

Grundwassermessungen an der Mainschleuse Eddersheim

Groundwater Measurements at the Eddersheim Lock

Dipl.-Ing. Charlotte Laursen, Dr.-Ing. Bernhard Odenwald, Bundesanstalt für Wasserbau

Zur Durchführung von Instandsetzungsarbeiten war eine erneute Trockenlegung der Doppelschleuse Eddersheim geplant. Da bei vorangegangenen Trockenlegungen an den zur Grundwasserdruckentspannung wasserdurchlässig gestalteten Kammersohlen Wasserzutritte mit Bodenaustrag beobachtet wurden, wurden die Grundwasserpotenzialverhältnisse im Bereich der Schleuse untersucht. Dazu wurden unmittelbar neben den Schleusen 12 sowie in der Sohle der Nordkammer weitere drei Grundwassermessstellen hergestellt und eine kurze Probetrockenlegung durchgeführt. Auf Grund der Messungen konnten Angaben über den zu erwartenden Grundwasserüberdruck unter der Schleusensohle bei Trockenlegung gemacht werden.

Repair work at the Eddersheim twin lock required prior emptying of the lock. As previous emptyings had resulted in leakage and soil erosion at the chamber base, which is water permeable to allow groundwater pressure relief, groundwater conditions were examined in the lock area. For this purpose, 12 groundwater observation wells were installed alongside the lock, plus another three piezometers at the bottom of the northern lock chamber, and brief test emptying was performed. Based on the measurements, the expected overload groundwater pressure below the base of an empty lock chamber could be assessed.

1 Einführung

Introduction

Die Doppelschleuse Eddersheim befindet sich bei Main-km 15,55 in einem kurzen, vom Main abzweigenden Schleusenkanal südöstlich der Ortschaft Eddersheim unmittelbar neben dem Kraftwerk und dem Mainwehr (Bild 1).

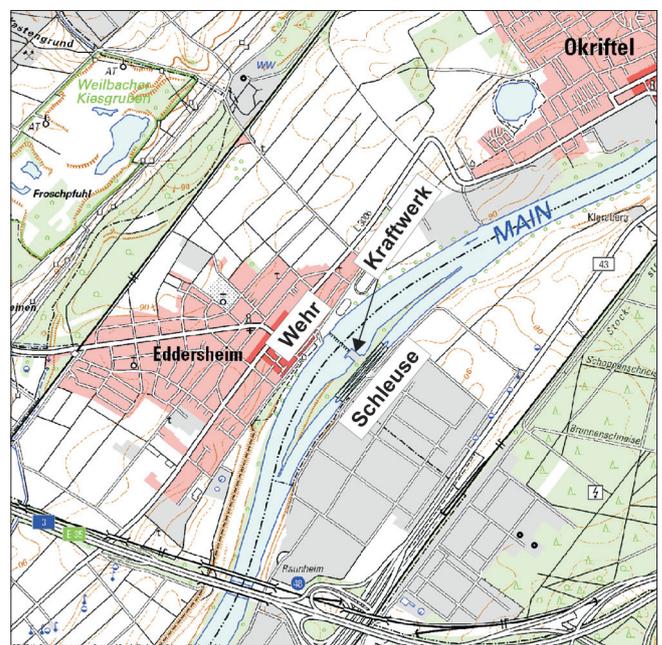


Bild 1: Lageplan Schleuse und Wehr Eddersheim
Figure 1: Site map of Eddersheim lock and weir

Um dringend erforderliche Instandsetzungsarbeiten durchführen zu können, ist eine Trockenlegung von jeweils einer der beiden Schleusenkammern geplant. Da bei den vorangegangenen Trockenlegungen der Schleusen 1999 und 2006 in der Kammersohle Wasserzutritte mit Materialtransport auftraten, wurden Messungen zur Ermittlung der Grundwasserpotenzialverhältnisse im Bereich der Schleuse durchgeführt um gesicherte Eingangsparameter für die Standsicherheitsberechnungen zu gewinnen.

