

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

Kohout, Christian; Kranawettreiser, Jörg; Thürmer, Konrad Schwingungen unterströmter Schütze

Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit/Provided in Cooperation with:

Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/103268>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Kohout, Christian; Kranawettreiser, Jörg; Thürmer, Konrad (2017): Schwingungen unterströmter Schütze. In: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik (Hg.): Bemessung im Wasserbau - Klimaanpassung, Untersuchungen, Regeln, Planung, Ausführung. Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen 58. Dresden: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik. S. 135-142.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



Schwingungen unterströmter Schütze

Christian Kohout
Jörg Kranawettreiser
Konrad Thürmer

Unterströmte Schütze können bei großem Schützenhub in Schwingungen geraten, wenn die resultierende Druckkraft aus Ober- und Unterwasserstand im unteren Rollen- oder Kipplager oder tiefer angreift. In diesem Fall wird das obere Lager entlastet und das Schütz kann Drehschwingungen um das untere Lager ausführen. Voraussetzung ist eine Abstimmung der Eigenfrequenz des Schützes (einschließlich der mitschwingenden Wassermasse) mit der Erreger- und der Eigenfrequenz der Strömung sowie eine Rückkopplung (über die Umlauffrequenz der Walze im Unterwasser des Schützes). Die strömungsbedingten Frequenzen können mittels der Theorie von Bünger ermittelt werden.

Stichworte: Schwingung, Schütz, Eigenfrequenz der Strömung, Erregerfrequenz der Strömung

1 Frequenzen

1.1 Eigenfrequenz des Schützes

Die Eigenfrequenz des Schützes bei Drehung um das untere Lager ergibt sich aus dem Trägheitsmoment des Schützes unter Berücksichtigung der mitschwingenden Wassermasse. Aus den Untersuchungen zum Wehr Gnevsdorf ist bekannt, dass diese mitschwingende Wassermasse als Walze mit der Eintauchtiefe des Schützes ins Unterwasser als Durchmesser berechnet werden kann. Tatsächlich wird der Querschnitt dieser Walze nicht kreisförmig sein, sondern eher zu einem Dreieck verformt, für die Berechnung ist aber die Annahme der Kreisform ausreichend. Die Berücksichtigung der mitschwingenden Wassermasse führt dazu, dass die Eigenfrequenz des Schützes f_0 von der Eintauchtiefe ins Unterwasser abhängt.

1.2 Frequenzen der Strömung

Am Wehr Gnevsdorf konnte nachgewiesen werden, daß die von der Bünger'schen Theorie vorausgesagten Frequenzen

Erregerfrequenz der Strömung $f_E = g/(2*v)$

Eigenfrequenz der Strömung $f_S = v/(2*R)$

(jeweils gebildet mit der Geschwindigkeit v im freigegebenen Öffnungsquerschnitt und dem hydraulischen Radius im engsten Querschnitt $\mu*a$) miteinander in einem resonanznahen Zustand sein müssen ($\pm 30\%$), damit Schwingungen auftreten können. Weiterhin muß dieser Resonanzzustand mit der Eigenfrequenz des Schützes oder einem ganzzahligen Vielfachen davon abgestimmt sein.

1.3 Frequenzen der Walzen

Stromab des Schützes verengt sich der Ausflusstrahl von der freigegebenen Öffnungshöhe a (Schützenhub) auf $\mu*a$. Verbunden ist damit, dass sich am Schütz eine Walze mit der Höhe $h_{UW} - \mu*a$ und der Länge $6*(h_{UW} - \mu*a)$ ausbildet, wenn sowohl der Schützenhub a als auch die Unterwassertiefe h_{UW} auf den Fachbaum bezogen werden. Diese Walze wird – genauso wie die Walze der mit-schwingenden Wassermasse – von der Strömungsgeschwindigkeit v im engsten Querschnitt angetrieben. Die Frequenzen, welche mit der Bewegung dieser Walzen verbunden sind, sind die Umlauffrequenzen. Sie ergeben sich aus dem Walzenumfang, dividiert durch die Antriebsgeschwindigkeit (= Strahlgeschwindigkeit $v = \sqrt{2*g*(h_{OW} - h_{UW})}$).

