

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

**Band:** 23 (1932)

**Heft:** 19

**Artikel:** Die Abschreibung und Erneuerung von hydroelektrischen Kraftwerken : (aus dem Generalbericht über dieses Thema für den Kongress 1932 der Union Internationale des Producteurs et Distributeurs d'énergie électrique)

**Autor:** Rickenbach, W.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1059340>

#### 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:** 17.02.2026

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

## Die Abschreibung und Erneuerung von hydroelektrischen Kraftwerken.

(Aus dem Generalbericht über dieses Thema für den Kongress 1932 der Union Internationale des Producteurs et Distributeurs d'énergie électrique<sup>1</sup>).

Von W. Rickenbach, Direktor der Kraftwerke Brusio A.-G., Poschiavo.

621.311.21.00.3

### Programmpunkte für diesen Rapport:

I. Staumauern, Wasserfassungen, Zulaufkanäle, Ausgleichsbecken, Wasserschloss, Gebäulichkeiten, Unterwasserkanäle usw., d. h. alle Bauten in Mauerwerk oder Eisenbeton.

*Versandung der Staubecken, Frosteinwirkung auf die Staumauer, zerstörende Einwirkung auf Beton und Zement in gipshaltigem Boden. Rutschgefahr der Zulaufstellen in Moränegebiet. Verschiedene Schäden an Staumauern und Wasserfassungen bei Hochwasser usw.*

*Schätzung der Lebensdauer dieser Bauwerke.*

II. Schützen, Rechen, Windwerke und Antriebe, Druckleitungen, Ueberfallrohre aus Eisen und andere Eisenbauten im Freien.

*Roststeinwirkung und eventuell andere zerstörende Einflüsse auf diese metallischen Einrichtungen. Inkrustierung der Druckleitung.*

*Schätzung der Lebensdauer dieser Anlageteile.*

III. Turbinen, Generatoren.

*Abnützung der Turbinenräder und Ausläufe, Abnutzung der Regulatoren, der Absperorgane usw. Verschleiss der Wicklungen der Generatoren und der andern der Abnützung unterworfenen Teile.*

*Schätzung der Lebensdauer dieser Einrichtungen.*

IV. Abschreibungsquote, welche für die vorstehenden Einrichtungen einzeln in Anwendung zu bringen ist.

*Gesamt-Abschreibungsquote, welche für die Gesamtanlage in Anwendung zu bringen ist, indem der Wert der einzelnen Anlageteile und ihre Lebensdauer damit berücksichtigt ist.*

*Andere Faktoren, welche unabhängig von der Abnützung noch zu berücksichtigen sind, um die Amortisationsquote eines hydroelektrischen Kraftwerkes richtig erfassen zu können. Technischer Fortschritt, Dauer der Konzessionen, Bedingungen über den Heimfall der Bauwerke bei Ablauf der Konzessionen.*

*Einfluss der Abschreibungen auf den Gestehungspreis der durch ein hydraulisches Kraftwerk an den Klemmen der Generatoren erzeugten Energie.*

### Thèses pour ce rapport:

I. Barrages, prises d'eau, canaux d'aménée, réservoirs, chambres de mise en charge, bâtiments, canaux de fuite, etc., soit tous ouvrages en maçonnerie ou en ciment armé.

*Colmatage des bassins d'accumulation, effets du gel sur les barrages, destruction des bétons et ciments en terrain gypseux. Risques de dislocation des tunnels d'aménée dans des terrains mouvants. Avaries diverses aux barrages et prises d'eau en hautes eaux, etc.*

*Estimation de la durée de vie de ces ouvrages.*

II. Vannes, grilles, treuils, conduites sous pression, conduites de décharge en fer et autres ouvrages métalliques extérieurs.

*Effet de la rouille et éventuellement d'autres agents corrosifs sur ces ouvrages métalliques. Tuffage des conduites sous pression.*

*Estimation de la durée de vie de ces ouvrages.*

III. Turbines et alternateurs.

*Usure des roues et distributeurs, usure des régulateurs, des vannes, etc. Usure des bobinages des alternateurs et des autres parties exposées à l'usure.*

*Estimation de la durée de vie de ces organes.*

IV. Taux d'amortissement à appliquer aux divers organes considérés séparément.

*Taux d'amortissement général à appliquer à l'ensemble de l'installation, en tenant compte de la valeur comparée des divers organes et de leur durée de vie.*

*Autres facteurs à considérer indépendamment de l'usure, pour fixer le taux d'amortissement d'une usine hydro-électrique: Progrès de la technique. Durée des concessions, conditions d'abandon des ouvrages à l'expiration de ces concessions.*

*Influence de l'amortissement sur le prix de revient de l'énergie produite par une usine hydraulique, aux bornes des alternateurs.*

### Einleitung.

Um Grundlagen für die Beurteilung zu erhalten, wurde bei älteren Anlagen der Schweiz, welche schon 25 Jahre und mehr betrieben werden, eine Umfrage gemacht. Es ist klar, dass gerade bei solchen Anlagen, hauptsächlich durch die auf dem Gebiete der Elektrizitätserzeugung anfänglich überaus raschen technischen Fortschritte und bei den für fast jede Anlage anders gestalteten Bedingungen kaum ein zutreffendes gemeinsames Bild in der gestellten Aufgabe erzielt werden kann. Immerhin ergab die Verarbeitung der eingegangenen Antworten gewisse Anhaltspunkte, da es auch nicht an gemeinsamen Grundlagen fehlt, so dass trotz der grossen Verschiedenheit der Anlageverhältnisse einige allgemeine Richtlinien gewiesen werden können. Das einzelne Werk kann — bei eingehender Berücksichtigung seiner besonderen Verhältnisse — zu einem mittleren Abschreibungsmodus

und damit zu dem sicheren Rückhalt seiner laufenden Geschäftsansprüche kommen, wenn es das Verhalten der Anlageteile laufend beobachtet, darüber Statistik führt und die übrigen, ausserhalb liegenden, aber seinen Geschäftsbetrieb beeinflussenden Faktoren gebührend in Erwägung zieht. Darnach wird es möglich sein, die allfällig nötig erscheinenden Korrekturen der Abschreibungsquoten periodisch vorzunehmen, um sie der vielleicht im Laufe der Zeit geänderten ökonomischen Basis seines Geschäftsbetriebes wieder anzupassen.

