiete der übrigen Kraftwerkstufen ergeben sich je nach Höhenlage etwas niedrigere oder etwas höhere spezifische Abflüsse.

Zur Kontrolle der gemachten Annahmen und im Hinblick auf den vorgesehenen Wasseraustausch zwischen Moesa- und Hinterrheingebiet werden durch die Misoxer Kraftwerke folgende mit Limnigraph ausgerüstete Wassermeßstationen betrieben:

Mucciabach — Alpe Muccia seit Dezember 1953
Gulmagna — Pian Lumbrif seit Juni 1954
Areuabach — Curciusa di fuori seit Juni 1954
Areuabach — Nufenen seit Dezember 1953

### *b) Geologie*

Die geologischen Verhältnisse im Misox und im Calancatal sind als günstig zu bezeichnen. Sowohl die Staubecken Curciusa, Isola und Valbella, als auch die meisten Stollenbauten kommen in kristalline Gesteine zu liegen, deren Beschaffenheit vom Bau des Kraftwerkes Calancasca her bekannt ist.

Komplexere geologische Verhältnisse bestehen bei der Sperrstelle Valbella. Ferner sind beim rd. 2 km langen Druckstollen des Kraftwerkes Isola ein 50 m mächtiger Trias-Zug, bestehend aus Rauhwacke, Gips und vielleicht zuckerförmigem Dolomit, sowie eine rd. 1 km lange Bündner-Schiefer-Zone zu durchfahren. Der Druckschacht und die Kavernenzentrale Spina liegen ebenfalls in Bündner Schiefer, der als standfest bezeichnet wird.

## 3. Allgemeine Werkdisposition

Zur wirtschaftlichen und umfassenden Nutzung der Wasserkräfte der Moesa und der Calancasca wird eine Werkgruppe, bestehend aus 5 Stufen erstellt. In den Kraftwerken

Pian San Giacomo
Soazza
Roveredo
Isola und
Valbella,

denen ein Einzugsgebiet von 215 km² zur Verfügung steht, können im langjährigen Mittel 230 GWh [1]) Winterenergie (Oktober bis März) und 300 GWh Sommerenergie (April bis September), insgesamt also 530 GWh pro Jahr, erzeugt werden (Fig. 1). Die gesamte installierte Leistung beträgt 190 MW (Tab. II).

*Mögliche Energieerzeugung*

Tabelle II

| Kraftwerk | Mögliche Energieerzeugung Winterhalbjahr GWh | Sommerhalbjahr GWh | Jahr GWh |
|---|---|---|---|
| Pian San Giacomo . | 63 | 5 | 68 |
| Soazza . . . . . | 108 | 175 | 283 |
| Roveredo . . . . | 38 | 69 | 107 |
| Isola . . . . . | 15 | 37 | 52 |
| Valbella . . . . . | 6 | 14 | 20 |
| Total | 230 | 300 | 530 |

Das den Wasserrechtsverleihungen zugrunde liegende Projekt ist im Lageplan (Fig. 2) wiedergegeben. Zu den einzelnen Kraftwerken ist folgendes zu bemerken:

a) Das *Kraftwerk Pian San Giacomo* nutzt den oberen Areuabach, dessen Zufluss aus dem Val Rossa, sowie den Bach aus dem Val Balniscio, vom Stausee Curciusa bis Pian San Giacomo. Die Füllung des 28 Millionen m³ fassenden Staubeckens erfolgt mittels der natürlichen Abflüsse der genutzten Gewässer. Bei einem max. Bruttogefälle von 967 m und einer Ausbauwassermenge von 7 m³/s ergibt sich eine installierte Leistung von 56 MW und im Durchschnittsjahr eine Energieproduktion von 68 GWh. Der mit der Nutzung des oberen Areuabaches und seines Zuflusses aus dem Val Rossa verbundene Entzug von Wasser aus dem Einzugsgebiet des Hinterrheins wird durch Zuleitung einer gleich grossen Wassermenge aus dem Moesagebiet in den Areuabach (unterhalb der Staumauer Curciusa) kompensiert.

[1]) 1 GWh = $10^9$ Wh = $10^6$ kWh.

b) Das *Kraftwerk Soazza,* mit einem Ausgleichbecken in Pian San Giacomo, verarbeitet das aus den Kraftwerken Pian San Giacomo, Isola und Valbella anfallende Werkwasser, sowie das aus dem Zwischeneinzugsgebiet der Moesa fassbare Wasser in einer Zentrale nahe der Gemeindegrenze Soazza-Lostallo. Die Nutzung erfolgt mit einem Bruttogefälle von 708 m und mit einer Maschinenleistung von 80 MW. Nach Abzug der Energielieferungen an die Rhätische Bahn, als Realersatz für die Stillegung ihres kleinen Cebbiawerkes, beträgt die jährliche Erzeugung des Kraftwerkes Soazza 108 GWh im Winter und 175 GWh im Sommer.

c) Das *Kraftwerk Roveredo* nutzt die Wasserkraft der Moesa und der Traversagna in einer Zentrale oberhalb Roveredo. Das Bruttogefälle, vom Ausgleichbecken bis zur Wasserrückgabe, beträgt 181 m. Die Maschinenleistung wurde auf 26 MW festgelegt. Es lassen sich durchschnittlich 38 GWh Winterenergie und 69 GWh Sommerenergie erzeugen.

d) Das *Kraftwerk Isola,* mit einem Stausee von 6 Millionen m³ Inhalt, nimmt das verfügbare Wasser der Moesa unterhalb San Bernardino-Dorf auf und erzeugt mit einem max. Bruttogefälle von 411 m bei einer Ausbauleistung von 20 MW in der Zentrale Spina 15 GWh Winterenergie und 37 GWh Sommerenergie.

e) Das *Kraftwerk Valbella,* mit einem Stausee von ebenfalls 6 Millionen m³ Inhalt, nutzt das Wasser der oberen Calancasca und des Baches aus dem Val Larsgè in der mit der Stufe Isola gemeinsam betriebenen Zentrale Spina (in der Ebene von San Giacomo) und führt das Calancascawasser den unterhalb Pian San Giacomo gelegenen Werken Soazza und Roveredo zu. Durch diese Projektanordnung wird die umfassende Nutzung der Wasserkraft der Calancasca ermöglicht. Bis Spina beträgt das Bruttogefälle 158 m. Die Maschinengruppe mit der Ausbauleistung von 7,5 MW liefert 6 GWh Winterenergie und 14GWh Sommerenergie.

