

Umbau des Kraftwerks Niederried-Radelfingen

Autor(en): **Hässig, Peter**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria**

Band (Jahr): **82 (1990)**

Heft 9

PDF erstellt am: **21.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-939831>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Umbau des Kraftwerks Niederried-Radelfingen

Leistungserhöhung durch Einsatz eines neuen Laufrades, eines elektronischen Leitsystems und durch Verbesserung der Wasserführung – Vorgehen und Entscheidungsfindung aus der Sicht des Bauherrn

Peter Hässig

Das Kraftwerk Niederried-Radelfingen der Bernischen Kraftwerke AG (BKW) liegt 20 km unterhalb von Bern an der Aare, kurz nach dem Zusammenfluss von Aare und Saane (Bild 1). Die Stauanlage wurde um das Jahr 1910 für das Kraftwerk Kallnach erstellt. Für den Kraftwerksbetrieb wurden maximal 60 m³/s am linken Ufer gefasst und durch einen Stollen nach Kallnach abgeleitet. Das überschüssige Wasser wurde durch die Wehranlage weiterhin ins natürliche Flussbett der Aare zurückgeführt. Von 1959 bis 1963 wurde zur Ausnützung dieser zusätzlichen Wasserkraft das Kraftwerk Niederried erbaut (Bild 2). Dieses musste wegen

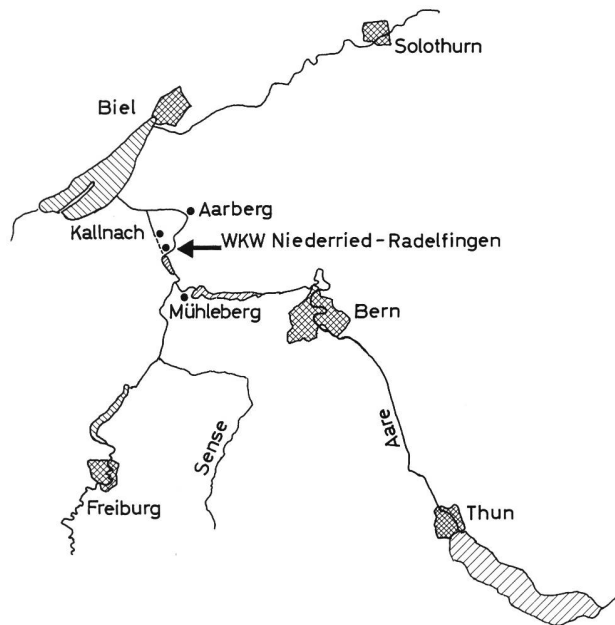


Bild 1. Situation des Wasserkraftwerks Niederried-Radelfingen an der Aare.

der bestehenden baulichen Gegebenheiten am rechten Ufer auf der strömungsmässig ungünstigen Kurveninnen-seite erstellt werden. Es wurde mit zwei vertikalachsigen Kaplan-turbinen mit folgenden Leistungsdaten ausgerüstet:

– Turbinen	2 vierschauflige Kaplan-turbinen
– Nennleistung	je 6,80 MW
– Gefälle	6,30 m bis 10,10 m
– Durchfluss	maximal je 85 m ³ /s
– Raddurchmesser	3,80 m
– Drehzahl	125 U/min
– Lieferant	Escher Wyss AG, Zürich

Die beiden Turbinen-Generatorgruppen wurden im Jahre 1963 in Betrieb gesetzt. Bis heute haben sie zusammen etwa 2 Mio MWh elektrische Energie erzeugt, wobei beide Maschinen etwa 180000 Betriebsstunden aufweisen. Dank regelmässigem, gutem Unterhalt standen die Maschinen dem Betrieb während dieser Zeit ohne längeren Betriebsunterbruch zur Verfügung.

Nach der Unterhaltsplanung der BKW ist für die Turbinen des Kraftwerks Niederried nach 24 Betriebsjahren eine Generalrevision vorgesehen. Diese Arbeiten wurden aus personellen Gründen auf die Jahre 1990 bis 1992 festgelegt. Während bei den vorangegangenen Revisionen im wesentlichen nur die vorhandenen Turbinenkomponenten saniert wurden, sollte mit der Generalrevision auch eine Aufwertung und Modernisierung des Kraftwerks einhergehen. Der nachfolgend beschriebenen Planung kommt für alle zukünftigen Generalrevisionen der BKW Modellcharakter zu.