Von 62 Werken, an welche die Umfrage gerichtet wurde, sind 48 Antworten eingegangen. Ausser den Daten schweizerischer Anlagen (von 600 kW bis 33 000 kW Leistung an den Turbinenwellen) sind uns durch die Chambre Officielle des Producteurs et Distributeurs d'Espagne über die seit 21 Jahren im Betrieb befindliche Anlage Salto del Bolarque (anfänglich 10 000 kW, jetzt auf 19 000 kW

<sup>1</sup>) Der französische Wortlaut dieses Berichtes ist bei der UIPD, 26, rue de la Baume, Paris 8<sup>e</sup>, erhältlich.

ausgebaut) am Zusammenfluss vom Tajo und Guadiela, 100 km von Madrid entfernt, interessante Daten zugekommen. Durch die Chambre Syndicale des Forces Hydrauliques, Paris, sind uns ebenfalls, als unser Bericht bereits redigiert war, Daten über zehn französische Unternehmungen zugekommen.

Das Ergebnis dieser Umfrage kann hier nur gedrängt dargestellt werden.

### I. Bauten in Mauerwerk oder Eisenbeton.

In den Anlagen, welche seit 25 bis 65 Jahren (Bolarque 21 Jahre) betrieben werden, erforderte die natürliche Abnützung an den Mauerwerksbauten wenig Ersatzbauten. In der Hauptsache handelte es sich nur um solche, welche durch Erweiterungen oder durch Umbau zwecks besserer Ausnützung und Berücksichtigung technischer Fortschritte sich als nötig erwiesen haben. Es sind dies Ergänzungen und keine Erneuerungen infolge Alterns. Nacharbeiten und grössere Reparaturen waren nötig, wo beim ersten Ausbau Fehler gemacht wurden, sei es durch unrichtige Materialverwendung oder durch unsorgfältiges Bauen. Konsolidierungsarbeiten waren an den Wasserbauwerken älteren Datums durch die natürliche Abnützung (Auskolkung infolge zu grosser Wassergeschwindigkeit usw.) erforderlich. Talsperren, Mauerwerke, Erddämme halten sich gut; ihre Lebensdauer wurde in den Antworten meistens mit unbestimmter Zeit angegeben<sup>2)</sup>.

*Versandungen* werden in vier Fällen nach 17 resp. 31 und 37 Jahren gemeldet, die zum Teil teure Wiederinstandstellung erforderten; es betrifft hauptsächlich Niederdruckanlagen. Bei den Hochdruckanlagen, mit geringer Wassermenge, ist eine Eliminierung der Versandungsgefahr durch Klär-einrichtungen viel leichter möglich. *Frosteinwirkung*, welche eine grössere Reparatur von Wehr und Betonkanal notwendig machte, wird nur von einem kleinen Werk im Hochgebirge angegeben. Holz und Eisen wurden hier als Ersatzbaustoffe angewendet. Eine Meldung betreffend zerstörende Einwirkung *anderer Einflüsse*<sup>3)</sup> auf Beton und Zement ist von schweizerischen Werken nicht erfolgt. *Rutschgefahr*<sup>3)</sup> bei Zulaufstollen ist ebenfalls sehr selten. Die von einem Schweizer Werk gemeldete Einwirkung des Bergdruckes in einem Zulaufstollen wurde durch Ausbau auf stärkere Profile behoben. *Hochwasserschäden* von grösserem Umfang verzeichneten fünf Anlagen. Bei einer Anlage traten solche Schäden innerhalb 35 Jahren dreimal auf, bei einer andern innerhalb 37 Jahren zweimal. Es ist dies jedenfalls als individuelles Merkmal der betreffenden Anlagen in besonders dafür exponierter Lage zu bewerten. — In einem Fall wird *Inkrustation des Zulaufstollens* infolge des zeitweise schlammigen, aus Moränegebiet stam-

menden Wassers gemeldet, welche ca. alle zehn Jahre entfernt werden muss. — In Hochgebirgsanlagen werden auch *Steinschlag* und der Niedergang von *Schneelawinen* besondere Vorkehrungen zum Schutze der Bauten notwendig machen und unter Umständen eine rasche Erneuerung erfordern. — Bei einem kleineren Werk muss der jetzige Standort des Maschinenhauses in absehbarer Zeit aufgegeben werden, da die Flusssohle, in welche die Wasserrückgabe des Werkes stattfindet, durch das Geschiebe eines Gletscherbaches überhöht wird.

Allgemein wurden keine auffallenden Alterserscheinungen angezeigt. Die Schätzung der Lebensdauer dieser Bauwerke bewegt sich zwischen 60 bis 100 Jahren, sofern keine Naturereignisse eintreten, der erste Ausbau einwandfrei war und ein guter Unterhalt vorhanden ist. Vorsichtigerweise sollte für die Abschreibung dieser Bauwerke in der Regel die mittlere Dauer nicht mit mehr als 70 Jahren angenommen werden, indem in vielen Fällen durch unvorhergesehene Ereignisse und nicht infolge von Baufälligkeit mit einer vorzeitigen Aufgabe — zum mindesten eines grösseren Teiles davon — zu rechnen wäre.

