

Frank Roesler

Neue Standsicherheitsnachweise für 80 Jahre alte Wehrwalzen

Im Rahmen der Vertieften Überprüfung seiner Stauseen hat der Ruhrverband neue Standsicherheitsnachweise für die Wehrwalzen am Hengstey- und Harkortsee erstellt. Die Neuberechnung erfolgte jeweils an einem 3-D-Modell mittels der Finite-Elemente-Methode. Gegenüber der ursprünglichen Balkenstatik konnte das tatsächliche Tragverhalten besser erfasst werden. So konnten auch Tragwerkselemente nachgewiesen werden, die seinerzeit rein konstruktiv dimensioniert worden waren.

1 Einleitung

In den Jahren 2004 bis 2009 hat der Ruhrverband eine Vertiefte Überprüfung an den Absperrbauwerken seiner Stauseen durchgeführt. Die Notwendigkeit einer Neuberechnung der Standsicherheit ergab sich aus einer gegenüber der Bauzeit veränderten Normung und durch einen aus dem Landeswassergesetz folgenden Anpassungszwang an die allgemein anerkannten Regeln der Technik. Bestandteil der Vertieften Überprüfung waren eine Neubestimmung der maßgebenden Hochwasserabflüsse und der daraus resultierenden Stauhöhen,

eine Untersuchung der geotechnischen Gegebenheiten und Baustoffeigenschaften, eine Überprüfung des Überwachungskonzeptes, eine Neufassung der Standsicherheitsnachweise sowie eine Zustandsdokumentation und die Überprüfung der konstruktiven Gestaltungsgrundsätze. Hiervon befasst sich die vorliegende Veröffentlichung ausschließlich mit dem Standsicherheitsnachweis der Wehrwalzen am Hengstey- und Harkortsee.

Der Hengsteysee wurde von 1926 bis 1927 als erster in einer Reihe von fünf Ruhrstauseen gebaut [1]. Das dort errichtete Walzenwehr (**Bild 1**) war zur Bauzeit das

größte in Europa überhaupt. Nach dessen Fertigstellung wurde der unterhalb gelegene Harkortsee zwischen 1929 und 1931 in ähnlicher Weise ausgeführt. An beiden Stauseen bestehen die Walzenwehre aus vier Wehrfeldern von jeweils etwa 30 m Breite. Planung und Bau der Anlagen wurden damals unter hohem Zeitdruck durchgeführt und waren fortlaufenden Änderungen unterzogen. Nicht immer entsprach die tatsächliche Ausführung dem letzten Stand der statischen Berechnung. So wurden beispielsweise in der statischen Berechnung für die beiden linksseitigen Wehrwalzen des ersten Bauabschnittes am Hengsteysee noch ein 30 cm zu niedriger Wasserstand angesetzt und die beiden äußeren Walzen des Harkortsees nicht mit der tatsächlich ausgeführten Anordnung von Längs- und Querträgern nachgewiesen.

2 Methodik

Das Prinzip des Walzenwehres ist Anfang des 20. Jahrhunderts durch Max Carstangen von der MAN Gustavsburg entwickelt worden [2]. In den ursprünglichen statischen Nachweisen aus der Bauzeit der Ruhrstauseen konnten die Wehrwalzen nur als biegebeanspruchte Einfeldträger berechnet werden. Hierbei wurden zunächst die einzelnen Belastungen aus Eigengewicht, horizontalem Wasserdruck, Wasserauflast sowie Auftrieb ermittelt und als resultierende Beanspruchung angesetzt. Als Trägerquerschnitt wurden die Blechhaut des eigentlichen Walzenzylinders sowie die Längsträger berücksichtigt. Diese Bauteile sowie auch Blechhaut und