Vorarbeiten zur Generalrevision

Bereits im Jahre 1985 wurde mit der Erarbeitung der Grundlagen durch systematische Auflistung aller im Betrieb festgestellten Mängel und Verbesserungswünsche begonnen. Dabei standen folgende Problempunkte im Vordergrund:

- Behebung der immer wieder auftretenden Kavitations-schäden an den Turbinenschauflern und am Laufrad-mantel
- Eliminierung der ungenügenden Nachstellung von Leit-rad- und Laufradstellung durch den mechanischen Turbinenregler
- Umbau der Turbinen auf einen umweltfreundlichen, fett-freien Betrieb
- Umstellung des Kühlwasserbetriebs von Trinkwasserbe-zug auf einen geschlossenen Kühlkreislauf und Reduk-tion des Sperrwasserverbrauchs

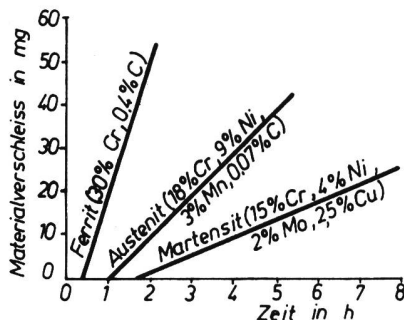


Bild 3. Einfluss des Chemismus und der Gefüge auf die Erosionsbeständigkeit des Stahls (Untersuchung Sulzer-Escher Wyss AG).

Bild 2. Das Kraftwerk Niederried-Radelfingen.

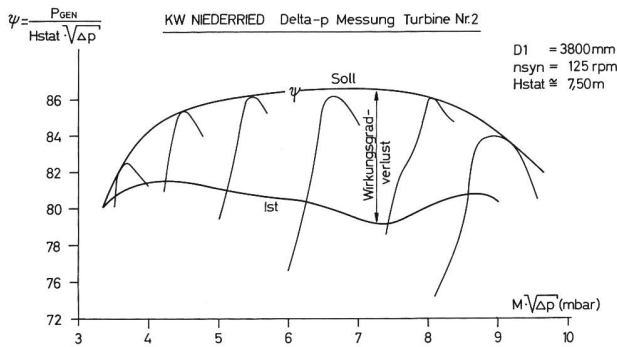


Bild 4. Gemessene Wirkungsgradverluste infolge von nicht korrektem Leitapparat/Laufrad-Zusammenhang. Δp -Messung an der Turbine 2 im Kraftwerk Niederried.

– Verbesserung der Überwachungs- und Revisionsfreundlichkeit verschiedener Turbinenkomponenten

Für jeden einzelnen Punkt der erwähnten Liste wurden gemeinsam mit Sulzer-Escher Wyss AG Lösungen erarbeitet und die entsprechenden Kosten kalkuliert. Dank dieser Zusammenarbeit war es dem Bauherrn möglich, über die Ausführung jedes einzelnen Punktes nach klaren Kosten/Nutzen-Kriterien zu entscheiden. Die Bereitschaft von Sulzer-Escher Wyss AG, eine Vielzahl von Lösungsvarianten zu erarbeiten, sowie die Flexibilität, auf spezifische Kundenwünsche einzutreten, darf an dieser Stelle anerkennend vermerkt werden.

Massnahmen zur Leistungssteigerung standen zu Beginn der Planung noch nicht im Vordergrund; die vorhandenen Möglichkeiten zeigten sich erst bei vertiefter Auseinandersetzung mit der Kraftwerkanlage.

