

## Zustand, Verhalten und Instandsetzungen der Schleuse Uelzen 1

Dipl.-Ing. M. Lutz (BAW), Dipl.-Ing. A. Liebrecht (WSA Uelzen)

### Teil 1: Schleuse Uelzen I – das Bauwerk von 1976 bis heute

(Dipl.-Ing. A. Liebrecht, SBL2 im WSA Uelzen)

#### Allgemeines

Der ca. 115 km langen Elbe- Seitenkanal (ESK), der die Seehäfen Hamburg und Lübeck mit dem europäischen Binnenwasserstraßennetz verbindet, wurde von Mai 1968 bis Juni 1976 gebaut. Dabei muss von der Elbe bei Lauenburg bis zum Mittellandkanal ein Höhenunterschied von insgesamt 61 m überwunden werden, der neben dem Schiffshebewerk Lüneburg mit einer Hubhöhe von 38 m durch die Schleuse Uelzen mit einem Höhenunterschied von 23 m bewältigt wird.



*Bild 1: Bau der Schleuse Uelzen I*

Die Schleuse Uelzen I war bei Inbetriebnahme 1976 nach einer Bauzeit von fünf Jahren die Schleuse mit der größten Hubhöhe in Deutschland und die größte Sparschleuse der Welt. Sie hat eine Kammerlänge von 190 m, eine Breite von 12 m und eine Drempeltiefe von 4 m und kostete seinerzeit insgesamt ca. 94 Mio DM.

Neben der Schleusenkammer bestehen noch ein Schieberhaus, eine Pumprohrleitung und ein Pumpenhaus. Seitlich abgesetzt wurden terrassenförmig drei offene Sparbecken angeordnet. Die gesamten Verlustwassermengen, die bei den Schleusungsvorgängen entstehen, müssen über ein Pumpwerk mit anschließender Leitung in die obere Haltung zurückgepumpt werden. Diese Verbindungsleitung kann auch bei Bedarf als Hochwasserentlastung der oberen Haltung genutzt werden.

## Baugrund

Die Gründungssohle der Schleuse liegt im Bereich stark vorbelasteter Sande. Darüber steht eine Geschiebemergelschicht mit sandigen Einlagerungen an. Der Geschiebemergel wirkt wegen seiner Wasserundurchlässigkeit wie eine Sperrschicht, die das Grundwasser in zwei Horizonte aufteilt. Der untere Grundwasserhorizont ist artesisch angespannt.

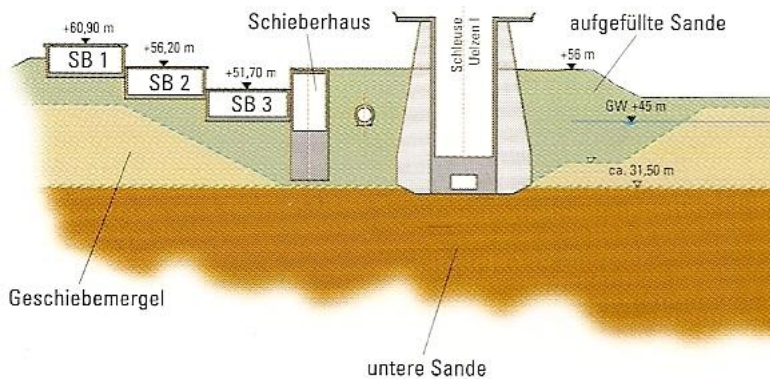


Bild 2: Schleusenanlage Uelzen I – Querschnitt

## Hydraulisches System

Alle Füll- und Entleerungsleitungen der Schleusenammer münden in den in der Schleusensohle gelegenen Grundkanal bzw. zweigen von diesem ab. Beim Füllen der Kammer strömt von hier aus das Wasser durch speziell gestaltete Füllbatterien in die Kammer ein, die eine Wirbelbildung in der Schleusenammer weitestgehend vermeiden und eine ruhige Lage der zu schleusenden Schiffe bei Sink- bzw. Steiggeschwindigkeiten von ca. 2 m/min gewährleisten.