Bild 1: Ansicht des Walzenwehres am Hengsteysee von der Unterwasser-Seite

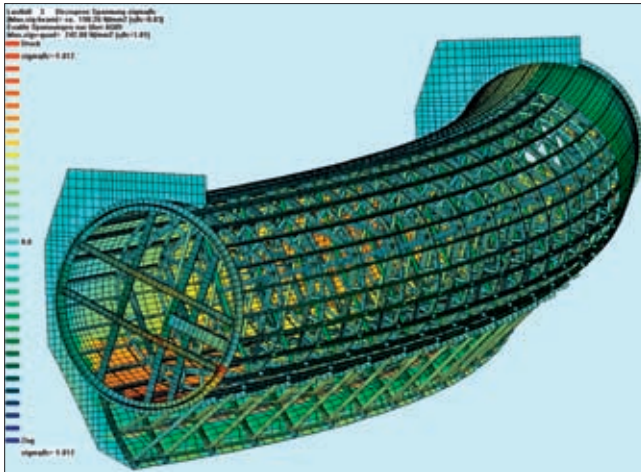


Bild 2: Vergleichsspannungen und Verformungen des FE-Modells an einer Walze am Hengsteysee



Bild 3: Begehung einer Walze am Harkortsee (vor der Innenreinigung)

Träger des Stauschildes konnten so auf der sicheren Seite liegend nachgewiesen werden. Ohne Nachweis blieben seinerzeit hingegen sämtliche Träger der aussteifenden Querrahmen. Ebenso wurden keine Stabilitätsnachweise geführt.

Für die Vertiefte Überprüfung wurde daher beschlossen, eine vollständige Neuerstellung der statischen Berechnung an einem 3-D-Modell aus Schalenelementen und Stäben nach der Finite-Elemente-Methode (FE-Methode) durchzuführen. Im neuen Berechnungsmodell wurden nunmehr alle Träger und Blechhäute mit Ausnahme der Knotenbleche diskretisiert. Die ebenfalls im Rahmen der Vertieften Überprüfung aktualisierten Lastansätze und Materialparameter konnten berücksichtigt werden. Sämtliche Berechnungen erfolgten unter Anwendung des heute üblichen Teilsicherheitskonzeptes mit dem Statikprogramm Sofistik in der Version 21.0.

An den beiden Stauseen sind insgesamt vier unterschiedliche Walzentypen eingebaut worden. Am Hengsteysee wurden zwei Walzen ursprünglich als Versenkwalzen zur Abgabe geringer Abflüsse über den Walzenzylinder ausgeführt. Aufgrund von Problemen mit der Stauschilddichtung wurden diese jedoch nachträglich wieder umgebaut. Sie besitzen einen Durchmesser des Walzenzylinders von $D = 4,40$ m, die beiden übrigen von $D = 4,50$ m. Am Harkortsee besitzen die beiden äußeren Walzenzylinder mit $D = 2,40$ m geringere Durchmesser als die beiden inneren mit $D = 3,30$ m. Mit Ausnahme der beiden äußeren Walzen am Harkortsee, welche durch die Dortmunder Union gefertigt wurden, stammen sämtliche Walzen von der MAN Gustavsburg.

Die Walzen mit dem jeweils größeren Durchmesser des Walzenzylinders wurden an beiden Stauseen mit dem aufwändigen 3-D-Modell nach der FE-Methode nachgewiesen. In Abschnitt 3 wird hierfür der Nachweis der Walzen am Hengsteysee vorgestellt. Der Nachweis des jeweils kleineren Walzentyps erfolgt über eine Vergleichsbetrachtung. Diese Vorgehensweise wird in Abschnitt 4 anhand des Harkortsees erläutert.

3 Nachweis am 3-D-Modell

Zur Berechnung wurde die Wehrwalze am Hengsteysee mit 11 657 Flächen- und 5 729 Stabelementen als 3-D-Modell diskretisiert. Im Berechnungsmodell lag die Stabachse der Längsträger in der Mittel­fläche der Blechhaut, so dass deren Ex­zentrität zu berücksichtigen war. Die einzelnen Stabelemente von Längs- und Ringträgern wurden jeweils biegesteif miteinander verbunden. Dagegen wurden die Träger der Querverbände am Knotenblech jeweils gelenkig angeschlossen. Statt der seinerzeit konstruktiv dimensionierten Knotenbleche wurden in der Berechnung jedoch Kopplungen der jeweils beteiligten Stabenden eingeführt.