Neue Laufradschaufeln

Die Turbinenschaufeln aus niedriglegiertem Stahlguss Stg Mn 35/60 wurden im Betrieb durch Kavitation sehr stark angegriffen. Dies verlangte bereits kurz nach der Inbetriebsetzung eine Begrenzung der Turbinenleistung auf 80% Leitapparatöffnung, ohne dass dadurch Kavitationsschäden gänzlich vermieden werden konnten. Vergleichende Laborversuche (Bild 3) und die Erfahrungen mit nichtrostenden Reparaturschweissungen zeigen, dass neue Laufradschaufeln aus nichtrostendem Stahlguss G-X5 CrNi 13.4

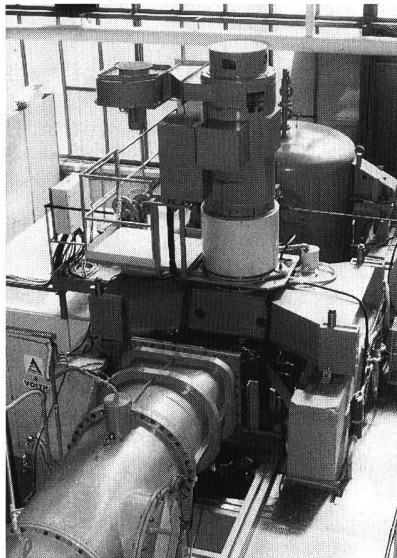


Bild 5. Modellturbine im Versuchsstand der Anstalt für Strömungsmaschinen (ASTRÖ) in Graz.



Bild 6. Teilansicht des Messpults der Modellversuchsanlage.

dem vorhandenen Kavitationsangriff widerstehen können. Durch den Wegfall der kavitationsbedingten Leistungsbeschränkung erwies sich der Ersatz der knapp 30jährigen Laufradschaufeln durch solche aus nichtrostendem Stahl mit besserer Erosionsbeständigkeit als wirtschaftlich. Wenn aber schon neue Laufradschaufeln nötig sind, dann sollten alle Möglichkeiten des technischen Fortschritts für eine Leistungssteigerung genutzt werden.

Da der Laufradmantel einbetoniert ist, war eine Steigerung der Ausbauwassermenge durch Vergrössern des Laufraddurchmessers nicht möglich. Es mussten daher Verbesserungen an der Schaufelform bezüglich Wirkungsgrad und Schluckvermögen gefunden werden, ohne dass das Kavitationsverhalten verschlechtert werden durfte. Aufgrund der vorhandenen Kenndaten von weiterentwickelten Laufradtypen sah Sulzer-Escher Wyss AG die Möglichkeit, diese Zielsetzungen zu erfüllen und die Wirtschaftlichkeit ihrer Lösung nachzuweisen. Am 3. Februar 1988 stimmte die Geschäftsleitung der BKW einem Antrag zu, die Möglichkeit einer Leistungssteigerung systematisch zu untersuchen, und bewilligte gleichzeitig die erforderlichen Kredite. Aufbauend auf dem vorhandenen guten Verhältnis zwischen BKW als Bauherr und Sulzer-Escher Wyss AG als Lieferant, wurde ein partnerschaftliches Vorgehen für die Aufnahme des Ist-Zustandes und die Entwicklung eines neuen Laufradtyps festgelegt. Gemeinsam wurden als erste Massnahme im Kraftwerk Niederried Δp -Messungen vorgenommen zur Erfassung der Abweichungen des Reglers vom korrekten, gefällsabhängigen Leitrad/Laufrad-Zusammenhang und zur Bestimmung der Fülligkeit des Wirkungsgradverlaufs der eingebauten Turbinen (Bild 4). Diese Messwerte erlaubten später einen Vergleich mit den Resultaten der Modellversuche und den Nachweis der Produktionssteigerung mit den neuen Turbinenschaufeln.