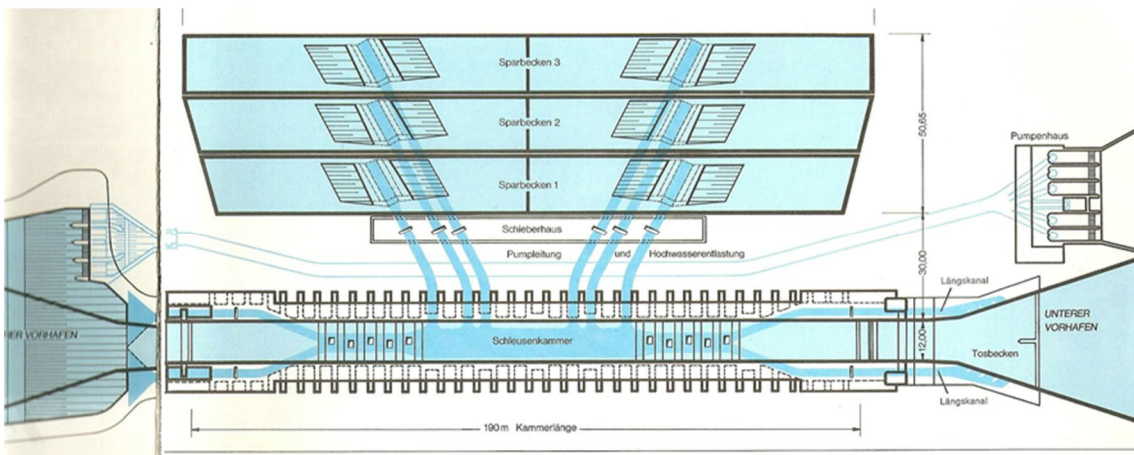


Bild 3: Grundriss der Schleusenanlage mit dem Leitungssystem

## Konstruktion und Geometrie des Bauwerks

Die Kammer der 190 m langen Schleuse besteht aus dem Ober- und Unterhaupt sowie 11 Kammerblöcken, die eine Länge von 10-15 m aufweisen. Die Kammerblöcke wurden mit einem einbetonierten Kunstkautschuk-Fugenband Typ Vredestein W9MR umlaufend abgedichtet. Diese Fugenbauweise erfolgte analog an allen Bauwerksteilen, d.h. an den Längskanälen, Sparbecken,

Sparbeckenzuläufen usw. Im Übergang zu den Häuptionen im Kammerbereich wurde zusätzlich ein auswechselbares Omega-Fugenband Typ B300 als Dichtungselement eingebaut.

Die Tragkonstruktion besteht in Querrichtung aus einem flach gegründeten, symmetrischen U-Rahmen, der im Bereich der nur 0,75 m dicken Kammerwände als Rippenkonstruktion ausgebildet ist. Die 1,5 m breiten Tragrippen sind mit einem Achsabstand von 5 m angeordnet und verjüngen sich von 7,25 m auf Sohlhöhe zu 3,15 m in Höhe der Plattform. Die 8 m dicke Schleusensohle beinhaltet das Grundlaufsystem mit Füll- und Entleervorrichtungen für die Kammer sowie die mit dem Ober- bzw. Unterwasser verbundenen Längsläufe.