Die durch Überleitung von Wasser in den Anlagen im Misox erzeugbare Mehrenergie wie auch eine gewisse Minderproduktion im bestehenden Kraftwerk Calancasca sind in den oben erwähnten Produktionswerten der einzelnen Stufen bereits berücksichtigt.

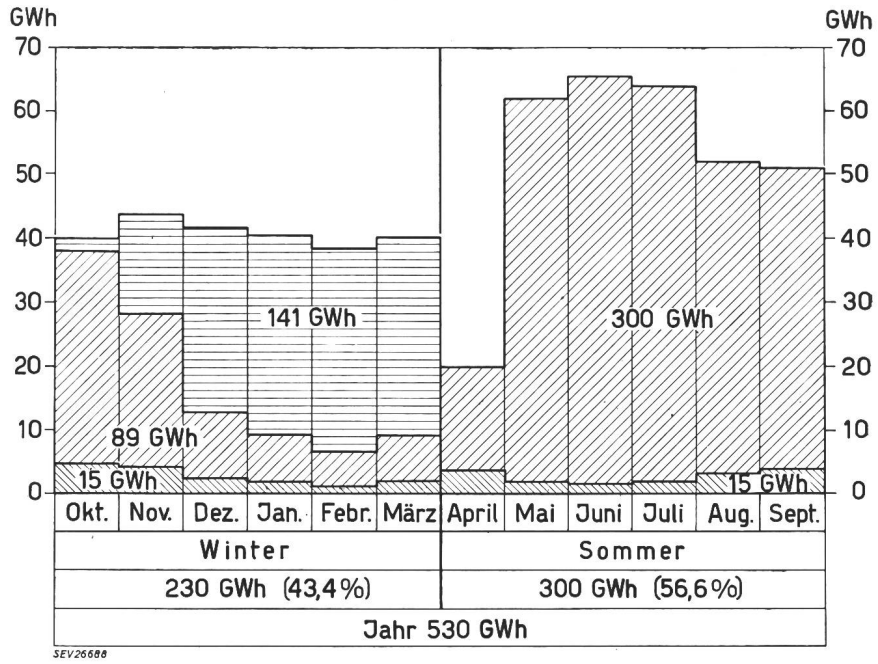


Fig. 1
**Energieerzeugung**
nach Abzug von Realersatz für bestehende Anlagen
Laufenergie
Speicherenergie (ohne Winterzuflüsse)
Realersatz

Im Verlaufe der Konzessionsverhandlungen hat die Calancasca A.-G. zu Gunsten der Monteforno A.-G., Bodio, auf den Erwerb der Wasserrechtsverleihungen für die beiden Kraftwerke Lostallo und Grono, in welchen 6 Bäche der linken Talseite unterhalb Soazza genutzt werden, verzichtet, nachdem feststand, dass die Monteforno einen angemessenen Anteil der Energieproduktion dieser Werke in einem im Misox zu errichtenden Industriebetrieb verbrauchen würde.

## 4. Ausbaugrössen der Kraftwerke

Bei der Festlegung der Betriebsstundenzahlen für die einzelnen Kraftwerkstufen war dem Umstand Rechnung zu tragen, dass bei der vorgesehenen Gesamtdisposition in Corina 3 Speicherwerke (Curciusa $28 \cdot 10^6$ m³, Isola $6 \cdot 10^6$ m³ und Valbella $6 \cdot 10^6$ m³) das Werkwasser an eine vierte Stufe (Kraftwerk Soazza) abgeben. Ferner war zu berücksichtigen, dass die Werkwassermengen der obenliegenden drei Anlagen von einer Grössenordnung sind, welche erlaubt, die Druckstollen mit dem für die Herstellung minimal möglichen Ausbruchquerschnitt auszuführen. Auf Grund von Wasserwirtschaftsplänen, welche für verschiedene gewählte Werkwassermengen

*Bruttogefälle und Ausbaugrössen*

Tabelle III

| Kraftwerk | Bruttogefälle m | Werkwassermengen m³/s | Betriebsstundenzahl im Winterhalbjahr h | Installierte Leistung kW |
|---|---|---|---|---|
| Pian San Giacomo | 967 | 7 | 1 200 | 56 000 |
| Isola . . . . . | 411 | 6 | 800 | 20 000 |
| Valbella. . . . . | 158[1]) | 6 | 1 200 | 7 500 |
| Soazza . . . . . | 708 | 14 | 1 600 | 80 000 |
| Roveredo . . . . | 181 | 18 | 1 700 | 26 000 |
| | | | Total rd. | 190 000 |

[1]) bei vollem Stausee, Stau 1351 m ü. M.