Als besonders ungünstig hat sich die Bemessungssituation Ib in tiefster Walzenstellung mit oberwasserseitigem Vollstau und Vernachlässigung des Unterwasserstandes erwiesen. Im Modell erfolgte die Auflagerung des Walzenzylinders beidseitig an den Wehrpfeilern über gelenkige Festhaltungen am Berührungspunkt von Zahnkranz und -stange. Aus numerischen Gründen wurden an beiden

Seiten jeweils fünf Auflager an benachbarten Knoten eingeführt. Diese Lager wurden zweiwertig angenommen, da sowohl der radiale Anpressdruck der Walze abgetragen wird, als auch der tangential Lastabtrag über die Zähne möglich ist. Als drittes Auflager fungierte die Zugkette. In tiefster Stellung umläuft die Zugkette den Walzenzylinder noch etwa über ein Drittel des Umfangs, so dass in der Realität eigentlich eine linienförmige Auflagerung eintritt. Zur exakten Bestimmung der Kettenzugkraft erwies es sich allerdings als günstiger, nur einen punktförmigen Kraft­eintrag in Form eines einwertigen Auflagers an der Berührungsstelle anzunehmen. Eine etwaige Lagerwirkung der Stauschilddichtung blieb im Modell unberücksichtigt. Aus numerischen Gründen wurde am nichtangetriebenen Ende der Wehrwalze ein zusätzliches Lager in Walzen­längsrichtung eingeführt, dessen Auflagerkraft aufgrund nicht vorhandener Beanspruchung in dieser Richtung zu Null wurde.

Sämtliche Nachweise erfolgten nach dem Verfahren elastisch-elastisch für die Stahlgüte St 37. Die Vergleichsspannungen in der Blechhaut konnten direkt aus dem Berechnungsmodell entnommen werden (**Bild 2**). Alle ermittelten Vergleichsspannungen lagen unterhalb der zulässigen Beanspruchbarkeiten. In Walzenmitte haben sich mit $18,90 \text{ kN/cm}^2$ die größeren Vergleichsspannungen an der Unterwasserseite der Walze ergeben. An der Walzen­vorderseite konnten in Walzenmitte die Nachweise gegen Beulen mit dem vereinfachten Verfahren über $\text{grenz}(b/t)$ erbracht werden. An den auch in der Ursprungsstatik nachgewiesenen Längsträgern hat sich

mit 0,91 ein höherer Ausnutzungsgrad ergeben als an den seinerzeit konstruktiv gewählten Ring- und Querträgern. Innerhalb des Querverbandes ergab sich aus der Stabilitätsbetrachtung die höchste Ausnutzung an den beiden Diagonalträgern, welche jeweils gegenüber liegende Knotenbleche miteinander verbinden. Gegen Biegeknicke um die schwache Achse werden die Diagonalträger jeweils durch einen zusätzlichen Verbindungsträger gehalten. So ergab sich bei Biegeknicke um die schwache Achse eine Ausnutzung von 0,64 und um die starke Achse von 0,71. Die Berechnungen haben gezeigt, dass die konstruktiv dimensionierten Bauteile über größere Sicherheitsreserven verfügen als die seinerzeit rechnerisch bemessenen. Aus der nicht übermäßigen Größe der Sicherheitsreserven kann andererseits aber auch geschlossen werden, dass auch ohne die heutigen Berechnungsmöglichkeiten über genügend Erfahrung verfügt wurde, um zu sinnvollen Trägerabmessungen zu gelangen.

Zur Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit wurde die Durchbiegung in Walzenmitte zu 2,32 cm bestimmt. An der Rückseite ergab sich daraus im Bereich der Auflagerpunkte eine beidseitige Verlängerung des Walzenzylinders von 0,48 cm in Walzenlängsrichtung. Aus einer ebenso zu berücksichtigenden Temperaturveränderung von 20 K im Sommer folgten weitere 0,38 cm, so dass sich eine rechnerische Gesamtverschiebung von 0,86 cm ergab. Längenänderungen in dieser Größenordnung waren hinsichtlich der Gebrauchstauglichkeit unproblematisch, weil sich an Zahnkranz und -stange zwischen der Abrollfläche und den eigentlichen Zähnen ein Abstand von etwa 2,20 cm zum Ausgleich von Längenschwankungen befindet.