### II. Eisenbauten und andere Eisenteile im Freien.

Für diese Anlageteile weisen die auf die Umfrage eingelaufenen Meldungen eine sehr grosse Verschiedenheit auf, entsprechend den verschiedenen klimatischen und zahlreichen anderen Einflüssen und der überaus verschiedenartigen Aufstellung, ob im Wasser oder im Freien, in feuchten Stollen oder in der Erde verlegt usw.; so viel verschiedene Verlegungsarten möglich sind, so viel verschiedene Ergebnisse sind zu erwarten. Für diese Anlageteile ist zur Verlängerung der Lebensdauer ein sorgfältiger Unterhalt von ganz ausschlaggebender Bedeutung. Für die periodische Reinigung und den guten Anstrich eines für die jeweiligen Verhältnisse passenden Rostschutzmittels werden nach Lage und Beanspruchung Intervalle von zwei bis fünf Jahren angegeben. Gut unterhalten, sollen für schweizerische Verhältnisse bis jetzt Alterserscheinungen nicht zu beobachten gewesen sein. Die bisher nötigen Änderungen sind in der grossen Mehrzahl infolge Verbesserungen nach den gemachten Betriebserfahrungen und infolge Umbau oder Erweiterung erfolgt.

Am meisten gemeldet wird der Ersatz der Rechenanlage. Zum Teil gab auch hier eine durch Betriebserfahrung bedingte Verbesserung des ersten Ausbaues Anlass zur Erneuerung. Die vorzeitige Erneuerung des Rechens und des Einführungsbauwerkes ist in einem Falle nach 36 Jahren nötig geworden, weil das Ausgleichsbecken infolge zu tiefer Lage verschlammte. Die mögliche Sohlenveränderung der Wasserbecken oder der Flussbetten durch Geschiebe, was eine Erneuerung oder einen allfälligen Ersatz der Wasserfassung oder des Unterwasserkanales bedingt, ist jedenfalls nicht ausser acht zu lassen. Bei einem Werk wurde

<sup>2)</sup> Wir machen hier auf die Staumauer von Rochetaillée (Ville de Saint-Etienne) aufmerksam, die 1866 erstellt wurde und nach 65 Jahren noch in gutem Zustande ist.

<sup>3)</sup> Aus französischen Anlagen wird angegeben: Einfluss von schwefelhaltigem Wasser; seitliche Rutschung eines Zulaufkanals.

nach 38 Jahren der abgenützte Rechen gewechselt. Bei einem andern, das 57 Jahre im Betrieb ist, wurde die Rechenanlage wegen Abnützung erst zur Hälfte ausgewechselt und die andere Hälfte wird den Bedürfnissen entsprechend erneuert werden. Im gleichen Werk haben die Turbinen und Leeraufschützen erst nach 46 Jahren eine Erneuerung erfahren. Dagegen sind die Antriebe und überhaupt die beweglichen Teile der Eisenbauwerke naturgemäß der rascheren Abnutzung unterworfen und müssen innerhalb 20 bis 25 Jahren ersetzt werden. Für die Abschlussorgane und ihre Betätigung ist für die Erneuerung nicht nur mit der natürlichen Abnutzung, sondern in erhöhtem Masse auch mit der Ueberholung infolge technischen Fortschrittes zu rechnen. In mehreren Fällen sind solche Anlageteile schon nach 10 bis 15 Jahren aus diesem Grunde ausgewechselt worden.

Es wird angezeigt sein, hier auch kurz die Erfahrungen der Verwendung von Holz für solche Anlageteile zu erwähnen, nachdem darüber zahlreiche Angaben gemacht wurden. Eine Erneuerung von Holzteilen in Wasserbauwerken hat in der Regel nach 15 bis 25 Jahren zu erfolgen. In einem besonderen Fall, im Hochgebirge, wo infolge der tiefen Temperatur die Fäulnis stark zurückgehalten wird, sind 40 Jahre angegeben worden. Vielfach ist dann bei der Erneuerung statt Holz Eisen und wo möglich Beton zur Verwendung gekommen.

Die Rosteinwirkung scheint bei sorgfältigem Unterhalt auf die metallischen Einrichtungen bezüglich normaler Lebensdauer weniger von ausschlaggebendem Einfluss zu sein. Es trifft dies jedenfalls für die untersuchten Verhältnisse in der Schweiz zu, indem keine wesentlichen dahingehenden Meldungen eingelaufen sind. Ein Werk meldet für die Eisenteile und Druckleitungen nach 43 Jahren noch einen guten Zustand, Rosteinwirkung mässig, Hauptanlage kann noch lange dienen, aber Umbau für Modernisierung geplant. Aus Baufälligkeit und wegen zu knappen Querschnittes ist eine Druckleitung schon nach 26 Jahren aufgegeben worden, was aber wohl eine Ausnahme sein wird. Für die in die Erde eingegrabenen Druckleitungen hat sich die Reinigung von Rostansatz und eine Neuisolierung als Rostschutz nach 20 bis 24 Jahren ergeben. Von den Hochdruckanlagen ist in einem Werk eine Druckleitung von rund 900 m Länge bei 270 m Gefälle seit 45 Jahren immer noch im Betrieb. Sie soll in gutem Zustand sein und keinen besonderen Unterhalt benötigen. Nach dem spanischen Bericht kommt dagegen dort dem zerstörenden Einfluss der Rosteinwirkung für die Eisenteile im Freien eine grössere Bedeutung zu. Es wird aus diesem Grunde nur mit einer Lebensdauer von 20 bis 25 Jahren und für die Druckleitung nur mit 30 Jahren gerechnet<sup>4)</sup>.

<sup>4)</sup> Nach einer erhaltenen Meldung beobachtet man in einigen französischen Gebieten eine sehr rasche Korrosion der Eisenteile (Druckleitungen, Schützen, Turbinen usw.). Die diesbezüglichen Untersuchungen sollen ergeben haben, dass diese Korrosion nicht einem chemischen, sondern einem bakteriologischen Einfluss zuzuschreiben wäre.