Vergleichende Modellversuche

In der Zeit von Anfang Juni bis Ende Juli 1988 wurden durch Sulzer-Escher Wyss AG in der Anstalt für Strömungsmaschinen (ASTRÖ) in Graz Modellversuche zur Entwicklung einer speziell auf die hydraulischen Verhältnisse von Niederried zugeschnittenen Laufradform durchgeführt (Bild 5 und 6). Die Modellversuche umfassten zuerst eine gezielte Messung der Turbinencharakteristiken des eingebauten Laufradtyps 411 im Einsatzbereich des Kraftwerks Nieder-

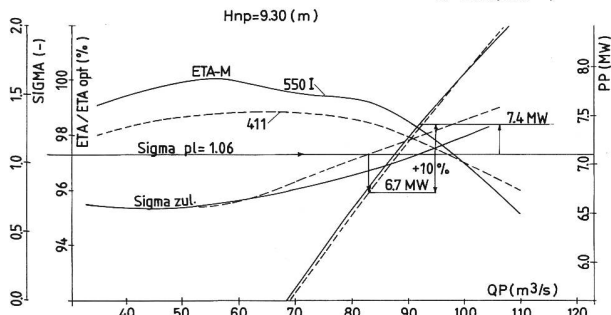


Bild 7. Vergleichsmessungen der alten Laufradform Typ 411 mit dem entwickelten Typ 550 I bestätigen die höheren Wirkungsgrade und die grösseren Überlastreserven der neuen Laufradform.

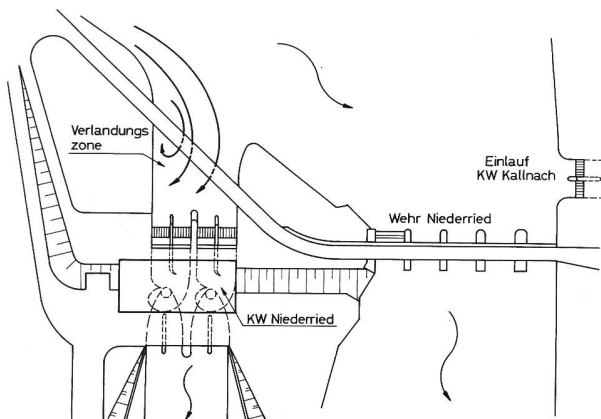


Bild 8. Anordnung des Kraftwerks Niederried-Radelfingen mit der starken Umlenkung des Wassers im Einlauf zum kurzen Oberwasserkanal.



Bild 9. Geschiebeablagerung in den Turbineneinläufen.

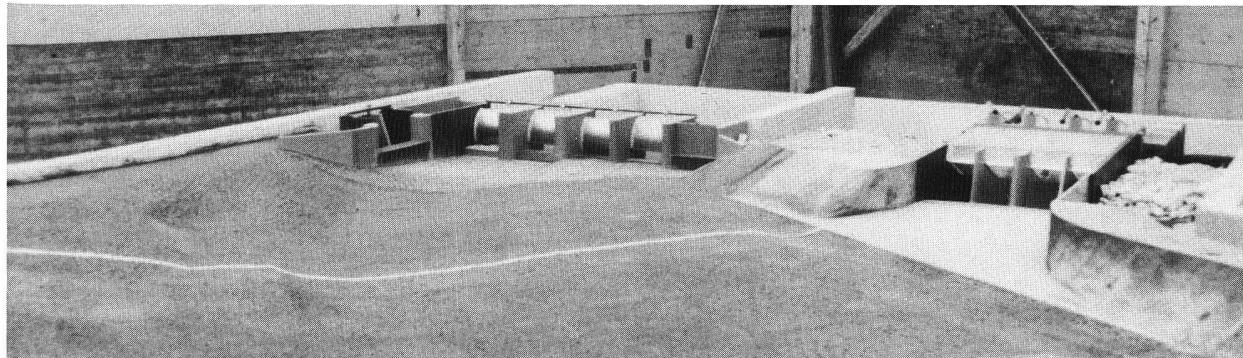


Bild 10. Das wasserbauliche Modell der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich in einem Zelt auf dem Kraftwerksgelände.

ried. In einem nächsten Schritt wurde die theoretisch bestimmte neue Schaufelform Typ 550 in den Versuchsstand eingebaut.

