

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 81 (1990)

Heft: 10

Artikel: Die Modernisierung bestehender Wasserkraftanlagen = Modernisation des centrales hydrauliques existantes

Autor: Hartmann, O.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-903117>

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: 01.04.2025

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

Die Modernisierung bestehender Wasserkraftanlagen

O. Hartmann

Der Neubau von Wasserkraftanlagen ist in der Schweiz nahezu unmöglich geworden. Die meisten guten Standorte sind längst ausgebaut, und wo noch Möglichkeiten bestehen, trifft die Realisierung auf vehementen Widerstand. Die Konzessionsverfahren sind langwierig und kostspielig, und der Ausgang ist bis zuletzt ungewiss. Umso grössere Bedeutung kommt deshalb der Erhaltung und optimalen Nutzung der bestehenden Wasserkraftwerke zu. Die laufende Instandhaltung wird in der Schweiz im allgemeinen vorbildlich durchgeführt, die Anlagen befinden sich in gutem Zustand. Verbesserungen in betrieblicher Hinsicht (d.h. ohne wesentliche Veränderung der Anlagen) dürften noch in vielen Fällen möglich sein, z.B. durch optimalen Maschinensatz [1] sowie durch mehr oder weniger weit getriebene Automatisierung.

Vier Strategien

Schon bevor im Lebenszyklus eines Wasserkraftwerks eine merkliche Beeinträchtigung des Betriebes und des Betriebsergebnisses eintritt, wird sich der erfahrene Kraftwerksbetreiber die Frage stellen, wie es grundsätzlich weitergehen soll. Er hat die Wahl zwischen vier grundsätzlichen Strategien [2]:

*Stillegen
Erhalten
Modernisieren
Erneuern*

Die Strategien Stillegen und Erhalten werden hier nicht weiter erörtert. Dieser Beitrag befasst sich mit der Modernisierung von Wasserkraftwerken, die nachstehend kurz charakterisiert und gegenüber der Erneuerung abgegrenzt wird.

Modernisation des centrales hydrauliques existantes

O. Hartmann

Il est devenu pour ainsi dire impossible de construire de nouvelles centrales hydrauliques en Suisse. La plupart des sites favorables ont depuis longtemps été utilisés et là où des centrales pourraient encore être construites, leur réalisation se heurte à une forte opposition. Les procédures d'obtention de concessions sont longues et coûteuses, leur issue jusqu'au bout incertaine. Le maintien et l'exploitation optimale des centrales hydrauliques existantes n'en sont que plus importants. En Suisse, l'entretien habituel est généralement effectué de manière exemplaire; les installations sont en bon état. Des améliorations relatives à l'exploitation – c. à d. sans modifications essentielles des installations – sont toutefois souvent possibles, et ce en utilisant de façon optimale les machines [1] ou en introduisant l'automatisation, entre autres.

Quatre stratégies

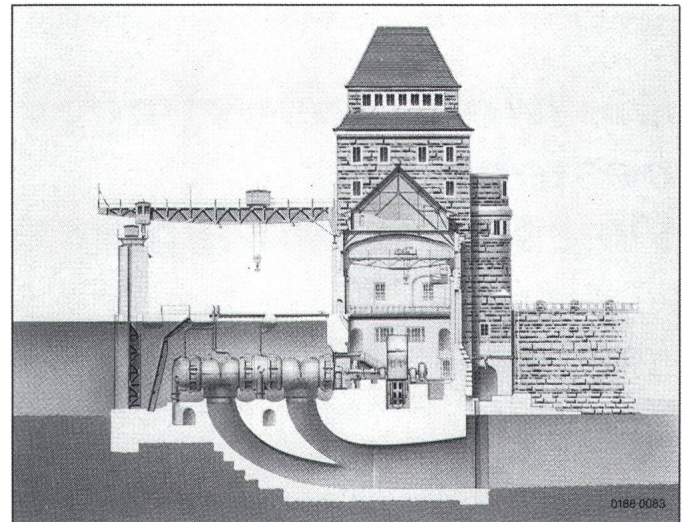
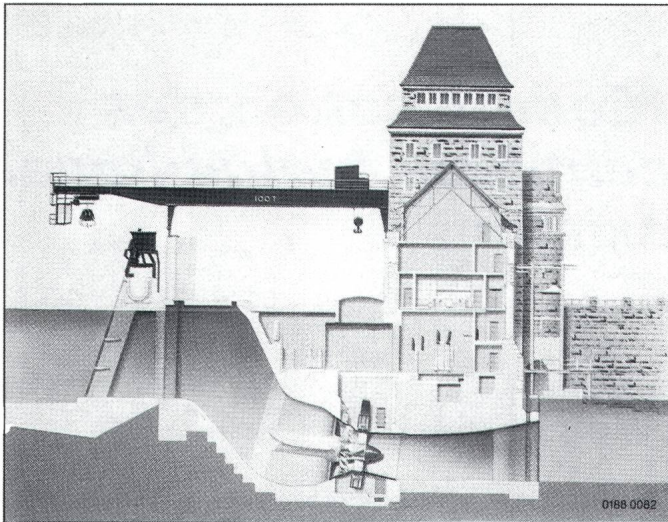
Avant que survienne dans le cycle de vie d'une centrale hydraulique une diminution notable de l'exploitation et de la production, l'exploitant de centrale expérimenté réfléchira à l'avenir de la centrale. Il a le choix entre quatre stratégies fondamentales [2]:

*arrêter
entretenir
moderniser
renouveler.*

Les stratégies «arrêter» et «entretenir» ne seront ici pas prises en considération. L'article traite la modernisation des centrales hydrauliques, ci-après brièvement caractérisée et définie par rapport au renouvellement.

Adresse des Auteurs:

Otto Hartmann, Chefingenieur COLENCO AG,
5401 Baden/Schweiz



Figur 1 Kraftwerk Laufenburg am Rhein als Beispiel einer umfassenden Modernisierung

Die 10 Vierfach-Francis-Turbinen von je 4,78 MW Leistung aus den Jahren 1909 bis 14 (rechts) werden durch 10 Straflo-Turbinen von je 9,93 MW Leistung ersetzt, der Nutzwasserstrom von 660 auf 1080 m³/s und die Jahresproduktion von 310 auf 580 GWh gesteigert, also nahezu verdoppelt. Trotzdem bleiben Gesamtanordnung und Erscheinungsbild der Anlage nahezu unverändert [9].

Figure 1 Centrale de Laufenbourg sur le Rhin, exemple d'une vaste modernisation

Les 10 turbines Francis d'une puissance unitaire de 4,78 MW des années 1909 à 1914 (à droite) ont été remplacées par 10 turbines Straflo d'une puissance unitaire de 9,93 MW, ce qui a permis d'augmenter le débit des eaux utilisées de 660 à 1080 m³/s et la production annuelle de 310 à 580 GWh (production qui a pour ainsi dire doublé). Et pourtant, la conception générale et la façade de l'installation restent quasiment inchangées [9].

Was ist Modernisierung?

Darunter soll eine grundlegende und umfassende Instandsetzung der Kraftwerks-Komponenten verstanden sein, jedoch im Rahmen der bestehenden (baulichen) Anlagen. Im Gegensatz zur Erhaltung, die lediglich eine Fortdauer des bestehenden Zustandes (anders ausgedrückt: die Vermeidung einer Verschlechterung) anstrebt, verbindet Modernisierung die Verlängerung der Lebensdauer stets mit einer Verbesserung des Betriebsergebnisses, konkret mit einer Steigerung von Leistung und/oder Energieproduktion sowie mit einer Senkung der Ausfallzeiten und der Betriebs- und Wartungskosten.

Dies wird erreicht durch mehr oder weniger weit gehenden Ersatz alter Anlagenteile durch neue mit verbesserten Eigenschaften. Davon sind vorwiegend die elektromechanischen Komponenten betroffen. Die baulichen Anlagen werden ausgebaut und angepasst, die Wassernutzung (Stauziel, Stauraum usw.) bleibt im wesentlichen unverändert, wengleich der Nutzwasserstrom meist gesteigert wird. Die umwelt-relevanten Veränderungen bleiben klein, und oft wird eine Konzessions-Änderung genügen. Die durch Modernisierung erreichbare Leistungssteigerung reicht bis etwa 50 Prozent.

Ein Beispiel für eine Modernisierung ist das Kraftwerk Laufenburg am Rhein, Figur 1. Kennzeichnend für die Modernisierung ist, wie aus der Figur ersichtlich, dass die äussere Erscheinungsform erhalten bleibt. Trotz erheblicher «innerer» Veränderungen (im angeführten Beispiel der komplette Ersatz der Maschinengruppen durch solche eines anderen Typs und anderer technischer Daten) ist eine Modernisierung für einen Betrachter nicht ohne weiteres erkennbar. Die Modernisierung eines Wasserkraftwerkes ist also vergleichbar mit der Total-Renovierung eines Gebäudes: Trotz oft umfassender innerer Umgestaltung bleiben die Gesamtanordnung, die Dimensionen und vor allem die Fassade erhalten.

Qu'est-ce que moderniser?

Moderniser signifie transformer radicalement les équipements d'une centrale tout en tenant compte des installations, c. à d. des constructions existantes. Contrairement à l'entretien, qui a pour seul objectif le maintien de l'état actuel (en d'autres mots: la prévention d'une détérioration), la modernisation lie toujours la prolongation de la durée de vie à une amélioration du rendement, concrètement à une augmentation de la puissance ou de la production d'énergie, voire des deux à la fois, ainsi qu'à une diminution de la durée des arrêts et des coûts d'exploitation et d'entretien.

Cet objectif est atteint grâce au remplacement plus ou moins complet de parties d'installations anciennes par de nouvelles ayant de meilleures qualités. Ceci concerne essentiellement les équipements électromécaniques. Les constructions sont améliorées et adaptées à l'état actuel, l'utilisation de l'eau (niveau de retenue, capacité de retenue, etc.) reste pour ainsi dire inchangée, même si le débit des eaux utilisées est d'ordinaire augmenté. L'impact des transformations sur l'environnement reste faible, une simple modification de la concession sera dans la plupart des cas suffisante. Grâce à la modernisation, la puissance d'une centrale peut dans certains cas être augmentée de près de 50%.

La centrale de Laufenbourg sur le Rhin (fig. 1) est un exemple de modernisation. Ainsi que l'image le montre, la modernisation se caractérise par le fait que la centrale garde son apparence d'origine. Malgré de nombreuses transformations «internes» (dans l'exemple cité, les groupes de machines ont été remplacés par d'autres unités de type et de caractéristiques différentes), la modernisation n'est pas forcément visible. Il est donc possible de comparer la modernisation d'une centrale hydraulique à la rénovation générale d'un bâtiment. Malgré des transformations intérieures importantes, l'ossature, les dimensions et en particulier la façade restent inchangées.

Anders die Erneuerung. In diesem Falle wird die bestehende Anlage ganz oder zu einem erheblichen Teil abgebrochen und durch einen Neubau ersetzt, der sich hinsichtlich Gesamtanordnung und äusserer Erscheinung klar vom bisherigen unterscheidet. Stauziel, Stauraum und Wasserführungen können weitgehenden Veränderungen unterworfen sein. Die erzielbare Leistungssteigerung beträgt meist ein Mehrfaches der früheren Nutzung. Es wird in der Regel eine neue Konzession erforderlich sein, heute selbstverständlich verbunden mit einer Umwelt-Verträglichkeits-Prüfung (UVP).

Da sich die rechtliche und umwelt-relevante Problematik einer Erneuerung als Ersatz für eine bestehende Anlage nicht wesentlich von der eines Neubaus an einem bisher nicht genutzten Standort unterscheidet, ist zu erwarten, dass die Modernisierung bestehender Kraftwerke weiter an Bedeutung gewinnen wird.

Grundlagen, Inhalt und Zielsetzung

Eine systematische Methodik für die Modernisierung bestehender Wasserkraftanlagen wurde von Motor Columbus Ingenieurunternehmung AG (heute COLENCO AG) im Rahmen eines Auftrages des Electric Power Research Institutes (EPRI) in Palo Alto, Kalifornien, USA, entwickelt. Sie wurde in mehreren Veröffentlichungen [3,4] in den Grundzügen dargestellt. Zielsetzung der EPRI-Handbücher ist, den Betreibern von Wasserkraftwerken eine Planungshilfe in die Hand zu geben, die es ihnen ermöglicht, Modernisierungskonzepte ihrer Anlagen zu entwerfen und soweit auszuarbeiten (etwa auf Stufe Vorprojekt), dass über die weitere Verfolgung Beschluss gefasst werden kann. Im Hintergrund steht dabei der Gedanke, dass sich der Betreiber selbst und zu minimalen Kosten ein Urteil über die Chancen einer Modernisierung bilden möchte, bevor er konkrete (und kostspielige) Schritte unternimmt.

Die vorliegende Arbeit basiert auf den EPRI-Handbüchern [5]. Sie umfasst neben der Methodik die in den EPRI-Handbüchern zusammengetragenen Planungs-Grundlagen und Kostenangaben, aber in stark komprimierter und überarbeiteter Form. Auf ausführliche Erläuterungen und Anleitungen zum Gebrauch, die in den EPRI-Handbüchern das Verständnis unterstützen, musste aus Platzgründen verzichtet werden, ebenso auf die eingehenden Hinweise zur Zustandsanalyse der Hauptkomponenten. Hingegen wurden die wesentlichen Kostenangaben übernommen und für Schweizer Verhältnisse überarbeitet, obwohl sie naturgemäss nur global sein können und mit grossen Unsicherheiten behaftet sind. Trotz dieser Einschränkungen dürften sie für eine erste Vorabklärung nützlich sein.

Die Methodik

Die Modernisierung einer bestehenden Anlage ist eine anspruchsvolle und komplexe Aufgabe. Sie ist in mancher Hinsicht schwieriger als die Planung eines neuen Projektes «auf der grünen Wiese», weil das Bestehende vielfache Einschränkungen auferlegt. Jede Änderung an einem Anlage teil beeinflusst eine Vielzahl anderer Komponenten, wobei die gegenseitigen Wechselwirkungen vielschichtig und nicht einfach zu überblicken sind. Umso wichtiger ist ein planmässiges Vorgehen. Die hier vorgestellte Methodik basiert auf folgenden Grundüberlegungen und Vereinfachungen:

Il en va autrement pour le renouvellement. L'installation existante est en effet entièrement, ou pour une grande partie, démolie, puis remplacée par une nouvelle construction nettement différente de l'ancienne quant à sa conception et son apparence. Le niveau de retenue, la capacité de retenue et le régime des eaux peuvent être soumis à des modifications importantes, augmentant souvent ainsi d'un multiple la puissance de la centrale. Une nouvelle concession est en règle générale nécessaire, concession qui de nos jours est naturellement accompagnée d'une étude d'impact sur l'environnement (EIE).

Il faut s'attendre à ce que la modernisation des centrales existantes gagne encore en importance puisque les problèmes juridiques et écologiques du renouvellement d'une installation existante ne se différencient guère de ceux d'une nouvelle centrale sur un site jusqu'à présent inutilisé.

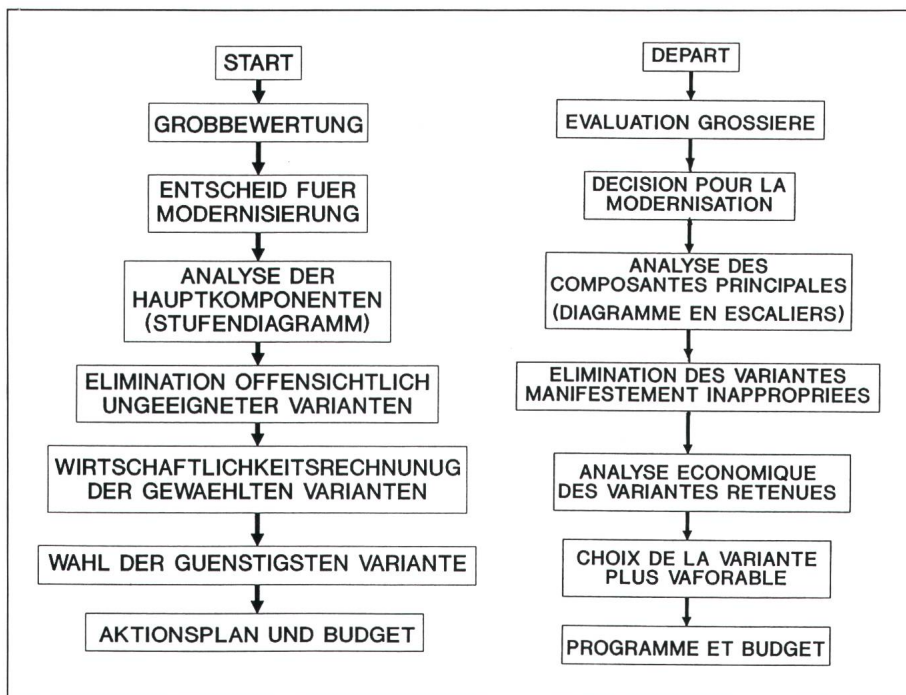
Bases, contenu et objectif

Une méthode systématique de modernisation des centrales hydrauliques existantes a été élaborée par Motor Columbus Entreprise d'ingénieurs S.A. (de nos jours Colenco SA) dans le cadre d'un mandat de l'Electric Power Research Institute (EPRI) de Palo Alto en Californie, USA. Ses caractéristiques fondamentales ont été présentées dans plusieurs publications [3, 4]. Les manuels de l'EPRI ont pour but de mettre à disposition des exploitants de centrales hydrauliques un instrument de travail leur permettant de planifier des conceptions de modernisation de leurs installations (au niveau de l'avant-projet) de manière à ce qu'une décision puisse être prise en ce qui concerne la poursuite du projet. L'idée de base est que, avant d'entreprendre des démarches concrètes (et coûteuses), l'exploitant désire se faire sa propre opinion – à peu de frais – sur les chances d'une modernisation de ses installations.

La présente étude se fonde sur les manuels de l'EPRI [5]. Elle comprend en outre la méthode, également les éléments fondamentaux de la planification et les devis réunis dans les manuels de l'EPRI, et ce sous une forme concise et révisée. Par manque de place, il a fallu renoncer aux explications détaillées et modes d'emploi facilitant, dans les manuels de l'EPRI, la compréhension, de même qu'aux renseignements sur l'analyse de l'état des principaux équipements. Les principaux devis, par contre, ont été repris et adaptés aux conditions suisses, et ce bien que ne pouvant être, de par nature, que globaux et liés à de grandes incertitudes. En dépit de ces restrictions, ils n'en restent pas moins utiles à une analyse préliminaire.

La méthode

La modernisation d'une installation existante est une tâche difficile et complexe. Elle est à bien des égards plus compliquée que la planification d'un nouveau projet. Toute modification apportée à un élément de l'installation influence de nombreux autres équipements, les interactions réciproques étant dans ce cas multiples et difficiles à contrôler. Une méthode d'agir systématique n'en est que plus importante. La méthode présentée ici se base sur les considérations fondamentales et simplifications suivantes:



Figur 2 Generelles Flussdiagramm einer Modernisierungsstudie

Figure 2 Diagramme général d'une étude de modernisation

1. Eine *Grobbeurteilung* kann als erster Schritt durchgeführt werden, um rasch festzustellen, ob eine Modernisierung wahrscheinlich sinnvoll ist. Damit soll vermieden werden, dass nach aufwendigen Studien ein negatives Ergebnis resultiert. Die Grobbeurteilung kann auch dazu dienen, bei mehreren bestehenden Anlagen eine Dringlichkeitsliste zu erstellen.
 2. Bei der darauf folgenden Entwicklung von *Modernisierungsplänen* wird auf die Hauptkomponenten abgestellt, d.h. auf diejenigen Anlageteile, welche die Kraftwerksleistung (ausgedrückt als Wasserstrom und/oder elektrische Leistung) im wesentlichen bestimmen. Nebenanlagen und Hilfsaggregate sowie die Gebäude werden zunächst ausgeklammert, in der Annahme, deren Anpassungen könnten in jedem Fall realisiert werden und die Kosten würden das aufgrund der Analyse der Hauptkomponenten erzielte Ergebnis nicht verändern.
 3. Eine weitere Vereinfachung wird dadurch erreicht, dass bei der *Analyse der Hauptkomponenten* zunächst jede für sich allein betrachtet wird. Erst danach werden die Einzelergebnisse zu einem Gesamtbild zusammengefügt, aus dem sich die Modernisierungspläne systematisch ergeben. Damit wird das Problem der gegenseitigen Beeinflussung auf übersichtliche Weise bewältigt.
 4. Die frühzeitige *Elimination* von technisch nicht machbaren und offensichtlich zu teuren Varianten bewirkt eine weitere Klärung. Nur die verbleibenden «vernünftigen» Varianten sollen der wirtschaftlichen Beurteilung unterzogen und daraus die optimale zur Durchführung ausgewählt werden.
1. Une *appréciation sommaire* peut d'abord être faite afin de pouvoir constater rapidement si une modernisation entre en ligne de compte. Il est ainsi possible d'éviter un résultat négatif, après de coûteuses études. Cette appréciation peut aussi servir à établir une liste des urgences pour plusieurs installations existantes.
 2. Les *plans de modernisation* qui suivent concernent les principaux équipements, c. à d. les éléments de l'installation déterminant la puissance de la centrale (exprimée en débit d'eau ou puissance électrique, voire les deux à la fois). Les installations annexes et les auxiliaires ainsi que les bâtiments sont pour l'instant exclus. Il est en effet supposé qu'ils pourront toujours être modernisés et que les coûts ne modifieront pas le résultat obtenu sur la base de l'analyse des principaux équipements.
 3. Une autre simplification est obtenue grâce au fait que dans l'*analyse des principaux équipements*, chacun de ces derniers est d'abord considéré isolément. Les divers résultats seront, par la suite, réunis en un ensemble dont résulteront systématiquement les plans de modernisation. Le problème des interactions peut ainsi être maîtrisé simplement.
 4. L'*élimination* rapide de variantes irréalisables du point de vue technique et visiblement trop coûteuses entraîne une nouvelle mise au point. Parmi les variantes restantes, il ne faut analyser que celles qui sont économiquement «raisonnables» et qui permettront d'en tirer la meilleure solution.

Le diagramme de la figure 2 illustre la manière d'agir générale, qui a souvent fait ses preuves en pratique [6, 7].

Das Flussdiagramm in Figur 2 veranschaulicht das generelle Vorgehen, das sich in der Praxis mehrfach bewährt hat [6,7].

Die Grobbewertung

Die Grobbewertung soll einen raschen Überblick über den generellen Zustand der Anlage und die Möglichkeiten der Modernisierung geben. Sie basiert auf einem einfachen Benotungssystem von ausgewählten «Indikatoren», die vor allem leicht und schnell feststellbar sind. Die Benotung erfolgt anhand der Grafiken in Figur 3 bis 6 und Tabelle I. Die Noten der einzelnen Hauptkomponenten werden, wie in der Tabelle II gezeigt, zu einer Gesamtnote zusammengefasst, die einen Hinweis auf die Dringlichkeit weiterer Untersuchungen darstellt. Erhalten mehrere Komponenten die Beurteilung «kritisch», sind weitere Untersuchungen in jedem Fall gerechtfertigt. Stehen mehrere Anlagen zur Diskussion, so kann die Grobbeurteilung zur Aufstellung einer Dringlichkeits-Reihenfolge benutzt werden.

Hinsichtlich einer Modernisierung besonders wichtig sind die Indikatoren «Überlauf» und «Konzessionsdauer». Viel Überlauf deutet auf ein schlecht genutztes hydraulisches Potential hin. Die Chancen für eine Modernisierung sind damit günstig. Bei sehr viel Überlauf kann eine Erneuerung die richtige Lösung sein.

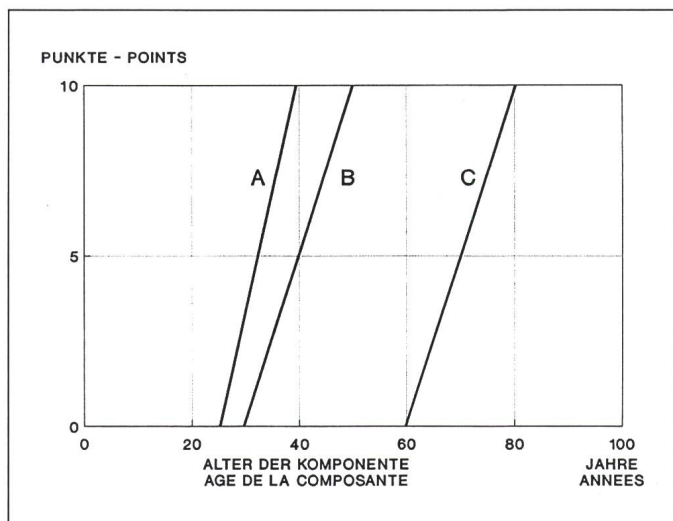
Ist die restliche Konzessionsdauer lang, so können die Investitionen einer Modernisierung entsprechend lang genutzt werden – eine positive Ausgangslage. Ist sie kurz, so liegt eine gewisse Dringlichkeit auf der Hand. Mittlere restliche Konzessionsdauer deutet eher in Richtung Abwarten und Erhalten, wenn der Zustand der Anlage dies erlaubt und andere Gesichtspunkte nicht dagegen sprechen.

L'appréciation sommaire

L'appréciation sommaire doit donner un rapide aperçu de l'état général de l'installation et des possibilités de modernisation. Elle se base sur un simple système de notation d'«indicateurs» choisis, faciles à repérer. La notation est faite à l'aide des graphiques présentés dans les figures 3 à 6 et tableau I. Ainsi que le montre le tableau II, les notes des divers équipements principaux sont additionnées, car leur total indique l'urgence d'examen supplémentaires. Dans le cas où plusieurs équipements sont considérés comme «critiques», des examens complémentaires sont justifiés. Si plusieurs installations sont l'objet de discussions, l'appréciation sommaire peut être utilisée pour établir une liste chronologique des urgences.