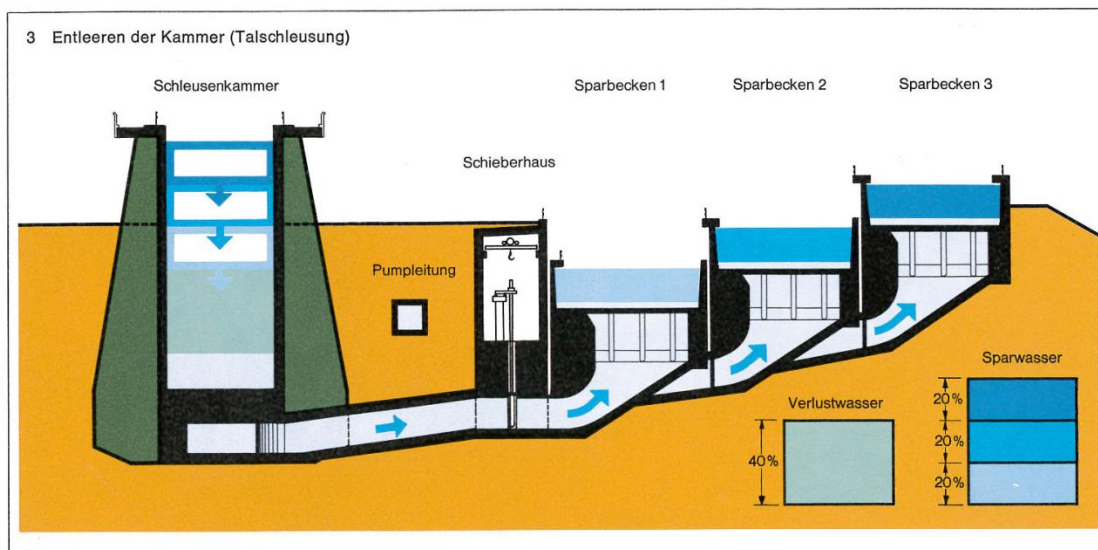


Bild 4: Querschnitt – Entleeren der Kammer

Die drei Sparbecken sind jeweils über zwei Zulaufleitungen angeschlossen. Unmittelbar an das Sparbecken 1 schließt sich das Schieberhaus an. Es dient hauptsächlich der Aufnahme der sechs Sparbeckenverschlüsse sowie der zugehörigen Antriebe und Steuerungen.

**Betrieb der Schleuse**

Auf dem ESK sind die transportierten Gütermengen von 1976 bis heute immer weiter gestiegen. Derzeit werden knapp unter 10 Mio. Gütertonnen und ca. 70.000 TEU (Container) jährlich transportiert. Etwa 17.000 Schiffe werden pro Jahr in Uelzen geschleust (ca. 14.000 Güterschiffe). Die Schleuse Uelzen I hat bisher ca. 150.000 Lastspiele (Berg- und Talschleusungen) durchlaufen.

Aufgrund ihrer großen Hubhöhe bei gleichzeitig extrem schlanker Bauweise wirken hohe, zyklisch auftretende Belastungen auf die Konstruktion, die zu entsprechenden Verformungen am Bauwerk führen. Dies gilt auch für die Fugendichtungen, auf die bei Oberwasserstand einen Druck von bis zu 27 m Wassersäule wirkt und die gleichzeitig große Verformungsdifferenzen zwischen den Bauwerksblöcken ausgleichen müssen. Auch die beim Schleusenbetrieb auftretenden Lasten aus den hydraulischen Prozessen sind aufgrund der großen Durchflüsse sowie der Potenzialdifferenzen nennenswert und nicht zu unterschätzen.

Im Laufe ihres Betriebs traten an der Schleuse Uelzen immer wieder Schäden wie Fugenleckagen sowie auffällige Verformungen bzw. Setzungen auf.

### **Ausgewählte, größere Schäden**

Schaden November 1983 – Fuge zwischen Pumpenhaus und Rohrleitung: Auftretende Undichtigkeiten an der Fuge zwischen Pumpenhaus und Pumprohrleitung wurden mit Gel- Injektionen im defekten Fugenbereich saniert.

Schaden März 1991 – Fuge der Pumprohrleitung: An der eigentlichen Pumprohrleitung (DN 3000) traten in den ersten 10 Jahren die größten Setzungen auf; und dort insbesondere im Bereich, in dem die Sparbeckenzuläufe die Pumprohrleitung kreuzen. Die defekte Fuge sowie die jeweils benachbarten Fugen wurden durch von innen aufgesetzte Fugenbänder saniert.

Schaden 1992 – Fuge Längskanal: Im November 1992 wurden erste große Schäden an der Schleuse erkennbar. Der an das Unterhaupt anschließende Kammerblock 1 war innerhalb kurzer Zeit nach Nordwesten abgekippt und hatte sich an das Unterhaupt angelehnt. Grund war ein defektes Fugenband im Längskanal zwischen Unterhaupt West und Kammerblock 1, durch das der bettende Baugrund ausgespült wurde. Dieser Defekt war eine Folge der planmäßigen, ständigen Lastwechsel, die zu unterschiedlichen Verformungen und Belastungen des Bauwerks führen.

