Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 93 (2001)
Heft: 1-2

Artikel: Maschinensicherheit bei Erneuerung von Wasserkraftanlagen
Autor: Von Rickenbach, Beat
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-939871

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 16.07.2025

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

Maschinensicherheit bei Erneuerung von Wasserkraftanlagen

■ *Beat von Rickenbach*

1. Maschinensicherheit als Aufgabe

Maschinensicherheit hat als Aufgabe das Ziel, Schaden zu verhindern. Gegen Gefährdung von Menschen und Umwelt sind die bestmöglichen und gesetzlich verlangten Massnahmen massgebend, gegen Sachschäden und Betriebsausfall sind die Massnahmen vorwiegend durch die Wirtschaftlichkeit, oft auch durch die Pflege des guten Rufes bestimmt.

Die Sicherheit schaffen wir im Prinzip auf zwei Ebenen:

1) Wir bauen und betreiben die Maschine so «perfekt», dass «nichts passiert», d.h. dass keine Abweichungen vom Soll-Zustand auftreten.

Perfektion hat aber ihre Grenzen – Mängel sind möglich, trotz Fachkompetenz und Qualitätssicherung, auch durch äussere Einflüsse. Daher müssen wir die Sicherheit auch auf einer nächsten Ebene etablieren:

2) Wir treffen Sicherheitsmassnahmen. Wie muss sich das System verhalten, wenn «etwas passiert»? Wir gehen davon aus, dass Störungen d.h. Abweichungen Ist-Soll auftreten können und setzen uns zum Ziel, die Folgen minimal oder in akzeptierbaren Grenzen zu halten. Diese zweite Ebene ist das eigentliche Arbeitsgebiet der Maschinensicherheit als Fachdisziplin, je nach Auffassung auch als Wissenschaft.

Sicherheitsmassnahmen können prinzipiell verschieden sein. Dies lässt sich am einfachen Beispiel des Brandschutzes zeigen: Schwer entflammbares Material ist eine passive Massnahme, eine automatische Löschanlage eine aktive. Verschieden sind auch die zeitlichen Eingriffspunkte im anzunehmenden Ablauf einer Störung: Nahe bei der Ursache oder nahe bei der Endfolge – beim angesprochenen Beispiel Früherkennung eines Brandes oder Sicherstellung von Fluchtwegen. Die Beurteilung und Bewertung jeder Massnahme ist nur im Rahmen des gesamten Sicherheitskonzeptes möglich.

Aus dem Sicherheitskonzept ergibt sich durch systematische Arbeit im Einzelnen, wie auf jede erfasste Abweichung reagiert werden soll, z.B. ob auf erhöhte Lagertemperatur mit blosser Registrierung, mit Alarm oder mit automatischem Überführen der Maschine in den sogenannten «Sicheren Zustand». Letzteres muss nicht immer das Abstellen der Maschine sein: Stillstand ist zwar zumeist ein sicherer Zustand, aber nicht der einzige und manchmal auch nicht der als nächster Schritt zweckmässige. (Man denke z.B. an das Triebwerk eines einmotorigen Flugzeuges!)

2. Erneuerung und Sicherheit

Eine Erneuerung oder Revision ist meistens auch zu dem Zweck erwünscht, die Sicherheit zu erhöhen oder mit reduziertem personellem Aufwand aufrechtzuerhalten. Komponenten, deren Zuverlässigkeit auf Grund von Abnutzung oder Alterung in Frage gestellt wird, können bei dieser Gelegenheit ersetzt werden, auch solche, deren alte (nicht mehr geläufige) Technik beim Unterhalt (Reparatur und Ersatzteilbeschaffung) Aufwand und Probleme schafft.

Beim Projektieren der Erneuerung zeigt sich bald, dass die meisten Komponenten nicht einfach durch neue in der gleichen Funktion und unter den gleichen Bedingungen ersetzt werden können, d.h. neue Komponenten (z.B. Regel- oder Schutzeinrichtungen) bedingen zumeist auch neue Systeme. Daraus ergibt sich als Hauptaufgabe, die Schnittstellen alt/neu optimal festzulegen.