Durch systematische Nachmessungen konnte die Turbinencharakteristik Betriebspunkt für Betriebspunkt mit dem alten Laufrad verglichen und gezielt verbessert werden. Dabei war es wertvoll, dass die hydraulischen Verhältnisse im Kraftwerk Niederried aus 25 Jahren Betriebsaufzeichnung sehr genau bekannt waren. Das gewählte Vorgehen, bei dem zuerst der Ist-Zustand im Modell durchgemessen wird, kann allen Kraftwerksgesellschaften als vorteilhaft empfohlen werden, erlaubt es doch einen unverfälschten Vergleich mit den Messresultaten des neuen Laufradtyps. Aufgrund der vorgelegten Messprotokolle und der im Beisein der BKW durchgeführten Abnahmemessungen konnte am 14. Juli 1988 der Entscheidung gefällt werden, im Kraftwerk Niederried neue Laufradschaufeln vom Typ 550 I einzusetzen. Aus dem Vergleich der Wirkungsgradkurven wird die erzielte Steigerung in bezug auf den Wirkungsgrad und das Schluckvermögen ersichtlich (Bild 7). Der Wirkungsgrad der neuen Schaufelform liegt im ganzen Bereich höher als beim alten Laufrad. Das günstigere Kavitationsverhalten erlaubt ausserdem, beim vorhandenen Sigrawert des Kraftwerks bedeutend grössere Wassermengen ohne Schäden zu verarbeiten. Zur Beurteilung dieser Daten musste allerdings zuerst definiert werden, was «Leistungserhöhung» im konkreten Fall bedeutet.

Für ein Flusskraftwerk konnte nicht ein hochgezüchteter Spitzenwirkungsgrad in einem Betriebsbereich, der vielleicht nur an wenigen Tagen im Jahr eintritt, das Ziel sein. Auch eine einseitige Trimmung auf grosse Überlastproduktion, die im Normalfall nur Sommerbandenergie ergibt, war nicht anzustreben. Als Entscheidungsgrundlage wurde daher mit einer «gewichteten Jahresarbeit» gerechnet, wobei die Winterenergie mit dem Faktor 2 gewichtet wurde. Die Auswertung der Kavitationschaubilder bei verschiedenen Betriebspunkten bestätigt das günstige Kavitationsverhalten des neuen Schaufeltyps. Aus diesen Grundlagen konnten wir unter Einhaltung eines Sicherheitsabstandes zum Leistungsabfall infolge Kavitation den zulässigen Betriebsbereich der neuen Turbinen des Kraftwerks Niederried festlegen.

Sulzer-Escher Wyss AG errechnete auf dieser Basis die zugehörige Jahresarbeit. Dieser Wert hat aus der Sicht des Kunden gleiches Gewicht für die Erneuerungsentscheidung wie die technischen Daten. Denn während die Techniker sich durch den Verlauf von Wirkungsgradkurven, durch Überlastreserven und günstige Kavitationschaubilder begeistern lassen, führen diese Daten auf den kreditgenehmigenden Direktionsstufen bloss zu einem unverständigen Kopfschütteln. Die Bereitschaft und die Fähigkeit des Turbinenlieferanten, seine Versuchsergebnisse in die Einheit

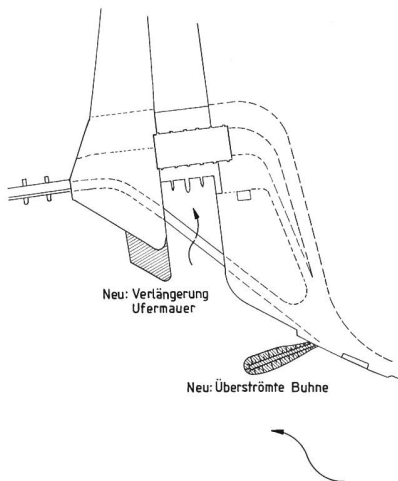


Bild 11. Massnahmen zur Verbesserung der Anströmung: überströmte Bühne im Oberwasser und Verlängerung des Einlaufkanals.

«Franken» umzurechnen, ist daher für den Erfolg eines Erneuerungsprojektes mitentscheidend.

Die Jahresarbeitsberechnung für das Kraftwerk Niederried ergab eine Leistungssteigerung um 3,8 GWh/Jahr, das sind 5,2%. Die mittlere Jahresenergieproduktion steigt damit von 74,5 GWh auf 78,3 GWh. Der Ersatz der alten Turbinenschaufeln ist somit wirtschaftlich und wird ausgeführt.