Die schadhafte Fuge wurde zunächst mit Zementmörtel verdämmt. Ein Grundwassermonitoringssystem wurde installiert, mit dem danach umfangreich Grundwasserstände und –temperaturen gemessen werden konnten. Mit weiteren umfangreichen Sanierungsmaßnahmen ab Ende 1992 bis 1997 konnte die Schleuse inzwischen soweit stabilisiert werden, dass zur Zeit ein sicherer Betrieb gegeben ist.

Besonders problematisch an diesem Schaden war, dass er nicht im Vorfeld beim Entstehen zu erkennen war, sondern erst sehr spät durch die erheblichen Folgewirkungen (Erdfall, Bauwerksbewegungen, Erschütterungen) auffallen konnte. Die Instandsetzung der Schleuse war extrem aufwendig. Für den zukünftigen Schleusungsbetrieb muss ein vergleichbarer Fugenschaden unbedingt verhindert werden!

Nach dem ersten großen Fugenschaden 1992 sind in der Folgezeit bis heute an noch weiteren Blockfugen Schäden aufgetreten – die Fugen, an denen große Versätze aufgetreten sind, wurden i.d.R. mit aufgesetzten Fugenbändern saniert.

Weitere erwähnenswerte Schäden sind Risse in den Schweißnähten des Untertores – ein Toraus-tausch erfolgte 1995. Ferner defekte Schwimmpoller wegen verformter Laufschiene, die durch gefrierendes Wasser in defekten Heizrohren hinter den Laufschiene hervorgerufen werden – eine Instandsetzung muss noch erfolgen.

### **Entscheidung des BMVI 1995 zum Neubau der Schleuse Uelzen II**

Aufgrund dieser sich wiederholenden Schäden an der Schleuse Uelzen I, die schließlich so erheblich waren, dass ein drohender, vollständiger Ausfall der Schleuse nicht mehr sicher ausgeschlos-



sen werden konnte, wurde unmittelbar neben der alten Schleuse eine zweite, neue Schleuse – Uelzen II – gebaut und 2006 in Betrieb genommen.

### **Künftiger Betrieb von Uelzen I**

Die Schleuse Uelzen I soll mit möglichst geringem Aufwand („Minimalinstandsetzung“) soweit saniert werden, dass sie bei Ausfall der Schleuse Uelzen II und zur Bewältigung von Spitzenverkehr mit herangezogen werden kann (sog. Stand-by-Betrieb). Damit soll sich die Restlebensdauer der dann teilsanierten Schleuse erheblich verlängern lassen. Dies entspricht dem bereits festgelegten und bisher praktizierten Nutzungskonzept der Schleuse Uelzen I, die seitdem täglich i.d.R. nur noch in der Zeit von 9 Uhr bis 14 Uhr betrieben wird.

Im Vorfeld dieser „Minimalinstandsetzung“ wurde die BAW mit einer Zustandsbeurteilung der Schleuse beauftragt, um festzustellen und sicher zu gehen, dass eine Instandsetzung von Uelzen I und damit ein Weiterbetrieb sinnvoll ist.

### **Weiteres, geplantes Vorgehen**

Die „Minimalinstandsetzung“ der Schleuse Uelzen I ist sinnvoll und soll erfolgen. Eine Konzeption gem. § 6 der VV-WSV 2107 soll dafür noch in diesem Jahr aufgestellt und vorgelegt werden.

## **Teil 2: Aktualisierten Zustandsbegutachtung und Untersuchung des langfristigen Bauwerksverhaltens**

(Dipl.-Ing. M. Lutz, BAW Karlsruhe, Referat B1)

### **Veranlassung**

Die Schleuse Uelzen I wies nach ihrer Inbetriebnahme Mitte der 70er Jahre eine ausgeprägte Setzungsproblematik auf. Auffällige Verformungen führten zu größeren Schäden an Konstruktion und Fugenbändern. Als Reaktion wurden schon eine Vielzahl von Beobachtungs-, Ertüchtigungs- und Sanierungsmaßnahmen durchgeführt, deren Erfolg und nachhaltige Wirkung sich jedoch nicht immer einstellten. Auch zukünftig soll das Bauwerk zur Abdeckung von Verkehrsspitzen sowie für den Dauerbetrieb bei Revision der Schleuse Uelzen II verwendet werden.