4 Vergleichsbetrachtung

Wie bereits erwähnt erfolgte an beiden Stauseen der Nachweis der jeweils kleineren Walze über eine händische Vergleichsbe-

trachtung analog zur ursprünglichen statischen Berechnung. Am Harkortsee besitzen die kleineren, von der Dortmunder Union gefertigten Walzen gegenüber den MAN-Walzen eine geringere Anzahl an Längsträgern, welche dafür aber stärker dimensioniert wurden. Der Innenraum der MAN-Walzen wird in **Bild 3** gezeigt. Ohne Berechnung konnte nicht entschieden werden, welche Konstruktion ungünstiger ist. Aus der Vergleichsrechnung an beidseitig gelagerten Einfeldträgern folgten für den kleineren Walzendurchmesser tatsächlich geringere Spannungen an Walzenblech, Stauschildblech und Längsträgern. Anhand dieser Ergebnisse an den auch in der Ursprungsstatik nachgewiesenen Bauteilen wurde darauf geschlossen, dass auch die übrigen, konstruktiv gewählten Bauteile an den kleineren Walzen ausreichend dimensioniert worden sind. Auf eine aufwändige 3-D-Modellierung dieser Walzen konnte daher verzichtet werden.

5 Zusammenfassung

An beiden Stauseen konnte die statische Standsicherheit der Wehrwalzen auch unter Berücksichtigung der neuen Normen und Bemessungsgrundlagen nachgewiesen werden. An den auch in der Ursprungsstatik rechnerisch nachgewiesenen Bauteilen wurden höhere Ausnutzungsgrade ermittelt als an den seinerzeit konstruktiv gewählten. Hierzu zählen auch die Querverbände, für deren Träger nun auch Stabilitätsnachweise geführt worden sind. Auch ohne die heutigen Berechnungsmöglichkeiten sind seinerzeit an den nicht einzeln bemessenen Trägern aus dem damaligen Erfahrungsschatz sinnvolle Abmessungen gewählt worden.

Frank Roesler

New Proofs of Stability for 80 Years old Roller Drum Gates

As part of the deepened examination of its reservoirs the Ruhrverband has re-assessed the stability of the roller drum gates at the Lakes Hengstey and Harkort weirs. The recalculation was necessary because construction standards have changed from when the structures were commissioned and due to legal obligations resulting from the State Water Act, requiring adaptation to the state-of-the-art. Additionally, modified design assumptions resulting from the deepened examination, e. g. unfavourable design floods and loadings, had to be considered. The recalculations of the two gates were performed on 3-D models using the finite element method. Compared with the original structural analysis, in which the gates were modelled as two mounted beams, it was possible to reproduce the real structural behaviour much better and to assess minor structural elements as the cross girders.

Франк Роеслер

Новые параметры/критерии определения надежности 80-летних плотинных валов

В рамках углубленной проверки водохранилищ своего региона Рурский Союз разработал новую техническую документацию с целью определения надежности плотинных валов на озерах Хенгстейзее и Харкортзее. Новый расчет был произведен на основе трехмерной модели с использованием метода конечных элементов. В отличие от ранее применяемого метода замера балочной статки в данном случае были более точно дефинированы фактические несущие характеристики. Таким образом, могли быть определены также параметры элементов несущей поверхности, которые в свое время были дименционированы чисто конструктивно.

Autor

Dipl.-Ing. Frank Roesler

Ruhrverband

Abteilung Talsperrenüberwachung
und Geotechnik

Kronprinzenstraße 37

45128 Essen

frank.roesler@ruhrverband.de

Literatur

- [1] Spetzler, O.; Strobel, H.: Der Hengsteysee im neu gestalteten Ruhrtal als Erholungsstätte und Kraftquelle. Essen: Selbstverlag der Seegesellschaft mbH Hengstey, 1930.
- [2] Walbrach, K. F.: Erinnerung an Max Carstanjen (1856-1934) – Brückenbauer, Werksleiter, Begründer des Großwehrbaues in Gustavsburg. In: Bautechnik 83 (2006), Heft 12, S. 854-867.