Wenn ein System ersetzt oder geändert wird, ist davon auch das Sicherheitskonzept betroffen. Erfahrungsgemäss ist daher bei elektromechanischen Erneuerungen das Sicherheitskonzept ein zeitaufwendiges Thema. Dies auch deshalb, weil etliche Sicherheitskonzepte an sich (ungeachtet der Komponenten) im Lauf der Zeit auf Grund von Betriebserfahrungen und systematischen Analysen verbessert worden sind. Ein Beispiel dazu sind Notschluss-Konzepte, erwähnt unter Kapitel 4.

3. Maschinensicherheit in Wasserkraftanlagen

Zur Maschinensicherheit bei Wasserkraftanlagen zuerst ein Beispiel: Eine Maschinengruppe, bestehend aus Kaplanturbine und Generator, soll im Störfall in den schon erwähnten «Sicheren Zustand», d.h. bei diesem Beispiel zum Stillstand, gebracht werden. Verschiedene Störfälle sind möglich, und daher sind auch verschiedene Abläufe (Sequenzen) bis zum Stillstand vorzusehen:

- Bei einer mechanischen Störung (z.B. unzulässig erhöhte Lagertemperatur) soll die Maschine ohne transiente Drehzahlerhöhung und mit minimaler Vibration rasch zum Stillstand kommen. Daher muss der Generator die von der Turbine erzeugte Leistung aufnehmen und abgeben, bis der Wasserdurchfluss durch die Turbine abgesperrt ist.
- Bei einer elektrischen Störung (Starkstrom) muss sofort der Generator vom Netz getrennt werden, oder dies ist schon erfolgt. Dabei kann eine transiente Drehzahlerhöhung der nicht mehr belasteten Maschine nicht vermieden werden, aber sie kann kleiner gehalten werden, indem das Laufrad beim Schliessen des Leitapparates in Offenstellung bleibt. Vor allem muss vermieden werden, dass die Laufradschaufeln infolge Überdrehzahl in einer ungünstigen Teilöffnung blockieren, wenn der Leitapparat nicht oder nicht vollständig schliesst.

In beiden Fällen gilt unsere Sorge – wie wir vorerst annehmen – der Vermeidung eines Maschinenschadens und eventueller Folgeschäden. Aber es gibt auch Wasserkraftanlagen, bei denen mit höchster Priorität ein Entleeren des Stauraumes zu verhindern ist, weil dessen Inhalt für andere Zwecke (Bewässerung, Kühlung) verfügbar sein muss. Bei anderen Wasserkraftanlagen sind rasche Änderungen der Wasserspiegel zu vermeiden (z.B. wegen der Schifffahrt).

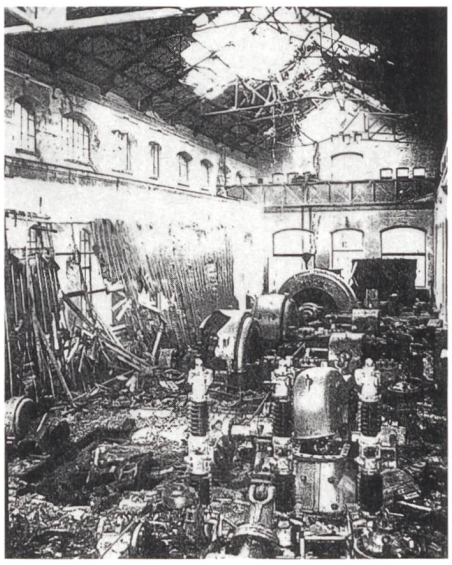

Bild 1. Peltonturbine (6000 kW, mit Generator, 7200 kVA, 600 min^{-1}) auf Überdrehzahl gekommen, Generator auseinandergeflogen.
(Bild und Legende aus: Allianz-Handbuch der Schadenverhütung)

Typisch für die Sicherheits-Thematik von Wasserkraftanlagen ist die maximale Vernetzung mit dem Umfeld, d.h. der Natur, den Kunden und «Dritten». Die Natur «liefert» z.B. einen Ast, der durch den Rechen schlüpft und mindestens zwei Leitschaufeln der Turbine blockieren wird, wenn die Turbine abgestellt werden soll. In Richtung «worst case» ginge jetzt eine Abschaltung des Generators bei so weit offen bleibendem Leitapparat der Turbine, dass die Maschinengruppe auf Überdrehzahl laufen würde, bis zum Schaden. Die Folgen können sich auch auf andere Anlageteile und das Umfeld erstrecken. Dies zu verhindern, indem solche Abläufe am richtigen Ort unterbrochen und «aufgefangen» werden, ist Aufgabe der Maschinensicherheit.