Um den künftigen Betrieb der Schleuse Uelzen I gewährleisten zu können, waren neben Aussagen zur rechnerischen Tragfähigkeit Untersuchungen zum Bauwerksverhalten hinsichtlich Setzungen und Verformungen durch eine Auswertung der wichtigsten Messwerte seit Inbetriebnahme bis zum jetzigen Zeitpunkt erforderlich. Neben Aussagen zum Setzungsverhalten bis zum heutigen Zeitpunkt sollten Prognosen für die weitere Zukunft - vor allem im Hinblick auf die Beanspruchung der Fugenbänder - gemacht werden. Ferner musste die seit Inbetriebnahme des Bauwerks beobachtete Tendenz zur bleibenden Kammeraufweitung näher untersucht werden. Schließlich wurden neben den erforderlichen Ertüchtigungsmaßnahmen Überlegungen zur weiteren Überwachung des Bauwerks erforderlich.

## Vorliegende Unterlagen und Messwerte

Für Schleuse Uelzen wurde eine Vielzahl unterschiedlicher Messungen seit Inbetriebnahme des Bauwerks durchgeführt, deren Ergebnisse unverknüpft und in sehr unterschiedlichen Formaten vorhanden waren. Um Aussagen zum Setzungsverhalten des Bauwerks in der Vergangenheit bis zum heutigen Bauwerksverhalten machen zu können, musste zunächst eine einheitliche Dokumentation der Datenbestände mit Möglichkeit zur Auswertung erfolgen. Nach einer umfangreichen Marktanalyse durch die BAW wurde das Programm GKSpro zur Durchführung der Datenintegration, Sicherung und den nachfolgenden Prozessen wie die weitere Datenerfassung, Datenpflege, Datenbewertung und –Visualisierung empfohlen. Die BAW beauftragte im Juni 2012 die Gesellschaft für Informationsdienste (GID) zur Integration aller relevanten, vorliegenden Werte in einer Datenbank. Eingepflegt wurden Lagemessungen, Höhenmessungen, Alignements und Aufweitungsmessungen unterschiedlichster Messpunkte. Es erfolgte eine Überarbeitung der Daten durch eine Plausibilitätssichtung, Einpflegen von Wertsprüngen sowie die Einteilung in Fehlerklassen.

## Auswertung der Bauwerksmessungen und Ergebnisse

Ausgewertet wurden die Lage- und Höhenmessungen der Plattform-Messpunkte der Schleusenkammer und Häupter, die immer bei Unterwasserstand oder leerer Schleusenkammer messtechnisch ermittelt wurden. Parallel zur Auswertung und Aufbereitung der Daten wurden FEM-Betrachtungen durchgeführt, die wie in Bild 5 dargestellt eine 3-dimensionale grafische Darstellung der Blockverformungen ermöglichen und die Blockverformungen mit ihren geometrischen Abhängigkeiten beschreiben: Die aufbereiteten Messwerte wurden am Schleusenmodell als äußere Zwangsbeanspruchung aufgebracht. Die Blockfugen bewegen sich gemäß ihren Lagerungsbedingungen, so dass in den mitmodellierten Fugenbändern die Dehnungen rechnerisch bestimmt werden können. Weiter ist eine Visualisierung über alle Blöcke möglich. Neben den langfristigen Setzungsverformungen können mithilfe des FEM-Modells gleichzeitig die Fugenbanddehnungen aus Schleusenbetrieb sowie Eigengewicht mitberücksichtigt werden.