Für die mitwirkende Walze ergibt sich der Umfang zu $\pi*(h_{UW}-a)$, demnach die Umlauffrequenz zu $f_{U,mW} = v/(\pi*(h_{UW}-a))$.

Die strahlbedingte Walze kann als Ellipse aufgefaßt werden mit der kleinen Halbachse $A = 0,5*(h_{UW}-a)$ und der großen Halbachse $B = 3*(h_{UW}-a)$ sowie dem Umfang $U = \pi*[1,5*(A+B) - \text{Wurzel}(A*B)] = \pi * 4,025 * (h_{UW}-a)$ und damit

$$f_U = v/(\pi*4,025*(h_{UW}-a)) = f_{U,mW}/4,025.$$

In der Schnittzeichnung (Abbildung 2) sind die Walzen als Kreis und Ellipse eingezeichnet, welche sich durchdringen. Tatsächlich wird sich jedoch die mitwirkende Walze eng an das Schütz anschmiegen (und dabei vom Kreis zu einem Dreieck verformen), so daß sich beide (mit gleicher Umfangsgeschwindigkeit v angetriebenen!) Walzen berühren.

Die Berechnungen werden am Beispiel des Einlaßwehres Neuwerben an der Havelmündung vorgestellt. An diesem Wehr traten zeitlich sehr eng begrenzt Schwingungen bei Schützenhuben von ca. 4,5 m auf, welche bei Verringerung des Schützenhubes (bei gleichbleibenden Ober- und Unterwasserständen) aufhörten.