Diese Modellversuche brachten allen Beteiligten Vorteile. Dem Bauherrn gaben sie die Gewähr, den Erneuerungsentscheid nach überprüfbaren Grundlagen gefällt zu haben. Sulzer-Escher Wyss AG gewann die Sicherheit, korrekte Garantieverpflichtungen eingegangen zu sein. Die Empfehlung von systematischen Modellversuchen für die Beurteilung von Erneuerungsprojekten ist daher die wichtigste Aussage dieses Beitrages. Denn selbst noch so strenge Pönalien können im Falle eines Misserfolgs die Umtriebe des Kraftwerkbetreibers und den Produktionsausfall nicht decken.

Als zusätzliches Ergebnis der Modellversuche liess sich die längst vermutete Tatsache beweisen, dass die theoretisch mögliche Aufwertung vom Modellversuch zur Grossausführung im Kraftwerk Niederried nicht erreicht wird. Der Grund dafür liegt in der ungünstigen Anströmung des Kraftwerkes.

Verbesserung der Anströmung

Wie einleitend erwähnt, musste das Kraftwerk Niederried nachträglich in bestehende Bauten eingepasst werden (Bild 8). Dadurch ergab sich eine scharfe Umlenkung des Wassers am Einlauf in den Oberwasserkanal. Dies bewirkte einerseits eine stark gestörte Anströmung der Turbinen und andererseits immer wiederkehrende Verlandungen auf der

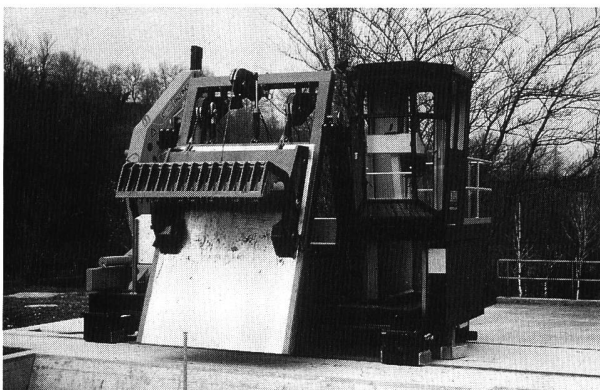


Bild 12. Neue, leistungsstarke Rechenreinigungsmaschine.

Kurveninnenseite. Meterhohe Verlandungen vor und in den Turbineneinläufen (Bild 9) führten zu Leistungsverlusten sowie zu automatischen Turbinenabschaltungen wegen unzulässigen Wellenschwingungen.

Um die am Turbinenmodell nachgewiesenen Verbesserungsmöglichkeiten vollständig ausnützen zu können, sind daher flankierende bauliche Massnahmen erforderlich. Zu diesem Zweck wurden in Zusammenarbeit mit der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW) der ETH Zürich von Februar bis November 1989 wasserbauliche Modellversuche durchgeführt (Bild 10). Das Resultat dieser Versuche ist aus Bild 11 ersichtlich. Eine oberwasserseitig angeordnete, überströmte Bühne lenkt das Geschiebe zur Flussmitte ab. Die Verlängerung des Einlaufkanals durch die Bühne und die linksufrige Leitwand ergeben einen gleichmässigen Zulauf zu den beiden Turbineneinläufen. Eine neue, leistungsstarke Rechenreinigungsmaschine (Bild 12) wird die Einlaufrechen von Geschwemmel und Geschiebe freihalten. Durch die erreichte günstige Anströmung können die Turbinen jederzeit optimal betrieben werden. Die früher oft erforderlichen Lastreduktionen oder gar Turbinenabschaltungen bei Hochwasserzufluss können so eliminiert werden.