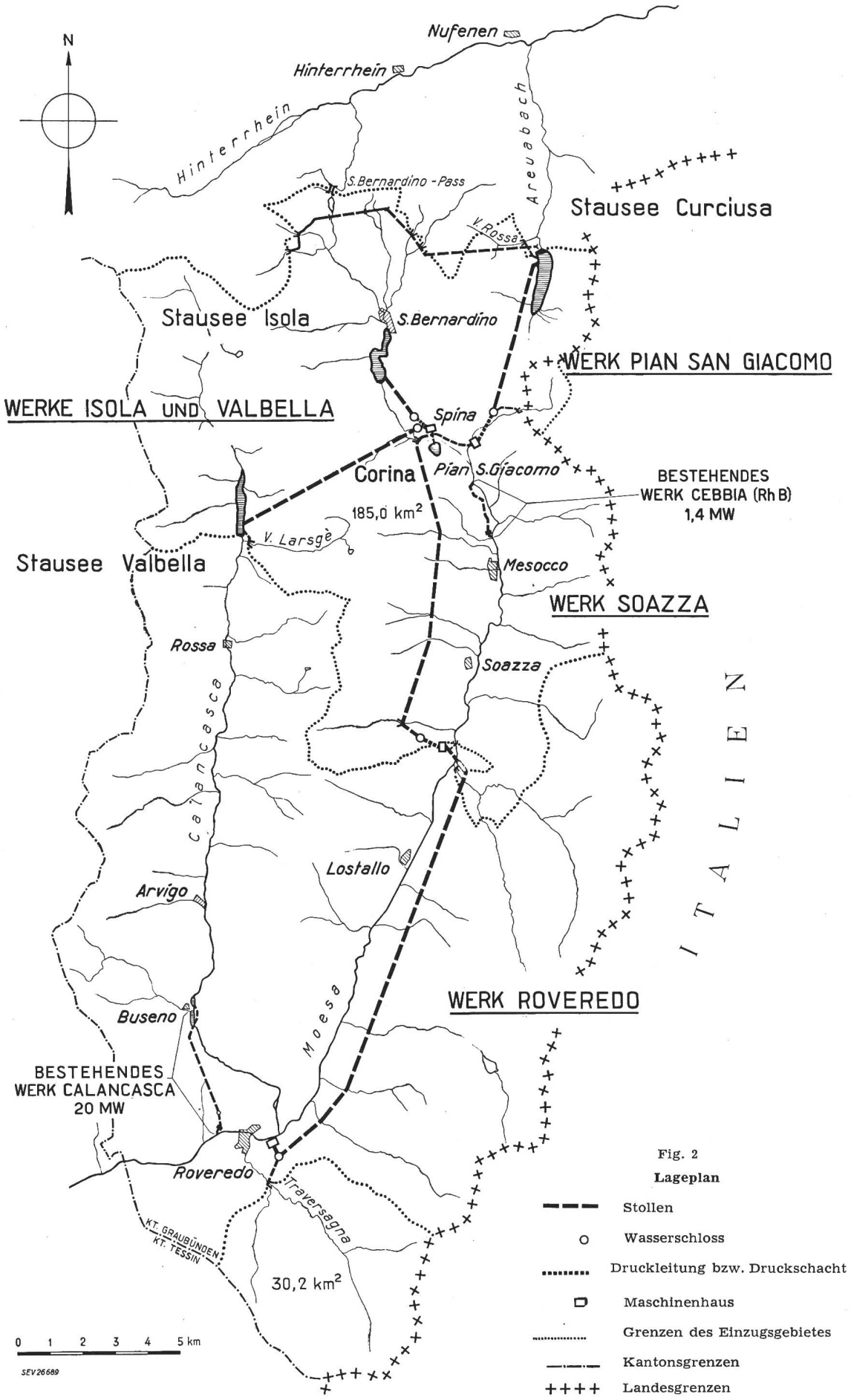


Fig. 2
**Lageplan**

- Stollen
- Wasserschloss
- Druckleitung bzw. Druckschacht
- Maschinenhaus
- Grenzen des Einzugsgebietes
- Kantonsgrenzen
- Landesgrenzen

bzw. Betriebsstundenzahlen der obenliegenden Stufen sowie unter Berücksichtigung der regulierenden Wirkung des Ausgleichsbeckens Corina (Nutzinhalt 120 000 m³) aufgestellt wurden, erwiesen sich die in Tabelle III angegebenen Betriebsstundenzahlen und Werkwassermengen als zweckmässig.

## 5. Beschreibung der Anlagen

### *a) Kraftwerk Pian San Giacomo*

Auf Grund der bisherigen Studien ist die Errichtung einer Bogengewichtsmauer im oberen Teil des Curciusatales mit einer maximalen Höhe von 86 m und einer Betonkubatur von 430 000 m³ geplant. Bei der max. Staukote 2164,50 m ü.M. weist der Stausee eine Länge von 2 km und eine maximale Breite von 470 m auf. Durch den Aufstau werden lediglich wenig nutzbares Weideland sowie grosse Schuttgebiete unter Wasser gesetzt.

Da das natürliche Einzugsgebiet nur 10,6 km² beträgt, wird Wasser durch einen kurzen Verbindungsstollen aus dem Val Rossa sowie durch den Druckstollen aus dem Balniscio-Bach zugeleitet. Für die Durchführung des Wasseraustausches mit dem Hinterrheingebiet ist die Zuleitung des Wassers aus dem Einzugsgebiet der Muccia- und Gulmagna-Bäche durch Hangleitungen, einen Düker und im letzten Abschnitt durch einen rd. 3,5 km langen Rohrstollen vorgesehen. Dieser wird so gebaut, dass er sowohl für die Erstellung der Staumauer als Transportstollen, als auch später während des Betriebes als wintersicherer Zugang verwendet werden kann. Die Mündung dieses Stollens liegt unterhalb der Staumauer auf Kote 2095 m ü.M.

Die Kavernenzentrale kommt an den östlichen Rand der Ebene von San Giacomo zu liegen. Das Werkwasser wird durch einen unterirdisch angelegten Verbindungskanal dem Ausgleichsbecken Corina des Kraftwerkes Soazza zugeführt. Da es sich

*Maschinen-Ausrüstung*

Tabelle IV

| Kraftwerk | Maschinengruppen | Maschinenleistung MW |
|---|---|---|
| Pian San Giacomo . . . | 2 | 28 |
| Soazza . . . . . | 2 | 40 |
| Roveredo . . . . . | 2 | 13 |
| Isola . . . . . | 1 | 20 |
| Valbella . . . . . | 1 | 7,5 |

beim Kraftwerk Pian San Giacomo um ein Speicherwerk handelt, ist der Betrieb dieser Anlage auf die Wintermonate beschränkt. Die Energie wird in einer Freiluftschaltanlage von der Maschinenspannung auf 220 kV transformiert und in die unmittelbar neben der Anlage vorbeiführende Leitung Soazza—Sils i. D. eingespeist.