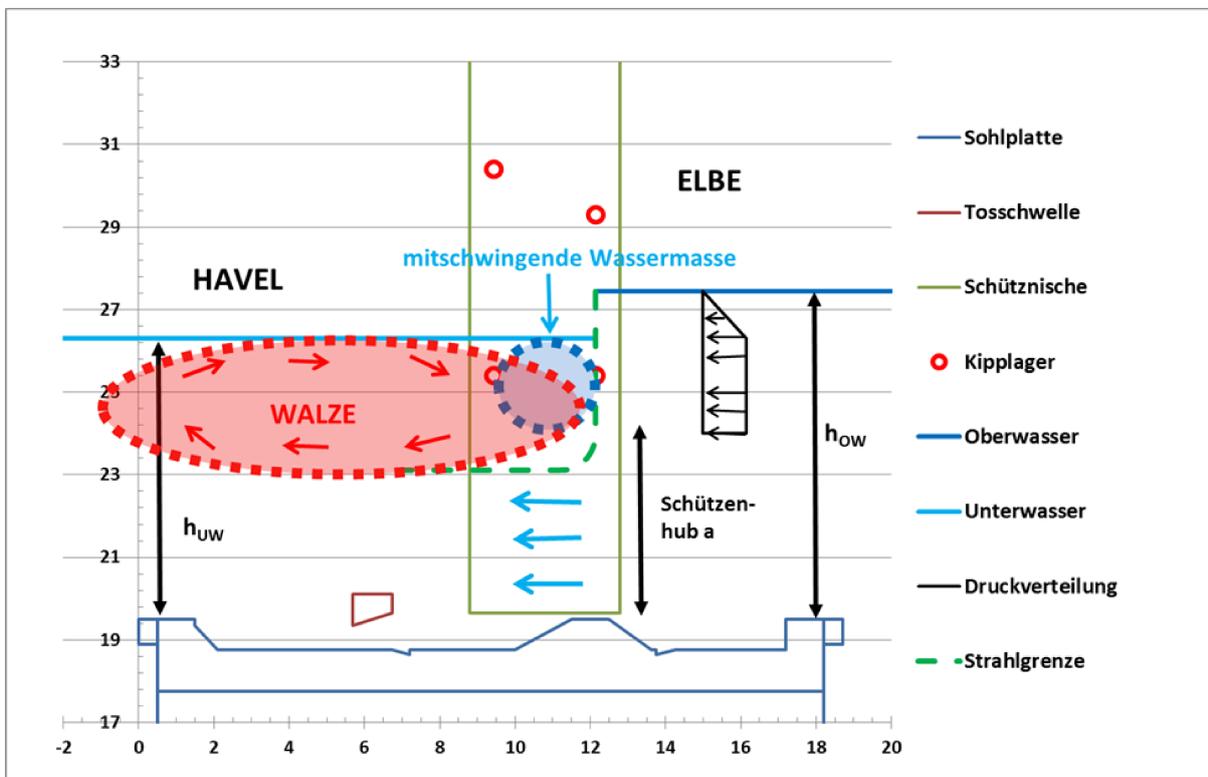
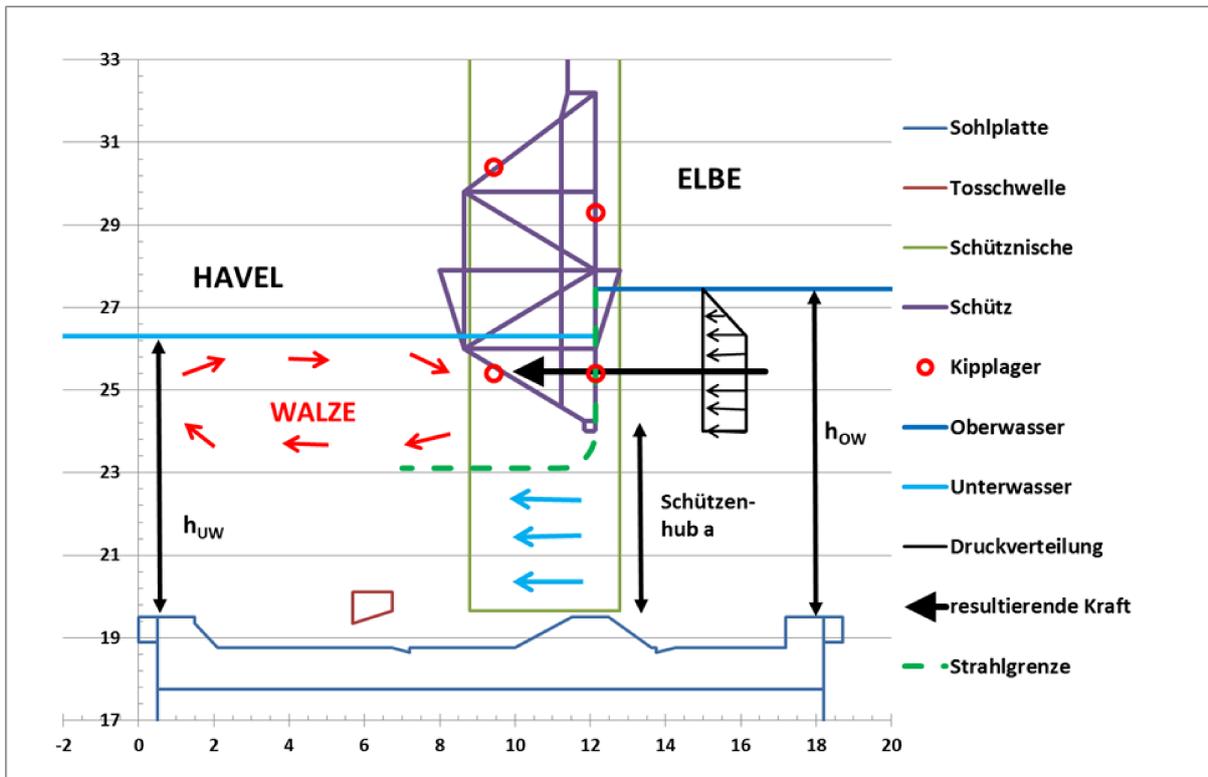