Bei Niederdruckanlagen ist der Leitapparat der Turbine nicht nur Regulierorgan, sondern auch das primäre Absperrorgan. Zu Revisionszwecken sind die meisten Niederdruckanlagen mit Dammbalken ausgerüstet, die aber nur bei geringer Strömung vollständig eingesetzt werden können. Daher muss der Leitapparat als Ganzes auch dann schliessen, wenn zwei Leitschaufeln z.B. durch den oben erwähnten Ast blockiert sind. Um diese Aufgabe zu lösen, sind im Lauf der Entwicklung verschiedene Konzepte und Konstruktionen entstanden. Wenn das sichere, rasche Absperren des Turbinendurchflusses aus externen Gründen sehr wichtig ist, werden oft Schützen vorgesehen, die unter voller Strömung geschlossen werden können.

Bei Hochdruckanlagen sind zusätzliche Absperrorgane (vorab Kugelschieber oder Drosselklappen) praktisch Standard. Sie stellen nicht nur das Stillsetzen der Maschine sicher, sondern auch, dass bei einem Maschinenschaden das Betriebswasser nicht aus dem System ausbricht. Denn je höher die Fallhöhe einer Anlage, desto stärker im Prinzip die Wirkung des austretenden Wassers und desto kleiner der Wertanteil der Maschinen an der gesamten Anlage. Umso mehr wird daher ein möglicher Maschinenschaden im Hinblick auf Folgeschäden eingestuft.

4. Beispiele

Im Folgenden noch einige typische Beispiele aus der Praxis:

Notschluss bei doppeltregulierten Kaplanturbinen (Maschinentyp schon erwähnt): Bei der Teilerneuerung von zwei solchen, relativ leistungsstarken Maschinen (je ca. 24 MW) wurde das Sicherheitskonzept von Laufrad-Notschluss auf Leitrad-Notschluss umgestellt und konstruktiv die Sicherheit des Leitapparates verbessert. Konkret: Nach altem Konzept wird, wenn der Leitapparat – auch aus regelungs- bzw. steuerungstechnischen Gründen – nicht geschlossen werden kann, die Maschine im Notfall durch «Schliessen» der Laufradschaufeln zum Stillstand gebracht. Dabei müssen, je nach Fall schon bei erhöhter Drehzahl, die Laufschaufeln eine Stellung durchfahren, welche die hydraulisch höchste Durchbrenndrehzahl erzeugt. «Worst case», wenn aus Zustands- und mechanischen Gründen (Abnützung, Fliehkraft, Vibration) die Laufschaufeln in dieser Stellung «hängen bleiben». Ein mechanisch sicherer Leitapparat, auf einem zweiten, unabhängigen Kreis über ein separates Ventil (Notschlussventil) angesteuert, ist als Sicherheitsorgan besser geeignet. Mechanisch sicher, auch gegen Blockieren durch Fremdkörper, sogar im unbemannten Betrieb, wird er durch die Ausrüstung mit Sicherheitshebeln, welche ein Ausweichen und «Wiedereinfangen» der betroffenen Leitschaufeln ermöglichen. Diese Lösung wurde, wie in vielen Neuanlagen und an etlichen erneuerten Maschinen, bei der Teilerneuerung 1995/1998 im Kraftwerk Wildegg-Brugg der NOK realisiert. Dabei wurde auch das ganze Reguliersystem auf höheren Steueröldruck (kostengünstiger, weil Komponenten kompakter und im Markt aktuell) umgerüstet.