Wenige Werke meldeten Beobachtungen von *Inkrustation in der Druckleitung*. Ausschlaggebend für die Ablagerungen sind zur Hauptsache die Qualität des Betriebswassers — die in jeder Anlage anders ist — und der Wert der Durchlaufgeschwindigkeit. Während die Inkrustation von 5 bis 15 mm Stärke in einem Werke mit grossem Rohrdurchmesser keine Nachteile bringt und als sehr wirksames Rostschutzmittel der inneren Rohrwandung begrüßt wird, hat sie in einer andern Anlage mit kleinerem Durchmesser Anlass zu einer wesentlichen Leistungsverminderung infolge Druckverlust ergeben. Es musste hier diese unerwünschte Ablagerung entfernt werden. An der schmiedeisenernen Rohrleitung einer andern Anlage konnten Inkrustation und Zersetzung an der Innenwand innert 28 Jahren den totalen Gefällsverlust auf über 12 % erhöhen. Eine Wiederinstandstellung wird hier bei dem Rohrdurchmesser von nur 350 mm schwierig sein und eine vorzeitige Aufgabe notwendig machen. — Anlagen im Hochgebirge haben sich auch für die Eisenteile gegen *Steinschlag* und *Lawinenschäden* zu schützen, die ebenfalls eine vorzeitige Erneuerung verursachen können.

Es muss also nach vorstehendem schwierig erscheinen, für Eisenbauwerke im Freien einheitliche Ansätze zu bestimmen, welche die durchschnittliche Lebensdauer und das Altern in wirtschaftlicher Beziehung auch nur annähernd erfassen könnten. Die Schätzungen in der Schweiz gehen mit 40 bis 80 Jahren stark auseinander. Ein Ausnahmefall rechnet sogar mit 100 Jahren. Ganz besonders bei diesen Anlageteilen wird nur eine individuelle Behandlung der einzelnen Werke zu zuverlässigen Werten führen können.

Für vorwiegend bewegliche Anlageteile aus Eisen, Abschlussorgane und Antriebe im Freien, sollte jedenfalls die ökonomische Lebensdauer nicht über 20 bis 25 Jahre angenommen werden. Für Eisenteile, die im Wasser durch Sand und Geschiebe usw. stark beansprucht werden, sind 30 bis 40 Jahre angemessen, und für eine vorsichtige Bewertung wären auch im übrigen 60 Jahre, immer guten Unterhalt vorausgesetzt, nicht zu überschreiten. Bei der Mehrzahl dieser Anlageteile muss — noch eher als bei den Mauerbauwerken — außer mit der natürlichen Abnutzung, mit der Ueberholung durch den technischen Fortschritt gerechnet werden.

### III. Turbinen, Generatoren.

Die Bearbeitung der 49 eingegangenen Antworten lässt für diese maschinellen Einrichtungen eine ausgeprägtere Einheitlichkeit betreffend wirtschaftliche Lebensdauer erkennen. Gewiss besteht, je nach den Verhältnissen — namentlich bei den Turbinen, z. B. nach der Qualität des Betriebswassers, der Konstruktion usw. — noch eine mannigfaltige Verschiedenheit, aber die erhaltenen Angaben zeigen doch viel engere Grenzen. Effektive Abnutzung und notwendig werdender Umbau aus wirtschaftlichen Gründen oder technischem Fortschritt liegen

zeitlich wesentlich näher beieinander als bei den andern Anlageteilen, womit die Lebensdauer auch präziser bestimmbar ist.

Naturgemäß sind bei den *Turbinen* die Laufräder und die andern dem Wasser ausgesetzten mobilen Teile der Abnützung am meisten unterworfen. Der grösste Verschleiss wird durch stark sandhaltiges Wasser bei hohem Druck hervorgerufen. Aber auch Kavitationseinflüsse an den Turbinenteilen sind häufig und führen zu einer raschen Erneuerung. In der spanischen Anlage sind die Turbinenräder schon nach fünf bis sechs Jahren zu ersetzen. Noch kürzere Lebensdauer wird uns von französischen Werken mitgeteilt. Die schweizerischen Angaben gehen von sechs bis zwölf bei ungünstigen Verhältnissen und bis 25 Jahre unter besseren Bedingungen. Wo eine ausgiebige Wasserklärung durch einen See besteht, ist die Abnützung dagegen geringer. Es sind Turbinenräder seit 25 Jahren im Betrieb, an welchen infolge der guten Wasserklärung kaum eine Abnützung zu beobachten ist. Sandschliff- und Kavitationschäden werden in neuester Zeit durch Schweissgut mit Erfolg ausgebessert; die Lebensdauer der Räder und der übrigen dieser Zerstörung unterworfenen Teile kann damit um ein Drittel bis um die Hälfte erhöht werden. In der grossen Mehrzahl sind bei allen Werken, von denen eine Antwort erhältlich war, die Turbinen in den Hauptteilen nach 26 bis 31 Jahren ersetzt worden. Abnützung, ein zu geringer Wirkungsgrad und anspruchsvollere Bedürfnisse an die Regulierung werden als Grund des Ersatzes angegeben. Vielfach sind dabei kleinere Aggregate in grössere Einheiten zusammengelegt worden. Bei dem erst seit 21 Jahren bestehenden spanischen Kraftwerk wird heute schon der Umbau auf grössere Einheiten erwogen. Die Francis-Turbine hat das Jonval-System verdrängt; jetzt ist die Kaplan-Turbine modern, wogegen in den Hochdruckanlagen die Girard- der Pelton-Turbine und diese wieder neuen, grossen Einheiten Platz zu machen hat. Trotzdem auch Ausnahmen vorkommen und einzelne Aggregate 35 und ein paar kleine sogar 44 Betriebsjahre aufweisen, sollte im voraus für eine vorsichtige Abschreibungspolitik doch nicht über 30 bis 35 Jahre für die Turbine und ihr Zubehör angesetzt werden.