Abbildung 2: Schematische Anordnung der Walzen

2 Rückkopplung

Die oben angegebenen Erreger- und Strömungsfrequenzen treten im engsten Querschnitt des Strahls hinter dem Schütz auf. Damit sie auf das Schütz einwirken können, ist eine Rückkopplung erforderlich. Diese erfolgt zum einen durch eine „mitwirkende Walze“, welche direkt am Schütz, unterwasserseitig, mit dem Durchmesser gleich der Eintauchtiefe des Schützes ins Unterwasser, die Verbindung vom Strahl zum Schütz herstellt und gleichzeitig mit ihrer Masse die schwingende Masse des Schützes vergrößert. Die Existenz und Größe dieser Walze wurde bei den Modelluntersuchungen am Wehr Gnevsdorf ermittelt. In Abbildung 2 ist diese Walze blau gezeichnet.

Wird die Ausbildung dieser Walze gestört, z.B. durch Anbringen von Platten am Untergurt des Schützes, so kann unter Umständen die Rückkopplung unterbunden werden.

Eine zweite Rückkopplung stellt sich ein, weil der Strahl unter dem Schütz Wasser aus dem Unterwasser aufnimmt, welches dann wieder abgegeben werden muss. Damit stellt sich eine Walze ein, deren vertikale Abmessung gleich der Entfernung vom Unterwasserspiegel bis zur Strahlgrenze ist, während die horizontale Abmessung gleich dem Sechsfachen dieses Wertes ist. Diese Walze ist rot eingetragen.

3 Schwingungsgefährdung des Schützes

Mit den vorstehenden Erläuterungen ist es nun möglich, für einen beliebigen Zustand des Wehres Neuwerben, charakterisiert durch Oberwasserstand der Elbe am Pegel Neuwerben Elbepegel, Unterwasserstand der Havel am Pegel Quitzöbel Binnenpegel sowie Schützenhub, alle maßgebenden Frequenzen

- Erregerfrequenz f_E ,
- Strömungsfrequenz f_S ,
- Walzen-Umlauffrequenzen f_U und $f_{U,mW}$,
- Eigenfrequenz des Schützes f_0

zu berechnen und daraus abzuleiten, ob die Gefahr der Drehschwingung um das untere Kipplager besteht oder nicht. In den folgenden grafischen Darstellungen sind jeweils die Fenster der Abstimmung von Erregerfrequenz, Strömungsfrequenz und Umlauffrequenz der mitwirkenden Walze einerseits und Eigenfrequenz des Schützes und Walzen-Umlauffrequenz andererseits rot umrahmt. Zu bemerken ist, dass die ganzzahligen Vielfachen der Eigenfrequenz durch das

obere Fenster verlaufen und damit auch eine Abstimmung der oberen drei Frequenzen mit der Eigenfrequenz vorhanden ist.

Es ist jeweils an Hand des Schützenshubes erkennbar, ob ein Schwingungszustand vorliegt oder nicht.