2 Bauwerk *Structure*

Die beiden von 1929 bis 1935 erstellten Schleusen haben eine Hubhöhe von ca. 3,60 m und eine nutzbare Kammerlänge von jeweils ca. 345 m. Die nutzbare Breite der Nordkammer beträgt 12 m und die der Südkammer 15 m. Die Schleusenkammern sind als Spundwand-schleusen mit seitlichen, bis unter die Kammersohle reichenden, zweilagig rückverankerten Spundwänden ausgebildet (Bild 2). Nur die Häupter sind als Massivbauwerke ausgeführt.

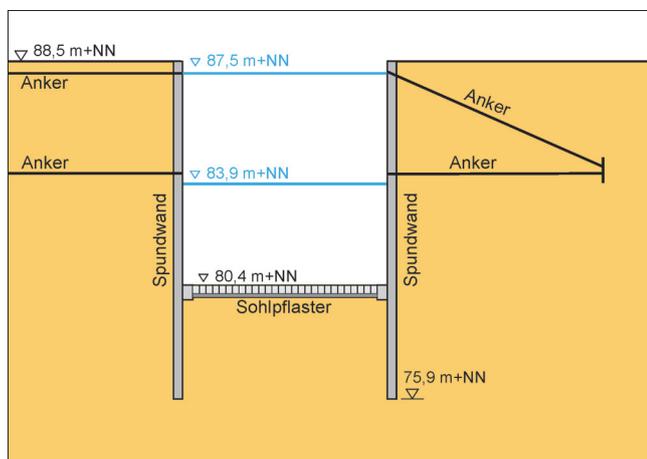


Bild 2: Querschnitt der Schleusenkammer
Figure 2: *Cross section of the lock chamber*

Die Kammersohlen bestehen aus unbewehrten Beton-druckriegeln zur Aussteifung der seitlichen Spundwände. Die Druckriegel haben eine Breite von 1,2 m und eine Höhe von 1,0 m und wurden in einem regelmäßigen Abstand von 3,6 m hergestellt. Zwischen den Druckriegeln wurde ein Sechseck-Prismenpflaster mit einer Höhe von 0,6 m und einem Durchmesser von 0,4 m auf einer 25 cm dicken Feinkies-schicht und einer darunter angeordneten 5 cm dicken Splittschicht eingebaut. Die Herstellung des Prismenpflasters erfolgte in Ortbetonbauweise mittels vorgefertigter Schalungselemente. Bild 3 aus der Bauzeit zeigt die Herstellung des Sohlpflasters zwischen den Druckriegeln. Die nach Ziehen der Schalungselemente entstehenden Fugen zwischen dem Prismenpflaster wurden wahrscheinlich mit Sand verfüllt. Durch das zwischen den Betonriegeln mit Fugen verlegte Sohlpflaster sollten eine Wasserdurchlässigkeit der Kammersohlen und dadurch eine Druckentspannung des Grundwassers unterhalb der Kammersohlen insbesondere bei einer Trockenlegung erzielt werden.



Bild 3: Herstellung des Sohlpflasters
Figure 3: *Execution of the pavement at the base of the lock*

3 Untersuchungen *Investigations*

Nachstehend sind die durchgeführten Untersuchungen zur Erkundung der Grundwasserverhältnisse und zur Ermittlung der Grundwasserdrücke unter den Schleusenkammern bei Trockenlegung beschrieben.

3.1 Einrichtung von Grundwassermessstellen

Installation of groundwater observation wells

Da keine ausreichenden Kenntnisse über den Baugrundaufbau und die Grundwasserverhältnisse vorlagen, wurden in einem ersten Schritt beidseitig der Doppelschleuse Aufschlussbohrungen durchgeführt und diese zu Grundwassermessstellen ausgebaut. Die Auswertung der Grundwasserpotenziale in diesen Messstellen bei unterschiedlichen Schleusenwasserständen sollte eine Aussage über den zu erwartenden Grundwasserüberdruck unter der Schleusensole bei Trockenlegung ermöglichen.