Die *Generatoren* sind mit Ausnahme der Spulen geringerer Abnützung unterworfen. Ein vollständiger Ersatz wurde nach den erhaltenen Angaben in der Regel durch den Umbau der Turbine auf grössere Einheiten bedingt oder ist wegen Systemwechsel, Materialfehler, Brand usw. erfolgt. Die Lebensdauer könnte durchschnittlich für die Generatoren eher höher als für die Turbinen geschätzt werden. Nachdem die Generatoren aber doch in den meisten Fällen dem Schicksal der Turbine zu folgen haben, wäre es unvorsichtig, für die Generatoren in wirtschaftlicher Beziehung über die Abschreibungsdauer der Turbinenanlage von 30 bis 35 Jahren hinausgehen zu wollen. Ein periodischer Ersatz der teuren Wicklungen, bedingt durch Ver-

schleiss infolge Kurzschlusses, Leistungserhöhung oder Hochwasser usw., und, bei Gleichstrommaschinen, der Kollektoren, sowie allfällige grössere Nacharbeiten, Lockerung der Bleche usw., ist in diesem Falle zum mindesten auch gedeckt.

Bei Grossanlagen der neuesten Zeit kommt ein vorzeitiger Ersatz infolge technischen Fortschrittes voraussichtlich weniger in Frage; die andern Risiken sind ebenfalls mehr verteilt, und es dürfte für solche Anlagen auch bei vorsichtiger Bewertung eine noch etwas grössere Abschreibungsdauer in Frage kommen.

Die *Schalt- und Uebertragungseinrichtungen* waren nicht im Rahmen unseres Berichtes zu beurteilen. Es sei aber erwähnt, dass hauptsächlich für die Schaltanlage vielfach Erneuerungen nach 10 bis 15 Jahren gemeldet wurden. In einzelnen Werken wurde während dem erfassten Zeitraum von 25 bis 35 Betriebsjahren eine mehrmalige Erneuerung der Schaltanlage wegen technischer Ueberholung nötig. Es ist für diese Anlageteile, wie nicht anders zu erwarten war, das Abschreibungsbedürfnis gross und es sollte im Mittel für die ökonomische Lebensdauer nicht mehr als 15 bis 20 Jahre angenommen werden.

*Zusammenfassend* ist bezüglich der ersten drei Programmpunkte zu wiederholen, dass aus diesen mannigfaltigen Resultaten der Umfrage nur ein annäherndes Bild über die Beurteilung der Abschreibungsquote auf einzelne Werke bezogen, zu erhalten ist. Die Verhältnisse jeder Anlage sind im Vergleich zu andern so vollständig verschieden, bezüglich ihrer Lage, Disposition, Betriebsart, Klimaeinflüsse, Wassermengen und Wasserqualität, mehr oder weniger gute Bauausführung beim ersten Ausbau, Wahl des verwendeten Materials, Unterhalt, Aenderung der Ansprüche, welchen sie zu dienen haben, usw. Es sind hundertfache Verschiedenheiten vorhanden und es wird meistens durch mannigfaltige Einflüsse, die zum Teil nicht vorauszusehen sind, die Dauer der Verwendungsmöglichkeit der Werksteile längst vor der technischen Abnutzung begrenzt sein.

Jedes einzelne Werk hätte sich die Aufgabe zu stellen, für seine *eigenen* Verhältnisse mit statistisch geführten Beobachtungen, unter Berücksichtigung der Zukunftsaussichten, zu den für seinen engeren Kreis und seine Tätigkeit möglichst genauen Grundlagen einer vorsichtigen Abschreibungspolitik zu gelangen. Zweifellos ist es ein wünschenswertes Ziel, diesbezüglich in individueller Weise für seine Werkanlage klare Verhältnisse zu schaffen, und es kann damit gewiss der Geschäftsleitung wertvolles Material zu einer vorausschauenden Geschäftsführung an die Hand gegeben werden. Unabhängig davon ist noch als selbstverständlich zu betrachten, dass von besonders guten Erträgnissen günstiger Geschäftsjahre ein entsprechender Teil jeweils zur vermehrten Abschreibung verwendet werden muss, damit auch eine genügende Deckung für die unberechenbaren Ereignisse, die ja in einer langen Reihe

von Jahren wiederholt auftreten können, vorhanden ist.

#### IV. Abschreibungsquoten.

Die Abschreibungsquoten sollen, wie von der Fachliteratur entschieden befürwortet, nach dem Erstellungswerte der Anlagen und nicht nach dem Buchwerte bemessen werden. Die Abschreibung bedeutet eine von praktisch-wirtschaftlichen Rück-sichten diktierte rechnerische Zeitnivellierung des Wertzustandes einer Anlage. Sie ist eine buch-mässige, zeitliche Ausgleichung der an sich unregelmässig verlaufenden Entwertungskurve, die sich von 100 % des Anschaffungswertes in jährlicher ungleichmässiger Abnahme bis zur Wertlosigkeit erstreckt. Für jedes Jahr ist ein bestimmter, gleicher Prozentsatz des ursprünglichen Erstellungswertes abzustreichen, soweit nicht eine periodische Neueinstellung des Ansatzes infolge eingetretener Aenderung der ökonomischen Basis vorzunehmen ist. Nur dadurch, dass die Abschreibung jedes Jahr auf den gleichen Ausgangswert bezogen wird, ist der wirtschaftliche Zweck des ganzen Verfahrens erfüllt. Man ist damit auch in der Lage, die effektive Geschäftsleistung von den einzelnen Momenten der Geschäftskonjunktur zu trennen und zwischen den Jahreserfolgen klare Vergleiche zu ziehen. Eine Abschreibung vom Buchwert kann dagegen nur mit einem wesentlich höheren Prozentsatz dem gleichen Resultate der Abschreibung nach dem Erstellungswerte nahekommen. Die Abschreibung vom Buchwert belastet daher die ohnedies schweren ersten Jahre nach Erstellung ungleich stark, unter Bevorzugung der späteren Jahre, und es ist mit einem gegebenen Prozentsatz gar nicht die vollständige Entwertung zu erreichen.