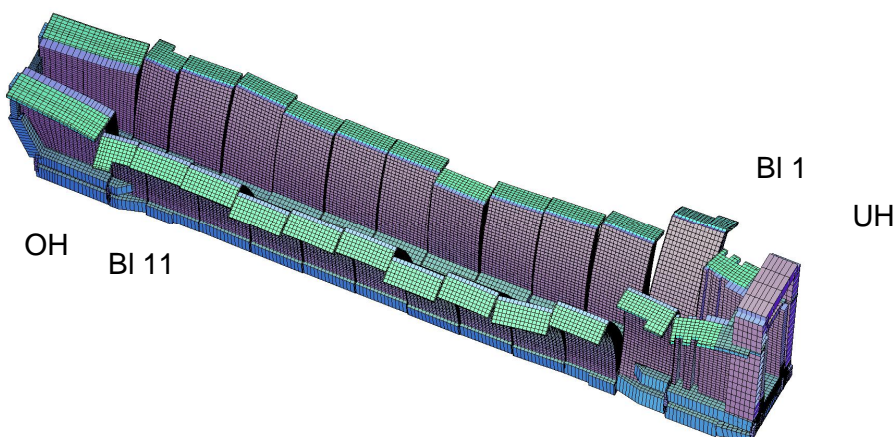


Bild 5: Überhöhte Darstellung der Blockaufweitungen am FEM-Modell 2007

Bei Betrachtung der Werte fällt deutliche Temperaturabhängigkeit auf, die durch Auswahl entsprechender Messreihen gleicher Jahreszeiten, bzw. durch rechnerische Ansätze teilweise kompen-

siert werden kann (Bild 6). Es konnte festgestellt werden, dass bleibende, nicht primär durch Leckagen hervorgerufene Vertikal-Setzungen am Bauwerk weiterhin auftreten.

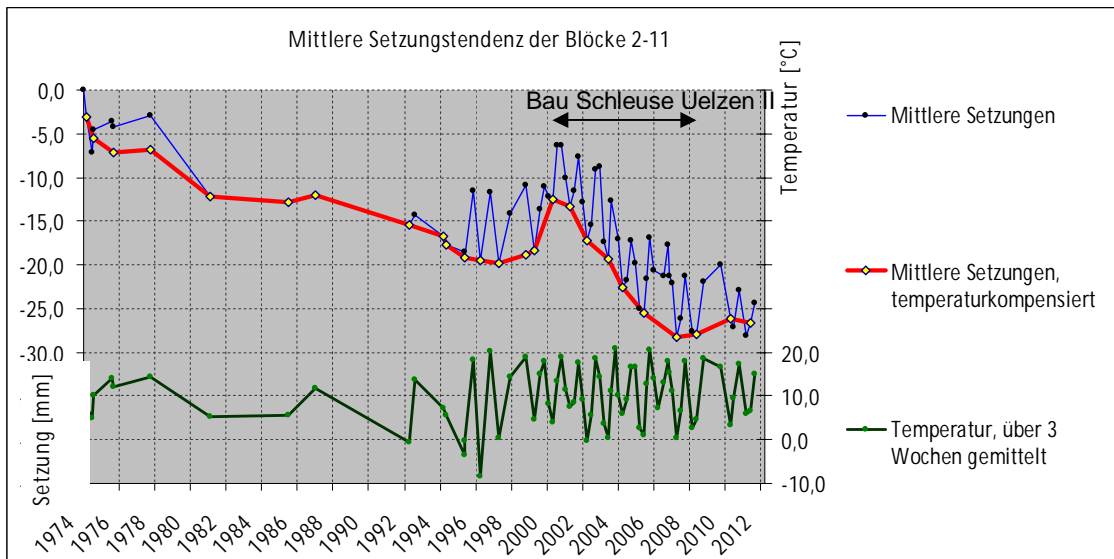


Bild 6: gemittelte Setzungen der Blöcke 2-11, Temperaturen

Sie erzeugen jedoch keine übermäßig kritischen Differenzverformungen zwischen den Blöcken. Der der Fortschritt der schädlichen Differenzverformungen zwischen den Bauwerksblöcken seit etwa 1997 deutlich verlangsamt (Bild 7). Der Verlauf der rechnerischen Fugenbandbeanspruchung aus den bleibenden Setzungen ist vergleichbar mit dem Verlauf der Verschiebungsdifferenz benachbarter Blöcke. Es konnten Bauwerksbereiche ermittelt werden, die zukünftig beobachtet werden sollten.