Les indicateurs «déversoir» et «durée de la concession» sont particulièrement importants en ce qui concerne la modernisation. Un grand déversoir signifie que le potentiel hydraulique est mal exploité. Les chances de modernisation sont dans ce cas favorables. Pour un déversoir important, un renouvellement de ce dernier est certainement la bonne solution.

Si la concession n'est pas près d'arriver à échéance, la centrale peut encore longtemps tirer profit des investissements d'une modernisation, ce qui est une bonne situation initiale. Si l'échéance est proche en revanche, une certaine urgence semble évidente. Une échéance de concession à moyen terme pousse plutôt à attendre et à entretenir entre-temps la centrale à moins, bien entendu, que l'état de cette dernière ne le permette pas ou que d'autres aspects s'y opposent.



Figur 3 Grobbewertung nach dem Alter der Komponente

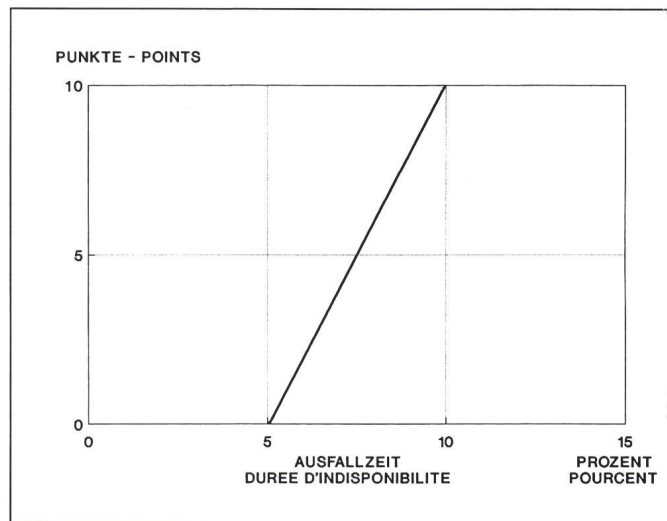
Je nach Komponente werden verschiedene «Normal-Lebensdauern» zugrunde gelegt. Dementsprechend ist für die Grobbewertung die jeweils gültige Linie massgebend.

Linie A: Generatoren, Transformatoren, andere elektrische Anlagen
Linie B: Turbinen, Absperrorgane, Schützen, Druckleitungen, Maschinenhäuser
Linie C: Dämme, Kanäle, Stollen, andere bauliche Anlagen

Figure 3 Evaluation sommaire selon l'âge des équipements

Selon les équipements, diverses «durées de vie normales» servent de base. La ligne correspondante est donc déterminante pour l'évaluation sommaire.

Ligne A: générateurs, transformateurs, autres installations électriques
Ligne B: turbines, organes de fermeture, vannes, conduites forcées, bâtiments de machines
Ligne C: barrages, canaux, galeries, autres constructions



Figur 4 Grobbewertung nach der Ausfallzeit in Prozent der Gesamt-Zeit

Als Ausfallzeit gilt die Zeit, während der eine Maschinengruppe oder eine ganze Anlage nicht betriebsbereit ist. Stillstand wegen Wassermangels gilt also nicht als Ausfallzeit. Es wird empfohlen, den Mittelwert der letzten drei Jahre einzusetzen, um Zufälligkeiten auszugleichen.

Figure 4 Evaluation sommaire en fonction de la durée d'interruption en pour-cent de la durée totale

La durée d'interruption est la durée au cours de laquelle un groupe de machines ou une installation tout entière ne peut fonctionner. Un arrêt lié à un manque d'eau ne peut être qualifié de durée d'interruption. Il est recommandé d'indiquer la valeur moyenne des trois dernières années afin d'égaliser des aléas.

<i>Generelle Richtlinien</i>	
Die Komponente ist in gutem Zustand und erbringt die volle Leistung. Keine betrieblichen Probleme ersichtlich und keine grösseren Reparaturen in den nächsten 10 Jahren zu erwarten	0 Punkte
Zustand ist noch in Ordnung, doch werden grössere Reparaturen in den nächsten 5 bis 10 Jahren notwendig sein:	5 Punkte
Akute Ausfallgefahr ist gegeben und grössere Reparaturen sind in den nächsten 2 Jahren unvermeidlich:	10 Punkte
<i>Beispiele für die Punktbewertung</i>	
Punkte	
Turbine:	
Leistungsbeschränkung	5 bis 10
Korrosion, Erosion, Kavitation	5 bis 8
Brüche, Risse an wichtigen Teilen	5 bis 10
Undichtheit des Leitapparates	0 bis 5
Generator:	
Kurzgeschlossene Wicklungen	7 bis 10
Verzogene, verbrannte Statoreisen	5 bis 8
Brüche, Risse an wichtigen Teilen	5 bis 10
Mehrere Spurlagerversagen	5 bis 8
Transformer:	
PCB-gefüllt	10
Leckstellen, Überhitzung	5 bis 10
Dämme, Kanäle, Stollen:	
Erhebliche od. zunehmende Undichtheit	6 bis 10
Stabilität gefährdet, Rutschungen	7 bis 10
Erhebliche Folgeschäden	8 bis 10
Druckleitung:	
geschweisst vor 1940	10
gleichförmige Korrosion	0 bis 5
Lochfrass	3 bis 8
Schützen:	
Lokale Korrosion	0 bis 5
Undichtheit	0 bis 8
Ungenügende Kapazität	5 bis 10

Tabelle I Grobbewertung nach dem *Zustand der Komponenten*

Auf keinen Fall sollten aufgrund der Grobbeurteilung endgültige Schlüsse gezogen werden. Die Grobbeurteilung soll und kann nicht mehr sein als ein erster Schritt. Das Resultat sollte kritisch hinterfragt und mit anderen Erkenntnissen und Überlegungen des Betreibers verknüpft werden. Die Grobbeurteilung ersetzt nicht detailliertere Modernisierungsstudien, kann aber brauchbare Hinweise dafür liefern, ob solche gerechtfertigt sind. Sie kann natürlich auch ganz unterbleiben, wenn der Betreiber, aus welchen Gründen auch immer, ohnehin entschlossen ist, konkrete Schritte hinsichtlich der Zukunft seiner Anlage zu unternehmen.

Modernisierungspläne

Ist aufgrund der Grobanalyse oder anderer Überlegungen der Entschluss zu weiteren Untersuchungen gefasst worden, sind die verschiedenen Möglichkeiten der Modernisierung im einzelnen zu entwickeln und für jeden Plan die erforderlichen Massnahmen zu definieren, Kosten und Zeitbedarf festzustellen und die erzielbare Leistungs- und Ertragssteigerung zu ermitteln. Dabei ist es zweckmässig,

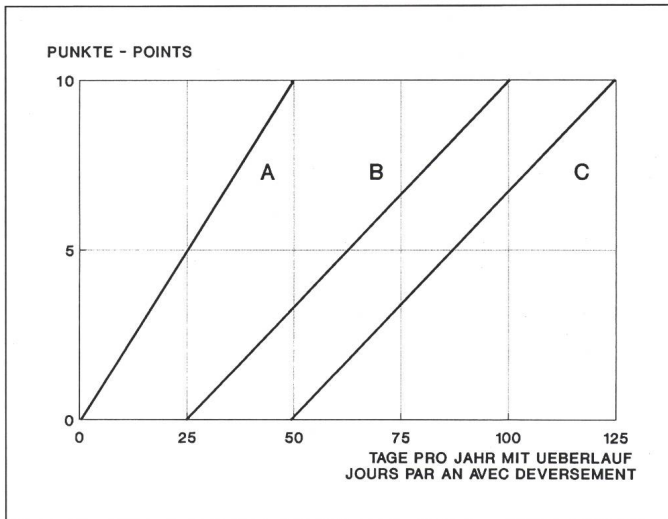
<i>Directives générales</i>	
L'équipement est en bon état et fonctionne à plein rendement. Aucun problème de fonctionnement n'est visible et aucune réparation importante n'est prévue au cours des 10 prochaines années.	0 point
Bien qu'étant encore en bon état, l'équipement sera l'objet de réparations importantes au cours des 5 à 10 prochaines années:	5 points
Il existe un sérieux danger de panne et des travaux de réparation importants seront inévitables au cours des 2 prochaines années:	10 points
<i>Exemples de notation</i>	
Points	
Turbine:	
Limitation de puissance	5 à 10
corrosion, érosion, cavitation	5 à 8
ruptures, fissures d'éléments importants	5 à 10
non étanchéité de la roue directrice	0 à 5
Générateur:	
enroulements court-circuités	7 à 10
tôles du stator gauchies, grillées	5 à 8
ruptures, fissures d'éléments importants	5 à 10
plusieurs pannes de paliers	5 à 8
Transformateur:	
contenant des PCB	10
fuites, surchauffe	5 à 10
Barrages, canaux, galeries:	
non étanchéité importante ou croissante	6 à 10
stabilité menacée, glissements	7 à 10
conséquences sérieuses	8 à 10
Conduite forcée:	
soudée avant 1940	10
corrosion régulière	0 à 5
corrosion ponctuelle	3 à 8
Vannes:	
corrosion ponctuelle	0 à 5
non étanchéité	0 à 8
capacité insuffisante	5 à 10

Tableau I Evaluation sommaire en fonction de l'état des équipements

Des décisions définitives ne doivent en aucun cas être prises à la suite de l'appréciation sommaire. Celle-ci ne doit, et ne peut, être autre chose qu'une première étape. Le résultat doit être examiné d'un œil critique et confronté à d'autres conclusions et considérations de l'exploitant. L'appréciation sommaire ne remplace pas des études de modernisation plus détaillées. Elle peut en revanche fournir des renseignements intéressants quant à leur utilité. Si, pour une raison ou une autre, l'exploitant est absolument décidé à moderniser son installation, il peut renoncer à l'appréciation sommaire.

Plans de modernisation

Si, à la suite de l'appréciation sommaire ou d'autres considérations, la décision a été prise de poursuivre l'analyse, il faut développer soigneusement les diverses possibilités de modernisation, définir les mesures inhérentes à chaque plan ainsi que les coûts et le temps nécessaire à la modernisation, et enfin établir l'augmentation de puissance et de production pouvant être obtenue. Dans ce cas, il est indiqué

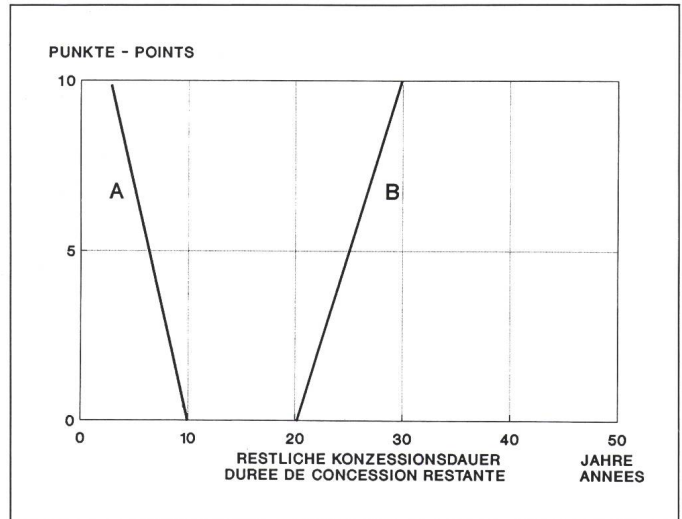


Figur 5 Grobbewertung nach der Anzahl Tage pro Jahr mit Überlauf

Linie A: Anlage mit Monats- oder Jahresspeicher
 Linie B: Anlage mit Tagesspeicher
 Linie C: Laufkraftwerk ohne Speichermöglichkeit

Figure 5 Evaluation sommaire en fonction du nombre de jours par année avec déversoir

Ligne A: installation avec accumulation mensuelle ou annuelle
 Ligne B: installation avec accumulation quotidienne
 Ligne C: centrale au fil de l'eau sans possibilité d'accumulation



Figur 6 Grobbewertung nach der restlichen Konzessionsdauer

Die restliche Konzessionsdauer ist unter zwei Gesichtspunkten wichtig für die Beurteilung, ob eine Modernisierungs-Studie angebracht ist:

Linie A: Ist die restliche Konzessionsdauer kurz, so spricht dies dafür, im Hinblick auf eine Neukonzession eine Modernisierungs-Studie durchzuführen.

Linie B: Ist die restliche Konzessionsdauer lang, so bestehen gute Aussichten, dass die Investitionen einer Modernisierung vor Ablauf der Konzession abgeschlossen werden können.

Figure 6 Evaluation sommaire en fonction de l'échéance de la concession

Deux aspects de l'échéance de la concession sont importants pour savoir s'il est judicieux de réaliser une étude de modernisation:

Ligne A: si l'échéance est proche, il est raisonnable de réaliser une étude de modernisation en vue d'une nouvelle concession.

Ligne B: si l'échéance est lointaine, les chances sont bonnes pour que les investissements d'une modernisation puissent être amortis avant la date de l'échéance.

Indikator	Punkte	Gewicht	Total Pkt.	kritisch
Alter	8	1	8	
Lizenzdauer	10	2	20	*
Zustand	10	2	20	*
Überlauf	8	2	16	
Ausfallzeit	5	1	5	
Ergebnis			69	2
Beurteilung:				
Total Pkt.:	kritisch:	Modernisierungsstudie:		
0 bis 40 und	0	derzeit nicht gerechtfertigt		
40 bis 60 oder	1	empfehlenswert		
60 bis 80 oder	2	dringend nötig		

Tabelle II Zusammenfassung der Grobbewertung (Beispiel)

Es sind jeweils die durchschnittlichen Punktzahlen einzutragen. Wie gezeigt, können einzelne Indikatoren mit vermehrtem «Gewicht» versehen werden.

Erreicht ein Indikator 10 Punkte, so ist er als «kritisch» zu betrachten und weitere Studien sind empfehlenswert bzw. dringend, unabhängig vom sonstigen Punkte-Ergebnis.

Die eingetragenen Zahlen sollen als Beispiel das Verfahren veranschaulichen. Das Ergebnis, 69 Punkte und 2 kritische Indikatoren, würde «dringend nötig» lauten.

Indicateur	Points	Poids	Total Pts	Critique
Age	8	1	8	
Durée de la licence	10	2	20	*
Etat	10	2	20	*
Déversoir	8	2	16	
Durée de l'arrêt	5	1	5	
Résultat			69	2
Appréciation:				
Total Pts:	Critique:	Étude de modernisation:		
0 à 40 et	0	n'est pour l'instant pas fondée		
40 à 60 ou	1	est recommandée		
60 à 80 ou	2	est absolument indispensable		

Tableau II Résumé de l'évaluation sommaire (exemple)

Il faut indiquer les valeurs numériques moyennes. Comme on le voit, certains indicateurs peuvent avoir un plus grand «poids».

Si un indicateur obtient 10 points, il doit être considéré comme critique et des études complémentaires sont absolument recommandées, et ceci indépendamment du résultat global.

Les chiffres indiqués servent d'exemple. Le résultat, qui est de 69 points et 2 indicateurs critiques, signifierait qu'une étude de modernisation serait absolument indispensable.

für jede Hauptkomponente die gegenwärtig mögliche Maximalleistung (die in vielen Fällen grösser ist als die tatsächlich genutzte Maximalleistung) festzustellen und sodann die jedem Modernisierungsschritt zugeordnete Leistungssteigerung.

Dieses Vorgehen beruht auf der Tatsache, dass die Verbesserung einer Komponente nicht kontinuierlich, sondern in konkreten Schritten erfolgt. Beispielsweise kann der zulässige Durchfluss einer Druckleitung oft erhöht werden, indem diese gereinigt und mit einem neuen Innenanstrich versehen wird. Diese Massnahme ist mit bestimmten Kosten verbunden und führt infolge der verringerten Reibungsverluste zu einer bestimmten neuen Durchflussmenge. Eine weitere Steigerung ist dann durch den Ersatz der Druckleitung durch eine neue mit grösserem Durchmesser möglich, wobei sich aus den Platzverhältnissen meist eine obere Begrenzung ergibt. Für das Beispiel einer Druckleitung erhält man also vier Wertegruppen:

1. Der gegenwärtig tatsächlich genutzte Maximaldurchfluss
2. Der mögliche Maximaldurchfluss im jetzigen Zustand
3. Der Maximaldurchfluss für die gereinigte und neu gestrichene Leitung
4. Der Maximaldurchfluss für eine neue Leitung

Dieses Vorgehen wird auf alle Hauptkomponenten angewendet, wie im folgenden Abschnitt beschrieben. Werden die Einzelergebnisse dann zusammengefasst, erhält man eine klare Übersicht über die möglichen Modernisierungspläne in Form eines Stufendiagrammes wie in Figur 7 gezeigt. Die gegenseitige Beeinflussung der Komponenten wird deutlich.

Im dargestellten Beispiel ist die Maximalleistung im gegenwärtigen Zustand durch die Generatoren beschränkt, alle anderen Komponenten wären höher belastbar (Leistungsniveau «A», 100%). Durch neue Statorwicklungen könnte die Leistung der Generatoren auf 118% gesteigert werden, die Begrenzung ist dann durch die Turbinen bei «B», 110%, gegeben, was allerdings auch Verbesserungen

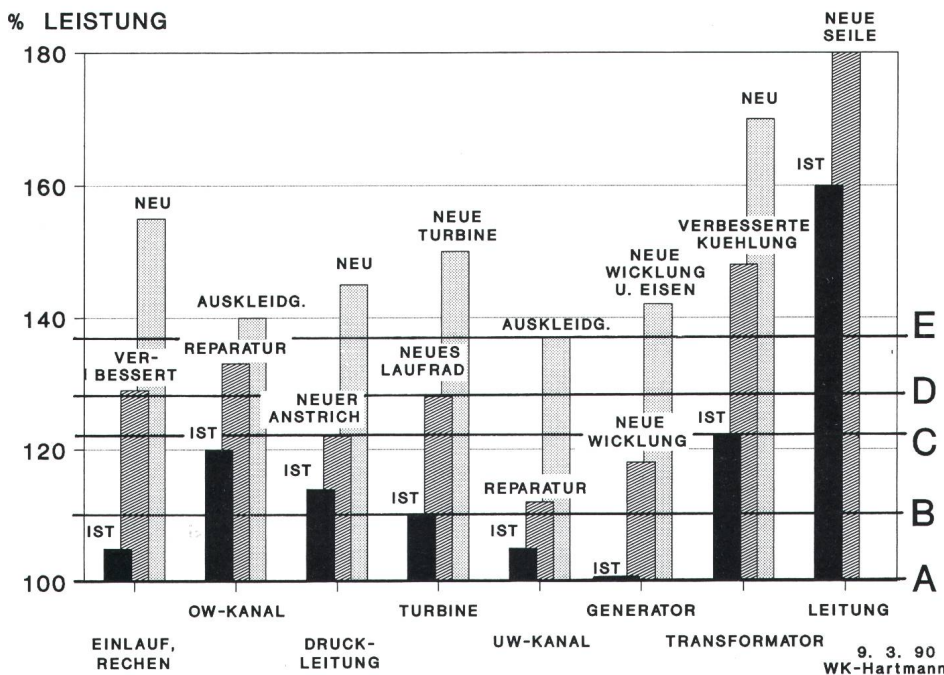
de bestimmen welche ist die aktuelle maximale mögliche (qui, dans de nombreux cas, est plus élevée que la puissance maximale effectivement utilisée) de chacun des principaux équipements, et de définir ensuite quelle est l'augmentation de puissance attribuable à chaque étape de la modernisation.

Cette manière d'agir se base sur le fait que l'amélioration d'un élément est réalisée par paliers, et non pas en continu. A titre d'exemple, en nettoyant une conduite forcée et en repeignant son intérieur, le débit admissible peut souvent être augmenté. Cette mesure est liée à certains coûts et a pour conséquence un nouveau débit dû à la réduction des coefficients de frottement. Une autre augmentation peut être obtenue en remplaçant la conduite forcée par une autre de plus grand diamètre (toutefois limité pour des raisons de place). Pour l'exemple de la conduite forcée, on obtient donc quatre groupes de valeurs:

1. le débit maximal effectivement exploité
2. le débit maximal possible actuellement
3. le débit maximal dans la conduite nettoyée et repeinte
4. le débit maximal dans une nouvelle conduite

Ce procédé, tel qu'il est décrit ci-après, est appliqué à tous les principaux équipements. En réunissant les divers résultats, il est possible d'avoir un aperçu clair des plans de modernisation possible, et ceci sous la forme d'un diagramme tel qu'il est montré dans la figure 7. L'influence réciproque des divers équipements apparaît nettement.

Dans l'exemple présenté, les générateurs limitent la puissance maximale, les autres équipements pourraient être exploités davantage (niveau de puissance «A», 100%). De nouvelles bobines du stator permettraient d'augmenter à 118% la puissance des générateurs, la limitation venant des turbines («B» 110%), ce qui demanderait toutefois des améliorations à l'entrée, à la grille et au canal de fuite. L'étape suivante est le remplacement des roues des turbines. Pour



Figur 7 Entwicklung der Modernisierungspläne (Stufendiagramm)

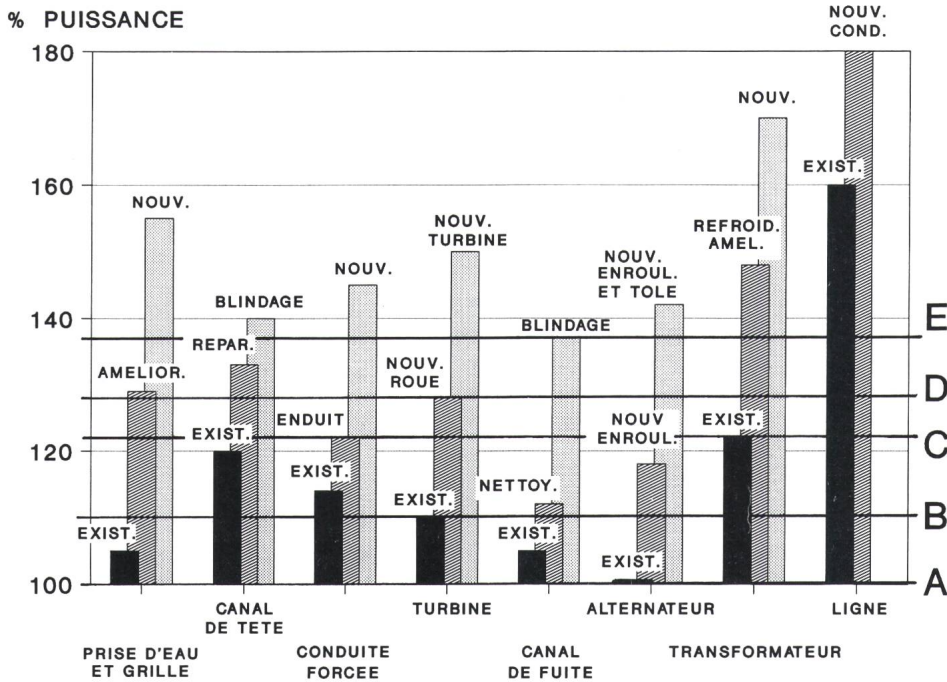


Figure 7 Elaboration des plans de modernisation (histogramme)

am Einlauf und Rechen sowie am Unterwasserkanal erfordert. Als nächster Schritt bietet sich der Einbau neuer Turbinenlaufräder an. Dazu müsste auch der Oberwasserkanal ausgebessert werden, die Druckleitung neu gestrichen und der Unterwasserkanal vertieft und verkleidet werden, und die Generatoren müssten neu geblecht und mit neuen Polen und Erregungseinrichtungen versehen werden. Die Druckleitung würde dieses Leistungsniveau «C», 122%, bestimmen – die vorhandenen Transformatoren wären auch an der Grenze der Belastbarkeit. Um das Leistungsniveau «D», 128%, gegeben durch die neuen Turbinenlaufräder, voll auszunützen, müsste man darüber hinaus eine grössere Druckleitung einbauen und die Kühlung der Transformatoren verbessern. Niveau «E» schliesslich, 137%, wäre in diesem Beispiel das maximal mögliche, da der Unterwasserkanal eine weitere Steigerung des Durchflusses nicht erlaubt. Man müsste dazu die Turbinen komplett ersetzen, Rechen und Einlauf erneuern und den Oberwasserkanal auskleiden. Nur die Freileitung könnte auch für diese Leistungssteigerung noch unverändert bleiben.

Das Beispiel zeigt deutlich, wie durch das Anheben des Leistungsniveaus von «A» bis «D» immer mehr Komponenten betroffen sind und verbessert werden müssen. Dementsprechend steigen die Kosten, aber auch die Erträge infolge höherer Leistung und Mehrproduktion. Im Abschnitt «Wirtschaftlichkeitsberechnung» wird gezeigt, wie die abschliessende Beurteilung durchzuführen ist.