### *b) Kraftwerk Soazza*

Diese zweite Hauptstufe im Misox erstreckt sich von Pian San Giacomo über eine Länge von rd. 11 km bis unterhalb des Dorfes Soazza. Die Lage des Ausgleichsbeckens im nördlichen Teil der Ebene von San Giacomo hat sich auf Grund der verschiedenen untersuchten Varianten, unter Berücksichtigung der örtlichen Gegebenheiten, als günstigste Lösung erwiesen. Durch die vorgesehene Disposition des Verbindungsstollens zwischen der Wasserfassung im Ausgleichsbecken und dem Unterwasserstollen der Zentrale Spina wird erreicht, dass die Zentrale Soazza, unter Benützung des Werkwassers aus der Zentrale Spina (Stufen Isola und Valbella) und der Zentrale Pian San Giacomo (Stufe Curciusa), auch bei Durchführung von Unterhaltsarbeiten im Ausgleichsbecken im Betrieb bleiben kann. Auf Grund der bei andern Kraftwerkbauten gemachten Erfahrungen wurde die Sohlenlage des Beckens so gewählt, dass eine schädliche Beeinflussung durch das Grundwasser nicht eintreten wird; ferner sind für die wasserdichte Verkleidung der Sohle und der Böschungen armierte Betonplatten vorgesehen. Die Wasserfassung an der Moesa mit Stauwehr, Entsander, Fallschacht und Sandablaßstollen liegt unmittelbar flussaufwärts des Ausgleichsbeckens in einer Talverengung, bei welcher der Fels beidseitig anstehend ist. Mit dieser Fassung wird das Werkwasser aus dem Zwischeneinzugsgebiet der Moesa unterhalb des Staubeckens Isola gefasst: sie wird für ein Schluckvermögen von 4 m³/s ausgebaut.

Der Druckstollen, welcher einen lichten Durchmesser von 2,5 m aufweist, schliesst unmittelbar an den Unterwasserstollen der Zentrale Spina an. In nächster Nähe des Wasserschlosses liegt die Buffalora-Fassung; sie ist derart dimensioniert, dass bei guter Entsandung 1 m³/s gefasst werden kann. Das Wasserschloss besteht aus einer oberen und unteren Kammer; sie sind durch einen schrägen Steigschacht von 110 m Länge miteinander verbunden. Der Druckschacht von 980 m Länge ist ein durchgehender Schrägschacht mit einem Durchmesser von 1,90 m und rd. 87 % Neigung vom Krümmer vor der Verteilleitung bis zur Sohle der obern Wasserschlosskammer. Aus Termingründen wurde ein Zwischenfenster angeordnet, um den Ausbruch sowie die Montage und das Einbetonieren der Panzerrohre von zwei Angriffsstellen her ausführen zu können.

Die Zentrale kann als Kavernenzentrale in einer topographisch günstigen Lage rd. 2 km unterhalb des Dorfes Soazza in einer Felsrippe unmittelbar neben der San Bernardino-Strasse und der Rhätischen Bahn angeordnet werden. Sie weist eine Länge von 56,00 m, eine Breite von 18,00 m und eine Höhe von 21,00 m auf (Fig. 3). Sie enthält ausser den zwei horizontalachsigen Pelton-Turbinengruppen eine Hausgruppe. Das Werkwasser wird durch einen rd. 400 m langen Unterwasserkanal vorübergehend, d. h. bis zur Erstellung des Kraftwerkes Roveredo, in die Moesa zurückgeleitet.

Die in der Zentrale Soazza erzeugte Energie wird durch 2 in der Freiluftschaltanlage aufgestellte Transformatorgruppen von der Maschinenspannung von 13,8 kV auf 220 kV transformiert. Ferner gelangt eine Kuppelregulier-Transformatorgruppe für die Kupplung der beiden Netze 50 kV und 220 kV zur Aufstellung. Unmittelbar neben der Freiluftschaltanlage befindet sich das Betriebsgebäude mit den erforderlichen Räumlichkeiten für die zentrale Steuerung sämtlicher Kraftwerke im Misox. Ferner sind in diesem Gebäude die 50-kV-Schaltanlage, so-

wie Montageräume, eine Reparaturwerkstätte usw. untergebracht.

*c) Kraftwerk Roveredo*

Wie aus dem Übersichtslängenprofil (Fig. 4) hervorgeht, nimmt die Gefällskonzentration unterhalb Soazza stark ab; das mittlere Sohlengefälle der Moesa beträgt nur noch 1,2 %, so dass bei der vorgesehenen Nutzungshöhe von 181 m eine Stollenlänge von rd. 14 km erforderlich ist. Das Werkwasser der Zentrale Soazza (max. 14 $m^3/s$) wird mit einem unter dem Flussbett der Moesa angeordneten Düker in das auf dem linken Ufer befindliche unterirdische Ausgleichsbecken der Stufe Roveredo geführt. Die Fassung des Wassers aus dem Zwischeneinzugsgebiet unterhalb der Wasserfassung Corina (rd. 4 $m^3/s$) erfolgt mit Hilfe eines Wehres und eines Einlaufbauwerkes rd. 200 m flussaufwärts der Zentrale Soazza. Da das bis Roveredo zur Verfügung stehende Gefälle relativ klein ist, erweist sich für die Aufrechterhaltung eines elastischen Betriebes der beiden Zentralen Soazza und Roveredo ein Nutzvolumen des Ausgleichsbeckens von rd. 30 000...40 000 $m^3$ als ausreichend.

Die Nutzung der 6 unterhalb Soazza liegenden Seitenbäche der linken Talseite erfolgt, wie bereits erwähnt, in den 2 Hochdruckanlagen Lostallo und Grono der Monteforno A.-G., Bodio. Die Unterwasserkanäle dieser beiden Seitenkraftwerke münden direkt in die Moesa, so dass eine beträchtliche Restwassermenge im Flussbett verbleibt. Hingegen ist vorgesehen, die Traversagna, einen weitern, relativ grossen linksseitigen Zufluss mit einem Einzugsgebiet von rd. 30 $km^2$, an der Fassungsstelle in der Stufe Roveredo zu nutzen. Das Wasser wird durch einen kurzen Verbindungsstollen von rd. 1 km Länge dem Wasserschloss zugeführt. Der Abtransport der Energie zur Hauptschaltanlage Soazza erfolgt über die in unmittelbarer Nähe vorbeiführende, neuerstellte 50-kV-Leitung Sassello—Soazza.

*d) Kraftwerk Isola*

Die topographischen und geologischen Verhältnisse für die Nutzung der Wasserkräfte des Resteinzugsgebietes von 43 $km^2$ zwischen den Fassungen an den Muccia- und Culmagnabächen (Überleitung ins Areuatal) und der Wasserfassung Corina des Kraftwerkes Soazza erweisen sich für die Erstellung einer Hochdruckspeicheranlage als günstig, kann doch durch einen nur 1,56 km langen Druckstollen ein Gefälle von rd. 400 m genutzt werden.