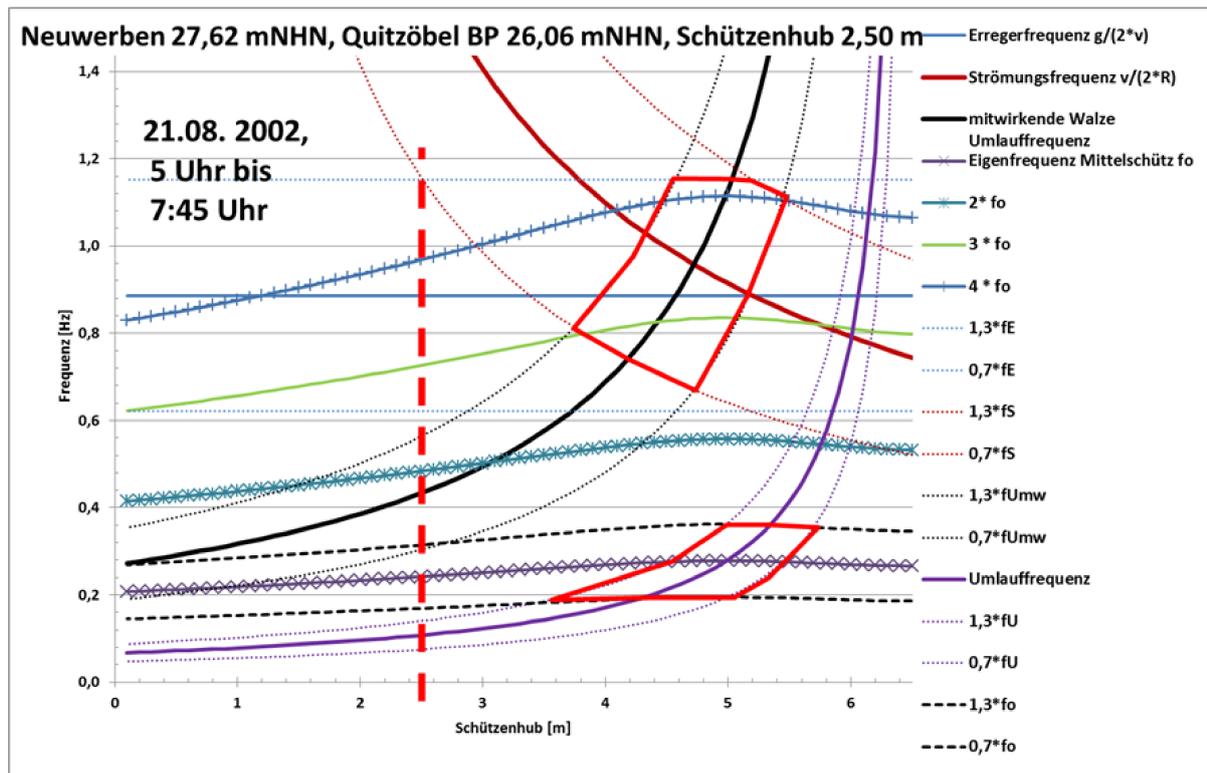


Abbildung 3: keine Schwingungen

In Abbildung 3 ist der Schützenshub von 2,5 m soweit von den Fenstern der möglichen Abstimmung entfernt, dass keine Schwingung möglich ist. Die vierfache Eigenfrequenz des Schützes liegt zwar sehr nahe bei der Erregerfrequenz der Strömung, aber es fehlt die Rückkopplung über die Walzen. Deren Frequenzen liegen zu weit entfernt.

Mit fortschreitender Füllung der Havel nimmt der Oberwasserstand ab und der Unterwasserstand zu. Damit verändern sich auch die Abstimmungsfenster. Bei einem Schützenshub von 3,8 m beginnen die Schwingungen (Abbildung 4), wenn der Balken des Schützenshubes das Abstimmungsfenster berührt.

Bei weiterer Erhöhung des Schützenshubes auf 4,5 m (Abbildung 5) liegt der Balken des Schützenshubes ganz im Abstimmungsfenster und es treten ausgeprägte Schwingungen auf.