Druckwasserversorgung (als Schmier-/Sperrwasser oder Steuerwasser): Bei der Teilerneuerung und Automatisierung eines regionalen Kraftwerkes mit kleinen Francisturbinen wurde die Sperrwasserversorgung der Turbinenlager von der oft viel Sand führenden Druckleitung auf das Stadtwassernetz umgehängt. Bei dem relativ kleinen Sperrwasserverbrauch war diese Lösung günstiger als eine neue, genügende Entsandungseinrichtung. In den ersten Monaten nach der Wiederinbetriebnahme erfolgten Abschaltungen, ausgelöst durch kurzfristig zu tiefen Sperrwasserdruck. Ursache war jedes Mal die Benützung von Hydranten im Stadtnetz. Durch entsprechende Zeiteinstellung der Überwachungsinstrumente konnte offenbar das Problem gelöst werden.

In einem Hochdruck-Speicherwerk mit leistungsstarken Francisturbinen wurde anlässlich einer Teilerneuerung die Steuerwasserversorgung ab Druckleitung bezüglich Entsandung nachgerüstet. Bei dieser Gelegenheit wurde bemerkt, dass die bestehende Entnahmeleitung bei gewissen Betriebszuständen stark vibrierte. Aber noch bedenklicher: Durch diese eine, gefährdete Leitung wurde sowohl der Servomotor des Turbinen-Leitapparates wie auch derjenige des Kugelschiebers mit Druckwasser versorgt. Mit kleinem Aufwand konnte dieser gravierende, im ursprünglichen Projekt enthaltene Konzeptfehler korrigiert werden.

Sicherheits-Absperrorgane und instationäres Verhalten von Hochdruckanlagen: Bei gewissen Speicheranlagen übernimmt (aus Kostengründen) die See-Abschlussklappe die Funktion der üblicherweise knapp unterhalb des Wasserschlosses platzierten Sicherheitsdrosselklappe. In den Betriebsvorschriften solcher Anlagen ist vermerkt, dass nach einem Schliessen der See-Abschlussklappe aus dem Betrieb in einem Zeitraum von ca. 10 min kein Schliessvorgang in der Zentrale erfolgen darf. Grund: Die abgerissene Wassersäule würde, nach Druckstossreflektion und Hochschwingung im Wasserschloss, auf die See-Abschlussklappe zurückprallen, mit einem Druck weit über deren Konstruktionsdruck. Für die Reparatur müsste der See durch den Grundablass entleert werden. Die Einhaltung der Vorschrift verlangt Sorgfalt, ihre konsequente Umsetzung bei der Automatisierung des Kraftwerkes auch. Weil diese Anlagen mit Peltonturbinen ausgerüstet sind, muss bei einer Abschaltung nicht sofort der Durchfluss durch die Turbine unterbrochen werden; der Strahlablenker kann den Antrieb vom Laufrad wegnehmen. Damit ist auch in der Automatik eine für Anlage und Maschine verträgliche Lösung möglich.

5. Schlussfolgerungen für die Projektierung

Projektierte Erneuerungen in Wasserkraftanlagen – vor allem im Maschinen- und Leittechnikbereich – sind im Zusammenhang mit den betroffenen Sicherheitskonzepten zu überprüfen. Oft muss ein Sicherheitskonzept geändert oder neu erarbeitet werden. Umfassende und genaue Kenntnisse der Anlage sind hierzu erforderlich. Das Wissen um sicherheitsrelevante Gegebenheiten und Zusammenhänge in der Anlage ist oft verteilt auf mehrere Quellen und Personen. Daher lohnt es sich, in der Startphase der Projektierung (Zusammentragen von Informationen) und in der Schlussphase (Überprüfung und Bereinigung) das Betriebspersonal, die Vorlieferanten und auch die zuständigen Spezialisten der angrenzenden Fachgebiete einzubeziehen. Auch lohnend ist es, die erarbeiteten, gültigen Sicherheitskonzepte vollständig und selbsterklärend zu dokumentieren. Dies erleichtert nicht nur die Inbetriebsetzung, sondern auch die späteren Erneuerungen.

Überarbeitete Fassung eines Vortrages des Verfassers anlässlich des Forums Wasser, Rapperswil, der HSR und des Linth-Limmatverbandes vom 10. November 2000 an der Hochschule Rapperswil. Die im Vortrag gezeigten Tabellen sind beim Verfasser erhältlich.

Adresse des Verfassers
Beat von Rickenbach, dipl. Masch.-Ing. ETH, Schönenbergstrasse 95, CH-8820 Wädenswil.