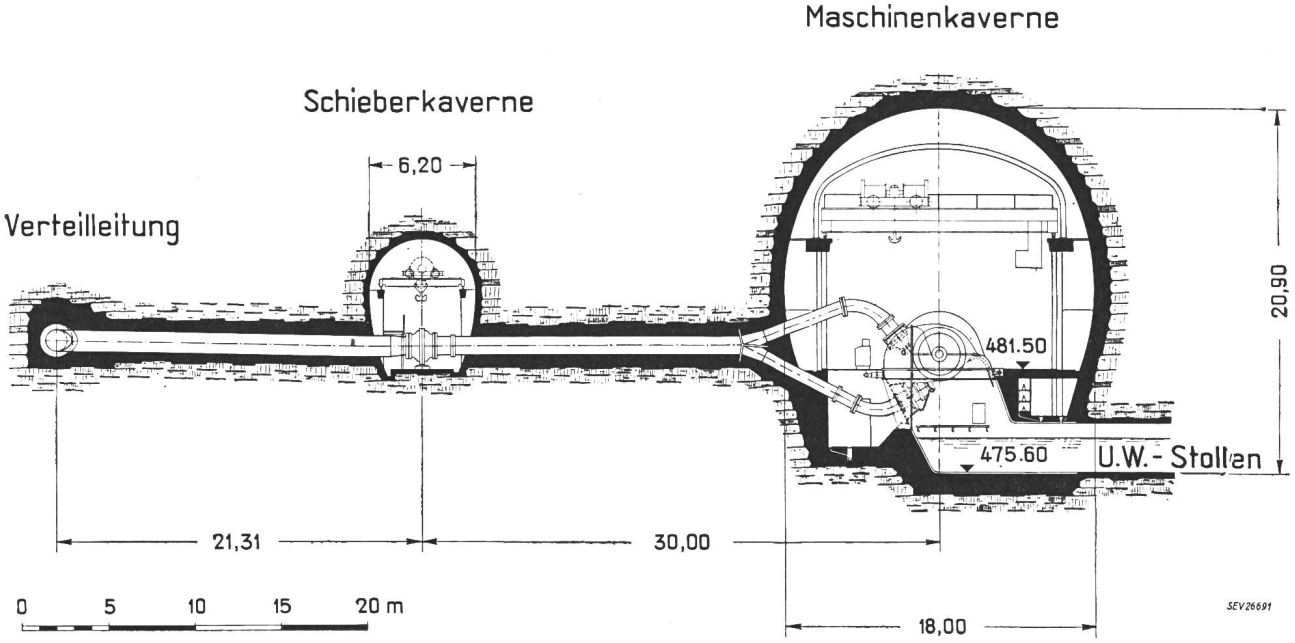


Fig. 3
**Kraftwerk Soazza**
Querschnitt durch die Schieber- und Maschinenkaverne

Rund 4 km unterhalb des Dorfes San Bernardino wird durch die Erstellung einer Staumauer ein Staubecken geschaffen, welches beim konzedierten maximalen Stauziel von 1604 m ü.M. einen nutzbaren Seeinhalt von 6 Millionen $m^3$ aufweist; die Länge des Sees beträgt rd. 2,8 km, die maximale Breite rd. 400 m. Nach eingehenden Vergleichsstudien, unter Berücksichtigung von Richtpreisen für eine Gewichtsmauer und eine Bogengewichtsmauer, wurde der letztere Mauertyp gewählt. Die Talsperre weist folgende Hauptabmessungen auf:

| | |
|---|---|
| Kronenlänge | 270 m |
| Kronenbreite | 5 m |
| Mauerhöhe über tiefster Fundationskote | 45 m |
| Max. Mauerstärke | 22 m |
| Betonkubatur | 70 000 $m^3$ |

Für die Ableitung der Moesa während den Bauarbeiten wird auf dem rechtsseitigen Ufer ein Umleitstollen gebaut, welcher ein Schluckvermögen von 75 $m^3/s$ aufweist, entsprechend einem mittleren spezifischen Hochwasserabfluss von rd. 2 $m^3/s \cdot km^2$ Einzugsgebiet.

Durchgeführte Untersuchungen haben gezeigt, dass die Zentrale Spina, in welche die Maschinengruppen der Stufen Isola und Valbella eingebaut werden, als Kavernenzentrale mit ähnlichem Querschnitt wie die Zentrale Soazza auszubilden ist. Das Werkwasser der Stufe Isola wird in einer Maschinengruppe mit einer Doppel-Pelton-Turbine vom gleichen Typ, wie sie in der Zentrale Calancasca zur Aufstellung gelangte, genutzt. Der Dreiphasen-Generator weist eine Leistung von 27,5 MVA auf. Die erzeugte Energie wird von der Maschinenspannung 7,5 kV auf 50 kV transformiert und in der Schaltanlage, die als Innenraum-Anlage gebaut wird, in die 50-kV-Leitung Spina—Soazza eingespeist. Das Werkwasser (6 m³/s) gelangt hierauf, gemeinsam mit demjenigen der Stufe Valbella (6 m³/s) in eine Schwall- und Überfallkammer und durch einen Fallschacht in den Druckstollen der Stufe Soazza. Zur Gewährleistung eines elastischen Betriebes der Stufen Isola, Valbella und Curciusa kann das Werkwasser durch einen Verbindungsstollen in das Ausgleichsbecken Corina geleitet werden.

*e) Kraftwerk Valbella*

Von verschiedenen untersuchten Möglichkeiten der Wasserüberleitung aus dem Calancatal ins Misox erweist sich die im Übersichtsplan (Fig. 1) dargestellte Disposition am zweckmässigsten. Bei Vabella, im hintersten Teil des Calancatales, rd. 3 km nördlich des Dorfes Rossa, ist die Errichtung eines Staubekkens von rd. 6 Millionen m³ Nutzinhalt (Stauziel 1351 m ü.M.) vorgesehen. Das gefasste Wasser (rd. 70 Millionen m³ im Durchschnittsjahr) wird durch einen 6,2 km langen Druckstollen mit einem lichten Durchmesser von 2,30 m dem Wasserschloss oberhalb der Zentrale Spina zugeführt und auf ein Gefälle von maximal 158 m mit einer Maschinengruppe (Francis-Turbine mit einem Schluckvermögen von 6 m³/s bei gefülltem Stausee) genutzt.