Wir sind auch davon ausgegangen, dass für die Abschreibungen die Werkobjekte bezüglich technischer und ökonomischer Entwertung möglichst in gleichartige Gruppen eingeteilt werden sollten. Es waren dabei für die einzelnen Anlageteile zwar nur ganz allgemeine Niveaulinien der Abschreibungssätze zu erzielen, von denen natürlich im Einzelfall mehr oder weniger abzuweichen wäre. Eine gemeinsame Bewertung wird jedenfalls nie abschliessend beurteilt werden können. Wie weit das einzelne Unternehmen in der Detaillierung der Anlageteile gehen will, muss dem Ermessen angehingestellt werden. Je mehr ein Werk aus langjähriger Erfahrung und anhand seiner laufenden Statistik über seine besonderen Verhältnisse zu urteilen vermag, desto eher wird es in der Lage sein, grössere Komplexe zusammenzufassen und Durchschnittsquoten von ihnen abzuschreiben. Es lohnt sich aber gewiss, und es sollte die Mühe nicht gescheut werden, namentlich grössere Objekte noch zu spezialisieren und darüber einzeln Buch zu führen. Es empfiehlt sich dies auch deshalb schon, weil mit solchen Unterlagen die durch die Abschreibung notwendigen Steuerabzüge gegebenfalls in überzeugender Weise begründet werden könnten.

Durch die Untersuchung der 49 Werke sind wir in den Kapiteln I bis III bei vorsichtiger Erwägung verschiedener Faktoren zu den folgenden Durchschnittswerten der wirtschaftlichen *Abschreibungsbedürftigkeit* an hydro-elektrischen Anlagen gekommen:

	Dauer in Jahren	Entsprechender mittlerer Abschreibungssatz
I. Bauten in Mauerwerk oder Eisenbeton . . . . .	70	1,43 %
II. Eisenbauten und andere Eisenteile im Freien:		
a) vorwiegend bewegliche Eisenteile, Antriebe . . . . .	20 bis 25	4,45 %
b) stark beanspruchte Eisenteile . . . . .	30 bis 35	3,1 %
c) übrige Eisenteile . . . . .	60	1,75 %
III. Turbinen und Zubehör, Generatoren . . . . .	30 bis 35	3,1 %

In diesen ganz allgemeinen Anhaltspunkten sollte auch die Ueberholung infolge technischen Fortschrittes für normale Fälle berücksichtigt sein.

Der Verlauf einer solchen Abschreibungsdauer nach dem Erstellungswert ist in Fig. 1 auf Grund der sich dafür ergebenden Mittel der einzelnen *Abschreibungsquoten I bis III* dargestellt. Die durchschnittliche *Gesamtabschreibungsquote IV*

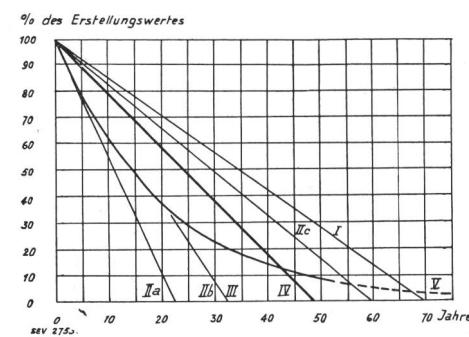


Fig. 1.  
Gesamtabschreibungsquote vom *Erstellungswert* für das berechnete Beispiel (Kurve IV) und Gesamt-abschreibungsquote vom *Buchwert* (Kurve V). Im ersten Fall ist der mittlere Ansatz von 2%, im zweiten Fall von 5% erreicht worden.

wurde für ein bestimmtes Beispiel mit dem für diesen einzelnen Fall gegebenen Wertverhältnis der detaillierten Teilgruppen zueinander erhalten. Kurve V zeigt den Abschreibungsvorgang, wenn statt nach dem Erstellungswert, vom jeweiligen Buchwert abgeschrieben wird, und sie bestätigt in graphischer Weise unsere Ausführungen im ersten Absatz dieses Kapitels.

In den vorstehenden Ansätzen ist dagegen der Einfluss der *Konzessionsdauer* und der *Heimfallsbedingungen* noch nicht berücksichtigt. Darüber liegen wieder für jedes Werk anders gestaltete Verhältnisse vor, so dass nur im einzelnen Fall eine abschliessende Beurteilung erfolgen kann. Von Bedeutung ist besonders der Zeitpunkt eines allfälligen Heimfalles. Bei langer Konzessionsdauer von über 80 Jahren und bei Heimfallsbestimmungen, die für das Unternehmen günstig sind, sollten in der Abschreibungsbemessung spezielle Mass-

nahmen kaum nötig sein, oder man hat über ein gewisses Risiko-Aequivalent von etwa  $\frac{1}{4}\%$  dafür nicht hinauszugehen. Es werden aber ungünstigere Verhältnisse vorkommen, wo eine genaue Bewertung derselben die Abschreibungsquote, welche allein schon bezüglich betrieblicher Abnutzung und ökonomischer Wertverminderung nötig ist, wesentlich erhöhen müsste. Für neu zu erstellende Anlagen, für jeden späteren Ausbau oder für grössere Verbesserungen, die in einer Anlage nachträglich zu machen sind, ist es jedenfalls wichtig, dem Umstände, wie lange ihre Ausnützung jeweils dem Unternehmen im Hinblick auf die restierende Konzessionsdauer möglich sein wird, volle Beachtung zu schenken. Solche Ueberlegungen können dann vielleicht vorher auch zu einer Neuregelung der Konzessionsbedingungen auf günstigerer Basis führen.