Im März und April 2008 wurden in drei Messquerschnitten (Bild 4) mainseitig der Nordkammer und landseitig der Südkammer insgesamt 12 Bohrungen hergestellt (6 flache und 6 tiefe) und diese zu Grundwassermessstellen ausgebaut. Dabei wurden jeweils 2 Bohrungen (tief und flach) direkt nebeneinander ausgeführt. Die tiefen Bohrungen wurden 18 m tief abgeteuft, um ausreichende Informationen über den Baugrund zu erhalten. Die tiefen Bohrungen wurden mit einer Filterstre-

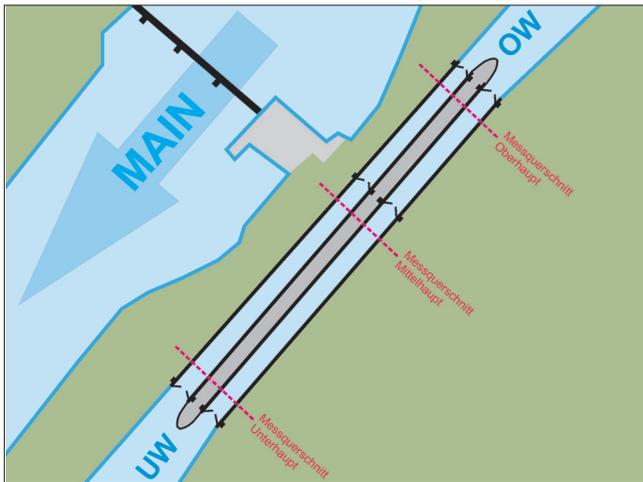


Bild 4: Schleusenquerschnitt mit Grundwassermessstellen
 Figure 4: Cross section of the lock with groundwater observation wells

cke aus Mineralkornfilter zwischen NN + 74,5 m und NN + 76 m ausgebaut, um das Grundwasserpotenzial am Spundwandfuß zu ermitteln. Die flachen Bohrungen wurden 10 m tief abgeteuft und zwischen NN + 78,5 m und NN + 80 m verfiltert. Bild 5 zeigt den Querschnitt durch die beiden Schleusenkammern mit den Grundwassermessstellen, wobei die in jedem Messquerschnitt in der Kammersohle angeordnete Messstelle erst später hergestellt wurde (siehe Kapitel 3.4). Die beiden unterschiedlich tief angeordneten Filter der Grundwassermessstellen ermöglichen die Ermittlung des Potenzialabbaus über die Höhe bei vertikaalem Grundwasserströmungsanteil.

3.2 Baugrund- und Grundwasser- verhältnisse *Underground and groundwater conditions*

Die Bohrungen zeigten über die gesamte Erkundungstiefe überwiegend Kiese und Mittel- bis Grobsande. In deutlich geringerem Umfang wurden Feinsande angetroffen. Nur vereinzelt wurden geringmächtige Schluff- und Tonlinsen erbohrt. Auf Grundlage der durchgeführten Bohrungen war die Annahme einer durchgängigen bindigen Schicht unterhalb der Spundwandunterkanten, wie sie auf Grundlage von Altbohrungen vermutet wurde, nicht gerechtfertigt. Weiterhin waren auch keine durchgängigen bindigen Zwischenschichten erkennbar, die zu einer wesentlichen Verringerung der vertikalen Durchlässigkeit führen könnten. Aus den Kornverteilungen wurden charakteristische Durchlässigkeiten für die Bodenschichten Kies, Mittel- bis Grobsand und Feinsand ermittelt. Daraus wurden über die Schichtdicken gewichtete vertikale und horizontale Durchlässigkeiten berechnet. Insgesamt ergaben die Untersuchungen eine hohe hydraulische Durchlässigkeit des Baugrunds mit einer relativ geringen Anisotropie.