In der Praxis tritt oft der Fall ein, dass eine oder mehrere Komponenten wegen ihres schlechten Zustandes so oder so ersetzt werden müssen. Auch dann ist es zweckmässig, in der geschilderten Weise vorzugehen, um eine systematische Abklärung aller Möglichkeiten sicherzustellen. Gerade diese Fälle sind wirtschaftlich besonders interessant, weil meist mit geringen Mehrkosten gegenüber dem reinen Ersatz Leistungs- und damit Ertragssteigerungen erzielt werden können.

cela, il faudrait également améliorer le canal d'amenée, repeindre la conduite forcée, abaisser le canal de fuite et le revêtir, et les générateurs devraient être recouverts de nouveaux capots et équipés de nouveaux pôles et systèmes d'excitation. La conduite forcée déterminerait ce niveau de puissance «C» 122% – les transformateurs seraient aussi à la limite de leur capacité. Afin de pouvoir exploiter entièrement le niveau de puissance «D» 128%, obtenu grâce aux nouvelles roues des turbines, il faudrait installer une plus grande conduite forcée et améliorer le système de refroidissement des générateurs. Dans cet exemple, le niveau maximal pouvant être atteint est «E» (137%), car une nouvelle hausse du débit dans le canal de fuite ne peut être envisagé. Il faudrait pour cela remplacer complètement les turbines, renouveler la grille et l'entrée et revêtir le canal de fuite. Seule la ligne aérienne pourrait aussi rester inchangée pour cette augmentation de puissance.

L'exemple met bien en évidence que le fait d'élever le niveau de puissance de «A» à «D» touche un nombre important d'équipements devant de ce fait être améliorés. Par conséquent, les coûts augmentent, mais aussi les revenus, en raison d'une puissance plus élevée et d'une production accrue. La partie consacrée au «calcul de rentabilité» indique ce dont il faut tenir compte dans l'analyse définitive.

Il n'est en pratique pas exceptionnel qu'au vu de leur mauvais état, un ou plusieurs équipements d'une centrale doivent de toute façon être remplacés. Il est dans ce cas aussi judicieux de procéder selon la manière présentée afin de pouvoir analyser systématiquement toutes les possibilités entrant en ligne de compte. Ces cas sont tout particulièrement intéressants sur le plan économique, car des augmentations de la puissance et des revenus peuvent généralement être obtenus à peu de frais, et ceci en comparaison du pur remplacement.

Analyse der Hauptkomponenten

Im folgenden werden Richtlinien für die überschlägige Dimensionierung und Kostenschätzung der Hauptkomponenten von Wasserkraftanlagen gegeben. Es sind dies diejenigen Anlageteile, welche Leistung und Arbeitsvermögen massgeblich bestimmen:

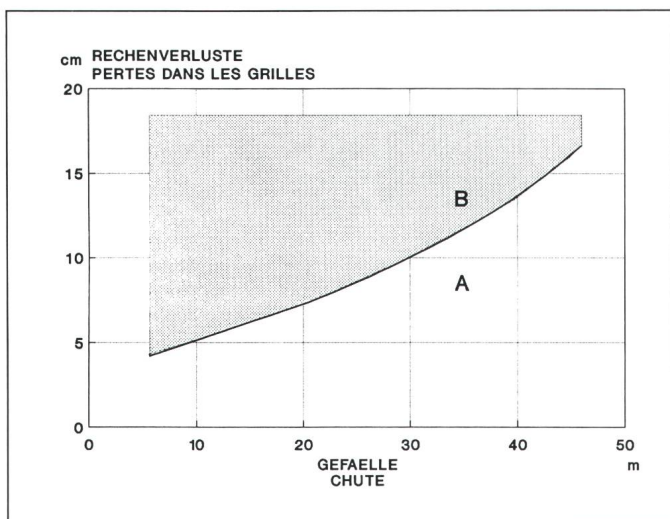
- Einlaufbauwerk mit Rechen und Schützen
- Triebwasserkanal bzw. Stollen
- Druckleitung
- Absperrorgane
- Turbinen und Turbinenregler
- Generatoren samt Erregungseinrichtung
- Transformatoren
- Freileitung

Einlaufbauwerk

Bei älteren Anlagen wurden die baulichen Anlagen meist grosszügig bemessen, so dass eine massvolle Erhöhung des Durchflusses oft ohne weiteres möglich ist. Massgebend ist die Wassergeschwindigkeit. Der gegenwärtige Wasserstrom kann aus der Leistung und den geschätzten Wirkungsgraden für diesen Zweck genügend genau ermittelt werden, der Querschnitt ergibt sich aus den Abmessungen des Einlaufbauwerkes. Als zulässiger Maximalwert können 1,5 m/s angenommen werden. Dabei ist allerdings auf die Strömungsverhältnisse zu achten. Treten am Einlauf Wirbel, Wellen oder gar ein sichtbarer Gefällsverlust auf, sollte die Wassergeschwindigkeit nicht erhöht werden. In solchen Fällen ist ein Fachmann beizuziehen, um Verbesserungsmöglichkeiten abzuklären. Über die Kosten der baulichen Modifikationen, die oft im Zuge von ohnehin überfälligen Reparaturen (Frostschäden usw.) durchgeführt werden können, sind generelle Angaben nicht möglich.

Einlaufrechen

Ältere Einlaufrechen sind oft mit sehr enger Teilung der Rechenstäbe ausgeführt. Rostansatz führt dann zu einer weiteren Verminderung der freien Durchflussfläche. Ein neuer Rechen wird die Rechenverluste verringern und in vielen Fällen eine Erhöhung des Durchflusses erlauben. Nach Figur 8 lässt sich einfach feststellen, ob die Rechenverluste im normalen Rahmen liegen.



Analyse des équipements principaux

Des directives pour le dimensionnement approximatif et l'estimation des coûts des équipements principaux de centrales hydrauliques sont données ci-après. Elles concernent les éléments de l'installation déterminant de manière décisive la puissance, à savoir:

- prise d'eau équipée de grille et de vannes
- canal ou galerie d'amenée
- conduite forcée
- organes de fermeture
- turbines et régulateurs de turbines
- générateurs et systèmes d'excitation
- transformateurs
- ligne aérienne.

Prise d'eau

Les constructions de centrales anciennes sont généralement largement dimensionnées de sorte qu'une augmentation modérée du débit ne pose généralement pas de problèmes. La vitesse de l'eau est déterminante. Il est dans ce cas possible de déterminer avec suffisamment de précision le débit d'eau actuel à partir de la puissance et des rendements estimés, la section se base sur les dimensions de la prise d'eau. La valeur maximale admissible est de 1,5 m/s. Il faut toutefois tenir compte des conditions d'écoulement. Dans le cas où il y aurait des tourbillons, des vagues ou même une perte de dénivellée notable à l'entrée, la vitesse de l'eau ne devrait pas être augmentée. Il convient, dans ces cas, de faire appel à un spécialiste qui étudiera les améliorations possibles. Des informations générales ne peuvent être données sur les coûts des transformations, qu'il sera souvent possible de réaliser dans le cadre de réparations absolument nécessaires à la suite, entre autres, de dommages dus au gel.

Grille d'entrée

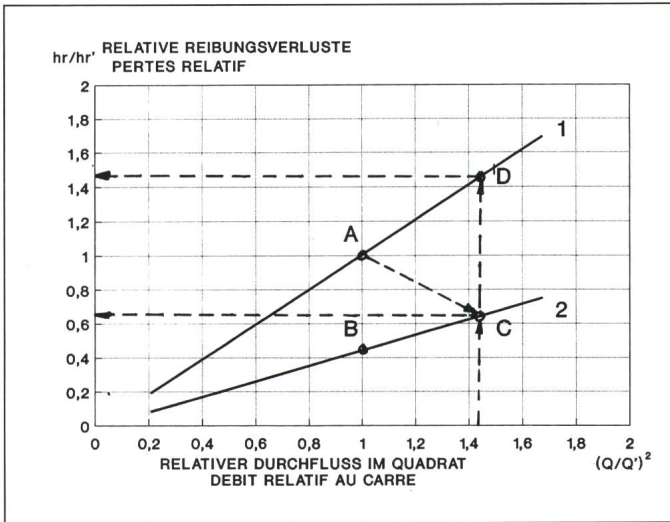
Des grilles d'entrée anciennes sont souvent équipées de barreaux serrés. Un dépôt de rouille empêche souvent aussi le bon écoulement de l'eau. Une nouvelle grille diminuera donc le risque d'engorgement, ce qui, dans de nombreux cas, permettra d'avoir un meilleur écoulement. D'après la figure 8, il est simple de constater si les pertes dues à la grille sont d'un ordre de grandeur normal.

Figur 8 Zulässige Rechenverluste in Abhängigkeit von der Brutto-Fallhöhe

Bereich A: Keine Verbesserung erforderlich
Bereich B: Der Rechen sollte verbessert werden

Figure 8 Pertes de la grille admissibles en fonction de la hauteur de chute brute

Secteur A: aucune amélioration nécessaire
Secteur B: la grille devrait être améliorée



Figur 9 Abschätzung der Reibungsverluste bei verschiedenen Durchflüssen

Das Diagramm benützt relative Werte h_r/h_r' und $(Q/Q')^2$ und kann für alle hydraulischen Komponenten verwendet werden: Rechen, Kanäle, Stollen, Druckleitungen. Es beruht auf der Tatsache, dass der hydraulische Reibungsverlust h_r bei sonst gleichbleibenden Bedingungen dem Quadrat des Durchflusses Q proportional ist.

Vorgehen: Man misst den Druckverlust h_r' bei vollem Durchfluss Q' . Dann berechnet man den Druckverlust h_r für die verbesserte Komponente (am einfachsten für denselben Durchfluss Q') und erhält so den Punkt B. Die Gerade 1 stellt den Ist-Zustand dar und geht definitionsgemäss durch den Punkt A ($h_r/h_r' = 1, (Q/Q')^2 = 1$). Die Gerade 2 durch den Punkt B entspricht der verbesserten Komponente und kann nun benützt werden, um für verschiedene Durchflüsse die zugehörigen Reibungsverluste abzulesen.

Für einen neuen Rechen können die Verluste nach folgender Formel berechnet werden:

- $h_r = k * (t/b)^{1.25} * (v^2/2g) * \sin \alpha$ worin:
- h_r Rechenverlust in m
 - k Formfaktor der Rechenstäbe; $k = 1,8$ für die normalerweise verwendeten Rechteckstäbe
 - b Lichte Weite zwischen den Rechenstäben in mm
 - t Dicke der Rechenstäbe in mm
 - v Wassergeschwindigkeit in m/s bezogen auf den vollen Querschnitt am Rechen
 - g Gravitationskonstante, $9,81 \text{ m/s}^2$
 - α Neigungswinkel des Rechens in Grad

Der lichte Abstand b sollte mindestens 50 mm betragen, aber nicht grösser sein als die kleinste Lichtweite zwischen den Laufradschaufeln bei Francisturbinen (an der Turbine messen!). Bei Kaplan-turbinen sind Abstände von 120 mm bis (bei sehr grossen Maschinen) 200 mm üblich, für Pelton-turbinen 50 bis 80 mm. Natürlich ist die bisherige Erfahrung mit Geschwemmsel gebührend zu berücksichtigen. Die Dicket der Rechenstäbe kann für die erste Abschätzung gleich wie bei den bestehenden Stäben angenommen werden. Der Rechenverlust kann dann für verschiedene Durchflüsse nach Figur 9 bestimmt werden.

Richtkosten für neue Rechen inklusive Abstützungen und Einbau:

Beispiel: Rechenverluste für verdoppelten Stababstand b , Rechendimensionen und Anströmung sonst unverändert.

Aus der Formel für Rechenverlust: $h_r/h_r' = (b/b')^{1.25}$
 Verdoppelung des Stababstandes: $b = 2*b'$
 $b/b' = 0,5; h_r/h_r' = 0,5^{1.25} = 0,42$
 Daraus Punkt B ($h_r/h_r' = 0,42; (Q/Q')^2 = 1$) und Gerade 2

Annahme: Der Durchfluss wird um 20% erhöht:
 $Q/Q' = 1,2; (Q/Q')^2 = 1,44$; mit dem neuen Rechen ergeben sich der Betriebspunkt C und $h_r = 63\%$, während mit dem bestehenden Rechen die Verluste auf $h_r = 144\%$ ansteigen würden gemäss Betriebspunkt D.

Figure 9 Evaluation des pertes par frottement pour divers débits

Utilisant des valeurs relatives h_r/h_r' et $(Q/Q')^2$, le diagramme peut être appliqué à tous les équipements hydrauliques tels que grille, canaux, galeries, conduites forcées. Il se base sur le fait que la perte inhérente à la grille « h_r » est, dans des conditions invariables, proportionnelle au carré du débit Q .

Procédé: on mesure la perte h_r' lors d'un débit élevé Q' . On mesure ensuite la perte h_r pour l'équipement amélioré (Q' étant le même), ce qui permet d'obtenir le point B. La droite 1 représente la situation réelle et passe, par définition, par le point A ($h_r/h_r' = 1, (Q/Q')^2 = 1$). La droite 2 passant par le point B correspond à l'équipement amélioré et peut maintenant être utilisée pour relever les pertes par frottement pour divers débits.

Exemple: pertes dues à la grille pour un double écart « b » entre les barreaux, dimensions de la grille et débit inchangés.

Tiré de la formule pour pertes dues à la grille:
 $h_r/h_r' = (b/b')^{1.25}$
 écart entre les grilles doublé: $b = 2*b'$
 $b/b' = 0,5; h_r/h_r' = 0,5^{1.25} = 0,42$
 on obtient le point B ($h_r/h_r' = 0,42; (Q/Q')^2 = 1$) et droite 2

Hypothèse: le débit est augmenté de 20%:
 $Q/Q' = 1,2; (Q/Q')^2 = 1,44$; avec la nouvelle grille, on obtient le point C et $h_r = 63\%$, alors qu'avec la grille existante, les pertes augmenteraient à $h_r = 144\%$ conformément au point D.

Pour une nouvelle grille, les pertes peuvent être calculées d'après la formule suivante:

- $h_r = k * (t/b)^{1.25} * (V^2/2g) * \sin \alpha$
- h_r perte inhérente à la grille en m
 - k facteur de forme des barreaux; $k = 1,8$ pour les barreaux carrés utilisés normalement
 - b écart entre les barreaux en mm
 - t épaisseur des barreaux en mm
 - v vitesse de l'eau en m/s par rapport à la section de la grille
 - g constante de gravitation, $9,81 \text{ m/s}^2$
 - α angle d'inclinaison de la grille en degrés.

L'écart « b » devrait être de 50 mm au minimum et ne pas dépasser le plus petit écartement entre les pales de la turbine Francis (mesurer à la turbine!). Pour les turbines Kaplan, il est normal d'avoir un écartement de 120 à (pour les très grandes machines) 200 mm, et de 50 à 80 mm pour les turbines Pelton. Il est clair que, d'après les expériences faites jusqu'à présent, il faut également tenir compte des déchets flottants. Pour une première estimation, il est permis d'admettre une épaisseur « t » des barreaux de la grille pour les barreaux existants. La perte inhérente à la grille peut alors être déterminée pour divers écoulements suivant la figure 9.

Prix de revient pour de nouvelles grilles, supports et installation compris:

Gesamtfläche über 100 m², Rechteckstäbe in 75 mm Abstand, Wassertiefe nicht über 20 m: Kosten 1500 Fr./m²

Wie oben, jedoch 200 mm Stababstand: Kosten 1100 Fr./m²

Für dazwischenliegende Stababstände: interpolieren

Für Gesamtfläche unter 100 m²: Zuschlag 30%

Für Stäbe mit hydrodynamisch geformtem Querschnitt: Zuschlag 20%

In vielen Fällen wird es nötig sein, auch die Rechenreinigungsmaschine zu erneuern. Damit ist zwar keine Leistungssteigerung der Anlage möglich, wohl aber eine Reduktion der Betriebskosten. Als globale Richtkosten können angenommen werden:

Fahrbare Rechenreinigungsmaschinen, je nach Wassertiefe und Geschwemmselart: Fr. 250 000 bis 750 000

Stationäre Rechenreinigungsmaschine, ca. 5 m Rechenbreite: Fr. 80 000

Am besten ist es, Geschwemmsel (und Eis) vom Einlauf überhaupt fernzuhalten und soviel als möglich über das Wehr abzuführen. An der grundsätzlichen Anordnung des Einlaufes werden entsprechende Änderungen sehr selten möglich sein, doch kann in manchen Fällen der nachträgliche Einbau eines Geschwemmselabweisers eine Verbesserung bringen. Ein solcher Schwimmbalken kann oft in der Betriebswerkstatt hergestellt werden. Die Kosten liegen bei etwa 300 Fr./m Länge. Die Anordnung ist so zu wählen, dass das Geschwemmsel in Richtung Wehr abgelenkt wird – aufhalten kann ein Schwimmbalken das Geschwemmsel auf die Dauer nicht!

Schützen und Dammbalken

In vielen Fällen müssen auch Schützen und Dammbalken verbessert oder ersetzt werden, sei es wegen Abnutzung und fortgeschrittener Korrosion oder weil sie, um erhöhten Durchfluss zu erlauben, vergrößert werden müssen. Weherschützen genügen oft den heutigen Anforderungen für die sichere Hochwasserabfuhr nicht mehr. Die entsprechenden Auflagen erlassen die kantonalen Wasserwirtschaftsämter.

Figur 10 enthält Informationen zur Kostenschätzung für neue Schützen und Dammbalken. Für die teilweise Verbes-

Surface totale supérieure à 100 m², barreaux carrés tous les 75 mm, profondeur de l'eau inférieure à 20 m: coûts 1500 fr/m².

Mêmes données que ci-dessus, sauf écartement des barreaux, qui est de 200 mm: coûts 1100 fr./m². Pour des écarts des barreaux intermédiaires: interpoler.

Pour une surface totale inférieure à 100 m²: majoration de 30%. Pour des barreaux ayant une section hydrodynamique: majoration de 20%.

Dans de nombreux cas, il sera aussi nécessaire de remplacer la machine nettoyant la grille. Il est vrai qu'il n'est ainsi pas possible d'augmenter la puissance de l'installation, mais de réduire les coûts d'exploitation. Le prix de revient possible est dans ce cas le suivant:

Machines mobiles de nettoyage des grilles, selon la profondeur de l'eau et genre des déchets flottants: entre fr. 250000 et 750000.

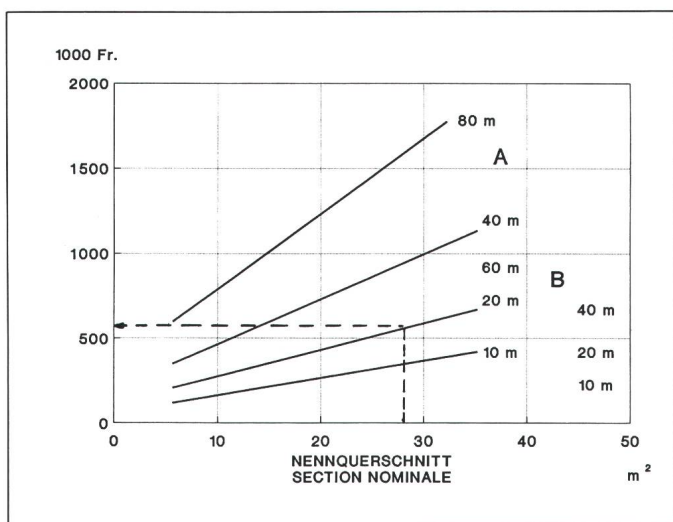
Machines fixes de nettoyage des grilles, largeur de la grille env. 5 m: fr. 80000.

Il est préférable d'empêcher tout engorgement à l'entrée en détournant les déchets flottants (et la glace) par-dessus le barrage. Des modifications appropriées ne pourront être réalisées que rarement à l'entrée, encore que l'installation ultérieure d'un chasse-déchets puisse y apporter une certaine amélioration. Ce genre de poutre flottante peut souvent être fabriqué dans l'atelier de la centrale. Les coûts se situent autour de fr. 300/m. Il faut l'installer de telle manière que les déchets flottants soient détournés vers le barrage – une poutre flottante ne peut toutefois retenir indéfiniment les déchets!

Vannes et batardeaux

Dans de nombreux cas, des vannes et des batardeaux devront être améliorés ou remplacés, à la suite d'usure et de corrosion avancée, ou parce que, pour des raisons d'augmentation du débit, ils doivent être agrandis. Des vannes ne satisfont souvent plus aux exigences actuelles de la sécurité d'évacuation des crues. Les services cantonaux pour l'aménagement des eaux édictent les prescriptions correspondantes.

La figure 10 contient des informations relatives à l'estimation des coûts pour de nouvelles vannes et batardeaux.



Figur 10 Richtkosten für Schützen und Dammbalken in Abhängigkeit vom Nennquerschnitt und vom Wasserdruck

Die Kosten umfassen den gesamten Stahlbauteil mit hydraulischem Antrieb, inklusive Montage, nicht jedoch bauliche Anpassungen. Massgebend ist der Nennquerschnitt (Breite mal Höhe).

Linien A (ausgezogen): Segmentschützen und Rollschützen

Linien B (gestrichelt): Dammbalken

Beispiel: Segmentschütze B = 7 m, H = 4 m, F = 28 m²

Wasserdruck 20 m

Richtkosten pro Schütze: etwa 600 000 Fr.

Figure 10 Prix de revient des vannes et des batardeaux en fonction de la section nominale et de la pression hydraulique

Les coûts comprennent l'ensemble de la construction en acier avec entraînement hydraulique, montage inclus sans transformations. La section nominale (largeur fois hauteur) est déterminante.

Lignes A (pleines): vannes secteurs et vannes à roues

Lignes B (pointillées): batardeaux

Exemple: vanne secteur B = 7 m, H = 4 m, F = 28 m²

pression hydraulique 20 m

prix de revient par vanne: env. 600 000 fr.

serung und Modernisierung können folgende generelle Kostenangaben gemacht werden:

Einbau neuer Gummidichtungen samt Befestigungselementen:
 Für Tafelschützen und Dammbalken: 450 Fr./m
 Für Segmentschützen und Tiefschützen: 900 Fr./m
 Neuer Rostschutz inklusive Sandstrahlen und Erstellen der Arbeitsbühnen, pro Quadratmeter Nennquerschnitt (Höhe mal Breite): 150 Fr.
 Ersatz des Handantriebes durch ein elektrisches Windwerk mit Reduktionsgetriebe: . . . ca. 20% der Schützenkosten
 Einbau eines hydraulischen Schützenantriebes:
 . . . ca. 30% der Schützenkosten

Für Reparaturen und Verstärkungen der Schützenkonstruktion können keine allgemeinen Kostenangaben gemacht werden. Meist stellt sich die Notwendigkeit und der Umfang dieser Massnahmen erst nach dem Reinigen und Sandstrahlen heraus.

Mit erheblichen Mehrkosten muss gerechnet werden, wenn die Schützen zwecks Reparatur oder Ersatz nicht durch Einsetzen von Dammbalken trockengelegt werden können, sondern hierfür besondere Massnahmen wie ein-schwimmbare Verschlüsse oder die Errichtung von Fang-dämmen erforderlich sind. Auch der Zeitaufwand und all-fällige Betriebseinschränkungen nehmen dann empfindlich zu. Diese Fälle bedürfen der individuellen Abklärung.

Triebwasserkanäle

Triebwasserkanäle (Ober- und Unterwasserkanäle) sind bei älteren Anlagen häufig zu finden. Im allgemeinen wurden sie grosszügig dimensioniert und erlauben daher oft eine Erhöhung des Durchflusses, allerdings unter der Voraussetzung einer eingehenden Instandstellung, die mindestens die ursprüngliche Leistungsfähigkeit wiederherstellt. Verschmutzung, Verkräutung und Sandablagerungen haben oft im Laufe der Zeit den nutzbaren Querschnitt vermindert und die Gefällsverluste erhöht. Auch Rutschungen, Senkungen und Undichtheiten können auftreten.

Bei einer Modernisierung wird man sich meistens auf die Behebung dieser Mängel beschränken müssen, allenfalls kommt noch die Auskleidung mit Betonplatten in Frage, um die Reibung zu verringern und den Durchfluss zu steigern. Manchmal kann eine leichte Erhöhung des Stauzieles, allenfalls verbunden mit einer entsprechenden Erhöhung der Dämme, zu einer Leistungserhöhung des Oberwasserkanals beitragen, indem auf diese Weise der nutzbare Querschnitt vergrössert wird. Diese Möglichkeit sollte man prüfen.

Zunächst ist der Reibungsverlust im gegenwärtigen Zustand festzustellen, indem man den Wasserspiegel am Anfang und am Ende des Kanals bei Anlagen-Vollast misst. Wenn zuverlässige Vergleichskoten fehlen, ist ein Geometer mit der Vermessung zu beauftragen.

Zu den gemessenen Spiegelkoten ist die jeweilige Geschwindigkeitshöhe $v^2/2g$ hinzuzurechnen, insbesondere dann, wenn zwischen dem Messpunkt am Anfang und am Ende beträchtliche Querschnittsunterschiede bestehen, z.B. wenn am Ende des Oberwasserkanals ein Vorbecken angeordnet ist, in dem die Wassergeschwindigkeit wesentlich geringer ist als im Kanal selbst. Dann berechnet man den Reibungsverlust des Kanals im verbesserten Zustand (nach Strickler, Details siehe einschlägige Handbücher):

Le devis estimatif de transformation partielle et de modernisation est le suivant:

Montage de nouveaux joints en caoutchouc, éléments de fixation compris:
 Pour des vannes planes et des batardeaux 450 fr./m
 Pour des vannes secteurs et des vannes de fond 900 fr./m
 Nouvelle protection contre la rouille, sablage et installation des plates-formes de travail inclus, par mètre carré de section nominale (hauteur \times largeur): 150 fr.
 Remplacement de la commande manuelle par un treuil de halage avec réducteur:

. . . env. 20% des coûts des vannes à coulisse
 Montage d'une commande de vanne hydraulique:
 . . . env. 30% des coûts des vannes à coulisse.

Un devis estimatif ne peut être établi à propos de réparations et renforcements de la construction des vannes – la nécessité et l'ampleur des mesures n'apparaissant qu'à la suite du nettoyage et sablage.