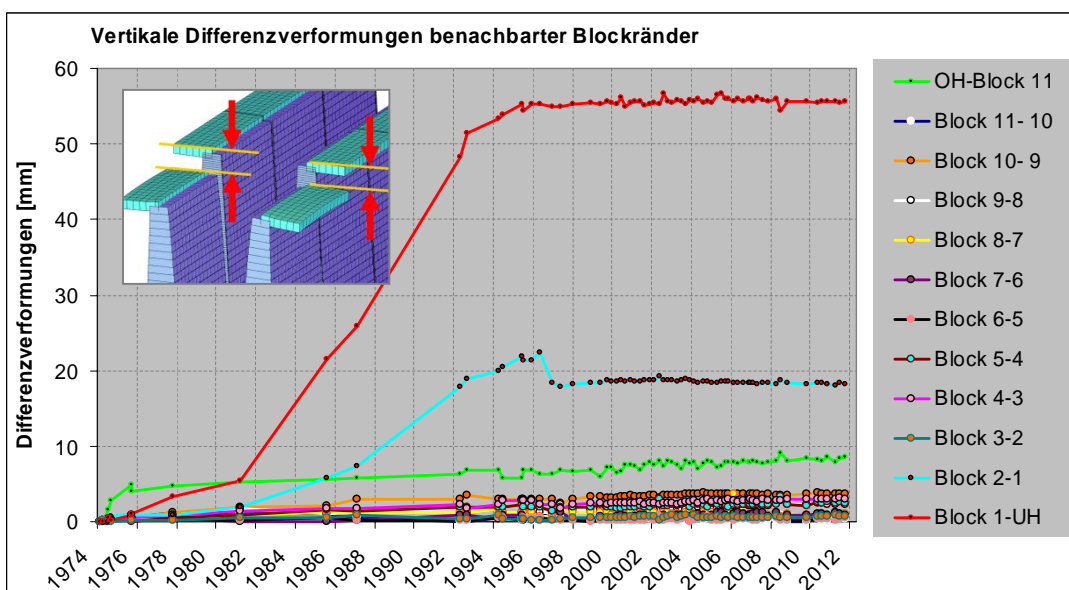


Bild 7: Betrag vertikaler Setzungsdifferenzen benachbarter Blockränder, beide Werte jeweils gemittelt

Auch die aus statischer Sicht relevanten Wandaufweitungen haben sich deutlich verlangsamt. Sie sind stark temperaturabhängig und müssen immer vor dem Hintergrund der saisonalen Temperaturentwicklung betrachtet werden (Bild 8).

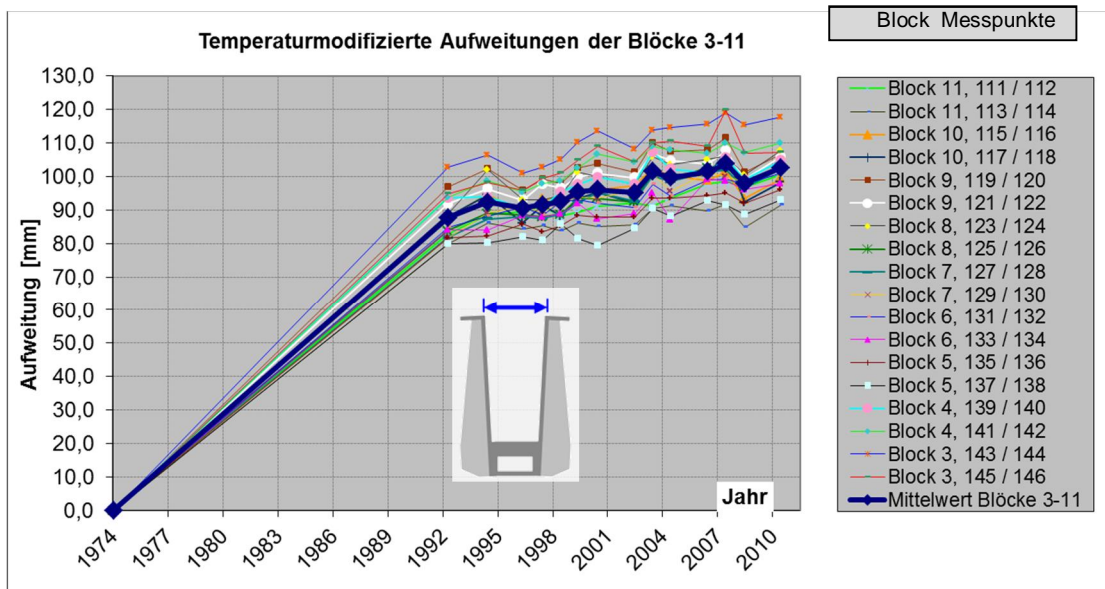


Bild 8: Aufweitungen der Blöcke 3-11, Auswertung der Messungen bei vergleichbaren Temperaturen