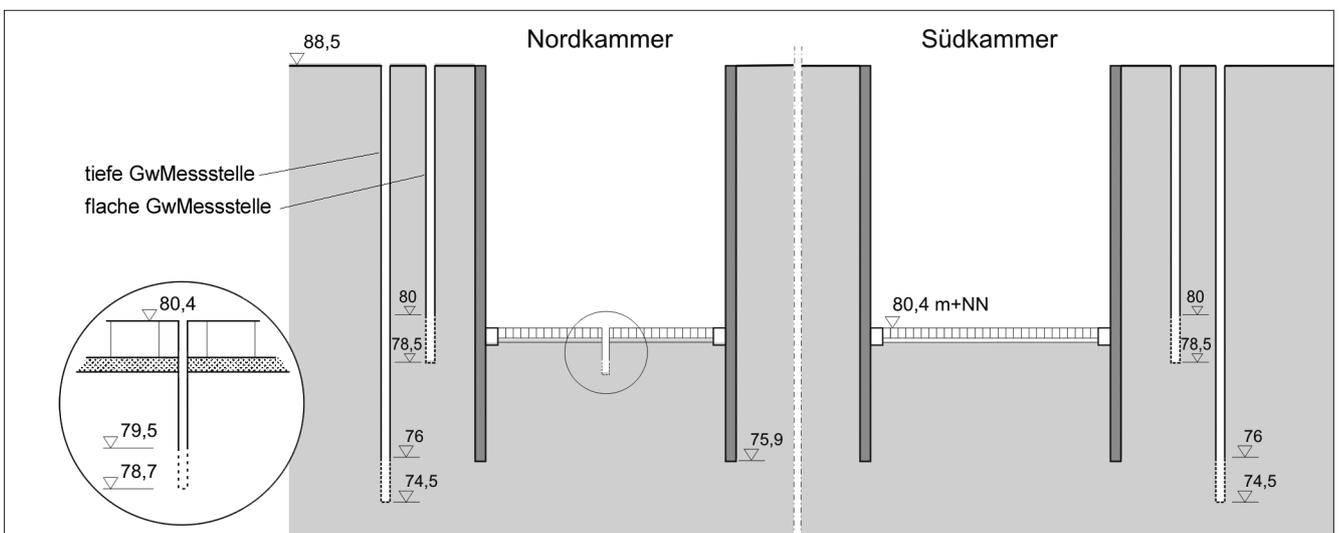


Bild 5: Lageplan Grundwassermessstellen
 Figure 5: Site map of groundwater observation wells

3.3 Ergebnisse der Grundwasserstandsmessungen

Results of groundwater head measurements

Zur Untersuchung der Abhängigkeit der Grundwasserpotenziale am Spundwandfuß von den Schleusenwasserständen wurden zwei Versuche durchgeführt. Dabei wurde jeweils eine Schleusenkammer auf Unterwasserstand gestellt und nur in der anderen Kammer Schleusungen durchgeführt. Die Grundwasserstandsmessungen zeigten, wie erwartet, ein Potenzialgefälle vom Oberhaupt zum Unterhaupt sowie im Oberwasserbereich von der Mainseite zur Landseite und im Unterwasserbereich von der Landseite zur Mainseite. Die Grundwasserstände reagierten deutlich auf Schleusungsvorgänge, wobei sie in den Messstellen entlang der in Betrieb befindlichen Schleusenkammer deutlich stärker reagierten als in den Messstellen entlang der auf Unterwasserstand gestellten Schleusenkammer. Der Schwankungsbereich der in den tiefen Messstellen gemessenen Grundwasserpotenziale am Spundwandfuß war jedoch auch in den Messstellen, die sich unmittelbar neben der Schleuse mit unterschiedlichen Schleusungswasserständen befanden, deutlich geringer als der Wasserstandsunterschied in der Schleuse. Insbesondere im Oberhauptbereich traten bei Unterwasserstand in der Schleuse große Potentialdifferenzen zwischen dem Grundwasserpotenzial am Spundwandfuß und dem Schleusenwasserstand auf.