Il faut s'attendre à des coûts supplémentaires considérables si, en raison de travaux de réparation ou de remplacement, les vannes ne peuvent être mises à sec à l'aide de batardeaux, des mesures particulières ou l'installation de barrages étant alors nécessaires – ce qui risque de limiter l'exploitation de la centrale. Il convient d'examiner ces cas isolément.

Canaux

Des installations anciennes disposent souvent de canaux (canaux de fuite ou galeries d'amenée). Etant généralement largement dimensionnés, le débit peut facilement y être augmenté, compte tenu toutefois d'un entretien soigneux rétablissant au moins les performances initiales. L'encrassement, la végétation et des ensablements réduisent souvent, avec le temps, le débit pouvant être exploité et augmentent les pertes de hauteur de chute. Des glissements et des affaissements de terrain, de même que des fuites d'eau peuvent en outre se produire.

Lors d'une modernisation, on se contentera généralement d'éliminer ces défauts. Le revêtement avec des plaques de béton pourrait éventuellement aussi être pris en considération afin de diminuer le frottement et augmenter le débit. Une légère hausse du niveau de retenue, éventuellement accompagnée d'une élévation correspondante des barrages peut contribuer à une augmentation de la capacité du canal d'amenée, le débit exploitable étant ainsi augmenté. Il faudrait examiner cette possibilité.

Il faut d'abord déterminer les pertes par frottement à l'état actuel en mesurant le niveau d'eau au début et à la fin du canal alors que les installations travaillent à pleine charge. Un géomètre devra être chargé de cette tâche au cas où il n'y aurait pas de cotes de comparaison sûres.

Les diverses vitesses $v^2/2g$ doivent être calculées en plus des niveaux d'eau mesurés, et ceci tout particulièrement lorsque des différences considérables apparaissent entre les mesures effectuées au début et à la fin du canal comme, par exemple, lorsque le canal d'amenée se termine par un bassin dans lequel l'eau coule moins vite que dans le canal. Il faut alors calculer les pertes par frottement du canal à l'état amélioré (d'après Strickler, pour tout détail voir les manuels correspondants):

$$h_r = L/k_s^2 * (U/F)^{4/3} * (Q/F)^2 \quad \text{worin:}$$

- h_r Reibungsverlust in m
 L Länge des Kanals in m
 k_s Reibungsbeiwert (nach Strickler)
 U benetzter Umfang in m
 Q Durchfluss in m^3/s
 F durchströmter Querschnitt in m^2

Die Rechnung kann für einen beliebigen Durchfluss ausgeführt werden, für jeden anderen Durchfluss ergibt sich der Reibungsverlust aus dem Diagramm gemäss Figur 9. Für den Reibungsbeiwert des erneuerten Kanals sind folgende Werte einzusetzen:

- | | |
|---|------------|
| Erdkanal, festes feines Material | $k_s = 50$ |
| grobes, scholliges Material | $k_s = 30$ |
| Gemauerter Kanal, gut gefugt, Ziegel | $k_s = 75$ |
| Normales Ziegel- oder Bruchsteinmauerwerk | $k_s = 60$ |
| Grobes Bruchsteinmauerwerk, Pflasterung | $k_s = 50$ |
| Betonkanal, glattverputzt, stahlgeschalt | $k_s = 95$ |
| holzgeschalt | $k_s = 70$ |
| ungleiche und grobe Flächen | $k_s = 50$ |

Der minimale Freibord soll überall entlang dem Kanal 0,5 m betragen. Dies gilt auch bei abgestellter Anlage, unter Berücksichtigung eines Leerschusses, dessen Versagen in die Betrachtung mit einzubeziehen ist. Ferner ist zu berücksichtigen, dass beim plötzlichen Abstellen (Lastabwurf) ein Schwall entsteht, der an keiner Stelle zu einem Überlaufen führen darf. Die Schwallhöhe ändert sich proportional mit der Wassergeschwindigkeit, kann also aufgrund der Schwallhöhe im gegenwärtigen Zustand einfach abgeschätzt werden: Wird der Durchfluss z.B. um 20% gesteigert, so erhöht sich der Schwall ebenfalls um 20%.

Abgesehen vom Gefällsverlust kann die Fliessgeschwindigkeit auch deshalb nicht beliebig gesteigert werden, weil sonst die Sohle und die Seitenwände ausgewaschen würden. Als Richtwerte für die Fliessgeschwindigkeit gelten, je nach Material des Kanals:

- | | |
|------------------------------|-----------------|
| Sand | 0,5 bis 0,8 m/s |
| Kies | 0,8 bis 1,6 m/s |
| Lehm | 1,0 bis 2,0 m/s |
| Fels, unverkleidet | 2,0 bis 4,0 m/s |
| Betonverkleidung | 2,5 bis 5,0 m/s |

Die Kosten für Reinigung und Reparatur lassen sich am besten aus früheren Unterhaltsaufwendungen ermitteln, indem man mittels Baukostenindex extrapoliert. Für umfangreichere Instandstellungen und Verbesserungen können folgende Richtkosten eingesetzt werden:

- | | |
|--|----------------|
| Baggerung unter Wasser | 60 Fr./ m^3 |
| Erdaushub | 15 Fr./ m^3 |
| Felsaushub | 80 Fr./ m^3 |
| Felsaushub unter Wasser | 180 Fr./ m^3 |
| Einbringen und Verdichten | 15 Fr./ m^3 |
| Unbewehrter Beton | 500 Fr./ m^3 |
| Bewehrter Beton | 600 Fr./ m^3 |
| Auskleidung mit vorgefertigten
Betonplatten samt Unterbau | 200 Fr./ m^2 |
| Auskleidung mit Asphaltbeton
samt Unterbau | 170 Fr./ m^2 |

$$h_r = L/k_s^2 * (U/F)^{4/3} * (Q/F)^2$$

- h_r pertes par frottement en m
 L longueur du canal en m
 k_s coefficient de frottement (d'après Strickler)
 U circonférence mouillée en m
 Q débit en m^3/s
 F section mouillée en m^2

Le calcul peut être fait pour un débit quelconque. Pour les autres débits, le diagramme de la figure 13 renseignera sur les pertes par frottement. Les valeurs suivantes doivent être utilisées pour le coefficient de frottement du canal renouvelé:

- | | |
|---|------------|
| canal naturel, matériau résistant et fin | $k_s = 50$ |
| grossier (gravier) | $k_s = 30$ |
| canal maçonné, bien jointoyé, briques | $k_s = 75$ |
| maçonnerie normale en briques ou moellons | $k_s = 60$ |
| maçonnerie en moellons bruts, pavement | $k_s = 50$ |
| canal en béton, crépi, plaqué d'acier | $k_s = 95$ |
| plaqué de bois | $k_s = 70$ |
| surfaces irrégulières et grossières | $k_s = 50$ |

Le long du canal, la hauteur de sécurité minimale doit être de 0,5 m. Ceci est également valable pour les installations mises hors service. Dans ce cas, il faut tenir compte d'une éventuelle panne de la décharge. Il ne faut pas non plus oublier le fait qu'en cas d'arrêt subit (délestage), le niveau de l'eau monte, mais ne doit en aucun endroit déborder. La hauteur de l'eau varie en fonction de sa vitesse. Elle peut donc être estimée sur la base de la hauteur actuelle de l'eau. Si le débit est augmenté de 20%, par exemple, l'eau montera également de 20%.

Outre les pertes de hauteur de chute, la vitesse d'écoulement ne peut, aussi pour cette raison, être augmentée à volonté, sans quoi le fond et les parois latérales seraient ravinnés. Selon le matériau du canal, la vitesse d'écoulement se base sur les données de référence suivantes:

- | | |
|-------------------------------|---------------|
| sable | 0,5 à 0,8 m/s |
| gravier | 0,8 à 1,6 m/s |
| argile | 1,0 à 2,0 m/s |
| roche à l'état pur | 2,0 à 4,0 m/s |
| revêtement en béton | 2,5 à 5,0 m/s |

Les coûts pour des travaux de nettoyage et de réparation peuvent être établis sur la base d'anciennes dépenses correspondantes, et ceci en extrapolant avec l'indice des coûts de la construction. Pour des travaux de réparation et d'amélioration importants, il est possible de se baser sur les prix de revient suivants:

- | | |
|---|----------------|
| curage sous l'eau | 60 fr./ m^3 |
| déblai | 15 fr./ m^3 |
| dérochement | 80 fr./ m^3 |
| dérochement sous l'eau | 180 fr./ m^3 |
| mise en place et compression | 15 fr./ m^3 |
| béton non armé | 500 fr./ m^3 |
| béton armé | 600 fr./ m^3 |
| revêtement avec des plaques de béton
préfabriquées, fondation comprise | 200 fr./ m^2 |
| revêtement avec du béton d'asphalte,
fondation comprise | 170 fr./ m^2 |

Triebwasserstollen

Es gelten dieselben hydraulischen Gesetze wie für die Kanäle. Auch die obengenannten Einheitskosten gelten im Prinzip, jedoch müssen für die Arbeit unter Tage Zuschläge bis 100% gemacht werden, bei schlechter Zugänglichkeit auch darüber.

Druckrohrleitungen

Das Vorgehen ist ähnlich wie bei den Kanälen. Zunächst werden die Druckverluste im gegenwärtigen Zustand gemessen. Für die erneuerte, d.h. gereinigte und neu gestrichene, aber sonst unveränderte Leitung kann der Druckverlust mit einem Reibungsbeiwert $k = 0,0115$ berechnet werden:

$h_r = k * L/D * v^2/2g$ worin:

- D Rohrdurchmesser in m
- v Wassergeschwindigkeit in m/s

Für verschiedene Durchflüsse bestimmt man h_r wieder nach Figur 9. Meist wird man den Durchfluss so wählen, dass der Druckverlust etwas geringer ausfällt als bei der bestehenden Leitung.

Der Durchmesser einer neuen, grösseren Druckleitung ist meist durch die Platzverhältnisse begrenzt. Als weitere Richtlinie kann eine empirische Formel zur Ermittlung der «ökonomischen» Wassergeschwindigkeit benutzt werden:

$v' = 0,125 * (2gH)^{0,5}$ worin:

- v' ökonomische Wassergeschwindigkeit in m/s
- H Nettogefälle in m

Ist der Durchmesser festgelegt, so können Gewicht und Preis wie folgt bestimmt werden:

Der maximale Betriebsdruck ist der maximale statische Druck plus Druckstoss. Dieser kann mit 40% des statischen Druckes angenommen werden für Francisturbinen und mit 10% für Peltonurbinen. Dieser maximale Betriebsdruck ist für mehrere Stellen entlang der Leitung zu bestimmen. Die theoretische Wandstärke erhält man dann aus:

$t = (P * g * D)/2s$ worin:

- t theoretische Wandstärke in mm
- P maximaler Betriebsdruck in m WS
- D Durchmesser in m
- s zulässige Spannung im Stahl in N/mm²

Als zulässige Spannung ist die halbe Streckgrenze des Materials zu wählen. Ausserdem soll eine Minimalwandstärke von 6 mm oder D/200 nicht unterschritten werden. Daraus erhält man das ungefähre Gewicht

$G = 3,14 * D * t * L * 7,85 * 0,0011$ worin:

- G Gewicht in Tonnen
- D Durchmesser in m
- t Wandstärke in mm
- L Länge in m

Darin ist ein Zuschlag von 10% für Flansche, Mannlöcher, Versteifungen usw. enthalten. Das Gewicht kann für jede Sektion berechnet werden oder man rechnet mit einer mittleren Wandstärke. Für die Kostenschätzung können folgenden Angaben benutzt werden:

Galeries

Elles sont soumises aux mêmes lois hydrauliques que celles concernant les canaux. Les prix de revient susmentionnés peuvent également être appliqués aux galeries. Il faut cependant prévoir des majorations de près de 100% pour les travaux réalisés sous terre. Dans le cas d'une mauvaise accessibilité, les majorations peuvent même être plus importantes.

Conduites forcées

La manière d'agir ressemble à celle employée pour les canaux. Il faut d'abord mesurer les pertes de pression actuelles. Pour la conduite améliorée, c. à d. uniquement nettoyée et repeinte, la perte de pression peut être calculée d'après un coefficient de frottement «k» de 0,0115:

$h_r = k * L/D * v^2/2g$

- D diamètre de la conduite en m
- v vitesse de l'eau en m/s

Pour divers débits, « h_r » peut également être déterminé d'après la figure 9. On fixe généralement le débit de manière à avoir une perte de pression légèrement inférieure à celle mesurée dans la conduite existante.

Pour des raisons d'encombrement, le diamètre d'une nouvelle conduite forcée plus grande est limité. Une formule empirique peut aussi servir à déterminer la vitesse «économique» du débit:

$v' = 0,125 * (2gH)^{0,5}$

- v' vitesse «économique» de l'eau en m/s
- H hauteur de chute d'eau nette

Lorsque le diamètre est fixé, le poids et le prix peuvent être déterminés comme suit:

La pression de service maximale correspond à la pression statique maximale plus celle du coup de bélier. Cette dernière représente 40% de la pression statique pour les turbines Francis, et 10% pour les turbines Pelton. Cette pression de service maximale doit être déterminée en divers endroits de la conduite. L'épaisseur théorique des parois se calcule comme suit:

$t = (P * g * D)/2s$

- t épaisseur théorique des parois en mm
- P pression de service maximale en m WS
- D diamètre en m
- s contrainte admissible dans l'acier en N/mm²

Il faut choisir la demi-limite d'allongement du matériau en tant que contrainte admissible. De plus, l'épaisseur des parois ne doit pas être inférieure à 6 mm ou D/200. Ceci permet de calculer le poids approximatif:

$G = 3,14 * D * t * L * 7,85 * 0,0011$

- G poids en tonnes
- D diamètre en m
- t épaisseur des parois en mm
- L longueur en m

Ce calcul comprend un supplément de 10% pour des brides, des trous d'homme, des étayages, entre autres. On peut calculer le poids de chaque section ou supposer une épaisseur moyenne des parois. Les données suivantes permettent d'estimer les coûts:

Für Lieferung, Einbau und Rostschutz, aber ohne bauliche Anlagen (Fundamente usw.)

für D > 3 m und G > 5000 Tonnen	8000 Fr./t
für D < 3 m	8500 Fr./t
für eingegrabene Druckleitungen	10% Abzug
für die baulichen Aufwendungen:	
bei offenen Leitungen	50 bis 100% Zuschlag
bei eingegrabenen Leitungen	30 bis 80% Zuschlag

Pour la livraison, le montage et la protection antirouille, installations (fondations, etc.) non comprises

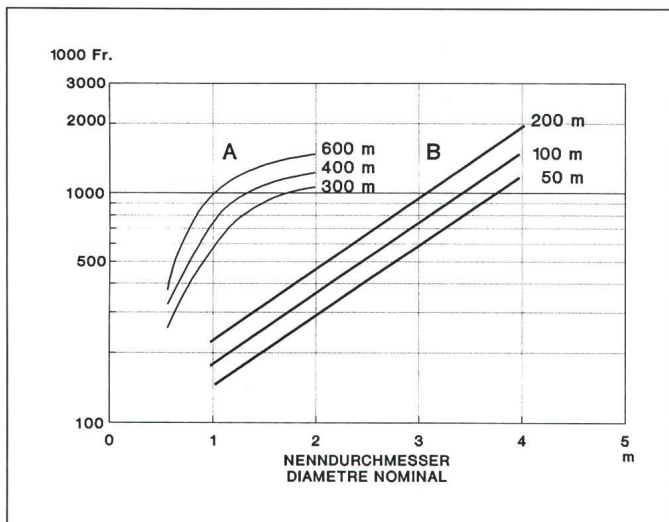
pour D > 3 m et G > 5000 tonnes	8000 fr./t
pour D < 3 m	8500 fr./t
pour des conduites forcées enterrées	10% de rabais
pour les frais de construction concernant:	
des conduites à l'air libre	50 à 100% de majoration
des conduites enterrées	30 à 80% de majoration

Turbinen-Absperrorgane

Als Faustregel gilt: Solange der Turbineneinlauf nicht verändert wird, bleibt auch das Absperrorgan. Wird die Turbine samt Einlauf ersetzt, dann braucht man in der Regel auch ein neues Absperrorgan. Die ungefähren Kosten für neue Drosselklappen und Kugelschieber sind in Figur 11 angegeben.

Organes de fermeture des turbines

Communément, l'organe de fermeture n'est pas remplacé avant que la bêche d'entrée de la turbine ne soit elle-même transformée. Lorsque la turbine, et sa bêche d'entrée, est remplacée, il faut généralement aussi installer un nouvel organe de fermeture. Les coûts approximatifs de nouvelles vannes papillons et vannes sphériques sont indiqués dans la figure 11.



Figur 11 Richtkosten für Absperrorgane in Abhängigkeit vom Nenndurchmesser

Kurven A: Kugelschieber
Kurven B: Drosselklappen
Die Kurven gelten für die eingetragenen Betriebsdrücke

Figure 11 Prix de revient des organes de fermeture en fonction du diamètre nominal

Courbes A: vannes sphériques
Courbes B: vannes papillons
Les courbes sont valables pour les pressions indiquées

Turbinen

Ältere Turbinen haben schlechtere Wirkungsgrade als moderne Maschinen gleicher Dimensionen und Bauart. Hier kann man also immer eine Steigerung der Leistung und der Energieausbeute durch Modernisierung erwarten. Diese wird noch grösser ausfallen, wenn die Turbine

- infolge Abnutzung gegenüber dem Originalzustand an Wirkungsgrad verloren hat
- wegen starker Abnutzung oder anderer Mängel nicht mehr voll belastet werden kann
- wegen Unterdimensionierung oder Abnutzung anderer Komponenten nicht voll ausgelastet werden kann

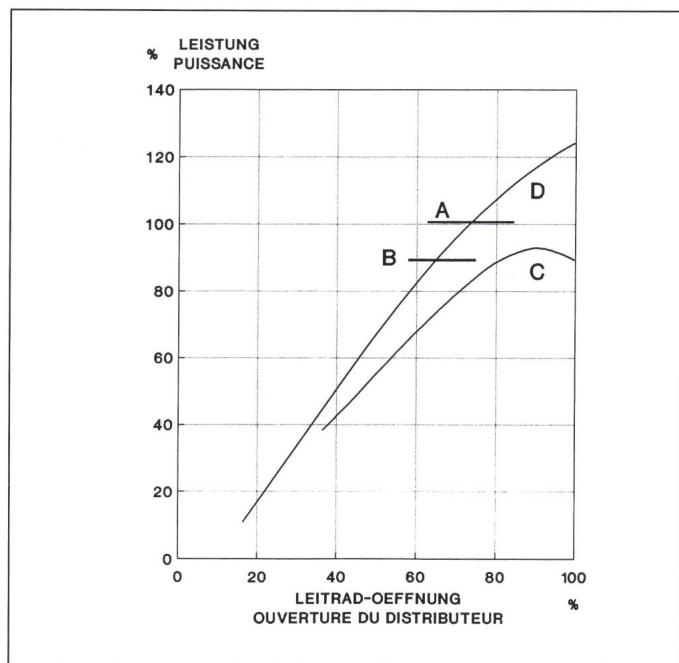
Es gilt also zunächst, wie bei den zuvor besprochenen Komponenten, die *maximal mögliche Leistung* im Ist-Zustand festzustellen. Ob die Turbine selbst noch Leistungsreserven besitzt, zeigt ein einfacher Versuch (ein Vergleich des Leistungsschildes mit der an der Schalttafel angezeigten Leistung ist nicht immer stichhaltig; oft sind vor langer Zeit Veränderungen vorgenommen worden, die im Leistungsschild nicht berücksichtigt sind): Man misst für verschiede-

Turbinen

Des turbines anciennes ont un moins bon rendement que des unités modernes de mêmes dimensions et même type. Par suite d'une modernisation, une augmentation de la puissance et du rendement énergétique est donc ici toujours possible. Augmentation qui sera encore plus importante si la turbine

- a vu peu à peu diminuer son rendement, à cause de l'usure,
- ne peut plus travailler à plein rendement, à cause d'usure sérieuse ou d'autres défauts,
- ne peut pas être utilisée à fond, en raison d'un sous-dimensionnement ou d'usure d'autres équipements.

Il faut donc, comme pour les équipements présentés au préalable, d'abord déterminer la *puissance maximale effectivement possible*. Un simple essai montre si la turbine dispose de réserves de puissance (une comparaison entre la plaque signalétique et la puissance indiquée sur le tableau de distribution n'est pas toujours fiable. Il arrive souvent que des modifications ont une fois été faites sans toutefois avoir aussi été reportées à la plaque signalétique): on mesu-



Figur 12 Turbinenleistung über der Leitradöffnung

Linie A: Leitapparat blockiert bei Nennleistung
 Linie B: Leitapparat blockiert wegen Kavitation oder anderen Mängeln
 Kurve C: Leistung begrenzt durch Laufrad
 Kurve D: Leistungspotential einer reichlich dimensionierten Turbine

Figure 12 Puissance fournie par la turbine pour diverses positions de la roue directrice

Ligne A: roue directrice bloquée à la puissance nominale
 Ligne B: roue directrice bloquée en raison de cavitation ou autres défauts
 Courbe C: puissance limitée par la roue
 Courbe D: potentiel de puissance d'une turbine largement dimensionnée

ne Leitradöffnungen die abgegebene Leistung und trägt diese Werte in einem Diagramm wie Figur 12 auf. Wird die Kurve gegen die volle Öffnung hin flach, d.h. nimmt die Leistung dort nur mehr ganz wenig zu, dann ist die Turbine bereits voll ausgelastet und eine weitere Leistungssteigerung ohne Änderungen an der Maschine nicht möglich. Nimmt aber die Leistung auch bei voller Öffnung noch zu, d.h. steigt die Kurve dort noch zügig an, so besitzt die Turbine noch Leistungsreserven.

Bei diesen Versuchen und bei den weiteren Überlegungen ist immer darauf zu achten, dass die Leistung einer Turbine in jedem Betriebspunkt vom Netto-Gefälle abhängt. Es ist also jeder Messpunkt auf ein einheitliches Vergleichs-Gefälle umzurechnen nach der Formel

$$P = P' * (H/H')^{1.5} \text{ worin:}$$

- P die auf das Vergleichsgefälle H umgerechnete Leistung
- P' die gemessene Leistung
- H' das Netto-Gefälle bei der Messung
- H das Vergleichsgefälle

Oft wird man am Leitapparat eine Blockierung finden, die das Öffnen über einen Maximalwert hinaus verhindert, obwohl der Leitapparat an sich eine grössere Öffnung zulassen würde. Möglicherweise ist es keine physische Blockierung, sondern eine Betriebsvorschrift, die das Öffnen über einen bestimmten Wert hinaus verbietet. Es ist nun nach den Gründen der Begrenzung zu suchen. Diese können sein:

1. Die Turbine ist (oft absichtlich, um die garantierte Leistung sicher zu erreichen) überdimensioniert und wurde dann bei der vertraglichen Maximalleistung blockiert.
2. Die Blockierung soll den Betrieb der Turbine im oberen Lastbereich verhindern, z.B. weil dort starke Kavitation oder Vibration auftritt. In diesem Fall, der der Betriebs-

re die Leistung für verschiedene Positionen der Lenkrolle für ein Diagramm wie das in der Figur 12. Wenn die Kurve gegen die volle Öffnung hin abflacht, d.h. wenn die Leistung dort nur noch ganz wenig zunimmt, dann ist die Turbine bereits vollständig ausgelastet und eine weitere Leistungssteigerung ohne Änderungen an der Maschine nicht möglich. Wenn die Leistung auch bei voller Öffnung noch zunimmt, d.h. wenn die Kurve dort noch zügig ansteigt, dann besitzt die Turbine noch Leistungsreserven.

Es ist bei diesen Versuchen und bei den weiteren Überlegungen immer darauf zu achten, dass die Leistung einer Turbine in jedem Betriebspunkt vom Netto-Gefälle abhängt. Es ist also jeder Messpunkt auf ein einheitliches Vergleichs-Gefälle umzurechnen nach der Formel:

$$P = P' * (H/H')^{1.5}$$

- P puissance calculée en fonction de la hauteur de chute de comparaison
- P' puissance mesurée
- H' hauteur de chute nette au point de mesure
- H hauteur de chute de comparaison

Die Lenkrolle ist oft mit einem System zur Blockierung ausgestattet, das das Öffnen der Turbinen über einen bestimmten Wert hinaus verhindert, obwohl der Leitapparat an sich eine größere Öffnung zulassen würde. Möglicherweise ist es keine physische Blockierung, sondern eine Betriebsvorschrift, die das Öffnen über einen bestimmten Wert hinaus verbietet. Es ist nun nach den Gründen der Begrenzung zu suchen. Diese können sein:

1. Etant surdimensionnée (souvent intentionnellement afin d'atteindre sûrement la puissance garantie), la turbine est bloquée à la puissance maximale fixée par contrat.
2. Le blocage doit empêcher le fonctionnement de la turbine au niveau de charge le plus élevé, en raison, entre autres, d'une forte cavitation ou vibration. Dans ce cas, que

leitung bekannt sein dürfte, ist eine Leistungssteigerung der Turbine im Ist-Zustand ohne weitere Abklärungen sicher unzulässig.

- Die Blockierung wurde angebracht, um eine Überlastung anderer Komponenten, z.B. des Generators, zu verhindern. Solche «Flaschenhälse» sind dem Betriebspersonal meistens bekannt; ansonsten werden sie im Laufe der Analyse der Hauptkomponenten sichtbar.