Beim Abgleich der Entwicklung der Bauwerksverformungen mit den aufgetretenen Schäden hat sich gezeigt, dass Undichtigkeiten und Sackungstrichter am Bauwerk bereits einige Jahre vor Beginn einer auffälligen, feststellbaren Setzungsreaktion aufgetreten sind. Teilweise waren später eingeleitete Gegenmaßnahmen nicht erfolgreich. Obwohl sich ein Schaden über Jahre hinweg ankündigen kann, müssen Gegenmaßnahmen schnellstmöglich durchgeführt werden, um überhaupt wirksam werden zu können.

### Prognose, Instandsetzungen und Beobachtungsmaßnahmen

Die Auswertungsergebnisse der betrachteten Messpunkte lassen darauf schließen, dass die allgemeinen, nicht primär durch Leckagen hervorgerufenen Setzungen weiterhin auftretenden. Sie erzeugen jedoch keine übermäßig kritischen Differenzverformungen zwischen den Blöcken. Seit dem Schadensfall an Block 1, der Mitte der 90er Jahre aufwändig saniert wurde, haben sich die Differenzverformungen weitgehend stabilisiert. Gelingt es zukünftig, Leckagen mit Ausspülungen und damit Bettungsänderungen wirksam zu vermeiden, kann davon ausgegangen werden, dass sich weitere kritische Veränderungen über einen ausreichend großen Zeitraum entwickeln und bei regelmäßiger Auswertung der Bauwerksmessungen Gegenmaßnahmen rechtzeitig eingeleitet werden können.

Zusammen mit den Ergebnissen der statischen Untersuchung, bei der sich rechnerisch ausreichend Sicherheiten bei genügend hoher Duktilität und guten Verformungskapazität herausstellten,



kann davon ausgegangen werden, dass ein zukünftiger Schleusenbetrieb hinsichtlich der Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit bei einer erweiterten Bauwerksbeobachtung möglich ist.

Ein wichtiges Instrument zur zukünftigen Bauwerksbeobachtung ist die kontinuierliche, zeitnahe Auswertung von Messwerten. Mit Eingabe der Datenbestände in eine zentrale Datenbank besteht die Möglichkeit zur einfachen Datenpflege, Auswertung und Visualisierung. Durch die Bildung von Differenzverformungen ist eine grafische Auswertung der Messwerte zur ergänzenden Bauwerksbeobachtung möglich. Darüber hinaus könnten bei Wiederinbetriebnahme des automatisierten Fugenmonitorings, Leckagen schneller erkannt und zeitnah Gegenmaßnahmen eingeleitet werden.

Für den zukünftigen Schleusenbetrieb sind ferner Instandsetzungsmaßnahmen zur Erhaltung der Dichtigkeit und Vermeidung von Bettungsdefiziten durch Hohllagen sowie die Instandsetzung von Rissen in den Füllbatterien sind erforderlich. Hierzu gehört das Auswechseln bzw. Sanieren potentiell geschädigter oder älterer und höher beanspruchter Fugenbänder. Bereits vorhandene Bettungsdefizite lassen sich nicht allein durch Abdichtungen beheben, sondern müssen durch zusätzliche stabilisierende Maßnahmen wie Verpressungen bzw. Injektionen von vorliegenden Hohllagen ergänzt werden.

Werden hinsichtlich Undichtigkeiten, Ausspülungen und schädlichen Setzungen Gegenmaßnahmen im Vorfeld geplant und bereitgehalten, kann bei Auftreten eines Schadens schnell reagiert werden. Dazu gehören insbesondere die Ausarbeitung und Vorhalten eines Fugensanierungskonzepts sowie Möglichkeiten zur Erkennung und Beseitigung von Hohllagen im Baugrund.