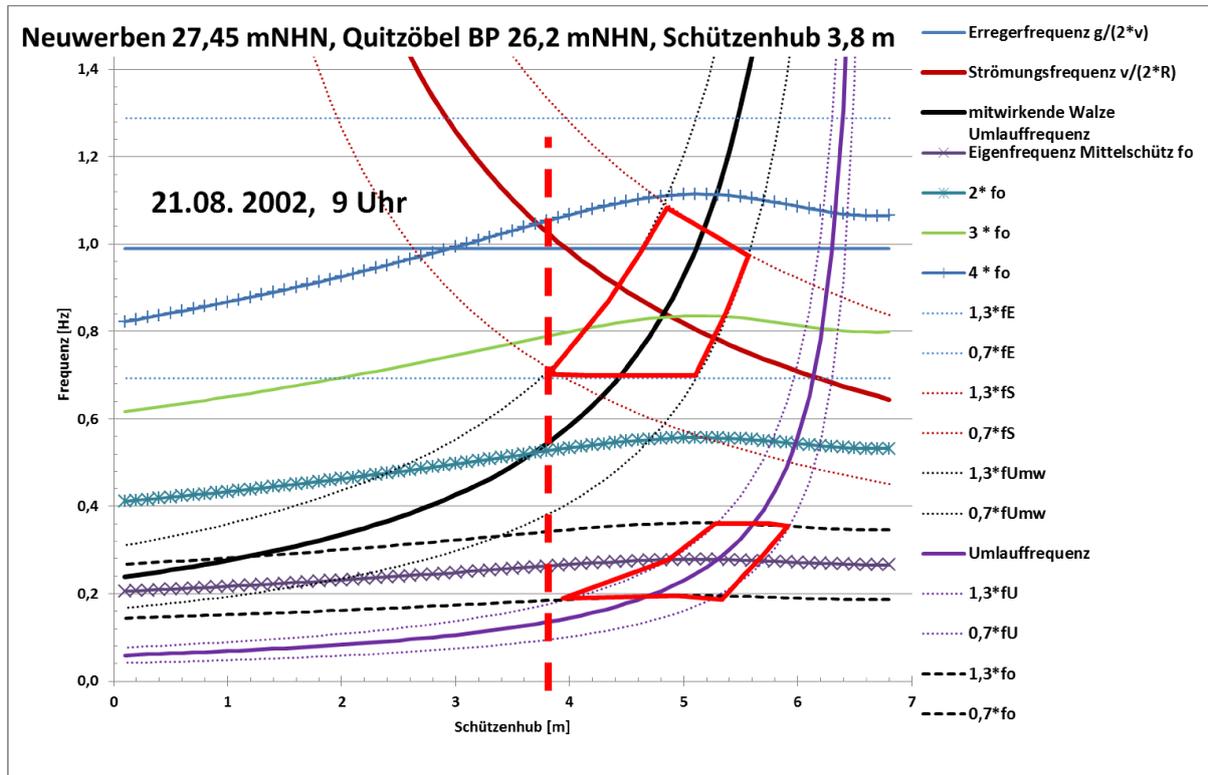


Abbildung 4: Schwingungen beginnen

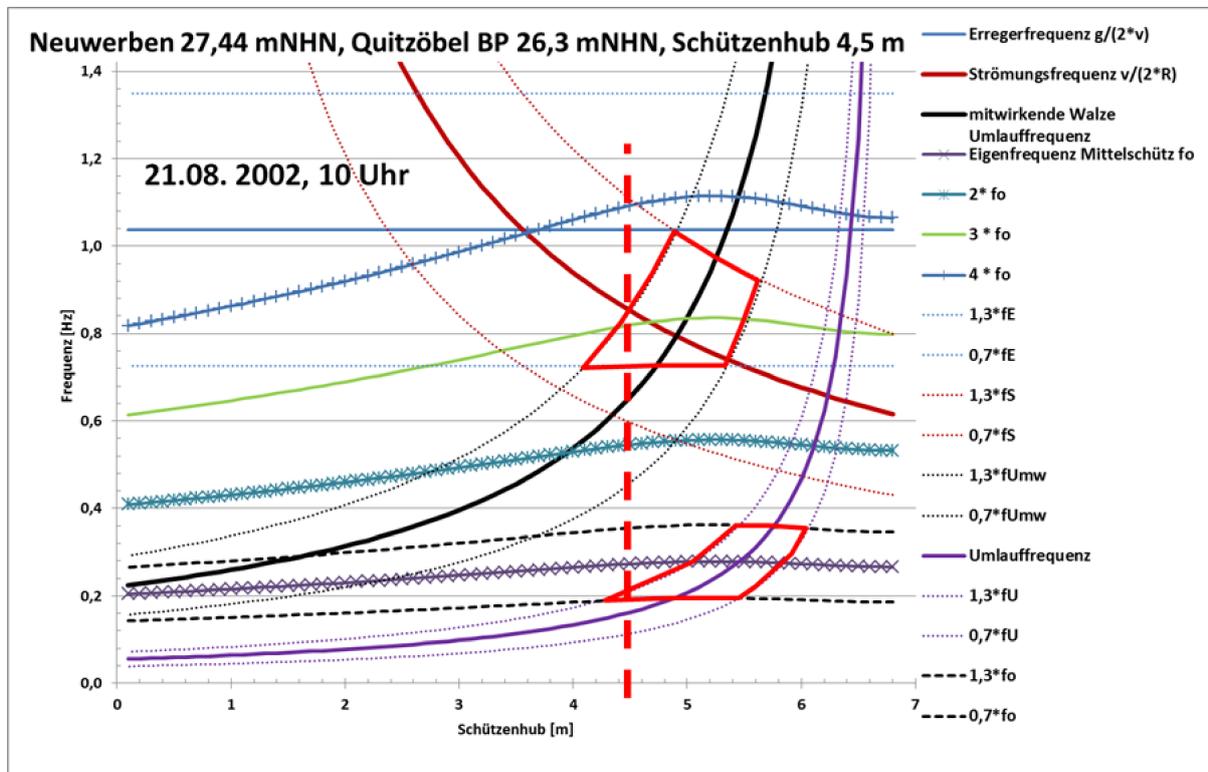


Abbildung 5: ausgeprägte Schwingungen

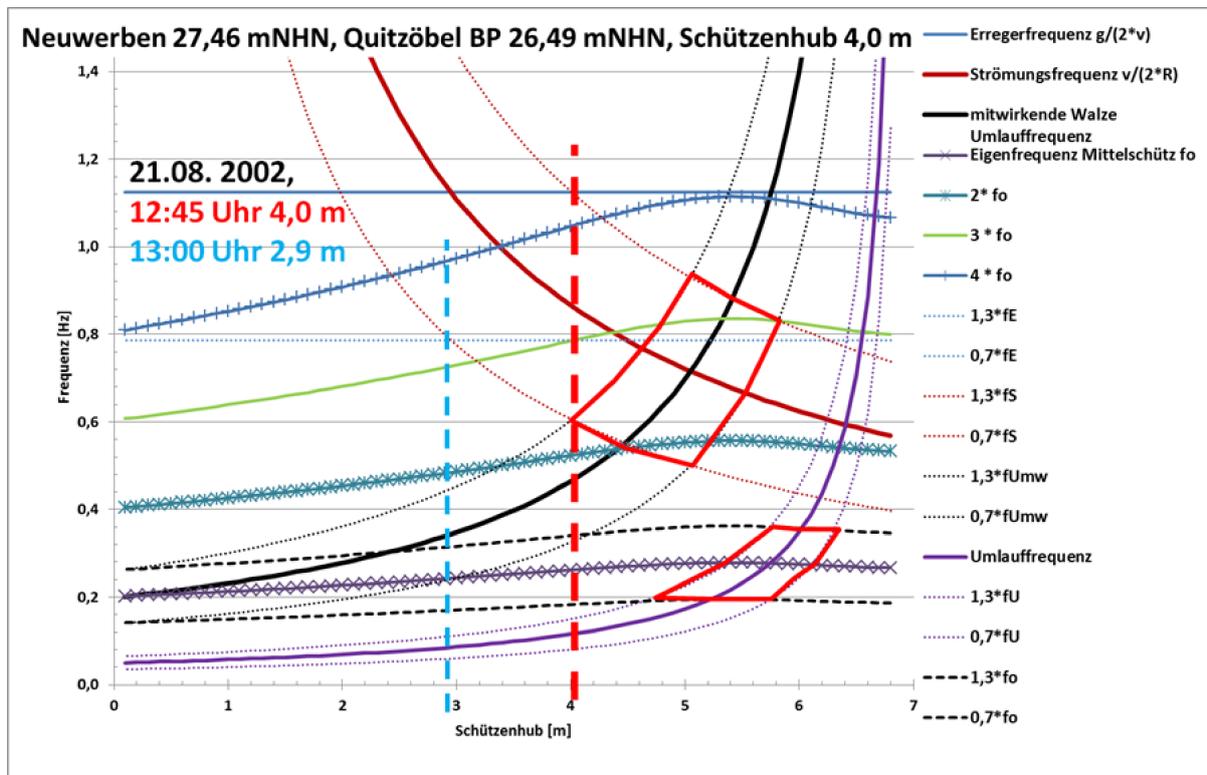


Abbildung 6: Schwingungen bei 4 m Schützenhub und Erlöschen der Schwingungen bei Verringerung des Schützenhubes auf 2,9 m

Bei einer Verringerung des Schützenhubes ist wieder keine Abstimmung mehr möglich, weil die Rückkopplung fehlt. Außerdem ist dann die notwendige Voraussetzung, dass die resultierende Druckkraft im Kipplager oder unterhalb angreift, nicht mehr gegeben.

4 Zusammenfassung

Unter Nutzung der Erkenntnisse über die mitschwingende Wassermasse bei eingetauchten Schützen und der Erreger- und Eigenfrequenzen nach