In den Fällen 1 und 3 könnte die Turbine also mehr leisten als ihr gegenwärtig zugemutet wird. Man kann dann in einem weiteren Versuch, am besten bei Minimalgefälle, die Leistung vorsichtig steigern, um so die effektive Maximalleistung festzustellen. Eine kurzzeitige Überlastung des «Flaschenhalses» ist, natürlich mit gewissen Vorsichtsmassnahmen, fast immer möglich. Andernfalls muss man die im Versuch aufgenommene Kurve extrapolieren und die maximal mögliche Leistung bei der maximal möglichen Servomotoröffnung ablesen. Natürlich besteht die Gefahr, dass in diesem Bereich, der nicht tatsächlich erprobt werden kann, doch Schwierigkeiten auftreten und die angenommene Mehrleistung nicht wirklich erreicht werden kann. Wenn die Turbine in gutem Zustand ist und bei der gegenwärtig gefahrenen Höchstlast keine Probleme offenbart, dürfte diese Gefahr aber gering sein.

les exploitants de centrales connaissent certainement, une augmentation de la puissance de la turbine dans l'état actuel ne peut être admise sans autres investigations.

- La turbine a été équipée d'un système de blocage afin d'empêcher une surcharge d'autres équipements tels que le générateur, entre autres. Généralement connus du personnel de la centrale, de tels «goulots d'étranglement» peuvent également apparaître lors de l'analyse des équipements principaux.

Dans les cas 1 et 3, la turbine pourrait donc avoir une puissance plus élevée que celle admise actuellement. Dans un autre essai réalisé de préférence pour des hauteurs de chutes minimales, il est possible d'augmenter prudemment la puissance afin de constater ainsi la puissance maximale effective. Une brève surcharge du «goulot d'étranglement», naturellement en prenant certaines mesures de précaution, est pour ainsi dire toujours possible. Il faut sans cela extrapoler la courbe enregistrée au cours de l'essai et relever la puissance la plus élevée possible au point d'ouverture maximale du servo-moteur. Il est clair que des difficultés risquent pourtant d'apparaître dans ce secteur difficile à tester et que l'augmentation de puissance supposée peut ne pas être atteinte. Si la turbine est en bon état et si la charge maximale actuelle ne pose aucun problème, ce risque devrait être minime.

Grösse	Einheit	Symbol	Francis	Kaplan	Herleitung
Gefälle	m	H	200,00	17,00	gegeben
Drehzahl	l/min	N	375,00	120,00	gegeben
Aufstellungshöhe	m	H _a	1000,00	200,00	gegeben
UW-Spiegel	m	H _u	999,00	204,50	gegeben
Wassertemperatur	Grad	T _{max}	15,00	25,00	gegeben
Laufgrad-Durchmesser	m	D	1,50	4,90	gegeben
Barometerdruck	m	H _b	9,29	10,14	$H_b = 10,351 - 0,00106 * H_a$
Saughöhe	m	H _s	1,00	-4,50	$H_s = H_a - H_u$
Dampfdruck	m	H _d	0,18	0,34	aus Figur 13
Kavitationszahl	-	Sigma	0,04	0,84	$Sigma = (H_b - H_d - H_s) / H$
Spezifische Drehzahl	rad/s	N _s	0,55	3,50	aus Figur 14
Einheitsdrehzahl	rad/s	N _{ed}	1,33	4,77	$N_{ed} = N * PI / 30 * D / (g * H)^{0.5}$
Spezifische Drehzahl	rad/s	N _s	0,58	3,71	$N_s = 0,85 * N_{ed} - 0,55$ (Francis); $N_s = 1,45 * N_{ed} - 3,20$ (Kaplan)
Massgebende N _s	rad/s	N _s	0,55	3,50	die kleinere N _s ist massgebend
Wasserstrom	m ³	Q	17,05	167,07	$Q = N_s^2 / (N * PI / 30)^2 * (g * H)^{1.5}$
Wirkungsgrad	%	ETA	92,50	94,00	aus Figur 15 und 16
Abzüge	%	DELTA	2,00	0,50	gemäss Figur 15 und 16
korr. Wirkungsgrad	%	ETA'	90,50	93,50	ETA - DELTA
Leistung	MW	P	30,27	26,05	$P = g * Q * H * ETA' / 100\ 000$
Radgewicht	t	G _r	1,83	27,06	$G_r = 0,6 * D^{2.75}$ Francis, = 0,23 * D ³ Kaplan
Kosten pro Tonne	Fr./t	k'	75 000	50 000	aus Figur 17
Kosten erstes Rad	Mio Fr.	K ₁	0,14	1,35	$K_1 = G_r * k' / 1\ 000\ 000$
Reduktionsfaktor	-	R _F	0,90	0,90	empfohlener Erfahrungswert
Kosten zweites Rad usw.	Mio Fr.	K ₂	0,12	1,22	$K_2 = K_1 * R_F$
Kosten 4 Räder	Mio Fr.	K _R	0,51	5,01	$K_T = K_1 + (z-1) * K_2$ z = Anzahl Räder
Kosten Modellversuche	Mio Fr.	K _M	0,20	0,35	Richtwert aus [10]

Tabelle III Berechnung von Ersatzlaufträgern

Die Tabelle zeigt den Rechnungsgang anhand von Beispielen für eine Francis- und eine Kaplan-turbine. In der rechten Spalte ist unter «Herleitung» angegeben, wie der betreffende Wert ermittelt wird. Das Radgewicht G_r wird zweckmässig gleich dem Gewicht des vorhandenen Rades angenommen. Ist dieses nicht bekannt, kann G_r wie angegeben ungefähr berechnet werden.

Nachdem auf die geschilderte Weise die im Ist-Zustand mögliche Maximalleistung abgeschätzt wurde, sind die Modernisierungsmöglichkeiten abzuklären:

1. Einbau eines neuen, verbesserten Laufrades
1. Ersatz des kompletten Innenteils
3. Einbau einer neuen Turbine

Diese Möglichkeiten (es gibt natürlich noch weitere Zwischenlösungen und Kombinationen) werden nachstehend besprochen.

Ein *neues Laufrad*, allenfalls verbunden mit geringen Änderungen an den Spaltringen und am Laufradring, ist unter folgenden Voraussetzungen angebracht:

- die Turbine ist ansonsten in gutem Zustand
- am Laufrad selbst bestehen andauernde Probleme wie starke Kavitationsschäden, wiederkehrende Risse und Brüche, unruhiger Lauf, der den Betrieb beeinträchtigt
- der Generator muss neu gewickelt werden und man möchte die dadurch mögliche Mehrleistung ausnützen
- die nutzbare Wassermenge kann nur mässig (Grössenordnung 10 bis 15%) gesteigert werden.

Tabelle III und die Figuren 13 bis 17 zeigen die vereinfachte Berechnung von Ersatzlaufrädern. Die erzielbare Verbesserung der Leistung ist damit gegeben. Die Verbesserung des Wirkungsgrades ist schwierig zu bestimmen, denn dazu

Une fois que la puissance maximale actuelle a été établie selon la manière esquissée, il faut déterminer les possibilités de modernisation:

1. Montage d'une nouvelle roue améliorée
2. Remplacement de tous les éléments intérieurs
3. Installation d'une nouvelle turbine

Ces possibilités sont analysées ci-après (il est clair qu'il existe encore d'autres solutions intermédiaires et d'autres combinaisons).

Une *nouvelle roue*, et éventuellement quelques petites modifications apportées aux labyrinthes et à l'anneau de la roue, apparaît judicieuse à condition que

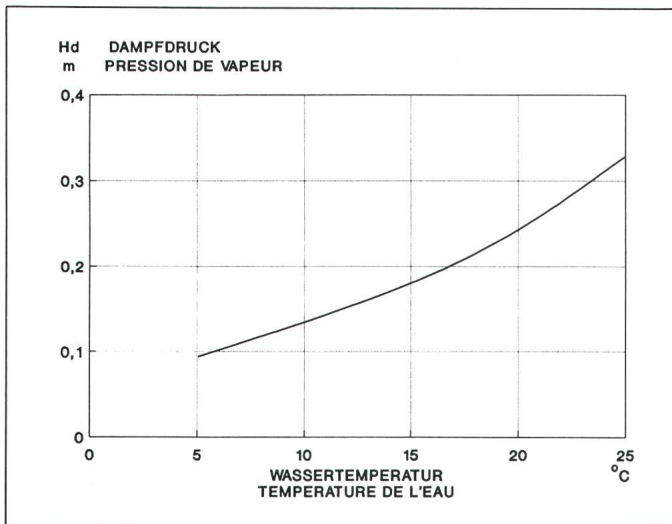
- la turbine soit en bon état
- le fonctionnement de la roue soit perturbé par des problèmes permanents tels que des dommages de cavitation importants, des fissures et des cassures périodiques
- le générateur doit être rebobiné, ce qui permettrait d'exploiter la hausse de puissance ainsi obtenue
- la quantité d'eau utilisable ne puisse être que faiblement augmentée (de 10 à 15%).

Le tableau III et les figures 13 à 17 montrent le calcul simplifié de roues de rechange. La puissance de la turbine peut ainsi être augmentée. L'amélioration du rendement est difficile à déterminer, car il faudrait pour cela connaître le ren-

Grandeur	Unite	Symbole	Francis	Kaplan	Origine
Chute	m	H	200,00	17,00	donnée
Vitesse de rotation	U/min	N	375,00	120,00	donnée
Hauteur de montage	m	H _a	1000,00	200,00	donnée
Niveau d'eau inférieur	m	H _u	999,00	204,50	donné
Température de l'eau	Grad	T _{max}	15,00	25,00	donnée
Diamètre de la roue	m	D	1,50	4,90	donné
Pression barométrique	m	H _b	9,29	10,14	H _b = 10,351 - 0,00106 * H _a
Hauteur d'aspiration	m	H _s	1,00	-4,50	H _s = H _a - H _u
Pression de vapeur	m	H _d	0,18	0,34	tirée de la figure 13
Nombre de cavitation	-	sigma	0,04	0,84	sigma = (H _b - H _d - H _s)/H
Vitesse de rotation spécifique	rad/s	N _s	0,55	3,50	tirée de la figure 14
Vitesse de rotation uniforme	rad/s	N _{ed}	1,33	4,77	N _{ed} = N * PI / 30 * D / (g * H) ^{0.5}
Vitesse de rotation spécifique	rad/s	N _s	0,58	3,71	N _s = 0,85 * N _{ed} ^{-0.55} (Francis); N _s = 1,45 * N _{ed} ^{-3.20} (Kaplan)
N _s déterminante	rad/s	N _s	0,55	3,50	la plus petite N _s est déterm.
Débit	m ³ /s	Q	17,05	167,07	Q = N _s ² / (N * PI / 30) ² * (g * H) ^{1.5}
Rendement	%	ETA	92,50	94,00	tiré des fig. 15 et 16
Déductions	%	DELTA	2,00	0,50	selon fig. 15 et 16
Rendement corr.	%	ETA'	90,50	93,50	ETA - DELTA
Puissance	MW	P	30,27	26,05	P = g * Q * H * ETA' / 100 000
Poids de la roue	t	G _r	1,83	27,06	G _r = 0,6 * D ^{2.75} Francis, = 0,23 * D ³ Kaplan
Coûts par tonne	Fr./t	k'	75 000	50 000	tirés de la fig. 17
Coûts 1ère roue	Mio Fr.	K ₁	0,14	1,35	K ₁ = G _r * k' / 1 000 000
Facteur de réduction	-	R _F	0,90	0,90	valeur recommandée
Coûts 2ème roue, etc.	Mio Fr.	K ₂	0,12	1,22	K ₂ = K ₁ * R _F
Coûts 4 roues	Mio Fr.	K _R	0,51	5,01	K _T = K ₁ + (z-1) * K ₂ z = mp, nombre de roues
Coûts essais sur modèle	Mio Fr.	K _M	0,20	0,35	donnée de référence tirée de [10]

Tableau III Calcul de roues de rechange

Le tableau montre la manière de calculer des roues de rechange, exemples de turbines Francis et Kaplan à l'appui. La colonne intitulée «Origine» indique d'où la valeur en question provient. Le poids de la roue «G_r» est supposé être le même que celui de la roue existante. Si le poids n'est pas connu, «G_r» peut, comme indiqué, être calculé approximativement.

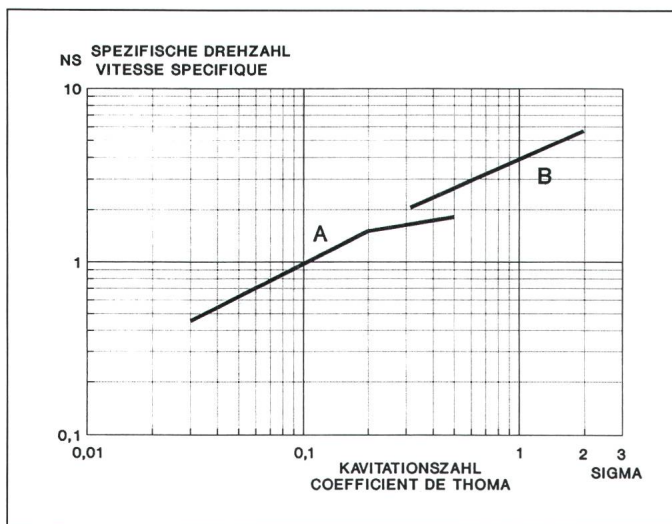


Figur 13 Dampfdruck in Abhängigkeit von der Wassertemperatur (°C)

Der Dampfdruck H_d ist in Meter Wassersäule angegeben und kann direkt in die Formel für die Kavitationszahl Sigma eingesetzt werden.

Figure 13 Pression de vapeur en fonction de la température de l'eau (degré C)

La pression de vapeur H_d est indiquée en mètres de colonne d'eau et peut être directement introduite dans la formule concernant le nombre de cavitations sigma.



Figur 14 Spezifische Drehzahl N_s in Abhängigkeit von der Kavitationszahl Sigma

$\text{Sigma} = (H_b - H_d - H_s)/H$ worin:

H_b Atmosphärendruck in m, $H_b = 10,351 - 0,00106 H_a$

H_a Aufstellungshöhe in m über Meer

H_d Dampfdruck in m, siehe Figur 13

H Nettogefälle in m

H_s Saughöhe in m

H_s wird gemessen von Laufradmitte (= H_a) zum tiefsten Unterwasserspiegel: H_s ist positiv, wenn das Laufrad höher liegt als der Unterwasserspiegel, negativ bei Gegendruck.

Linie A gilt für Francisturbinen

Linie B gilt für Kaplanturbinen

Figure 14 N_s vitesse de rotation spécifique en fonction du nombre de cavitations sigma

$\text{sigma} = (H_b - H_d - H_s)/H$

H_b pression atmosphérique en m, $H_b = 10,351 - 0,00106 H_a$

H_a hauteur de montage en m au-dessus du niveau de la mer

H_d pression de vapeur en m, voir figure 13

H hauteur de chute nette en m

H_s hauteur d'aspiration en m

H_s est mesurée depuis le centre de la roue (= H_a) jusqu'au niveau d'eau le plus bas; H_s est positive lorsque la roue est située plus haut que le niveau d'eau inférieur, alors qu'elle est négative en cas de contre-pression.

Ligne A correspond aux turbines Francis

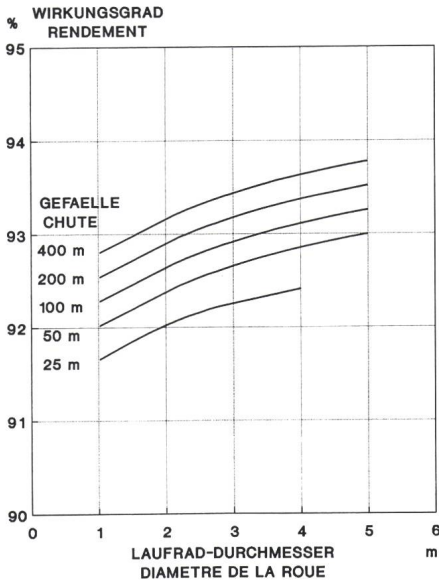
Ligne B correspond aux turbines Kaplan

müsste der Wirkungsgrad im Ist-Zustand bekannt sein. Wenn Unterlagen über seinerzeitige Abnahmeversuche vorhanden sind, lässt sich dieser recht zuverlässig abschätzen. Andernfalls ist man auf grobe Schätzungen angewiesen, denn genaue Messungen an einer Turbine, die man doch ändern will, lohnen sich kaum.

Der Ersatz des kompletten Innenteils führt hinsichtlich Leistungs- und Wirkungsgradsteigerung zu Ergebnissen, die sich von denen des Laufradersatzes nicht wesentlich unterscheiden. Die Abschätzung kann auf dieselbe Weise vorgenommen werden. Die Methode ist dann angebracht, wenn die Turbine mechanisch in schlechtem Zustand, die Bausubstanz samt Spirale und Saugrohr aber in Ordnung ist. Häufig ist dann auch der Generator zu ersetzen, womit die Drehzahl nicht mehr vorgegeben ist. Die Rechnung ist dann für mehrere Drehzahlen durchzuführen, deren Wahl mit dem Generator (siehe den entsprechenden Abschnitt) abzustimmen ist. Der Vorteil dieser Methode liegt darin,

dement effectif. En disposant de documents sur des essais antérieurs, il peut être estimé plus ou moins sûrement. Il faut sans cela se baser sur des estimations grossières, car il ne vaut pas la peine de mesurer une turbine que l'on désire transformer.

Les résultats du remplacement de tous les éléments intérieurs sont, en ce qui concerne l'augmentation de puissance et de rendement, pour ainsi dire identiques à ceux du renouvellement des roues. Leur estimation peut être réalisée de la même manière. La méthode semble judicieuse lorsque, sur le plan technique, la turbine est en mauvais état, alors que la machine en soi, avec la spirale et le tube d'aspiration, est en ordre. Il faut, dans ce cas, souvent aussi remplacer le générateur, la vitesse de rotation n'étant plus prescrite. Le calcul doit porter sur plusieurs vitesses de rotation choisies en fonction du générateur (voir paragraphe correspondant). L'avantage de cette méthode est que les transformations et les coûts correspondants restent relativement faibles.



Figur 15 Wirkungsgrade von Francisturbinen in Abhängigkeit von Laufraddurchmesser und Gefälle

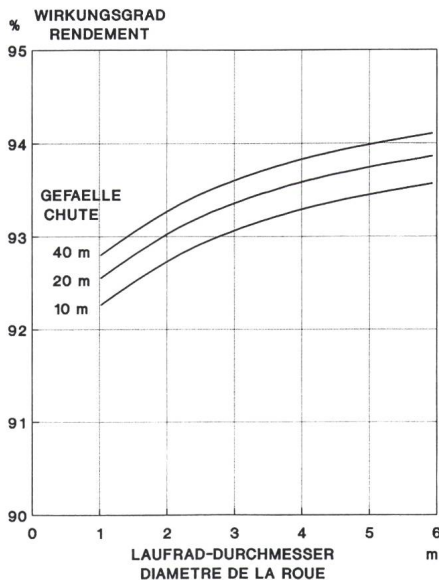
Die Wirkungsgrade beziehen sich auf den Vollast-Punkt und gelten für neue Francisturbinen. Für andere Konfigurationen sind folgende Abzüge anzuwenden:

- Neues Laufrad in alter Turbine 2,0%
- Ungenügendes Saugrohr, d.h. zu kurz oder hydraulisch schlechte Form, die keine Rückgewinnung der Austrittsenergie nach dem Laufrad gewährleistet:
 - bei H = 10 m 5,0%
 - bei H = 100 m 1,0%
 - dazwischen interpolieren

Figure 15 Rendements des turbines Francis en fonction du diamètre de la roue et de la hauteur de chute

Les rendements se réfèrent au point de pleine charge et sont valables pour de nouvelles turbines Francis. Pour d'autres configurations, il faut tenir compte des déductions suivantes:

- nouvelle roue dans l'ancienne turbine 2,0%
- Tube d'aspiration insuffisant, c. à d. trop court ou ayant une mauvaise forme hydraulique ne garantissant pas la récupération de l'énergie sortant après la roue:
 - pour H = 10 m 5,0%
 - pour H = 100 m 1,0%
 - interpoler entre ces valeurs



Figur 16 Wirkungsgrade von Kaplan turbinen in Abhängigkeit von Laufraddurchmesser und Gefälle

Die Wirkungsgrade beziehen sich auf den Vollast-Punkt und gelten für neue Rohrturbinen. Für andere Konfigurationen sind folgende Abzüge anzuwenden:

- Vertikale Kaplan turbinen 0,5%
- S-Turbinen 1,0%
- Standard-S-Turbinen 2,0%
- Neues Laufrad in alter Turbine 2,0%

Figure 16 Rendements des turbines Kaplan en fonction du diamètre de la roue et de la hauteur de chute

Les rendements se réfèrent au point de pleine charge et sont valables pour de nouveaux groupes bulbes. Pour d'autres configurations, il faut tenir compte des déductions suivantes:

- turbines Kaplan verticales 0,5%
- turbines S 1,0%
- turbines S standard 2,0%
- nouvelle roue dans l'ancienne turbine 2,0%

Figur 17 Richtkosten für Ersatzlaufräder in Abhängigkeit vom Laufraddurchmesser (m)

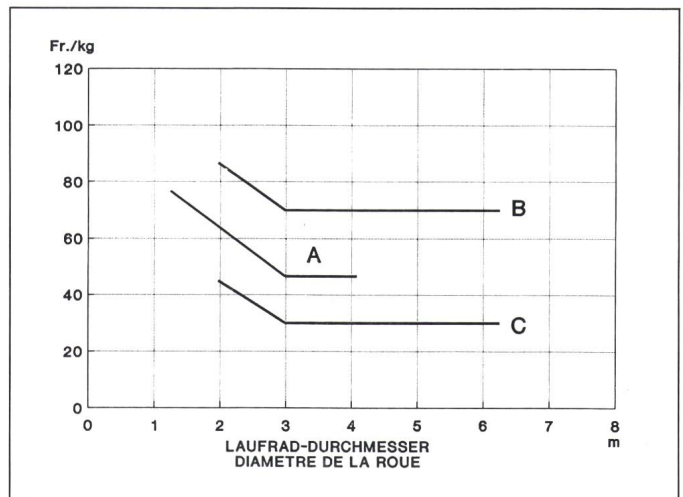
- Kurve A: Francis-Laufrad oder Propeller-Laufrad aus rostfreiem Stahl
- Kurve B: Kaplan-Laufradschaufeln aus rostfreiem Stahl
- Kurve C: Kaplan-Nabe mit Verstell-Mechanismus

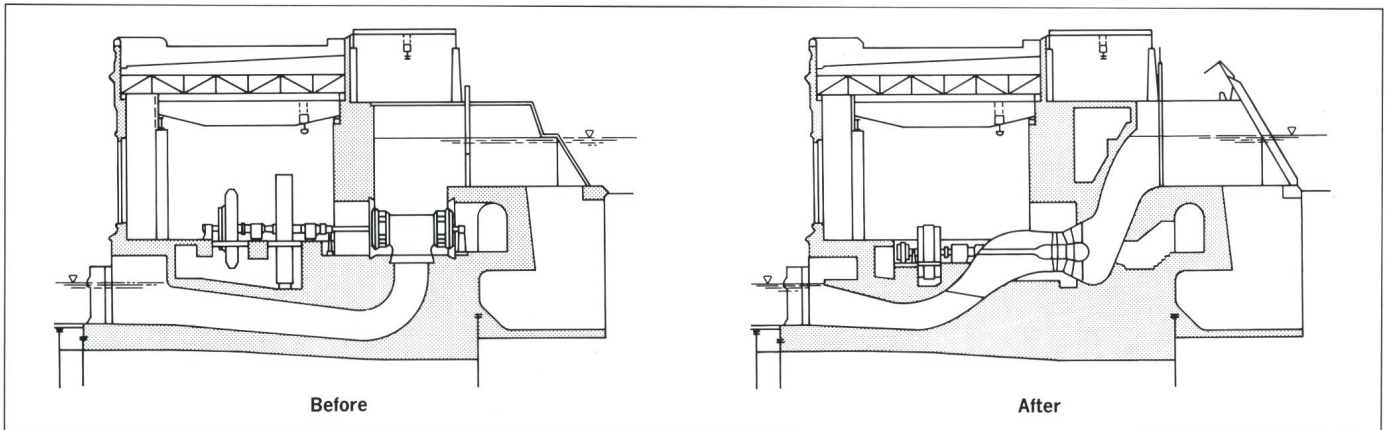
Werden mehrere gleiche Ersatzräder gleichzeitig bestellt, so kann für das zweite und jedes weitere ein Abzug von 10% gemacht werden. Für komplette Kaplanlaufräder: Mittelwert der Kurven B und C.