Zur Deckung der Heimfallsbestimmungen in normalen Fällen wäre, je nach den gegebenen Verhältnissen, zu den oben angegebenen Ansätzen  $\frac{1}{4}$  bis  $1\%$  hinzuzuzählen. Bei ausserordentlich kurzer Konzessionsdauer oder namentlich für bedeutende Erweiterungen, die nachträglich im Laufe der Konzessionsfrist zu erstellen sind, müssten entsprechend höhere Zuschläge gemacht werden. Ganz allgemein gehalten, lassen sich die *totalen* Abschreibungsquoten vom Erstellungswert, inklusive Heimfall für normale Fälle, wie folgt darstellen:

	Total inkl. Heimfall:
I. Bauten in Mauerwerk oder Eisenbeton . . . . .	1,7 bis 2,5 %
II. Eisenbauten und andere Eisen-teile im Freien:	
a) vorwiegend bewegliche Teile,	
Antriebe . . . . .	4,7 bis 5,5 %
b) stark beanspruchte Eisenteile . . . . .	3,4 bis 4 %
c) übrige Eisenteile . . . . .	2,0 bis 2,7 %
III. Turbinen und Zubehör, Generatoren . . . . .	3,3 bis 4 %
IV. Gesamt-Abschreibungsquote vom Erstellungswert für das berechnete Beispiel . . . . .	2,3 bis 3 %

Für moderne Grossanlagen wird bei günstigen Verhältnissen auch eine Gesamt-Abschreibungsquote von 2 bis 2,5 % Geltung haben können.

Wenn man annimmt, dass aber auch die Unterhaltungskosten einen Teil der gesamten Abschreibungen darstellen können, so müsste es auch gerechtfertigt erscheinen, wenn der eigentliche Abschreibungssatz entsprechend reduziert würde, indem letzterer dann allein noch der vorgesehenen und unvorhergesehenen Wertverminderung, sowie dem Heimfall bei Ablauf der Konzession Rechnung zu tragen hätte.

Es erübrigts sich wohl, in einer solchen allgemeinen Beurteilung noch näher zu erörtern, in welchem Masse die Abschreibungen den Gestehungspreis der produzierten Energie, gemessen an den Generatorklemmen, beeinflussen. Nachdem auch dieser Wert von einer grossen Anzahl Faktoren abhängig ist, die von Fall zu Fall stark ver-

schieden sind, so kann nur jedes einzelne Werk für sich die für seine Verhältnisse zur Kalkulation gewiss wertvollen, richtigen Grundlagen darüber erzielen. Mit dem Ergebnis unseres Berichtes, auf die normalen Jahreskosten — aus der Verzinsung, den reinen Betriebskosten und den Abschreibungen — von total 10 bis 12 % des investierten Kapitals bezogen, wird sich je nach den besonderen Verhältnissen *der Einfluss auf die Gestehungskosten ab Generator* mit 19 bis 30 % berechnen lassen. An einigen uns bekannten Beispielen konnte der Anteil der Abschreibungen mit 20 bis 25 % festgestellt werden.

### Schlussfolgerung.

Die oben zusammengestellten Werte der *totalen* Abschreibungsquoten, welche — wenn auch allgemein gehalten und bei vorsichtiger Erwägung — die hauptsächlichsten übersehbaren Faktoren der Abschreibungsbedürftigkeit von hydroelektrischen Kraftwerken von der Wasserfassung bis zum Generator umfassen sollten, bleiben nun *unter* den Angaben der einschlägigen Literatur, soweit es sich bei den letzteren um wirklich überprüfte Beispiele handelt und es nicht nur schätzungsmaessige, zu niedrige Annahmen sind. Es wurden dort, mit reichem Tatsachenmaterial — das sich auf die Bilanzwerte von einer grösseren Anzahl von Elektrizitätswerken in der Schweiz und im Ausland stützt — jährliche Gesamtabschreibungsquoten von 3,5 bis 5 % festgestellt, die für den Vergleich auf gleiche Grundlage, also wie oben ohne die Schalt- und Uebertragungseinrichtungen, zurückgeführt, immer noch 2,9 bis 4 % ergeben müssten. Zweifellos geht daraus hervor, dass solche Quoten im weiten Kreise als geschäftsmässig begründet gelten und für eine sichere Abschreibungspolitik sich bisher als durchaus notwendig erwiesen haben.

Wenn wir in unserem Berichte auf einem andern Wege, aber ebenfalls auf Grund eines umfangreichen Materials, das sich auf tatsächliche Verhältnisse stützt, zu kleineren Ansätzen von 2,3 bis 3 % gelangt sind, wird man sich vor allem die Frage vorzulegen haben, ob mit unsren allgemein gehaltenen Werten doch noch nicht genügend allen Faktoren der Abschreibungsbedürftigkeit Rechnung getragen worden ist. Anderseits ist aber auch die Auffassung nicht von der Hand zu weisen, dass die bisher aus den Bilanzwerten erfassten höheren Abschreibungsquoten nach den heutigen Verhältnissen auf Grund der seither weiter gediehenen Erkenntnis, sich nun doch als etwas übersetzt herausstellen.

Die richtige Antwort darüber, wie auch auf die andern behandelten Fragen wird sich das einzelne Werk durch eine Ueberprüfung seiner eigenen Verhältnisse auf viel genauerer Grundlage geben müssen, und falls unser Bericht in diesem Sinne zur individuellen Beurteilung der Abschreibung und Erneuerung hydroelektrischer Anlagen einige allgemeine Anhaltspunkte bieten kann, so dürfte damit sein Zweck erfüllt sein.

Die aus französischen Anlagen nachträglich erhaltenen Einzelberichte bestätigen im grossen und ganzen unsere Untersuchungen. Sie belegen unsere Ausführungen, ohne dass sie im übrigen unsere Folgerungen wesentlich beeinflussen könnten.

Wie in Spanien, scheint auch in Frankreich für die Abschreibungsbedürftigkeit eine viel kürzere Dauer als in der Schweiz, namentlich für die Eisenbauten und maschinellen Anlagen, angenommen zu werden. Es kann dies vielleicht mit allgemein schwierigeren Verhältnissen oder mit besonders starker Beanspruchung begründet werden. Anderseits ist es vielleicht auch eine Folge der mangels längerer Erfahrung über die Lebensdauer dieser Werksteile weniger entwickelten Erkenntnis. Tatsächlich weisen gerade die Angaben von den Werken, welche erst kurze Zeit im Betrieb sind, die ungünstigsten Schätzungsdaten auf. Von ge-

wissem Einfluss auf die Schätzungen können auch die für die einzelnen Länder verschiedenen Gesetzesbestimmungen über den Heimfall von Wasserkraftanlagen sein.