Basierend auf den Messergebnissen wurden die zu erwartenden Grundwasserpotenziale bei Trockenlegung der Schleusenkammern durch Extrapolation abgeschätzt. Die durchgeführten Messungen erlaubten jedoch keine genaue Aussage über die Art des Potentialabbaus zwischen der Unterkante der Spundwände und der Schleusensole. Da jedoch nicht angenommen werden konnte, dass der Baugrund unterhalb der Kammersohlen deutlich undurchlässiger ist als der außerhalb der Schleusenkammern, war von einem erheblichen Grundwasserüberdruck unter den Kammersohlen bei Trockenlegung der Schleusen auszugehen. Um dies zu überprüfen, wurden zusätzliche Grundwassermessstellen in der Kammersohle einer Schleuse installiert und eine kurze Probetrockenlegung durchgeführt.

3.4 Erstellung zusätzlicher Grundwassermessstellen in der Schleusensole

Installation of additional piezometers at the lock base

Anfang Juli 2008 wurden in der Sohle der Nordkammer drei Unterwasserbohrungen vom Ponton aus durchgeführt und diese zu Grundwassermessstellen ausgebaut (siehe Bild 5 und Bild 6). Die Bohrungen wurden bis zum Spundwandfuß abgeteuft um Informationen über den Baugrundaufbau zwischen Schleusensole und Spundwandfuß zu erhalten. Unterhalb der Betonprismen wurden die Bohrungen im Trockenbohrverfahren als Rammkernbohrung mit einem dem Grundwasserdruck unterhalb der Kammersohle entsprechenden Wasserüberdruck im Bohrrohr durchgeführt.

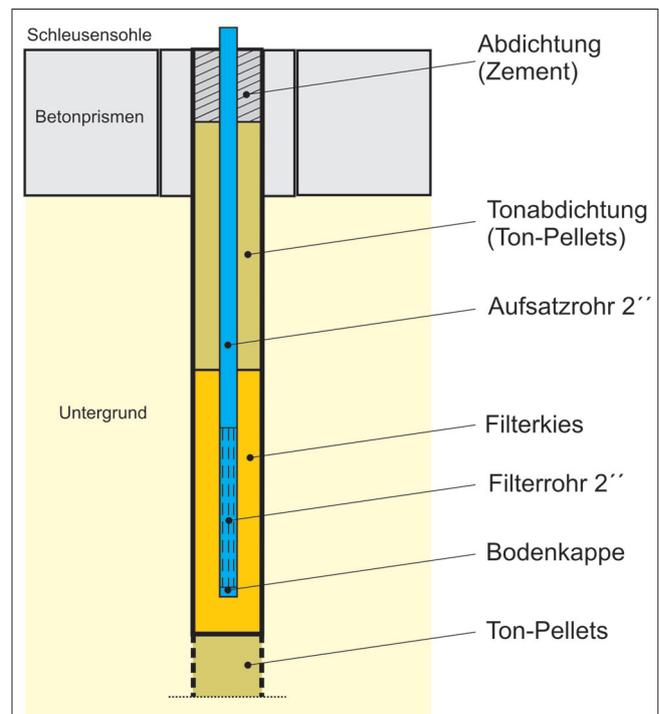


Bild 6: Ausbau der Grundwassermessstellen in der Schleusensole

Figure 6: Piezometer installed in the lock base

Der Ausbau der Bohrungen erfolgte nur bis zu einer Tiefe von 1,5 m unterhalb der Unterkante der Betonprismen, um den Grundwasserdruck unmittelbar unterhalb der Kammersohle festzustellen. Der darunter liegende Bereich der Bohrung wurde mit Tonpellets verfüllt. Darüber wurde die Filterkiesschüttung mit einer Höhe von 1,0 m angeordnet. Oberhalb des Filterkieses

wurde bis zur Unterkante der Betonprismen eine ebenfalls aus Tonpellets bestehende Abdichtung eingebaut. Im Bereich der Betonprismen wurde der Ringraum zwischen dem Pegelrohr und dem Betonpflaster mit einer Zement-Bentonit-Suspension verfüllt, um einen dichten Anschluss zwischen Rohr und Betonprismen zu erzielen.