Figure 17 Prix de revient des roues de rechange en fonction du diamètre de la roue (m)

- Courbe A: roue Francis ou roue à hélice en acier inoxydable
- Courbe B: aubes Kaplan en acier inoxydable
- Courbe C: moyeu Kaplan avec mécanisme de réglage

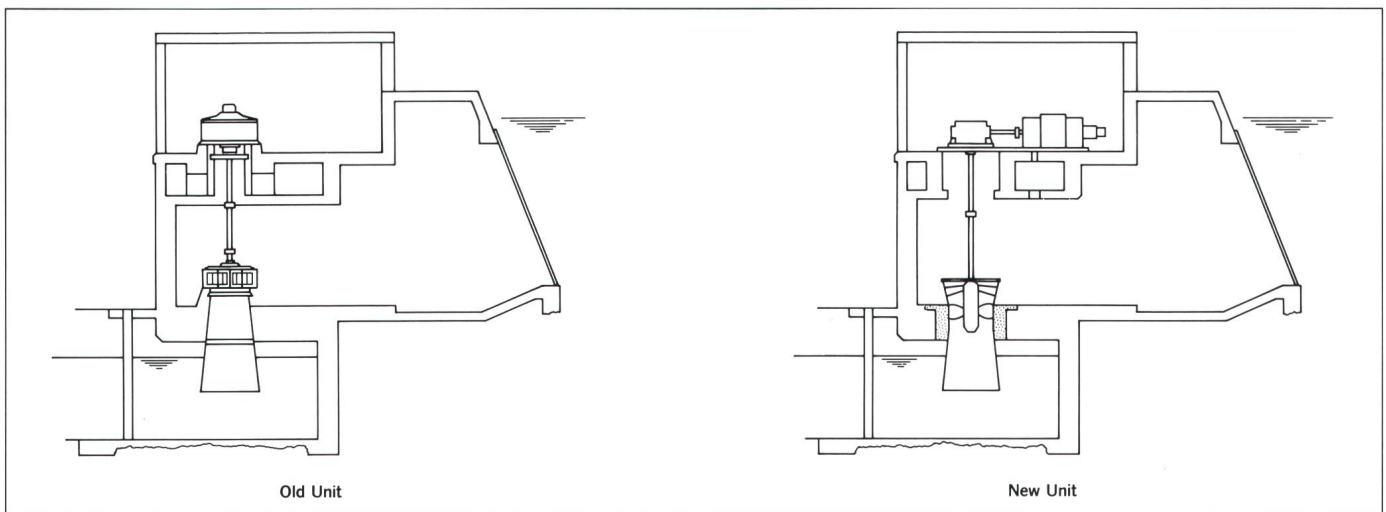
Si plusieurs roues de rechange sont commandées en même temps, une déduction de 10% peut être faite pour la deuxième roue et les suivantes. Pour l'ensemble des roues Kaplan: valeur moyenne des courbes B et C.





Figur 18 Ersatz einer Francis-Doppelturbine (links) durch eine Kaplan-S-Turbine (rechts)

Figure 18 Remplacement d'une double turbine Kaplan (à gauche) par une turbine S Kaplan (à droite)



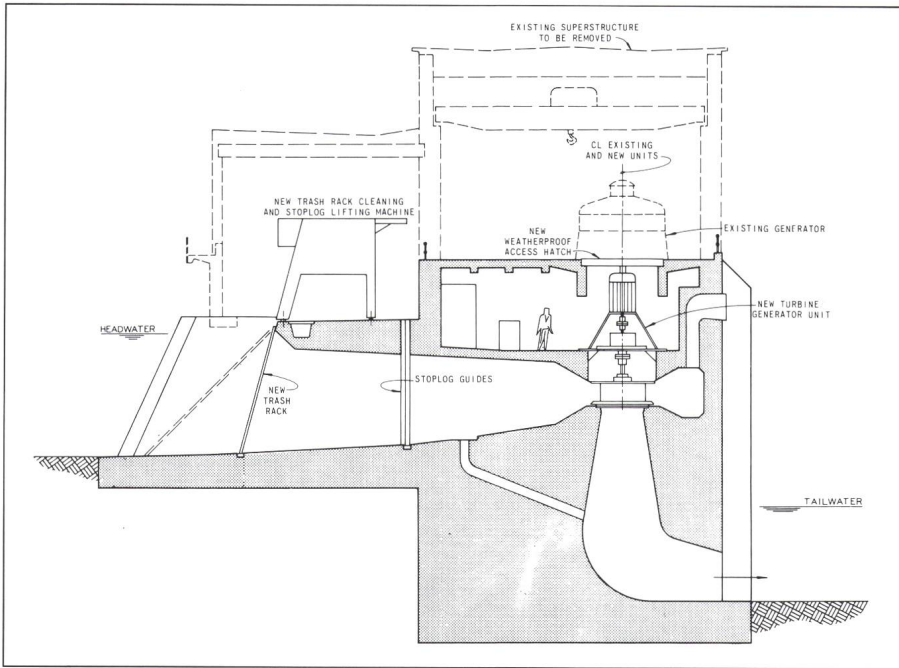
Figur 19 Ersatz einer Francis-Schachtturbine (links) durch eine Kaplan-turbine (rechts)

Figure 19 Remplacement d'une turbine Francis (à gauche) par une turbine Kaplan (à droite)

dass die baulichen Eingriffe und die entsprechenden Kosten relativ gering bleiben.

Die erreichbare Verbesserung wird häufig dadurch stark beeinträchtigt, dass das vorhandene Saugrohr eine hydraulisch ungünstige Form aufweist. Man kann dann prüfen, ob eine Änderung des Saugrohres möglich und lohnend ist. Der bauliche Aufwand und der damit verbundene Betriebsunterbruch wird aber meist so gross sein, dass kein wesentlicher Unterschied mehr besteht zur letzten Variante einer Modernisierung, dem *Einbau neuer Maschinengruppen* (neue Turbine und Generator). Dann ist man in der Wahl des Turbinentyps, der Anordnung und der Auslegungsdaten völlig frei, die Begrenzungen sind durch die Hauptabmessungen des Maschinenhauses und die nutzbare Wassermenge gegeben. Die Einpassung in das vorhandene Maschinenhaus ohne allzu grosse bauliche Eingriffe wird meist das entscheidende Kriterium sein. Die Figuren 18, 19 und 20 zeigen Beispiele, die sich beliebig vermehren liessen. Als Richtlinie kann gelten, dass die Einlaufbreite (oft gegeben durch die vorhandene Kammerbreite) bei vertikalen Kaplan-turbinen etwa 3,0mal dem Laufraddurchmesser entsprechen soll. Für Rohrturbinen ist dieser Faktor etwa 2,2,

L'amélioration possible est souvent sérieusement compromise parce que la forme du tube d'aspiration existant est désavantageuse sur le plan hydraulique. On peut alors examiner s'il est possible et judicieux de transformer le tube d'aspiration. Les transformations, partant l'interruption d'exploitation, risquent toutefois d'être tellement importantes qu'elles ressemblent pour ainsi dire à la dernière variante d'une modernisation, c. à d. à l'*installation de nouveaux groupes de machines* (nouvelle turbine et nouveau générateur). Aucune restriction – sauf celles liées aux dimensions principales du bâtiment des machines et à la quantité d'eau utilisable – n'est apportée dans le choix du type de turbine, la disposition et le dimensionnement. L'intégration dans le bâtiment des machines existant sans transformations trop importantes sera généralement le critère décisif. Les figures 18, 19 et 20 montrent des exemples qui pourraient être aisément répétés. Pour les turbines Kaplan verticales, la largeur de l'entrée (souvent en rapport avec la largeur de la chambre existante) doit correspondre à environ trois fois le diamètre de la roue. Pour les groupes bulbes, ce facteur est de 2,2, ce qui permet de dire que pour une largeur d'entrée donnée, la hausse de puissance des groupes bulbes

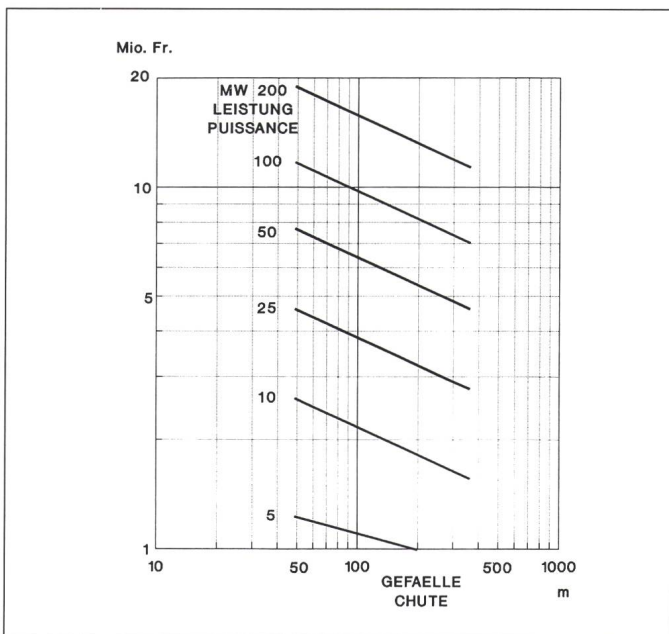


Figur 20 Ersatz einer Francisturbine durch eine Turbine gleichen Typs

Der alte Hochbau (gestrichelt dargestellt) wird entfernt, der noch intakte Tiefbau jedoch kaum verändert. An Stelle des direkt gekoppelten Generators tritt ein schnelllaufender Generator mit Übersetzungsgetriebe, Rechen und Rechenreinigungsmaschine werden ersetzt. Anstelle eines Maschinenhauskrans wird ein Mobilkran verwendet, der durch eine Montageluke greift.

Figure 20 Remplacement d'une turbine Francis par une turbine de même type

L'ancien bâtiment (représenté par des lignes pointillées) est démolit alors que les constructions souterraines restent en grande partie inchangées. Un générateur moderne avec réducteur vient remplacer le générateur à accouplement direct. La grille et la machine nettoyant la grille sont également remplacées. A la place d'une grue pour bâtiment de machines, on se sert d'une grue mobile.



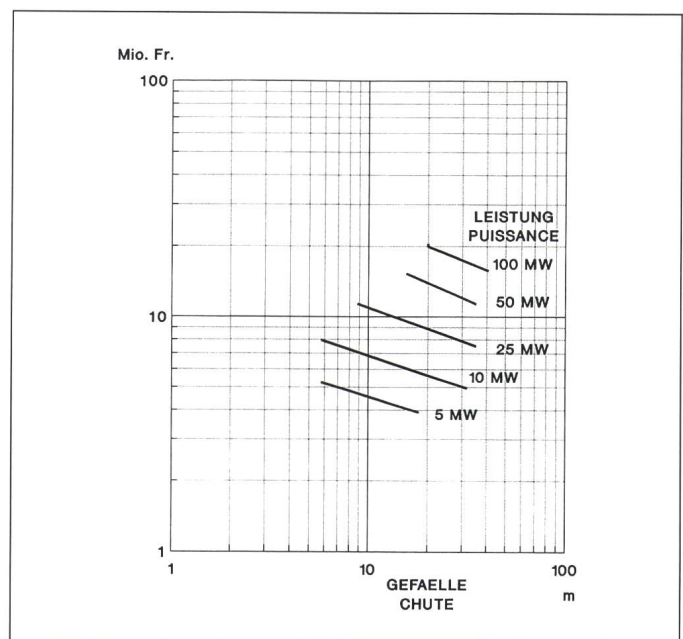
Figur 21 Richtpreise für Francisturbinen in Abhängigkeit vom Gefälle

Die Kostenangaben beziehen sich auf eine Turbine samt Regler, fertig montiert.

Figure 21 Prix de revient des turbines Francis en fonction de la hauteur de chute

Les coûts indiqués se rapportent à une turbine avec régulateur, installation comprise.

woraus bereits folgt, dass sich bei gegebener Rechenbreite mit Rohrturbinen eine entsprechend grössere Leistungssteigerung erzielen lässt als mit vertikalen Kaplanturbinen. Die Berechnung kann wieder nach Figur 13 bis 17 erfolgen, wird aber für mehrere Wertegruppen D (Laufreddurchmesser) und N (Drehzahl) zu wiederholen sein, bis die geeignete Kombination gefunden ist. Richtwerte für die Kostermittlung geben die Figuren 21 und 22.



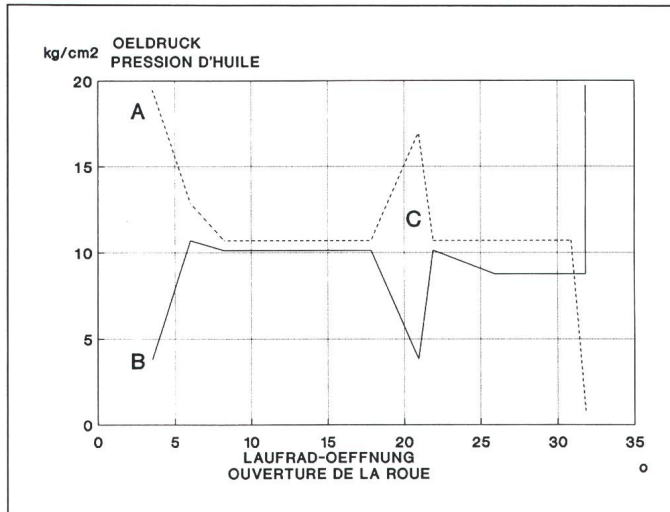
Figur 22 Richtpreise für Kaplan- und Kaplan-Rohrturbinen in Abhängigkeit vom Gefälle

Die Kostenangaben beziehen sich auf eine Turbine samt Regler, fertig montiert.

Figure 22 Prix de revient des turbines Kaplan et des groupes bulbes en fonction de la hauteur de chute

Les coûts se rapportent à une turbine avec régulateur, installation comprise.

est meilleure que celle des turbines Kaplan verticales. Pour être fait suivant le tableau III et les figures 13 à 17, le calcul devra toutefois être répété pour plusieurs groupes de valeurs D (diamètre de la roue) et N (vitesse de rotation), ceci afin de trouver la bonne combinaison. Les figures 21 et 22 contiennent des données de référence pour le calcul des coûts.



Figur 23 Indikator-Diagramm

Man misst den Öldruck in der Schliess- und in der Öffnungsleitung und trägt ihn über dem Servomotor-Hub auf (Linie A bzw. B). Der Druckanstieg bei C zeigt auf, dass dort eine mechanische Klemmung überwunden werden muss, während sonst der Mechanismus leichtgängig ist.

Figure 23 Diagramme des indicateurs

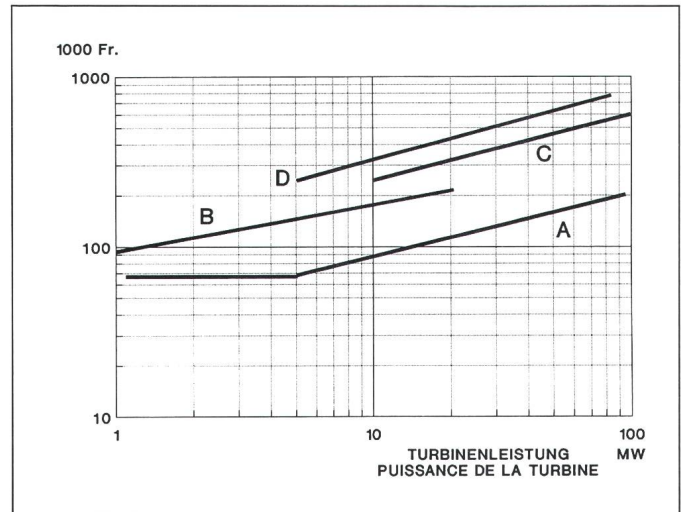
On mesure la pression d'huile dans les conduites de fermeture et d'ouverture et on tient compte dans la course du servomoteur (lignes A et B). La hausse de pression (C) indique qu'un blocage mécanique doit être maîtrisé à cet endroit, le mécanisme fonctionnant sans cela sans problème.

Im Zusammenhang mit der Modernisierung der Turbinen stellt sich auch die Frage, was mit dem *Turbinenregler* geschehen soll. Als generelle Richtlinie kann gelten, dass dieser beibehalten werden kann, sofern an der Turbine der Leitapparat und die Servomotoren im wesentlichen unverändert bleiben. Voraussetzung ist natürlich, dass der Regler in gutem Zustand ist oder durch eine Überholung wiederhergestellt werden kann. Im Zweifelsfall kann die Aufnahme eines «Indikatorgramms» (siehe Figur 23) über die Reserven an Regulierarbeit Aufschluss geben.

Oft wird man im Zuge einer Automatisierung, den (mechanischen) Reglerkopf durch einen modernen elektronischen Regler ersetzen. Dieser kann problemlos in einer Schalttafel eingebaut werden, die damit verbundenen Anpassungen am Hydraulikteil des vorhandenen Turbinenreglers sind relativ einfach. Wird hingegen die Turbine so weitgehend umgebaut, dass auch Leitapparat und Servomotoren betroffen sind, oder wird überhaupt eine neue Maschinengruppe installiert, ist auch der komplette Regler zu ersetzen. Figur 24 enthält Richtkosten.

Generatoren

Viele ältere Generatoren sind, den damaligen Netzerfordernissen entsprechend, für hohe Blindleistungen ausgelegt, z.B. für $\cos \phi$ 0,7. Im heutigen, eng vermaschten Netz kann auf diese Anforderung oft verzichtet werden, so dass diese Generatoren ohne weitere Änderung mit höherer Wirkleistung betrieben werden können. Wenn der hydraulische



Figur 24 Richtkosten für Turbinenregler in Abhängigkeit von der Turbinenleistung (MW)

Kurve A: Ersatz des mechanischen Reglerkopfes durch einen elektronischen Regler; Ölversorgung und Verstärkerteil bleiben bestehen

Kurve B: Neuer Serienregler

Kurve C: Neuer Regler für Francisturbinen, Einzelfertigung

Kurve D: Neuer Regler für Turbinen mit Doppelregulierung (Kaplan), Einzelfertigung

Figure 24 Prix de revient d'un régulateur en fonction de la puissance de la turbine (MW)

Courbe A: remplacement de la tête du régulateur mécanique par un régulateur électronique; approvisionnement en huile et élément amplificateur restent inchangés

Courbe B: nouveau régulateur de série

Courbe C: nouveau régulateur pour turbines Francis, fabrication unique

Courbe D: nouveau régulateur pour turbines à double régulation (Kaplan), fabrication unique

Dans le cadre de la modernisation des turbines, il ne faut pas oublier le régulateur. Celui-ci peut être maintenu dans la mesure où le dispositif directeur de la turbine et les servo-moteurs restent fondamentalement inchangés. Le régulateur doit bien entendu être en bon état ou avoir été remis en bon état à la suite d'une révision. En cas de doute, l'établissement d'un «diagramme des indicateurs» (voir fig. 23) peut renseigner sur les réserves du régulateur.

Au cours d'une automatisation, la tête du régulateur (mécanique) sera souvent remplacée par un régulateur électronique moderne. Son montage sur un tableau de distribution ne pose aucun problème, les adaptations correspondantes sur l'installation hydraulique du régulateur des turbines existant sont relativement simples. Si, par contre, la turbine est transformée de telle manière que le dispositif directeur et les servo-moteurs sont également touchés, ou si un nouveau groupe de machines est installé, il faut alors aussi remplacer le régulateur. Des prix de revient sont indiqués dans la figure 24.

Générateurs

Compte tenu des anciennes exigences du réseau, de nombreux générateurs anciens ont été dimensionnés pour des puissances réactives élevées, par exemple, pour un $\cos \phi$ de 0,7. Vu le maillage étroit du réseau actuel, il est souvent possible d'ignorer cette exigence si bien que ces générateurs peuvent, sans autre changement, être exploités avec une

sche Teil dies zulässt oder entsprechend modernisiert wird, kann so auf einfachste Weise zusätzliche Leistung in der Größenordnung von 10% mobilisiert werden.

Mechanisch sind ältere Generatoren häufig recht grosszünftig bemessen. Ruhiger Lauf, keine mechanischen Schäden und niedrige Lagertemperaturen sind Anzeichen dafür, dass die Maschine mechanisch höher belastbar wäre. Falls die modernisierte Turbine eine erhöhte Durchgangsdrehzahl aufweist, sind folgende Grenzwerte der Rotor-Umfangsgeschwindigkeit zu beachten:

Rotoren aus Stahlguss, Baujahr vor 1935:	110 m/s
Rotoren aus Stahlguss, Baujahr vor 1960:	150 m/s
Geschichtete Blechrotoren, Baujahr vor 1960: . . .	180 m/s
Moderne geschichtete Blechrotoren aus hochfestem Spezialblech:	200 m/s

Oft ist auch der elektrische Teil überdimensioniert, was sich durch niedrige Betriebstemperaturen der Wicklungen bemerkbar macht. Messung der Wicklungstemperaturen in einem Erwärmungslauf kann über die tatsächlichen elektrischen Leistungsgrenzen Klarheit schaffen. Bei solchen betriebs-internen Messungen ist es nicht unbedingt notwendig, die einschlägigen Normen einzuhalten, die für vertragliche Abnahmeversuche gelten. Figur 25 zeigt die Extrapolation, mit der die zulässige Belastung festgestellt wird. Dabei ist allerdings zu beachten, dass jede Steigerung der Betriebstemperatur, auch im zulässigen Rahmen, immer ein schnelleres Altern der Wicklung zur Folge hat. Ist die Wicklung nicht mehr einwandfrei, sind beispielsweise schon Durchschläge erfolgt und Windungen kurzgeschlossen, so ist von einer höheren Belastung in jedem Fall abzuraten.

Die Lüftung ist in der Regel überdimensioniert und somit meist in der Lage, zusätzliche Verlustwärme infolge höherer Belastung abzuführen. Allenfalls ist die Luftführung zu verbessern [8]. Wo offener Luftkreislauf zu starker Verschmutzung des Generators führt, ist der Umbau auf geschlossenen Luftkreislauf mit Wasserkühlung in Erwägung zu ziehen. Damit verbunden sind allerdings, je nach Anordnung, erhebliche bauliche Veränderungen und eine neue Kühlwas-

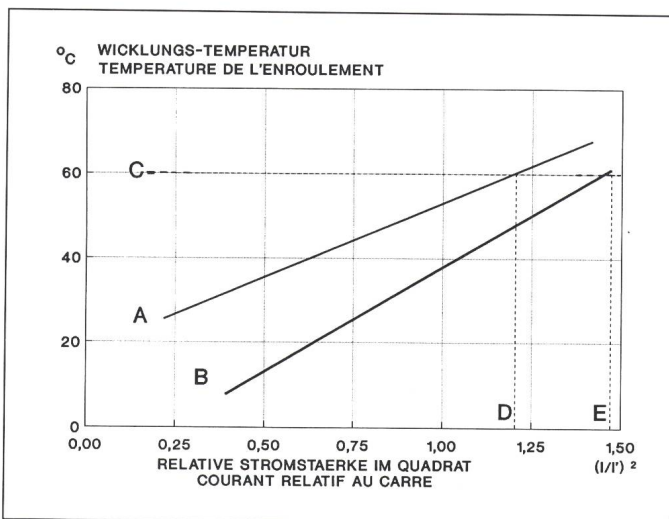
puissance réelle plus élevée. Si l'installation hydraulique le permet ou est modernisée en conséquence, la puissance peut être facilement augmentée de 10%.

Des générateurs anciens sont généralement largement dimensionnés. Un fonctionnement silencieux, aucun dommage mécanique et des températures de paliers basses sont des indices montrant que, du point de vue mécanique, la machine a des réserves. Au cas où la turbine modernisée aurait une vitesse de rotation plus élevée, il faudra tenir compte des valeurs limites de la vitesse circonférentielle du rotor suivantes:

rotors en acier coulé, année de construction antérieure à 1935	110 m/s
rotors en acier coulé, année de construction antérieure à 1960	150 m/s
rotors en tôle stratifiée, année de construction antérieure à 1960	180 m/s
rotors modernes en tôle stratifiée tôle spéciale à haute résistance	200 m/s

Comme l'indiquent les basses températures de fonctionnement des enroulements, l'équipement électrique est lui aussi souvent surdimensionné. Les températures des enroulements mesurées au cours d'un essai d'échauffement permettent de voir quelles sont les limites effectives de la puissance électrique. Pour ces mesures internes, il n'est pas indispensable d'observer les normes correspondantes valables pour les essais de réception. La figure 25 montre l'extrapolation grâce à laquelle la charge admissible est déterminée. Il faut cependant tenir compte du fait que toute augmentation (même acceptable) de la température de fonctionnement a toujours pour conséquence un vieillissement plus rapide des enroulements. Si l'enroulement n'est plus en parfait état, il se peut, entre autres, que des claquages se produisent et que des enroulements soient court-circuités - une charge plus élevée est donc vivement déconseillée.

Etant généralement surdimensionné, le système d'aération peut donc évacuer facilement des rejets de chaleur supplémentaires dus à une plus forte utilisation du générateur. Il faut éventuellement améliorer la conduite d'aération [8]. Là où un système d'aération ouvert salit fortement le générateur, il faut envisager d'installer un système d'aération fermé (avec refroidissement à eau). Selon la conception, les transformations (nouvel approvisionnement en eau de re-

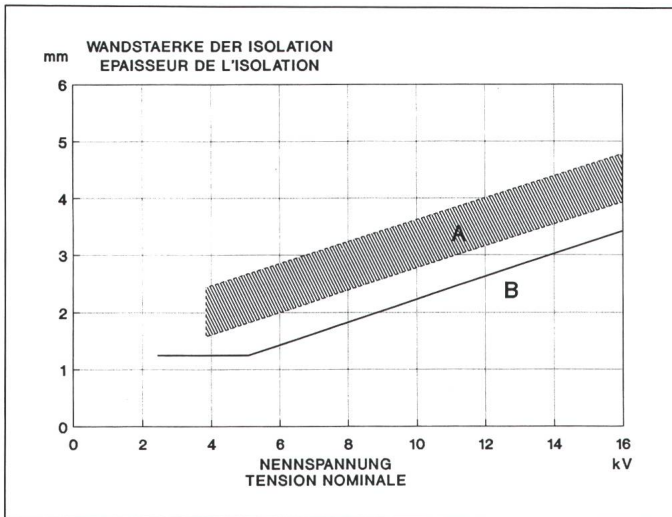


Figur 25 Auswertung eines Erwärmungslaufes

Man misst die Erwärmung bei zwei Lastpunkten und legt durch die zwei Messpunkte je eine Gerade, A für die Statorwicklung und B für die Rotorwicklung. Dann lässt sich am Schnittpunkt dieser Geraden mit dem festgelegten Grenzwert C (im Beispiel 60 Grad) die zulässige Stromstärke ablesen. Im Beispiel bei D: $(I/I')^2 = 1,20$, $I/I' = 1,1$ für den Stator; bei E: $(I/I')^2 = 1,47$, $I/I' = 1,21$ für den Rotor.