Einsatz elektronischer Turbinenregler

Als dritte wichtige Möglichkeit zur Steigerung der Jahresproduktion erwies sich schliesslich der Ersatz der vorhandenen Turbinenregler durch je ein digitales Turbinenleitgerät DTL. Die mechanischen Turbinenregler haben nie befriedigend funktioniert. Insbesondere waren sie durch den Schwellbetrieb des oberliegenden Kraftwerks Schiffenen überfordert. Der gefällsabhängige Zusammenhang zwischen Leitrad und Laufrad war während der meisten Zeit falsch. Dies führte zu einem Wirkungsgradabsturz auf der Propellerkurve (Bild 13) und durch die unkorrekte Anströmung zu vermehrten Kavitationsschäden. Dieses ungünstige Verhalten konnte im Modellversuch augenfällig nachgebildet werden. Bei einem durchschnittlichen Wirkungsgradverlust von 3% konnte die Wirtschaftlichkeit des Einbaus von je einem elektronischen Turbinenregler auf einfache Art nachgewiesen werden. Der Einbau von digitalen Turbinenleitgeräten erforderte allerdings die Erneuerung der bestehenden elektrischen Kraftwerkssteuerung.

Zusammenfassung

Insgesamt darf durch die beschriebenen Massnahmen eine Steigerung der mittleren Jahresarbeit um 10%, das heisst eine Zunahme von 74,5 GWh/Jahr auf 82 GWh/Jahr, erwartet werden. Die Steigerung setzt sich aus folgenden Komponenten zusammen:

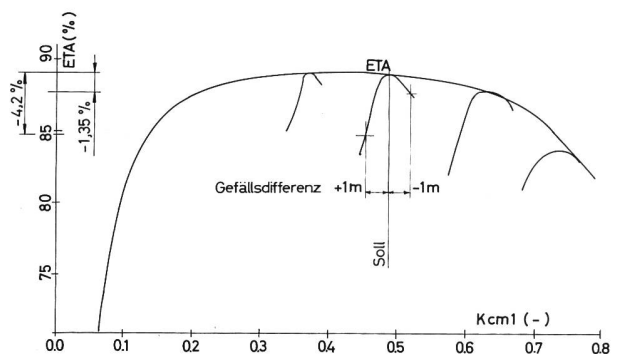


Bild 13. Wirkungsgradabsturz auf der Propellerkurve bei falschem, gefällsabhängigem Leitapparat/Laufrad-Zusammenhang. Dies wird mit den neuen, elektronischen Turbinenreglern vermieden.

- Einbau eines neuen Laufrads +5%
- neues, digitales Turbinen-Leitgerät DTL +3%
- bauliche Massnahmen (Verbesserung der Anströmung, neue Rechenreinigungsmaschine) +2%

Diesem Ertrag stehen die folgenden Aufwendungen gegenüber. Die Generalrevision der beiden Turbinen des Kraftwerks Niederried erfordert einen Betrag von etwa 4 Mio Franken. Diese Summe teilt sich wie folgt auf:

- Massnahmen zur Leistungssteigerung Fr. 1 900 000.-
- Massnahmen für den Umweltschutz Fr. 600 000.-
- übrige Revisionsarbeiten Fr. 1 500 000.-

Dazu kommen die Aufwendungen für eine neue Kraftwerkssteuerung im Betrag von Fr. 800 000.-.

Die baulichen Massnahmen zur Verbesserung der Anströmung kosten mit den Modellversuchen etwa Fr. 1 000 000.-; der Einbau einer leistungsstarken Rechenreinigungsmaschine zusätzlich Fr. 700 000.-.

Insgesamt betragen somit die Kosten für die Generalrevision sowie für die Modernisierung und Leistungserhöhung des Kraftwerks Niederried etwa 6,5 Mio Franken. Das ist zugegebenermassen ein ansehnlicher Finanzbedarf. Berücksichtigt man allerdings die ohnehin erforderlichen Revisionskosten für die beiden Turbinen-Generatorgruppen sowie die Einsparungen durch den Wegfall des Trinkwasserbezugs und der früheren personalintensiven Rechenreinigungsarbeiten, so erzielen die leistungssteigernden Investitionen von etwa 3,5 Mio Franken eine sehr gute Rendite. Aber auch die nicht direkt in Franken umzurechnenden Vereinfachungen der Betriebsführung und Überwachung bringen der BKW beträchtliche Vorteile. Alle Beteiligten freuen sich jedenfalls schon heute auf die bevorstehende Verwirklichung der beschriebenen Erneuerungspläne.