In die Messstellen wurden Systeme jeweils bestehend aus einem Packer in Verbindung mit einem Druckaufnehmern (Bild 7) zur kontinuierlichen Messungen des Wasserdruckes eingebaut.

Die Entwicklung diese System erfolgte von Fa. Comdrill in Zusammenarbeit mit der BAW und erfüllt die für den Messeinsatz notwendigen Anforderungen:

- Durch den Einbau des Packers muss das Pegelrohr druckdicht gegen das Betonpflaster verschlossen werden.
- Das Kabel des Druckaufnehmers muss ebenfalls druckdicht durch den Packer geführt werden.
- Der Packer muss so ausgebildet werden, dass er wieder ausbaubar ist.

Grundlage ist ein mechanischer Packer, bei dem das Kabel des Druckaufnehmers durch den Packer hindurchgeführt und mittels Kunstharz dicht mit dem Packer vergossen wurde. Der Einbau der Packer erfolgte durch Taucher, wobei die Abdichtung der Packer in der Messstelle durch Drehen der Spannknebel erfolgte. Bild 8 zeigt das Messsystem vor dem Einbau und das in der Kammersohle eingebaute Messsystem während der Trockenlegung.

3.5 Ergebnisse der Testtrockenlegung der Schleusenammer

Results of test emptying of the lock chamber

Die Trockenlegung der Nordkammer wurde vom 14. bis zum 17. Juli 2008 unmittelbar nach Einbau der Messsysteme durchgeführt. Dabei wurden die Grundwasserdrücke in allen Grundwassermessstellen mittels Druckaufnehmern erfasst und kontinuierlich aufgezeichnet. Die Messergebnisse bestätigten, dass bei der Trockenlegung unterhalb der Kammersohle erhebliche Grundwasserüberdrücke auftreten. Ein wesentlicher

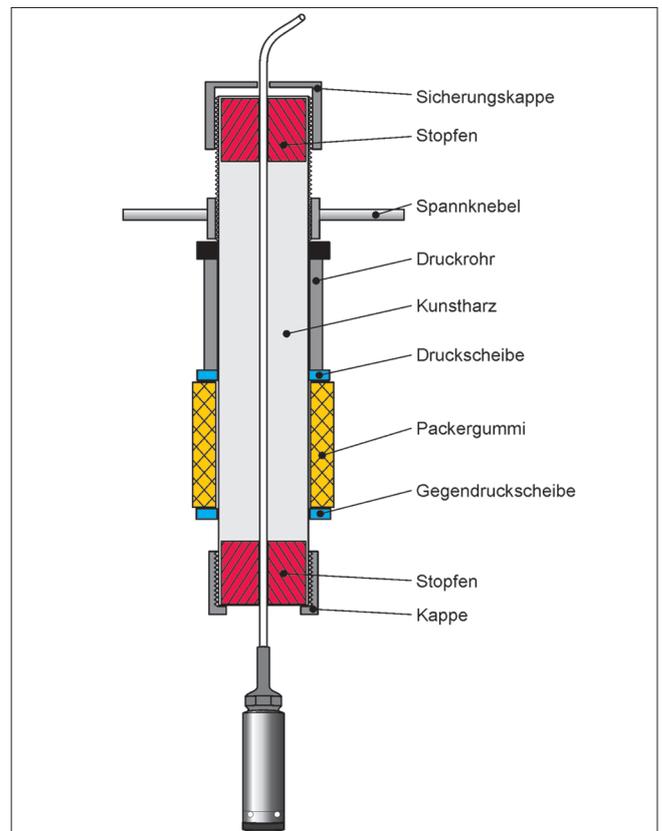


Bild 7: Messsystem mit Druckaufnehmer für den Einbau in die Grundwassermessstelle
 Figure 7: Measuring system with pressure transmitter for the installation in the piezometer