Figure 25 Analyse d'un essai d'échauffement

On mesure l'échauffement pour deux points de charge et tire une droite à travers chacun des deux points de repère, à savoir A pour les enroulements du stator et B pour les enroulements du rotor. Il est ensuite possible de relever la puissance électrique admissible au point d'intersection de ces deux lignes avec la valeur limite fixée C (en l'occurrence 60 degrés): dans l'exemple pour D: $(I/I')^2 = 1,20$, $I/I' = 1,1$ pour le stator, pour E: $(I/I')^2 = 1,47$, $I/I' = 1,21$ pour le rotor.

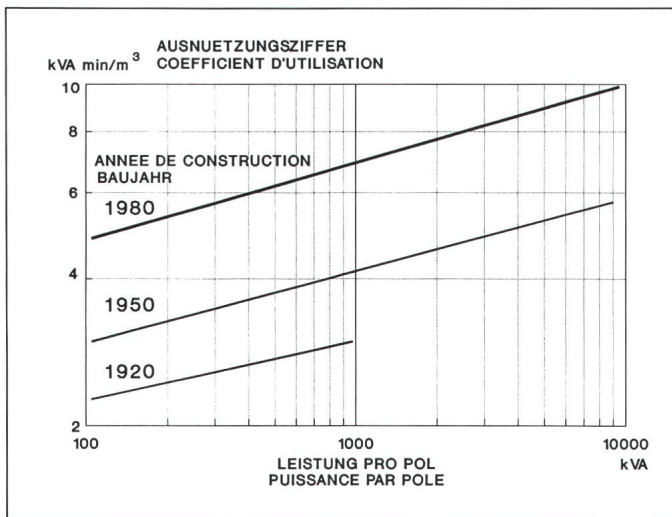


Figur 26 Wandstärke von Statorwicklungs-Isolation in Abhängigkeit von der Nennspannung

Moderne Kunstharzisolierung (Linie B) kommt mit rund 1 mm geringerer Wandstärke aus als ältere Schellack- und Asphalt-Isolationen (Bereich A).

Figure 26 Epaisseur de l'isolation de l'enroulement du stator en fonction de la tension nominale

Une isolation synthétique moderne (ligne B) est d'environ 1 mm plus mince que celles autrefois en usage utilisant mica et asphalte (secteur A).



Figur 27 Ausnutzungsziffer von Synchrongeneratoren in Abhängigkeit von der Leistung pro Pol.

Mit Hilfe der Ausnutzungsziffer C lässt sich abschätzen, welche Generatorleistung sich bei gegebenen Platzverhältnissen und Drehzahl unterbringen lässt:

$$P = C \cdot D^2 \cdot L \cdot N \cdot R \quad \text{worin:}$$

- P Scheinleistung in kVA
- C Ausnutzungsziffer in kVA min/m³
- D Statorbohrung in m
- L Eisenlänge in m
- N Nennzahl in U/min
- R Reduktionsfaktor, wenn eine ältere Maschine neu geblecht und gewickelt wird; R = 0,9 wird empfohlen

Figure 27 Facteur d'utilisation de générateurs synchrones en fonction de la puissance par pôle

Le facteur d'utilisation C permet d'évaluer quelle puissance de générateur peut être installée pour un encombrement et une vitesse de rotation donnés:

$$P = C \cdot D^2 \cdot L \cdot N \cdot R$$

- P puissance apparente en kVA
- C facteur d'utilisation en kVA min/m³
- D diamètre intérieur du stator en m
- L longueur en m
- N vitesse nominale en U/min
- R facteur de réduction, en cas de nouvelles tôles et de nouvel enroulement de la machine; R recommandé = 0,9

erversorgung. Generelle Kostenangaben sind deshalb nicht möglich.

Die Erregungseinrichtung wird häufig eine Leistungsbegrenzung bilden oder veraltet (z.B. Riemenantrieb) oder in schlechtem Zustand sein. In solchen Fällen ist der Ersatz durch eine statische Erregung angezeigt.

Obwohl die vorhandenen Generatoren also in vielen Fällen ohne oder nur mit geringfügigen Verbesserungen eine Mehrleistung zulassen, ist diese meist gering oder eine Steigerung wegen des allgemein schlechten Zustandes nicht möglich. Dann stehen folgende Modernisierungsschritte zur Wahl, die sowohl zu einer Verlängerung der Lebensdauer als auch zu einer Leistungserhöhung führen:

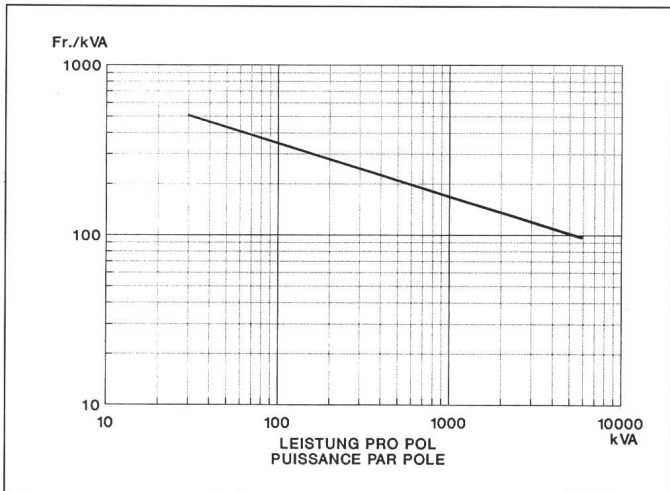
1. Neue Wicklungen für den Stator, allenfalls auch für die Pole
2. Neublechung und Neuwicklung des Stators, allenfalls auch der Pole

froidissement) peuvent être considérables. Il est donc impossible de renseigner sur les coûts correspondants.

Le système d'excitation risquera souvent de limiter la puissance. Il pourra aussi être vieilli (p.ex. commande à courroie) ou en mauvais état. Dans ces cas, il est judicieux de le remplacer par un système d'excitation statique.

Bien que dans de nombreux cas, les générateurs existants ne doivent pas (ou alors très peu) être transformés pour pouvoir augmenter leur puissance, cette augmentation est généralement faible ou impossible à obtenir, à cause du mauvais état général. Les étapes de modernisation suivantes sont alors à disposition, étapes permettant non seulement de prolonger la durée de vie des générateurs, mais aussi d'augmenter leur puissance:

1. Nouveaux enroulements pour le stator, éventuellement aussi pour les pôles
2. Nouveaux paquets de tôle et nouvel enroulement du stator, éventuellement des pôles

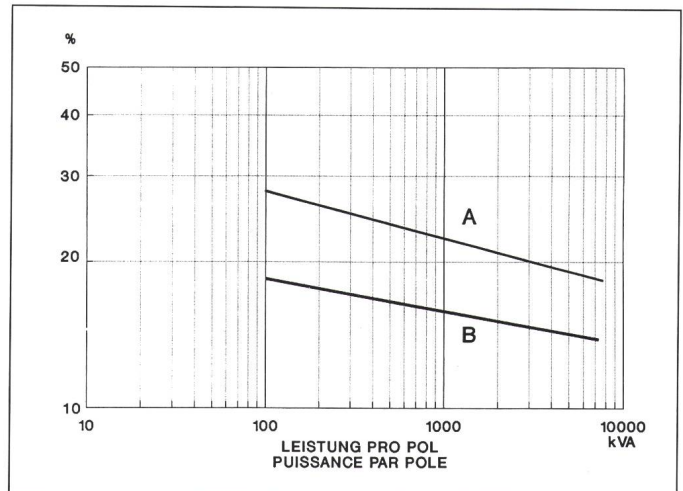


Figur 28 Richtkosten für neue Synchrongeneratoren in Abhängigkeit von der Leistung pro Pol

Die Kosten verstehen sich für vertikalachsige Maschinen mit $\cos\phi$ 0,9, Kurzschlussverhältnis 1,0, Schwungmoment und Durchgangsdrehzahl in normalen Rahmen, fertig montiert.

Figure 28 Prix de revient de générateurs synchrones en fonction de la puissance par pôle

Les coûts concernent des machines à axe vertical avec un $\cos\phi$ de 0,9, rapport de court-circuit 1,0, moment d'inertie et vitesse d'emballage dans un cadre normal, montage inclus.



Figur 29 Richtkosten für die teilweise Erneuerung von Synchrongeneratoren in Abhängigkeit von der Leistung pro Pol

Linie A: Kosten für neue Statorblech und -wicklung, in Prozent der Kosten eines komplett neuen Generators nach Figur 28

Linie B: Kosten für neue Statorwicklung in Prozent der Kosten eines komplett neuen Generators nach Figur 28

Figure 29 Prix de revient du renouvellement partiel de générateurs synchrones en fonction de la puissance par pôle

Ligne A: coûts pour de nouveaux paquets de tôles et un nouvel enroulement du stator, en pour-cent des coûts d'un nouveau générateur suivant la figure 28

Ligne B: coûts pour un nouvel enroulement du stator, en pour-cent des coûts d'un nouveau générateur suivant la figure 28

3. Kompletter Ersatz des Generators im Rahmen des vorhandenen Fundaments bzw. der vorhandenen Generatorgrube
4. Kompletter neuer Generator im Rahmen einer Gesamterneuerung des Maschinensatzes

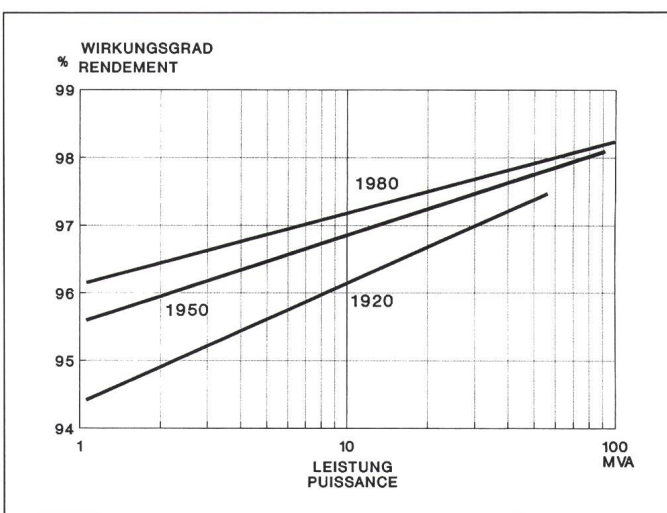
Mit diesen Modernisierungsschritten sind jeweils die entsprechenden Anpassungen der übrigen Generatoranteile, insbesondere der Kühlung und der Erregung, verbunden, die hier jedoch nicht näher behandelt werden.

Moderne Isolationssysteme brauchen weniger Platz als die früher übliche Asphalt-Mica-Isolation. Die dünnere Isolation verbessert auch die Ableitung der Verlustwärme.

3. Remplacement complet du générateur en utilisant les fondations et la fosse du générateur existant
4. Nouveau générateur dans le cadre d'un renouvellement global du groupe de machines.

Ces étapes de modernisation exigent aussi l'adaptation des autres éléments du générateur, notamment les systèmes de refroidissement et d'excitation qui ne seront toutefois ici pas analysés en détail.

Des systèmes d'isolation modernes prennent moins de place que ceux autrefois en usage utilisant mica et asphalte. Grâce à une isolation plus mince, les rejets de chaleur peuvent être mieux évacués. Pour un *nouvel enroulement* dans la



Figur 30 Entwicklung der Generatorwirkungsgrade in Abhängigkeit von der Generatorleistung und für verschiedene Baujahre

Figure 30 Evolution des rendements des générateurs en fonction de la puissance du générateur et de l'année de construction

Deshalb ist es möglich, bei einer *Neuwicklung* im gleichen Stabquerschnitt, der durch das vorhandene Blechpaket gegeben ist, einen grösseren Kupferquerschnitt unterzubringen. Figur 26 erlaubt eine Abschätzung der so erreichbaren Erhöhung der Strombelastung. Bei sachgemässer Ausführung ist auch eine erhöhte Lebensdauer zu erwarten.

Wird nicht nur die Wicklung, sondern auch das Blechpaket ersetzt, ergeben sich zusätzliche Möglichkeiten der Leistungssteigerung. Modernes Dynamoblech hat entscheidend weniger Verluste und erlaubt höhere Magnetisierung. Die heutige Lackisolierung ist dünner als die früheren Papier-Zwischenlagen, so dass im gleichen Querschnitt mehr aktives Eisen untergebracht werden kann. Die Wicklung (Stabquerschnitt und Windungszahl) kann neu optimiert werden, auch die Drehzahl kann, zumindest theoretisch, geändert werden. Die durch Neublechung und Neuwicklung erzielbare Leistungssteigerung kann nach Figur 27 berechnet werden. Dabei sind in der Regel auch neue Pole und eine neue Erregungseinrichtung erforderlich.

Beim kompletten Ersatz des Generators schliesslich sind die Grenzen nur durch die gegebenen Platzverhältnisse gesetzt. Die moderne Technik ermöglicht dabei Leistungssteigerungen von 50% und mehr. Damit können alle Bedürfnisse, die durch den Einbau neuer Turbinen in das bestehende Fundament gegeben sind, abgedeckt werden.

Die Kosten für die angeführten Modernisierungsschritte 1 bis 4 sind den Figuren 28 und 29 zu entnehmen. Figur 30 gibt einen Anhaltspunkt für die erzielbaren Verbesserungen des Wirkungsgrads.

Transformatoren

Die Maschinen-Transformatoren enthalten oft ebenfalls Leistungsreserven, die zunächst aus dem Leistungsschild hervorgehen. Wird mit reduzierter Blindleistung gefahren, kann die Wirkleistung analog wie beim Generator gesteigert werden. Die effektiv zulässige Leistung ist auch hier eine Frage der Betriebstemperatur. Ist diese niedrig, so erlaubt dies, bei sonst einwandfreiem Zustand, eine entsprechende Leistungssteigerung ohne weitere Massnahmen.

An konkreten Modernisierungsschritten bietet sich eine Verbesserung der Kühlung an, oder dann der Ersatz des Transformators. Die Platzverhältnisse dürften dabei in den meisten Fällen die gewünschte Leistungssteigerung ermög-

même section de barre – section donnée par le paquet de tôles existant –, il est donc possible de placer une section de cuivre plus grande. La figure 26 permet d'estimer quelle peut ainsi être l'augmentation d'intensité atteignable. Une plus longue durée de vie peut être attendue en cas d'exécution soignée.

Si non seulement l'enroulement mais aussi le paquet de tôles est remplacé, il s'ensuit des possibilités supplémentaires d'augmenter la puissance. La tôle de dynamo moderne a moins de pertes et permet d'avoir une meilleure aimantation. L'isolation synthétique actuelle est plus fine que les anciennes couches intermédiaires de papier, de sorte qu'il est possible de placer une plus grande quantité de fer actif dans la même section. L'enroulement (section de barre et nombre de spire) peut être amélioré. La vitesse de rotation peut elle aussi être modifiée – du moins en théorie. L'augmentation de puissance qui peut être obtenue grâce aux nouveaux paquets de tôles et au nouvel enroulement peut être calculée selon la figure 27. De nouveaux pôles et un nouveau système d'excitation sont dans ce cas généralement nécessaires.

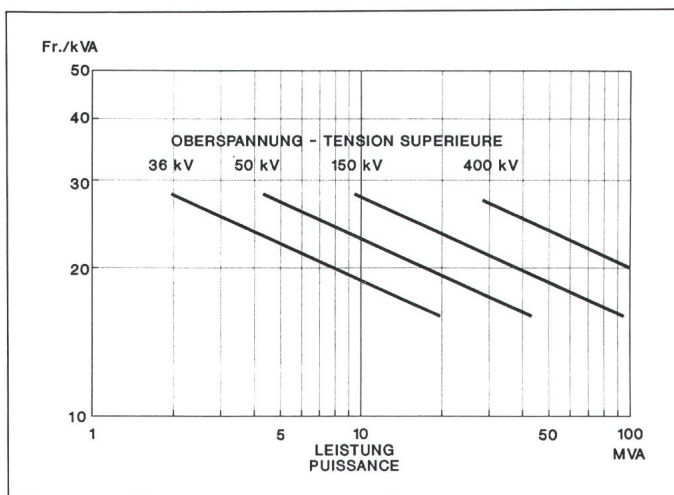
Pour ce qui est enfin du remplacement complet du générateur, seul l'encombrement en fixe les limites. La technique moderne permet d'augmenter de 50%, et même plus, la puissance. Tous les besoins peuvent ainsi être couverts en installant de nouvelles turbines sur les fondations existantes.

Les coûts de modernisation (étapes 1 à 4) sont indiqués dans les figures 28 et 29. Des points de repère pour des améliorations possibles du rendement sont contenus dans la figure 30.

Transformateurs

Les transformateurs des machines disposent eux aussi souvent de réserves visibles d'abord de la plaque signalétique. Si la puissance réactive est faible, la puissance active peut être augmentée de manière analogue à celle du générateur. La puissance admissible effective dépend aussi ici de la température de fonctionnement. Si la température est basse et si les transformateurs sont en parfait état, il est possible d'augmenter en conséquence la puissance sans avoir recours à des mesures précises.

Une amélioration du système de refroidissement ou le remplacement du transformateur sont des mesures concrètes de modernisation. La place disponible devrait



Figur 31 Richtpreise für neue Transformatoren

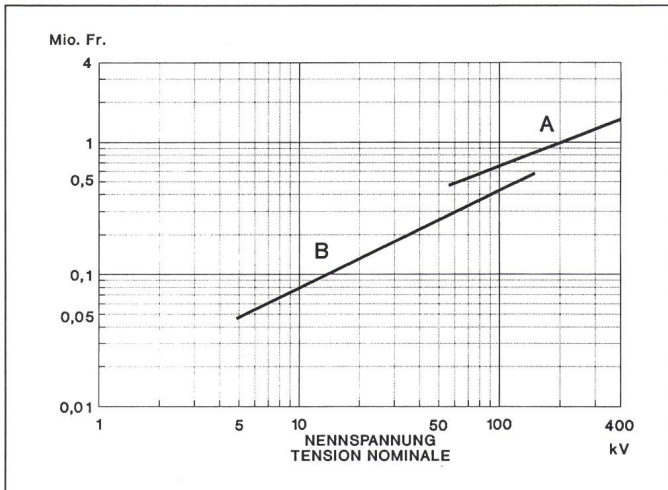
Die Kurven beziehen sich auf Dreiphasen-Transformatoren ohne Last-Stufenschalter, komplett installiert inkl. Ölfüllung, für die angegebene Oberspannung.

Einphasen-Transformatoren: Zuschlag 35%

Figure 31 Prix de revient de nouveaux transformateurs

Les courbes se rapportent à des transformateurs triphasés sans interrupteur de charge à gradins, complètement installés (remplissage d'huile inclus), pour la tension supérieure indiquée.

Transformateurs monophasés: majoration de 35%



Figur 32 Richtpreise für Schaltanlagen in Abhängigkeit von der Nennspannung

Die Preisangaben verstehen sich pro Abgang, Basis Doppelsammelschiene, inkl. Gerüsten und allem Zubehör, jedoch ohne Land und Gebäude.

Linie A: Voll gekapselte SF6-Schaltfelder

Linie B: SF6-Schalter, Schienen und Trenner in geschützter Schrankausführung

Figure 32 Prix de revient des installations de couplage en fonction de la tension nominale

Les prix indiqués s'entendent par départ, base barre collectrice, échafaudage et accessoires inclus, sans terrain et bâtiment.

Ligne A: champs de couplage SF6 complètement blindés

Ligne B: interrupteur SF6, barres et sectionneur enfermés

lichen. Durch Ventilator-Luftkühlung lässt sich die Leistung bis zu 30%, durch zusätzliche Ölumwälzung mit Pumpen bis gegen 60% steigern, immer vorausgesetzt, der Transformator ist in einwandfreiem Zustand. Die ungefähren Kosten können Figur 31 entnommen werden.

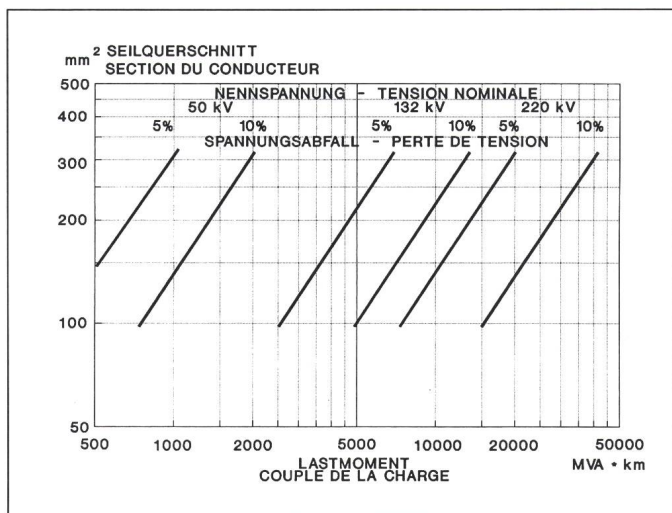
dans la plupart des cas permettre d'obtenir l'augmentation de puissance désirée. La puissance peut être augmentée de près de 30% grâce à l'aération par ventilation forcée, et même de près de 60% grâce à une pompe de circulation d'huile additionnelle, à condition bien entendu que le transformateur soit en parfait état. La figure 31 indique les coûts approximatifs.

Schaltanlage

Die Belastbarkeit der einzelnen Elemente (Schalter, Trenner, usw.) ist anhand der Typenschilder zu überprüfen. Dabei wird man oft hinsichtlich des Nennstromes beträchtliche Reserven feststellen. Anders beim Kurzschlussstrom: Infolge des seit Erstellung der Anlage stattgefundenen Netzausbaues sind die Kurzschlusswerte oft an der Grenze oder längst überschritten (was mit einer Modernisierung und Leistungssteigerung der Anlage an sich nichts zu tun hat). Dann sollte unbedingt anlässlich der Modernisierung auch die Schaltanlage den Bedingungen angepasst werden d.h. die Apparate oder meist ganze Felder sollten ersetzt werden. Kostenangaben siehe Figur 32.

Installation de couplage

Les limites de charge des divers éléments (disjoncteur, sectionneur, etc.) doivent être contrôlées à l'aide des plaques signalétiques. Il sera dans ce cas souvent possible de constater des réserves considérables relatives au courant nominal. Il en va autrement du courant de court-circuit: à cause de l'extension du réseau survenue depuis le montage de l'installation, les valeurs de court-circuit sont souvent à la limite ou même dépassées (ce qui n'a rien à voir avec la modernisation et l'augmentation de la puissance de l'installation). Lors de la modernisation, il faudrait donc aussi adapter l'installation de couplage aux nouvelles conditions, c. à d. remplacer les appareils ou généralement des champs entiers. Les coûts sont indiqués dans la figure 32.



Figur 33 Übertragungsleistung von Hochspannungs-Freileitungen

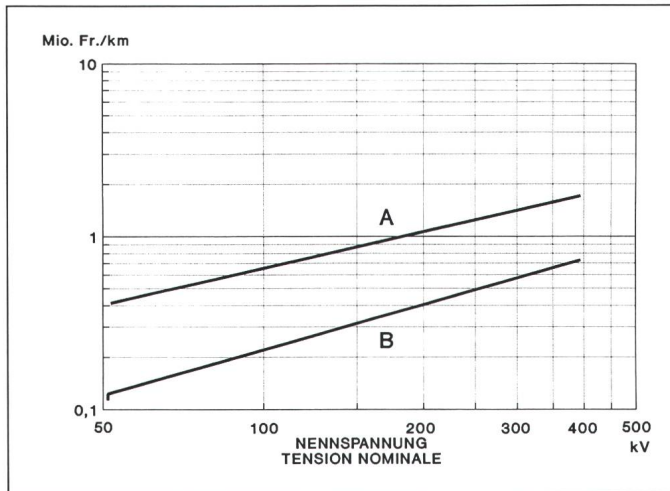
Seilquerschnitt in Abhängigkeit vom Lastmoment (Scheinleistung in MVA mal Distanz in km). Für Drehstrom-Hochspannungs-Freileitungen mit Aluminium-Stahl-Seilen, bei 50 Hz [11]

Die Linien gelten für die eingetragenen Nennspannungen (kV) und Spannungsabfälle (%).

Figure 33 Puissance de transport de lignes aériennes à haute tension

Section du câble en fonction du moment de charge (puissance apparente en MVA fois distance en km). Pour des lignes aériennes à haute tension pour courant triphasé avec des câbles en aluminium et acier, à 50 Hz [11].

Les lignes valent pour les tensions nominales et les chutes de tension indiquées respectivement en kV et %.



Figur 34 Richtkosten für Hochspannungs-Freileitungen in Abhängigkeit von der Nennspannung

Basis: Drehstrom-Doppelleitung, 50 Hz, in ebenem, gut zugänglichem Gelände [12]

Linie A: Komplette Leitung

Für Einfachleitung: 70% der Kosten

Linie B: Neue Seile, Isolatoren und Armaturen, inkl. deren Montage auf den vorhandenen Masten. Für Einfachleitung: 55% der Kosten

Figure 34 Prix de revient des lignes aériennes à haute tension en fonction de la tension nominale

Base: ligne double pour courant triphasé, 50 Hz, sur un terrain plat, facilement accessible

Ligne A: ligne complète

Pour une ligne simple: 70% des coûts

Ligne B: nouveaux câbles, isolateurs, montage inclus sur les mâts existants. Pour une ligne simple: 55% des coûts

Übertragungsleitungen

Als letztes Glied in der Kette ist schliesslich die Energie-Ableitung zu überprüfen. Meist ist diese mit reichlicher Reserve ausgelegt, so dass sie ohne Änderung auch der modernisierten Anlage genügen wird. Andernfalls sind Leiter mit grösserem Querschnitt aufzulegen oder die Leitung ist zu ersetzen. Nähere Angaben vermitteln die Figuren 33 und 34.