Auch für die französischen Angaben stellen sich für die wirtschaftlich günstigste Geschäftsführung von hydroelektrischen Anlagen folgende Hauptpunkte in den Vordergrund:

für grösstmögliche Konzessionsdauer und gute Heimfallsbestimmungen besorgt zu sein;  
nur beste Materialien und Maschinen zu verwenden;  
absolut einwandfrei zu bauen;  
alle Werksteile sorgfältig zu unterhalten und im fernern  
sich aus guten Jahresergebnissen durch vermehrte Abschreibung für die unberechenbaren Ereignisse zum voraus einzudecken.

## Energiespeicherung durch Pumpen.

(Generalbericht über dieses Thema für den Kongress 1932 der Union Internationale des Producteurs et Distributeurs d'énergie électrique, in Paris<sup>1)</sup>.)

Von A. Engler, Direktor der Nordostschweizerischen Kraftwerke A.-G., Baden.

*Die hydraulische Energiespeicherung durch Pumpen von Wasser in höher gelegene Speicherbecken wird heute hauptsächlich angewendet, wo es sich um die Speicherung grosser Energiemengen über eine längere Zeitspanne handelt. Der Verfasser gibt zunächst einen kurzen Überblick über die historische Entwicklung dieser Energiespeicherung in der Schweiz. Die Einzelleistungen von Pumpengruppen sind in einer Entwicklungszeit von 30 Jahren in der Schweiz von 45 kW auf 9600 kW, die in einer Anlage durch Pumpbetrieb in einer Arbeitsperiode aufspeicherbare Energiemenge von 1100 kWh auf 33·10<sup>6</sup> kWh gestiegen. Es wird sodann über die Anwendung der Pumpspeicherwerke in Kombination mit Wasserkraftwerken bzw. Dampfkraftwerken und über die wirtschaftliche Seite solcher Betriebe berichtet. Ferner wird die elektromechanische Ausführung der Maschinengruppen für Pumpspeicherwerke betrachtet und in einem weiteren Kapitel werden aktuelle Betriebsfragen, wie Regulierung der Pumpen und Beherrschung der Abschaltvorgänge behandelt und diese Vorgänge an Hand von Betriebsdiagrammen näher erläutert. Zum Schlusse werden die neueren Probleme für die Ausführung von Pumpspeicherwerken aufgerollt und ein vom Verfasser bereits im Jahre 1919 vorgeschlagenes reversibles Maschinenaggregat zur Erzeugung elektrischer Energie und zum Pumpen von Wasser in Speicherbecken beschrieben, bei dem bei Turbinenbetrieb zwei Laufräder parallel, bei Pumpbetrieb aber in Serie geschaltet werden.*

621.25;621.311.21

*L'accumulation d'énergie hydraulique, par pompage d'eau dans des bassins d'accumulation situés plus haut, est appliquée aujourd'hui principalement là où il s'agit d'emmagasiner à long terme des quantités importantes d'énergie. L'auteur donne tout d'abord un aperçu historique du développement de ce genre d'accumulation en Suisse. La puissance unitaire des groupes de machines a passé en 30 ans de 45 à 9600 kW et la quantité d'énergie accumulable dans un bassin pendant une période de pompage de 1100 kWh à 33·10<sup>6</sup> kWh. L'auteur traite ensuite de l'utilisation des installations d'accumulation par pompage en connexion avec des centrales hydrauliques ou thermiques et de l'économie de ces combinaisons. Après avoir décrit l'exécution mécanique et électrique des groupes de machines nécessaires, l'auteur s'occupe des questions actuelles d'exploitation telles que le réglage des pompes et la maîtrise des phénomènes de fermeture des conduites, et explique ces phénomènes à l'aide de diagrammes relevés en service dans une installation. Pour terminer l'auteur expose les problèmes les plus récents qui se posent lors de l'exécution d'installations d'accumulation par pompage et rappelle une proposition qu'il a faite en 1919 déjà, celle d'utiliser un groupe de machines réversibles servant soit à la production d'énergie électrique, soit au refoulement de l'eau dans un bassin d'accumulation, et caractérisé par deux machines hydrauliques marchant en parallèle comme turbines dans le premier cas et en série comme pompes dans le second cas.*

### I. Einleitung.

Die hydraulische Energiespeicherung, bei welcher Wasser mittels Pumpen in ein höher gelegenes künstliches oder natürliches Speicherbecken gepumpt wird, um in einem späteren Zeitpunkt in einer Turbinenanlage zur Energieerzeugung ausgenutzt zu werden, wird heute besonders da angewendet, wo es sich um die Speicherung grosser Energiemengen über eine längere Zeitspanne handelt.

Die neben dieser Art der Energiespeicherung noch bestehende Speicherung elektrischer Energie in Akkumulatoren und die Speicherung von Wärmeenergie in Dampfspeichern eignen sich nur für die Speicherung von im Verhältnis zur Lade- und Entladeleistung kleinen Energiemengen und nur zur Aufbewahrung der gespeicherten Energiemenge auf eine kurze Zeit. Diese Beschränkung ist einerseits gegeben durch die hohen Kosten dieser Speichereinrichtungen, bezogen auf die Einheit der aufspeicherbaren Energiemengen, und anderseits durch die relativ grossen zeitlichen Verluste an aufgespeicherter Energie (Selbstentladung bei elektri-

<sup>1)</sup> Der französische Wortlaut dieses Berichtes ist bei der UIPD, 26, rue de la Baume, Paris 8<sup>e</sup>, erhältlich.