Bünger kann für ein beliebiges Schütz ermittelt werden, ob eine Schwingungsgefährdung vorliegt oder nicht, wenn die notwendige Bedingung der Entlastung des oberen Dreh- oder Kipplagers gegeben ist. An Hand der Beobachtung der Schwingungen am Wehr Neuwerben konnte nachgewiesen werden, dass ein solches Vorgehen erfolgreich ist.

5 Literatur

- Kranawettreiser, J.; Schneider, O. (1986): Untersuchungen zum Sommerstauwehr Gnevsdorf. Hydrolabor Schleusingen 1986, (unveröffentlicht)
- Kranawettreiser, J. (1986): Schwingungsuntersuchungen am Wehr Gnevsdorf. Hydrolabor Schleusingen 1986 (unveröffentlicht)
- Kohout, C.; Sauerwein, J.; Wilhelm, C.; Kranawettreiser, J. (2011): Modelluntersuchungen am Wehr Neuwerben. Hydrolabor Schleusingen 2011 (unveröffentlicht)

Autoren:

Dipl.-Ing. Christian Kohout

Institut für Wasserwirtschaft, Siedlungswasserbau und Ökologie (IWSÖ) GmbH
Coudraystraße 4
99423 Weimar

Tel.: +49 3643 4581851
Fax: +49 3643 4581852
E-Mail: christian.kohout@iwsoe.de

Prof. Dr.-Ing. habil. Jörg Kranawettreiser

Institut für Wasserwirtschaft, Siedlungswasserbau und Ökologie (IWSÖ) GmbH
Hydrolabor Schleusingen
Themarer Straße 16c
98553 Schleusingen

Tel.: +49 36841 530911
Fax: +49 36841 530915
E-Mail: joerg.kranawettreiser@uni-weimar.de

Dr.-Ing. Konrad Thürmer

Brandenburgische Technische Universität
Cottbus-Senftenberg
Lehrstuhl Wassertechnik
Siemens-Halske-Ring 8
03046 Cottbus

Tel.: +49 355 69 4303
Fax: +49 355 69 3025
E-Mail: konrad.thuermer@b-tu.de