Nachdem die ersten geologischen Aussagen über die Sperrstelle Valbella eher günstig lauteten, hat sich im Verlaufe der 2 Sondier-Etappen 1956 und 1957 gezeigt, dass wesentlich komplexere geologische Verhältnisse vorliegen, als ursprünglich vermutet wurde. Auf Grund der im Bereiche der Talsperre (projektierter Damm mit einer Steinschüttung von 400 000...500 000 m³) durchgeführten Sondierbohrungen sowie eines Sondierstollens zeigte sich, dass der anstehende Fels (Kristallin) rd. 125 m unter der Terrainoberfläche liegt. Die bisherige Auswertung der Sondierresultate weist darauf hin, dass für die Abdichtung des Staubeckens an der Sperrstelle die Errichtung eines mehrere tausend m² umfassenden Dichtungsschirmes erforderlich ist. Sollte sich im Verlaufe der weiteren Studien zeigen, dass die Erstellung dieses Staubeckens auf Grund der heutigen Erkenntnisse mit zu grossen Risiken verbunden wäre, wird grundsätzlich an der vorgesehenen Disposition des Überleitungsstollens Calancatal—Misox trotzdem festgehalten, um die allfällige spätere Erstellung des Staubeckens Valbella nicht zu präjudizieren.

Bei Betrieb der Stufe Valbella—Spina als Laufkraftwerk kann praktisch die gleiche Wassermenge

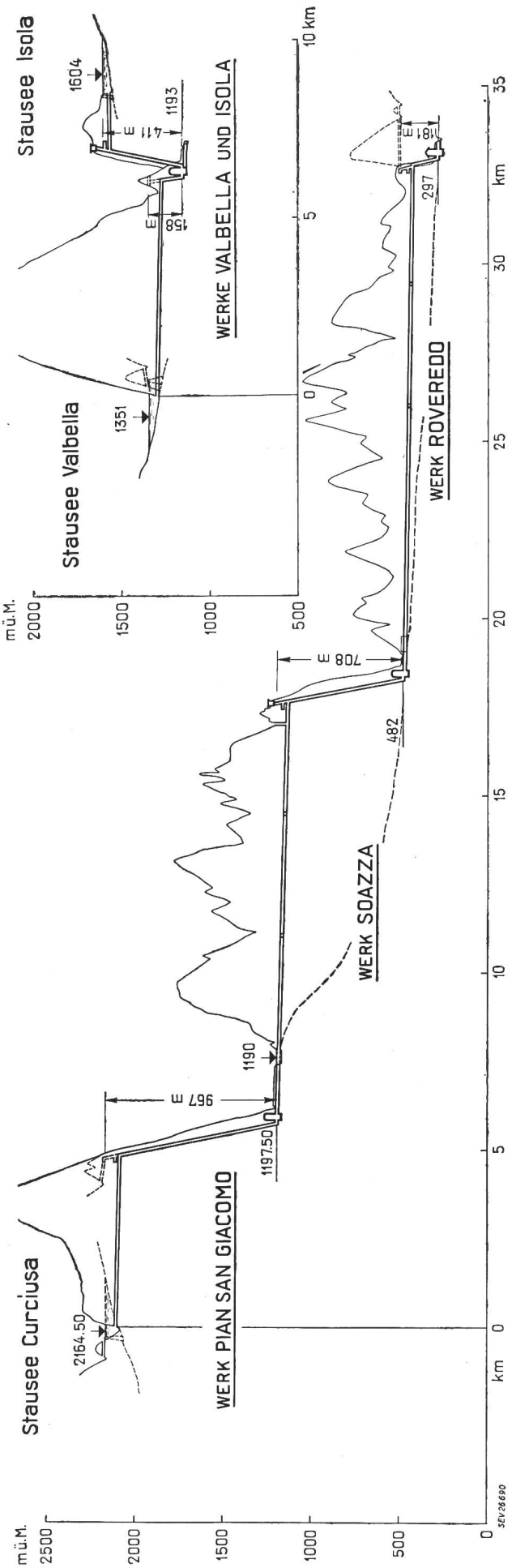


Fig. 4
Längenprofile

gefasst und verarbeitet werden wie beim Einsatz als Speicherwerk, wobei jedoch der Anteil der Winterenergie etwas kleiner wird. Mit Rücksicht auf das bestehende Kraftwerk Calancasca wird von einer Erhöhung der auf 6 $m^3/s$ festgelegten Ausbauwassermenge abgesehen.

## 6. Energieversorgung der Baustellen, definitive Energieübertragungsanlagen, Fernsteuerung

Die Versorgung der verschiedenen Baustellen der Misoxer Kraftwerke mit elektrischer Energie erfolgt von der bestehenden Zentrale Sassello des Kraftwerkes Calancasca aus. Die Energie wird mit 50 kV über eine doppelsträngige Betonmastenleitung nach Soazza übertragen, in einer temporären Unterstation auf 16 kV transformiert und in dieser Spannung den Transformatorenstationen auf den einzelnen Bauplätzen zugeführt.

Die Betonmastenleitung zwischen Sassello und Soazza ist eine Gemeinschaftsleitung der Calancasca A.-G. und der Monteforno A.-G., Bodio. Sie verbindet die im unteren Misox liegenden Zentralen Sassello und Roveredo sowie die Zentralen Lostallo und Grono der Monteforno A.-G. mit dem Knotenpunkt Soazza. Auch die vorläufig der Bauenergieversorgung dienende Hauptleitung zwischen Soazza und Spina wurde von Anfang an für eine Betriebsspannung von 50 kV ausgelegt, um im definitiven Betrieb die in der Zentrale Spina (Gemeinschaftszentrale der Isola- und Valbella-Stufe) erzeugte Energie nach Soazza übertragen zu können. Die Leitung wird vorläufig mit 16 kV betrieben.

Soazza bildet das Zentrum aller Kraftwerke im Misox. Die in dieser Anlage erzeugte Energie wird ab Generatorklemmen direkt auf 220 kV transformiert. Für den Abtransport sind folgende Leitungen vorgesehen:

— Von Soazza über den Passo San Bernardino nach Sils i. D. Mit dieser Leitung — mit den Vorarbeiten ist bereits begonnen worden — wird eine weitere wichtige Alpentraversierung geschaffen.
— Eine Verbindung über den Passo di Forcola nach Italien.
— Eine Leitung talabwärts mit Anschluss an die bestehenden Übertragungsanlagen im Tessin.