Bauliche Anpassungen

Definitionsgemäss versucht die Modernisierung mit geringen Veränderungen der Bauwerke auszukommen. Gewisse Anpassungen sind aber unvermeidlich, und die neuen oder veränderten elektromechanischen Komponenten müssen in den vorhandenen Baukörper eingefügt werden. Dafür sind 10 bis 20% der Kosten der elektromechanischen Komponenten einzusetzen. Grössere Umbauten (z.B. für den Einbau neuer Maschinengruppen wie in Figur 1) müssen besonders kalkuliert werden.

Meist wird man mit der Modernisierung auch eine Renovation des Bauteils verbinden, also Ausbesserungen, neuen Anstrich, neue Fenster und ähnliches. Diese Kosten sind getrennt zu erfassen und als Erhaltungsmaßnahmen nicht der Modernisierung anzurechnen.

Betriebsunterbruch

Jede grössere Unterhaltsarbeit, umso mehr eine grundlegende Modernisierung, verursacht einen Betriebsunterbruch. Die damit verbundenen indirekten Kosten infolge Ertragsausfall können durchaus in der gleichen Grössenordnung wie die Modernisierungskosten selbst liegen und sind naturgemäss der jeweiligen Modernisierungsmassnahme anzulasten. Es ist offenkundig, dass eine sorgfältige Ablaufplanung und das geschickte Einpassen der Modernisierungsschritte in das Betriebsprogramm von eminenter Bedeutung für den wirtschaftlichen Erfolg sind.

Wirtschaftlichkeitsrechnung

Sind nach den oben gemachten Angaben verschiedene Modernisierungspläne definiert und die damit verbundenen Investitionen in groben Zügen ermittelt, kann die Wirtschaftlichkeit dieser Alternativen bestimmt und einander gegenübergestellt werden. Daraus ergibt sich die optimale Alternative, deren Wirtschaftlichkeit nach verschiedenen Kriterien gemessen wird. Massgebend sind dabei, neben

Lignes de transport d'énergie

Il faut enfin examiner le transport de l'énergie, dernier maillon de la chaîne. Les lignes de transport d'énergie disposent généralement de larges réserves, de sorte qu'elles sont suffisantes pour l'installation modernisée. Sinon il faut installer des conducteurs plus larges ou remplacer la ligne. Les figures 33 et 34 renseignent plus en détail.

Transformations

Par définition, une modernisation ne modifie que légèrement les constructions. Certaines adaptations sont toutefois inévitables, et les nouveaux équipements électromécaniques – ou ceux qui ont été transformés – doivent être intégrés aux bâtiments existants. Il faut prévoir pour cela 10 à 20% des coûts des équipements électromécaniques. Des transformations importantes (p.ex. le montage de nouveaux groupes de machines comme dans la fig. 1) doivent être calculées séparément.

La modernisation est généralement accompagnée d'une rénovation du bâtiment, c. à d. de réparations, d'un ravalement de la façade, de nouvelles fenêtres, entre autres. Ces coûts d'entretien doivent être saisis séparément et ne pas être ajoutés aux frais de modernisation.

Interruption de l'exploitation

Tout travail d'entretien important et à plus forte raison une modernisation fondamentale entraînent une interruption de l'exploitation. Les coûts indirects qui y sont liés (dus à un manque de production) peuvent absolument être du même ordre de grandeur que les coûts de modernisation. De par leur nature, ils doivent être attribués aux mesures de modernisation correspondantes. Il est évident qu'une planification soigneuse et une adaptation judicieuse des divers étapes de modernisation au programme d'exploitation sont d'une importance extrême pour le résultat économique.

Calcul de rentabilité

Une fois que divers plans de modernisation ont été définis en fonction des données susmentionnées et que les investissements correspondants ont été évalués sommairement, il est possible de déterminer la rentabilité des diverses variantes et de les comparer entre elles. Ceci permet de choisir la meilleure solution et de mesurer sa rentabilité d'après divers critères. Outre les investissements, ce sont les autres

den Investitionen, die anderen Kosten und vor allem der Nutzen. Die bestehende, nicht modernisierte Anlage ist als Vergleichsbasis ebenfalls miteinzubeziehen.

Für solche Vergleiche wird üblicherweise die Barwert-Methode (Present Worth Method) herangezogen. Diese basiert auf dem Prinzip, alle im Zusammenhang mit einer bestimmten Massnahme irgendwann fälligen Ausgaben und Einnahmen auf einen einheitlichen Zeitpunkt zu «diskontieren» und damit addierbar und vergleichbar zu machen. Für alle zur Diskussion stehenden Alternativen muss dieser Zeitpunkt natürlich gleich sein, um Vergleichbarkeit zu gewährleisten.

Als Bezugszeitpunkt, auf den alle Zahlungsströme zu diskontieren sind, bietet sich der Abschluss der Modernisierung an. Das wird meistens kein Zeit«punkt» sein, sondern ein Zeitraum von mehreren Jahren, wenn beispielsweise eine Gruppe pro Jahr modernisiert wird. Dann wird empfohlen, die zeitliche Mitte zu wählen, die Ungenauigkeiten gleichen sich dann aus. Nimmt man ferner vereinfachend an, dass alle Investitionen konzentriert in diesem Zeitpunkt anfallen, braucht man diese nicht zu diskontieren; wohl aber sollte man sie eskalieren, denn meistens werden zwischen Studie und Verwirklichung doch einige Jahre vergehen. Alle übrigen Werte, insbesondere die laufend über die gesamte Betrachtungsperiode anfallenden Betriebs- und Unterhaltskosten sowie die Einnahmen müssen natürlich diskontiert und summiert werden. In Tabelle IV sind die wichtigsten Formeln zusammengestellt.

Ferner ist ein «Betrachtungshorizont» zu wählen, d.h. ein Zeitraum, über den die Wirtschaftlichkeitsrechnung zu erstrecken ist. Dieser muss mindestens der längsten Lebensdauer der betrachteten Alternativen entsprechen. Wird eine

coûts et avant tout le gain qui sont dans ce cas déterminants. La comparaison de base se fait par rapport à l'installation existante, avant sa modernisation.

La méthode de calcul des valeurs actuelles (Present Worth Method) est généralement utilisée pour de telles comparaisons. Cette méthode se base sur le principe selon lequel toutes les dépenses et les recettes qui, en rapport avec une mesure précise, arrivent une fois à l'échéance, doivent être «escomptées» au même moment pour pouvoir ainsi être additionnées et comparées. Ce moment doit naturellement être le même pour toutes les variantes en question afin d'en garantir la comparabilité.

Il est possible de choisir la fin des travaux de modernisation comme moment de référence d'escompte de tous les paiements. Il ne s'agira généralement pas d'un moment, mais d'une période de plusieurs années, lorsque, par exemple, un groupe est modernisé par an. Il est alors recommandé de choisir une date moyenne, les inexactitudes s'égalisant alors mutuellement. Si on suppose en outre – de manière simplifiée – que tous les investissements sont faits à ce moment, il n'est alors pas nécessaire de les escompter. Il faudrait par contre les augmenter car plusieurs années séparent généralement l'étude de la réalisation. Toutes les valeurs restantes, notamment les coûts d'exploitation et d'entretien ainsi que les recettes qui apparaissent continuellement durant toute la période considérée doivent naturellement être escomptés et totalisés. Les principales formules sont réunies dans le tableau IV.

Il faut en outre déterminer un «horizon prévisionnel» pour le calcul de la rentabilité. Celui-ci doit correspondre au moins à la plus longue durée de vie des variantes examinées. Pour une vaste modernisation il faut envisager une pé-

A	Annuität, eine periodische (normalerweise jährliche) Zahlung
B	Barwert, d.h. ein auf den Bezugszeitpunkt diskontierter Wert oder eine Summe so diskontierter Werte
e	Teuerungsrate, z.B. 5% pro Jahr, e = 0,05
i	Zinssatz, z.B. 8% pro Jahr, i = 0,08
N	Anzahl der Perioden, normalerweise Jahre. Werden andere Perioden verwendet, z.B. Monate, sind auch die anderen Grössen entsprechend zu wählen.
Z	Zukunftswerte
Zukunftswert eines Kapitals nach N Perioden: $Z = B * (1+i)^N$ Mit dieser Formel (statt dem Zinssatz i ist dann die Teuerungsrate e einzusetzen) werden künftige Investitionskosten hochgerechnet.	
Barwert eines einzelnen, in der Zukunft fälligen Betrags: $B = Z * (1+i)^{-N}$	
Barwert von N gleichen Zahlungen, die am Bezugszeitpunkt beginnen und jeweils am Periodenende fällig sind: $B = A * [(1+i)^N - 1] / [i * (1+i)^N]$	
Barwert von N Zahlungen, die am Bezugszeitpunkt beginnen und jeweils am Periodenende fällig sind, wenn der Ausgangswert einer gleichbleibenden Teuerung unterliegt: $B = A * (1+e) / (i-e) * [1 - (1+e) / (1+i)^N]$ Mit dieser Formel werden die laufenden, einer Teuerung unterliegenden Einnahmen aus dem Stromverkauf, aber auch jährlich wiederkehrende Ausgaben, z.B. die Personalkosten, in einen Barwert zum Bezugszeitpunkt diskontiert und summiert.	

Tabelle IV Formeln für die Wirtschaftlichkeitsrechnung

A	annuité, paiement périodique (normalement annuel)
B	valeur actuelle, c. à d. valeur escomptée à un moment donné ou somme de valeurs ainsi escomptées
e	taux de renchérissement, p. ex. 5% par an, e = 0,05
i	taux d'intérêt, p. ex. 8% par an, i = 0,08
N	nombre de périodes, normalement d'années. Au cas où d'autres périodes sont choisies comme p. ex. des mois, il faut également choisir les autres grandeurs en conséquence.
Z	valeur future
Valeur future d'un capital après N périodes: $Z = B * (1+i)^N$ Cette formule (le taux d'intérêt doit alors être remplacé par le taux de renchérissement e) permet de calculer les coûts d'investissements futurs.	
Valeur actuelle d'un seul montant payable à long terme: $B = Z * (1+i)^{-N}$	
Valeur actuelle de N paiements identiques commençant au moment de référence et arrivant à échéance à la fin de la période: $B = A * [(1+i)^N - 1] / [i * (1+i)^N]$	
Valeur actuelle de N paiements commençant au moment de référence et arrivant à échéance à la fin de la période, lorsque la valeur initiale est soumise à un renchérissement invariable: $B = A * (1+e) / (i-e) * [1 - (1+e) / (1+i)^N]$ Cette formule permet d'escompter et d'additionner, en une valeur actuelle au moment de référence, non seulement les recettes courantes provenant de la vente d'électricité et soumises à un renchérissement, mais aussi les frais annuels tels que les coûts du personnel.	

Tableau IV Formules pour le calcul de rentabilité

umfassende Modernisierung einbezogen, sollte der Betrachtungshorizont 30 Jahre betragen. Darüber hinauszugehen ist wenig sinnvoll, da es eine (nachteilige) Eigenheit der Barwertmethode ist, Zahlungsströme in ferner Zukunft infolge der Diskontierung derart zu reduzieren, dass sie für das Endergebnis kaum mehr eine Rolle spielen.

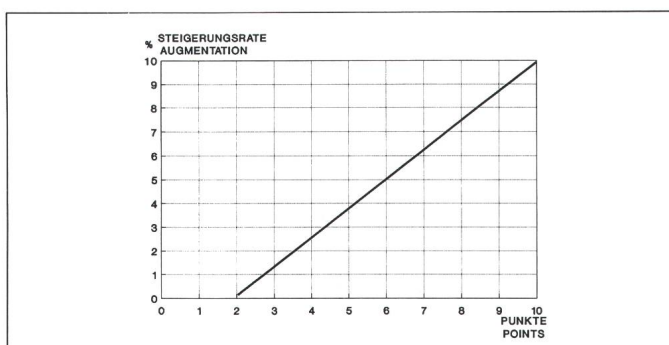
Überhaupt erscheint es wenig sinnvoll, hier nach grösster «Genauigkeit» der Rechnung zu streben, da wichtige Parameter niemals über einen längeren, in der Zukunft liegenden Zeitraum «genau» bekannt sein können. Dies trifft insbesondere auf den Zinssatz und die Teuerung zu. Es ist deshalb sinnvoll, «Empfindlichkeits-Analysen» durchzuführen, d.h. die gleiche Rechnung mit verschiedenen Annahmen für diese Parameter durchzuführen, um deren Einfluss auf das Endergebnis festzustellen.

Bei der Wirtschaftlichkeitsrechnung beginnt man üblicherweise mit den einzeln erfassten Kosten für die Modernisierung der Hauptkomponenten. Ein Zuschlag berücksichtigt die baulichen Anpassungen. Für die Anpassung der Hilfsbetriebe wird man sich zunächst mit einem erhöhten Zuschlag für «Unvorhergesehenes» begnügen. Die Summe der Investitionen wird dann eskaliert bis zum mutmasslichen Zeitpunkt des Einsatzes, also in die Mitte der Inbetriebsetzungen. Ab dann beginnen auch die zusätzlichen Einnahmen und die reduzierten Betriebskosten wirksam zu werden, beginnt also der Nutzen zu fliessen. Deren realistische Einschätzung ist ebenso wichtig wie die der Investitionen und wird zudem durch die Annahmen über die inskünftigen Zinssätze und die Teuerung stark beeinflusst.

Die Mehrproduktion wird aufgrund der Abfluss-Dauerkurve und den entsprechenden Ausbaudaten für jede Variante berechnet. Bei geringen Änderungen des Ausbaudurchflusses ist eine Berechnung als Differenz zur jetzigen Erzeugung oft angebracht. Wird durch die Modernisierung die gesicherte Leistung angehoben, fliesst auch dies als Nutzen in die Rechnung ein. Diese Berechnungen sind üblicher «Stand der Technik».

Schwieriger ist es, die recht unterschiedliche «Qualität» der Modernisierungs-Alternativen auf einen gemeinsamen Nenner zu bringen, denn da wird Altes, Abgenutztes, Störungsanfälliges mit Neuem, Verbessertem, Zuverlässigem (das ist ja das Ziel einer Modernisierung!) verglichen. In den EPRI-Guides [5] werden zur Lösung dieser Problematik die folgenden Methoden angeboten:

Erstens wird die bestehende Anlage (Vergleichsbasis, nicht modernisiert) mit jährlich steigenden Unterhaltskosten belastet, wobei die Steigerungsrate dem durchschnittlichen Anstieg der letzten 3 Jahre entsprechen soll. Ist dies nicht bekannt, kann eine Steigerungsrate gemäss Figur 35 angewandt werden.



riode de 30 ans. Une plus longue période n'est guère judicieuse, car la méthode de calcul des valeurs actuelles a la particularité (désavantageuse) de réduire, en raison de l'escompte, les nombreux paiements à long terme de telle manière qu'ils ne jouent plus de rôle pour le résultat final.

A vrai dire, il ne semble ici guère judicieux de chercher une très grande «précision» de calcul puisque des paramètres importants ne peuvent, à longue échéance, être définis avec «précision». Ceci concerne tout particulièrement les taux d'intérêt et le renchérissement. Il est donc raisonnable de réaliser des «analyses de sensibilité», c. à d. de faire le même calcul pour ces paramètres, mais avec des hypothèses différentes, afin de déterminer leur influence sur le résultat final.

En calculant la rentabilité, on commence d'abord par les divers coûts de modernisation établis séparément pour les équipements principaux. Une majoration tient compte des transformations. Pour l'adaptation des équipements auxiliaires, on envisagera une majoration plus élevée pour «imprévus». La somme des investissements sera augmentée jusqu'au moment prévu de leur utilisation, c. à d. jusqu'au milieu de la période de mise en service. Dès ce moment, les recettes supplémentaires et les coûts d'exploitation réduits commenceront à agir, c. à d. à dégager un bénéfice. Leur estimation concrète est aussi importante que celle des investissements. Elle est en outre fortement influencée par les hypothèses des futurs taux d'intérêt et celles du renchérissement.

La production supplémentaire est calculée pour chaque variante en fonction de la courbe permanente du débit et des données de transformation correspondantes. En cas de légères modifications du débit après transformation, il est souvent judicieux de calculer quelle est la différence de production. Si la modernisation entraîne une augmentation de la puissance garantie, celle-ci apparaît aussi dans le calcul sous forme de bénéfice. Ces calculs constituent l'«état de la technique».

Il est plus difficile de réduire à un dénominateur commun les différentes «qualités» des variantes de modernisation, car des éléments anciens, usés, exposés aux perturbations sont comparés à des unités nouvelles, améliorées, fiables (ce qui est l'objectif d'une modernisation!). Dans les guides de l'EPRI [5], les méthodes suivantes sont proposées en vue de résoudre ces problèmes:

Premièrement, l'installation existante (comparaison de base, n'est pas modernisée) voit ses coûts d'entretien augmenter d'une année à l'autre, le taux d'augmentation devant dans ce cas correspondre à l'augmentation moyenne des trois dernières années. Si celle-ci n'est pas connue, il est possible de se baser sur une des valeurs de la figure 35.

Figur 35 Steigerungsrate der Unterhaltskosten in Abhängigkeit vom Komponentenzustand

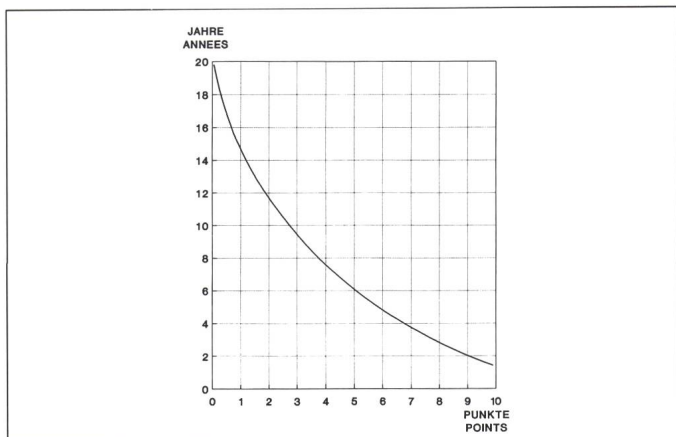
Für die Bestimmung des Barwertes der Unterhaltskosten ist diese Steigerungsrate der Teuerung zuzuschlagen.

Als Basis dient die durchschnittliche Punktbewertung «Zustand» der nicht modernisierten Komponenten aus der Grobbewertung (siehe das entsprechende Kapitel)

Figure 35 Taux d'augmentation des frais d'entretien en fonction de l'état des équipements

Ce taux de hausse doit être ajouté au renchérissement pour pouvoir déterminer la valeur actuelle des frais d'entretien.

La notation moyenne «état» des équipements non modernisés présentée dans l'évaluation sommaire (voir chapitre correspondant) sert ici de base.



Figur 36 Restlebensdauer der nicht modernisierten Komponenten, in Abhängigkeit vom Zustand

Als Basis dient die durchschnittliche Punktebewertung «Zustand» der nicht modernisierten Komponenten aus der Grobbewertung (siehe das entsprechende Kapitel).

Es wird (für den Vergleich) angenommen, dass nach Verstreichen der Restlebensdauer ein gravierender Schaden eintritt, der dann die Modernisierung erzwingt.

Figure 36 Durée de vie restante des équipements non modernisés en fonction de leur état

La notation moyenne «état» des équipements non modernisés indiquée dans l'appréciation sommaire (voir chapitre correspondant) sert ici de base.

Pour la comparaison, il est supposé qu'à la fin de la durée de vie un dommage important surviendra, obligeant à moderniser.

Zweitens ist die bestehende, nicht modernisierte Anlage mit einem höheren Ausfallrisiko behaftet, das in einem realistischen Vergleich angemessen berücksichtigt werden muss. Man geht von der Überlegung aus, dass die nicht modernisierten Komponenten früher oder später ausfallen. Dann müssen die Instandsetzungsmassnahmen, welche im Rahmen der Modernisierung vorsorglich und geplant durchgeführt worden wären, zwangsläufig und, da ungeplant, zu höheren Kosten nachgeholt werden. Konkret wird dieser Gedanke im Vergleich verwirklicht, indem jeder Variante die Modernisierungskosten der nicht einbezogenen Komponenten (mit einem Zuschlag) angelastet werden zu einem Zeitpunkt, der aus der Grobbewertung entnommen oder geschätzt wird, siehe Figur 36. Dabei sind auch die indirekten Kosten infolge Produktionsausfall zu berücksichtigen.

Mit diesen zusätzlichen Belastungen der nicht-modernisierten Anlagenteile wird eine ausgewogene Bewertung erreicht, welche die sonst nur qualitativen und «gefühlsmässigen» Unterschiede zwischen Alt und Neu auch quantitativ erfassbar macht. Diese Betrachtungsweise mag auf den ersten Blick ungewohnt und spekulativ erscheinen, reflektiert aber durchaus lebensnahe Erfahrungen und könnte in vielen Gebieten unserer Wirtschaft sinnvoll sein. Modernisierung, Verbesserung und Anpassung des Bestehenden an heutige Bedürfnisse, nicht immer nur das Hinzufügen von Neuem, ist schliesslich ein Grundbedürfnis unserer Zeit, dem wir uns angesichts oekologischer wie oekonomischer Beschränkungen nicht entziehen können. Die Modernisierung unserer bestehenden Wasserkraftwerke ist in diesem Zusammenhang nur ein bescheidener Ausschnitt, der aber in mancher Hinsicht wegweisend sein kann.

Deuxièmement, l'installation existante, non modernisée, a un risque de panne élevé dont il faut tenir compte dans une comparaison concrète. On part de l'idée que les équipements qui n'ont pas été modernisés tomberont tôt ou tard en panne. Il faudra alors rattraper, à des frais élevés, les travaux de réparation non planifiés, qui, dans le cadre de la modernisation, auraient été soigneusement planifiés et réalisés. Concrètement, les coûts de modernisation des équipements qui ne le sont pas sont attribués (par une majoration) à chaque variante, ceci pour un moment déterminé selon l'estimation sommaire (voir fig. 36). Il faut dans ce cas aussi tenir compte des coûts indirects liés à la perte de production.

Grâce à ces charges supplémentaires des éléments de l'installation non modernisée, on obtient une estimation équilibrée permettant de fixer tant sur le plan qualitatif que quantitatif les différences entre les nouveaux et les anciens équipements. Cette manière de considérer les choses peut, à première vue, paraître inhabituelle et spéculative. Elle est pourtant le reflet d'expériences pratiques et pourrait être utile dans de nombreux domaines de notre économie. Moderniser, améliorer et adapter les installations existantes aux besoins actuels – non pas simplement (ce qui est souvent le cas) ajouter de nouveaux éléments – sont des besoins fondamentaux de notre époque que, au vu des restrictions écologiques et économiques, nous ne pouvons ignorer. La modernisation des centrales hydrauliques existantes n'est à ce propos qu'une modeste contribution, mais pouvant être prometteuse à bien des égards.

Literatur

- [1] L. Becke, B. v. Rickenbach: Erhöhung der Energieproduktion durch technische und wirtschaftliche Optimierung der Maschinenleistung. 5. Internationales Seminar Wasserkraftanlagen. Technische Universität Wien, 29.11.-1.12. 1988
- [2] A.P. Engel, M. Fehle und O. Hartmann: Ein altes Wasserkraftwerk, was nun? Bulletin SEV/VSE Nr. 22/1985
- [3] W. Nüssli: Eine Methodik für die Planung von Erneuerungen von Wasserkraftwerken. 5. Internationales Seminar Wasserkraftanlagen. Technische Universität Wien, 29.11.-1.12. 1988
- [4] W. Nüssli: Upgrading your Hydropower Plant – a Methodology for Decision-Making. Intrnationale Konferenz über Verbesserung und Instandstellung von Wasserkraftanlagen. Strasbourg/Frankreich 19.-21.10. 1987
- [5] BVMCA Black & Veatch/Motor Columbus, Associates: Hydropower Plant Modernization Guide EPRI Electric Power Research Institute, Palo Alto, Cal. (USA), EPRI GS-6419
Volume 1: Hydroplant Modernization, Final Report, July 1989
Volume 2: Turbine Runner Upgrading, Final Report, July 1989
Volume 3: Automation, Final Report, June 1989
- [6] Colenco AG: Begutachtung von Wasserkraftwerken im Kanton Zug. Bericht zuhanden der Baudirektion des Kantons Zug
- [7] BVMCA Black & Veatch/Motor Columbus, Associates: Begutachtung von 37 Wasserkraftwerken der Pacific Power & Light Co., Portland, Oregon, USA. Bericht zuhanden der Pacific Power & Light Co.
- [8] Jürgen Baer: Belüftung und Kühlung von Wasserkraftgeneratoren. Möglichkeiten bei der Modernisierung. Wasser, Energie, Luft. Heft 7/8 1989
- [9] R. Ruoss, J. Gyenge, F. Fischer: Upgrading of the Laufenburg Hydro Power Station (River Rhine) Using STRAFLO Turbines. Modern Power Systems, Vol. 8, Issue 3, März 1988
- [10] Motor Columbus Ingenieurunternehmung, Baden/Schweiz: Guide for Hydraulic Machinery Model Testing EPRI Electric Power Research Institute, Palo Alto, Cal. (USA), EPRI AP-5876
- [11] Siemens AG: Handbuch der Elektrotechnik. Verlag W. Giradet, Essen, BRD
- [12] Arbeitsgruppe Energieübertragung und Landschaftsschutz: Elektrizitätsübertragung und Landschaftsschutz, Schlussbericht. Bundesamt für Forstwesen Bern, 1979