Anteil des Potenzialabbaus findet aufgrund des stark reduzierten Abflussquerschnittes im unmittelbaren Anstrombereich der Fugen zwischen dem Sohlpflaster sowie innerhalb der Fugen selbst statt. Dadurch treten in diesem Bereich hohe vertikal nach oben gerichtete Strömungsgeschwindigkeiten auf. Diese führen zu dem während den Trockenlegungen beobachteten Freispülen einzelner Fugen und dem Materialaustrag. Durch den lokalen Materialaustrag unterhalb des Sohlpflasters lässt sich die Absenkung einzelner Bereiche des Sohlpflasters erklären. Da die Aussteifung der Spundwände jedoch nicht durch das Sohlpflaster sondern durch die Betonriegel erfolgt, ist die Standsicherheit der Schleusenammer bei einer kurzen Testtrockenlegung nicht unmittelbar gefährdet.

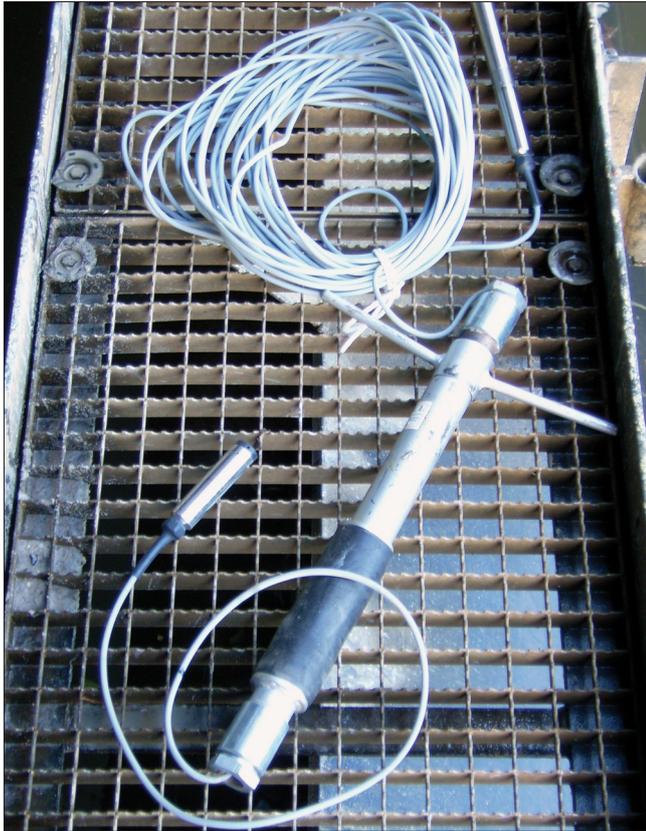


Bild 8 Messsystem bestehend aus Datenlogger und Packer (links) und eingebautes Messsystem (rechts)
Figure 8: Measuring system consisting of data logger and packer (left) and installed measuring system (right)

4 Schlussfolgerungen *Conclusion*

Auf Grundlage der Ergebnisse der durchgeführten Untersuchungen konnte eine längerfristige Trockenlegung der Schleusen zur Durchführung der Instandsetzungsarbeiten nicht empfohlen werden. Bei einer entsprechend langen Trockenlegung besteht die Gefahr, dass auf Grund des Porenwasserüberdrucks unterhalb der Kammersohle große Mengen von Bodenmaterial durch die Fugen des Sohlpflasters ausgetragen und mit dem Wasserstrom abtransportiert werden und dadurch die Standsicherheit der Schleusenkammer beeinträchtigt wird. Die Durchführung einer Grundwasserabsenkung im Bereich der Schleusenkammern zur Verhinderung eines Grundwasserzustroms durch die Kammersohle bei Trockenlegung damit eines Bodenmaterialaustrags ist auf Grund des sehr durchlässigen Grundwasserleiters, den ungünstigen hydraulischen Randbedingungen und des weitreichenden Absenktichters nicht möglich. Aus diesen Gründen wurde beschlossen, zusätzliche Absperreinrichtungen kammerseitig der Häupter einzubauen um die massiven

Häupter separat trockenlegen zu können. Dadurch kann die erforderliche Instandsetzung der Schleusentore ohne Trockenlegung der Schleusenkammern durchgeführt werden.