Ferner erfolgt in Soazza die Erzeugung der für den Eigenbedarf erforderlichen Energie sowie die Netz-Kupplung 50/220 kV, indem die dem Knotenpunkt Soazza mit 50 kV zugeführte Energie der oben erwähnten Zentralen auf das 220-kV-Netz übertragen wird.

Um die verschiedenen Zentralen im Misox optimal auszunützen, ist vorgesehen, alle Anlagen von Soazza aus derart fernzusteuern, dass jede Maschinengruppe der andern 6 Zentralen (Pian San Giacomo, Spina, Roveredo, Sassello sowie Lostallo und Grono der Monteforno A.-G.) vom Kommandoraum Soazza aus in Betrieb gesetzt, reguliert und abgeschaltet werden kann. Auch die Durchführung der Schaltprogramme in den Schaltanlagen erfolgt durch Fernsteuerung von Soazza aus. Die Aufrechterhaltung eines störungsfreien Betriebes erfordert eine umfangreiche Fernübertragungsanlage zur Übermittlung der zahlreichen Messwerte für Rück- und Störungsmeldungen. Ferner werden sämtliche Wasserstände der Staubecken und der Wasserfassungen, Schützenstellungen usw. aller im Misox liegenden Kraftwerkanlagen nach Soazza übertragen.

## 7. Bauprogramm, Natur- und Heimatschutzfragen, Baukosten

### *a) Bauprogramm*

Für das Misox erweist sich folgender Ausbauplan als zweckmässig:

| | | |
|---|---|---|
| 1. Bauetappe | 1957 bis 1960 | Kraftwerke Soazza und Isola |
| 2. Bauetappe | 1958 bis 1961 | Kraftwerk Valbella |
| 3. Bauetappe | 1960 bis 1965 | Kraftwerk Pian San Giacomo mit Staubecken Curciusa |
| 4. Bauetappe | anschliessend | Kraftwerk Roveredo. |

Unmittelbar nach der im Juni 1957 erfolgten Gründung der Misoxer Kraftwerke A.-G. gelangten die ersten Bauarbeiten für das *Kraftwerk Soazza* zur Ausschreibung, so dass bereits Ende Juli mit dem Bau des 10 km langen Druckstollens Corina—Soazza begonnen werden konnte. Im Dezember 1957 waren sämtliche 5 Baulose dieser Stufe vergeben.

Die Projektierungsarbeiten für das *Kraftwerk Isola* sind soweit fortgeschritten, dass im Monat Mai 1958 sämtliche Baulose zur Submission ausgeschrieben werden konnten; die Bauarbeiten für diese Kraftwerkstufe werden im Juli 1958 in Angriff genommen.

Für das *Kraftwerk Valbella* werden gegenwärtig die Projektierungsarbeiten durchgeführt, so dass voraussichtlich im Herbst 1958 die Bauarbeiten für den Verbindungsstollen vom Calancatal nach dem Misox begonnen werden können.

Für das *Kraftwerk Roveredo* sind noch weitere geologische Erhebungen durchzuführen, insbesondere im Gebiet des unterirdischen Ausgleichsbekkens und bei der Zentrale. Um für die Beurteilung von allfälligen Veränderungen der Grundwasserverhältnisse im Gebiet von Cabbiolo/Lostallo die erforderlichen Unterlagen zu erhalten, ist in diesem Gebiet die Errichtung eines Beobachtungsnetzes vorgesehen.

### *b) Natur- und Heimatschutzfragen*

Bei der Wahl der Disposition der Misoxer Kraftwerke ist ausser den topographischen, geologischen und wasserwirtschaftlichen Gegebenheiten den Belangen des Natur- und Heimatschutzes weitgehend Rechnung getragen worden. So werden z. B. im Gebiet von Corina, wo 4 Kraftwerkstufen zusammengeschlossen sind, von den Werkanlagen nur das Ausgleichsbecken und die Schaltanlagen der Zentralen Spina und Pian San Giacomo sichtbar sein. Durch geeignete Gestaltung werden auch diese Objekte in unauffälliger Weise der Landschaft angepasst.

Der Restwasserführung der Moesa und der Calancasca wird besondere Aufmerksamkeit geschenkt. So konnte insbesondere dadurch, dass die Misoxer

Kraftwerke auf die Nutzung des Werkwassers des Kraftwerkes Lostallo in der Zentrale Roveredo (durch direkte Einleitung in den Druckstollen Roveredo) verzichteten, erreicht werden, dass unterhalb der Einmündung des Unterwasserkanals des Kraftwerkes Lostallo in die Moesa ein erheblicher Wasserabfluss verbleibt.

In enger Fühlungnahme mit den zuständigen kantonalen Amtsstellen wurde sodann für das Gebiet von San Bernardino durch besondere Betriebsvorschriften für die Nutzung des Stausees Isola eine Lösung geschaffen, welche den touristischen Belangen weitgehend Rechnung trägt. Eine Regelung in ähnlichem Sinne wurde ebenfalls für die Nutzung des Buffalorabaches unterhalb des Dorfes Soazza vereinbart.

### *c) Baukosten*

Die Anlagekosten betragen für die gesamte Werkgruppe, auf Preisbasis 1956 bezogen, rd. 250 Millionen Franken.

**Adresse des Autors:**

*A. Spaeni*, Dipl. Ing. ETH, Elektro-Watt A.-G., Talacker 16, Zürich 1.

# Nachrichten- und Hochfrequenztechnik — Télécommunications et haute fréquence

## Gegengekoppelte Transistor-Vorverstärker

621.375.4

[Nach *R. Page Burr:* Transistor Feedback Preamplifiers. Trans. IRE, Broadcast and Television Receivers, Bd. BTR-3 (1957); Nr. 1, S. 35...39]

### *Einleitung*

Die Anwendung von Gegenkopplung in Verstärkern bietet immer Vorteile, doch müssen eine Anzahl Effekte sorgfältig gegeneinander abgewogen werden, soll nicht statt eines Gewinnes ein Verlust resultieren. Nachfolgend sollen einige Punkte behandelt werden, welche im Zusammenhang mit gegengekoppelten Transistor-Verstärkern auftreten. Die Ausführungen beschränken sich auf das obere Ende des Übertragungsbandes, da dort die Transistoren am meisten von den Vakuum-Röhren abweichen. Dabei wird vorausgesetzt, dass eine Schaltung nicht nur frei von wilden Schwingungen sein muss, sondern im gewünschten Bereich auch einen flachen Frequenzgang aufweisen soll.