Überarbeitete Fassung eines Vortrags, den der Verfasser an der Kundentagung von Sulzer-Escher Wyss AG am 4. April 1990 in Zürich gehalten hat.

Adresse des Verfassers: Peter Hässig, Chef des Mechanischen Büros, Bernische Kraftwerke AG, Viktoriaplatz 2, CH-3000 Bern 25.

Nordseeforscher entdecken weitere Anzeichen für den Treibhauseffekt

David Welsh

Britische Wissenschaftler sind durch Forschungsarbeiten in der Nordsee zu der Erkenntnis gelangt, dass die Ozeane möglicherweise weniger Kohlendioxid anthropogenen Ursprungs aus der Atmosphäre aufnehmen, als bisher angenommen. Da dieses Gas den grössten Anteil am Treibhauseffekt hat, bedeutet dies, dass sich die Erdatmosphäre womöglich schneller erwärmt, als frühere Prognosen vermuten liessen.

Datensammlung über die Nordsee

Diese und andere wichtige Entdeckungen wurden im Rahmen eines 15monatigen Nordseeprojekts gemacht, das kürzlich vom britischen Natural Environment Research Council (NERC) in Zusammenarbeit mit der Universität Hamburg und dem niederländischen Institut für Meeresforschung abgeschlossen wurde. Schwerpunkte waren die umfassendsten Beobachtungen jahreszeitlicher Zyklen, die je in einem Schelfmeer gemacht wurden, sowie eine Studie über Wassernährstoffe, die eine Fülle von Daten gebracht

hat, wie sie in den vergangenen 20 Jahren nicht erfasst wurden.

Die Daten werden Wissenschaftler bei ihrem Ziel unterstützen, ein realistisches Wasserqualitätsmodell für die Nordsee zu erstellen. Dies soll für präzise Voraussagen über die Ausbreitung der Verschmutzung, über Konsequenzen von Unfällen mit ausgelaufenem Öl und über Auswirkungen von Abfallentsorgungspraktiken eingesetzt werden.

Prognosehilfen dieser Art sollen den Abschluss internationaler Abkommen zwischen Grossbritannien und seinen Nachbarn über die umweltsichere Nutzung der Nordsee beschleunigen.

Zwischen August 1988 und Oktober 1989 fuhr das NERC-Forschungsschiff Challenger 15mal monatlich die gleiche Route ab und überwachte alle wichtigen Regionen der südlichen Nordsee, u. a. auch die Mündungsgebiete der grossen Flüsse, die als Hauptverursacher für die Verschmutzung gelten.

Auf jeder Fahrt haben die Forscher die Qualität der Wasseroberfläche und den Transfer von Chemikalien aus der Atmosphäre ins Wasser und umgekehrt überwacht; sie haben die Wasserbeschaffenheit an 120 festgesetzten Standorten gemessen; sie haben stündlich Strömungen und Temperaturen an bestimmten Standorten gemessen; und sie haben den Chemikalienaustausch zwischen Meeresboden und Wasser geprüft.

Gasaustausch Wasser – Luft

Die gegenwärtig angewendeten wissenschaftlichen Modelle liessen die Vermutung zu, dass etwa die Hälfte des vom Menschen erzeugten Kohlendioxids von den Weltmeeren absorbiert wird. Die britischen Forscher nutzten jetzt erstmals ein neues Verfahren zur Messung der Gasaustauschrates zwischen Luft und Wasser bei hohen Windgeschwindigkeiten. Die Ergebnisse bestätigen eine Theorie, der zufolge nur etwa 30% des Gases von den Meeren geschluckt werden, was sich auf die Geschwindigkeit der globalen Erwärmung auswirken wird.

Untersuchungen der Algenblüte in Verbindung mit den Messungen des Luft-Gas-Austauschs zeigen, dass die Algen zu bestimmten Jahreszeiten Ursache für bis zu einem



Bild 1. Die Challenger, Forschungsschiff des Natural Environment Research Council.