Zunächst sei ein einfacher 2stufiger, gegengekoppelter Triodenverstärker betrachtet. Es sei angenommen, dass die Gesamtverstärkung ohne Gegenkopplung 3000 beträgt, d. h. also 55 pro Stufe, was mit Anodenwiderständen von je 100 kΩ und einer Steilheit von 5,5 mA/V erreicht wird. Die Streukapazitäten werden zu 30 pF angenommen, so dass die Bandbreite jeder Stufe 500 kHz beträgt. Der Gegenkopplungsfaktor sei 30, womit die Verstärkung mit Gegenkopplung 100 beträgt. Wird nun der Frequenzgang mit Gegenkopplung gemessen, so zeigt sich, dass bei einer Frequenz von ca. 5,3mal der Grenzfrequenz, also 2,7 MHz, eine Spitze auftritt, die um etwa 8,9 db überhöht ist. Dies rührt davon her, dass in diesem Teil des Bandes die Gegenkopplung wegen der unvermeidlichen Phasenverschiebungen in Rückkopplung übergeht. Wird die Gegenkopplung vergrössert, so beginnt der Verstärker schliesslich zu schwingen.

Vergrössert man nun den einen Anodenwiderstand 4mal und verkleinert den andern um denselben Faktor, so bleibt die Gesamtverstärkung dieselbe, aber die Grenzfrequenzen differieren um den Faktor 16. Eine Messung des Frequenzganges zeigt nur noch eine Anhebung von 2,5 db bei einer Frequenz von 4,5mal die Grenzfrequenz. Der Rückkopplungseffekt ist reduziert worden, und der Verstärker ist beträchtlich weiter weg vom Schwingungseinsatz.

Es kann gezeigt werden, dass der Frequenzgang maximal flach wird, wenn die Grenzfrequenzen der einzelnen Stufen in einem Verhältnis stehen, welches ungefähr 2mal dem Gegenkopplungsfaktor ist, hier also 60. Werden die beiden Grenzfrequenzen um $\sqrt{60} = 7{,}75$ nach oben und unten verschoben, so ergibt sich ein Frequenzgang, welcher bis zu 5,48mal die ursprüngliche Grenzfrequenz (2,74 MHz) verwendbar ist.

Daraus ergibt sich, dass gleiche Grenzfrequenzen bei beiden Stufen oberhalb der Grenzfrequenz zu einem raschen Anstieg der Phasendrehung führen. Sofern die Frequenzgrenzen um ca. den geometrischen Mittelwert auseinander geschoben werden, wird die Phasenverschiebung reduziert, so dass am Ende des Übertragungsbandes weniger Rückkopplung entsteht. Der Frequenzgang wird am günstigsten, wenn die Grenzfrequenzen um einen Faktor, welcher ungefähr gleich 2mal dem Gegenkopplungsfaktor ist, auseinander liegen.

### *Transistorverstärker*

Diese Bedingungen sollen nun beim Entwurf eines gegengekoppelten Transistorverstärkers eingehalten werden. Die sich daraus ergebenden Konsequenzen können am besten aus dem Ersatzschaltbild (Fig. 1) abgeleitet werden. Dieses Bild ersetzt den Transistor bis zur α-Grenzfrequenz und gilt für die übliche Schaltung mit geerdetem Emitter.

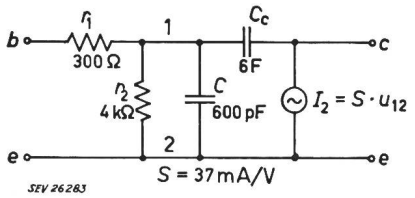


Fig. 1
**Ersatzschaltbild eines Transistors**
*b/e* Basis/Emitter; *c/e* Kollektor/Emitter; $r_1$ Basiswiderstand (abhängig von der Konstruktion des Transistors); $r_2$ dynamischer Basis/Emitter-Widerstand; *C* Diffusions-Kapazität; $C_c$ Kollektor-Kapazität (Kapazität zwischen Basis und Kollektor); $I_2$ Ausgangsstrom; *1, 2* siehe Text

Bei tiefen Frequenzen hat *C* keinen Einfluss, und $r_1$ und $r_2$ wirken als gewöhnliche Spannungsteiler. Bei hohen Frequenzen wird die Spannung $u_{12}$ an den Punkten *1, 2* und damit der Ausgangsstrom $I_2$ durch *C* bestimmt.

Bei Breitbandsystemen, wo die Stufenverstärkung nicht allzu hoch ist, entsteht kein grosser Fehler durch Vernachlässigung der Kollektorkapazität $C_C$. Unter diesen Bedingungen kann man sich den Transistor als Triode mit grosser Steilheit vorstellen, bei welcher zwischen Gitter und Kathode das Netzwerk $r_1, r_2, C$ angeschlossen ist. Der Frequenzgang wird dann hauptsächlich durch dieses Netzwerk bestimmt, wobei die Streukapazitäten fast keinen Einfluss mehr haben. Dies ist der grösste Unterschied zwischen Röhre und Transistor.

Der Frequenzgang hängt ausserdem von der Quellenimpedanz ab. Wird der Verstärker von einer Spannungsquelle (niederohmiger Generator) gespiesen, so ist die wirksame Zeitkonstante das Produkt aus $r_1$ und *C*, und die Grenzfrequenz beträgt mit den gegebenen Werten 800 kHz. Bei Speisung mit einer Stromquelle (hochohmiger Generator) spielt $r_1$ keine Rolle; die wirksame Zeitkonstante wird durch $r_2$ und *C* bestimmt. Die obere Grenzfrequenz beträgt in diesem Fall nur 65 kHz.

Man betrachte als Beispiel einen konventionellen 2stufigen, gegengekoppelten Transistor-Verstärker. Die zweite Stufe überträgt nur ein schmales Band, da sie über die relativ hohe Impedanz der ersten Stufe gespiesen wird. Wird der Verstärker nun mit einer niederohmigen Quelle betrieben, so über-