

Untersuchungsbericht-Nr. 21DE-00589R01 / R02
Projekt: Alt Schadow Bauwerksuntersuchung



Kiwa GmbH, Voltastraße 5, 13355 Berlin

WBV Nördlicher Spreewald
z. Hd. Sven Gerhardt
Am Stieg 15
15910 Bersteland / OT Freiwalde

Projekt: Alt-Schadow Bauwerksuntersu-
chung
Untersuchungsbericht-Nr.: 21DE-00589R01 / R02

Kiwa GmbH
MPA Berlin-Brandenburg
Voltastr. 5
13355 Berlin

T: +49 (0) 30 467761 – 0
F: +49 (0) 30 467761 – 10
E: infokiwaberlin@kiwa.de

www.kiwa.de

Auftraggeber:	Sven Gerhardt
Projekt:	Alt Schadow Bauwerksuntersuchung
Auftragsdatum:	02.03.21
Aufgabe:	Mikroskopische Untersuchungen auf AKR an einer Betonprobe, Bestimmung des Na ₂ O-Äquivalentes sowie Ermittlung der Betondruckfestigkeit
Probennahme:	07.04. und 08.04.2021
Anzahl der Proben:	6 Bohrkerne
Probeneingangsdatum:	15.04.21
Prüfzeitraum:	April - Juni
Bearbeiter:	M. Sc. Gregor von Hünenbein

Berlin, 16.06.2021

In Vertretung

Im Auftrag

Prof. Dr.-Ing. Andrei Walther
Teamleiter Engineering

M.Sc. Gregor von Hünenbein
Projektingenieur

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die genannten Prüfgegenstände. Ohne schriftliche Genehmigung des Prüflaboratoriums ist eine auszugsweise Vervielfältigung des Prüfberichts nicht gestattet. Soweit Versuchsmaterial nicht verbraucht ist, wird es nach 4 Wochen vernichtet. Eine längere Aufbewahrung bedarf einer besonderen Vereinbarung.

Inhaltsverzeichnis

1. Allgemeines und Aufgabenstellung	9
2. Allgemeines zu Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR)	10
3. Ortstermin und Probenahme	11
4. Prüfverfahren und Prüfnormen	24
4.1 Bewehrungsart	24
4.2 Bestimmung der Betondruckfestigkeit	24
4.3 Gefügeaufnahme, Fotodokumentation und Beurteilung des Verbunds der Bohrkerne	24
4.4 Mikroskopische Untersuchung des Betons	24
4.5 Bestimmung des Alkaliäquivalentes	25
5. Ergebnisse	26
5.1 Gefügeaufnahme, Fotodokumentation und Beurteilung des Verbunds der Bohrkerne	26
5.2 Bestimmung der Betondruckfestigkeit	43
5.3 Mikroskopische Untersuchung des Betons	45
5.4 Bestimmung des Alkaliäquivalentes	48
6. Zusammenfassung und Bewertung	49

1. Allgemeines und Aufgabenstellung

Die Kiwa GmbH wurde von WBV Nördlicher Spreewald, Am Sieg 15 in 15910 Bersteland / OT Freiwalde durch Herr Sven Gerhardt zur Bauwerksuntersuchung des Wehrs und des Ober- sowie Unterhaupts der Schleuse in Alt Schadow beauftragt. Es soll festgelegt werden, ob eine Alkali-Kieselsäure-Reaktion im Beton des Bauteils stattfindet oder stattgefunden hat.

Der Untersuchungsumfang wurde durch den Auftraggeber vorgegeben.

Die bauwerksdiagnostischen Untersuchungen den Wiederlager der Schleuse und des Wehrs umfassen:

- Bewehrungsortung zur Vermeidung von Bewehrungsanschnitten
- Entnahme von Betonbohrkernen

Laborleistungen:

- Gefügeaufnahme, Fotodokumentation und Beurteilung des Verbundes der Bohrkerne
- Qualitative Bestimmung von AKR-Reaktionsprodukten am Anschliff mittels Stereomikroskop an einem Bohrkern
- Bestimmung des Na_2O -Äquivalents an einem Bohrkern

2. Allgemeines zu Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR)

Die Alkali-Kieselsäure-Reaktion ist eine der häufigsten Ursachen für Rissbildungen aufgrund von Treibreaktionen und Ausblühungen an Betonbauwerken. Der Grund für diese Schäden sind alkaliempfindliche Gesteinskörnungen im Beton sowie ein hohes Alkaliäquivalent der aus dem Zement oder der Umgebung kommenden Alkalihydroxide wie NaOH und KOH. Unter dem Einfluss von Feuchtigkeit verbinden sich die Alkalien (aus Porenlösung, Grundwasser, Meereswasser oder Frostschutzmitteln) mit den Kieselsäurebestandteilen der Gesteinskörnung. Dadurch entstehen als neue Verbindungen Alkalisilikate, die in gallertartiger, amorpher Form vorliegen und in Abhängigkeit von ihrer Menge zu Rissbildungen und Aussinterungen führen können. Die Stärke dieser Reaktion ist abhängig von der Konzentration der Alkalien im Beton, von der Alkaliempfindlichkeit der Gesteinskörnung und vom Feuchteangebot während der Nutzung. Erst das Vorliegen aller drei genannten Faktoren führt zu einer so genannten schädigenden AKR. Das bedeutet zum Beispiel, dass bei einem Beton mit hohem Alkaligehalt und alkaliunempfindlicher Gesteinskörnung keine schädigenden Reaktionen zu erwarten sind. Bei Vorliegen von hohen Alkaligehalten und alkaliempfindlicher Gesteinskörnung wird das Ausmaß einer Schädigung direkt vom Feuchteangebot bestimmt.

Stark alkaliempfindliche Gesteinskörner enthalten einen hohen Anteil an amorpher Kieselsäure, dazu gehören Feuersteine (Flinte), Opalsandsteine, Kieselkalke und Kieselschiefer. Latent alkaliempfindliche Gesteinskörner reagieren aufgrund eines geringeren Gehaltes an amorpher Kiessäure langsamer. Zu diesen Gesteinen gehören z.B. Rhyolithe, metamorphe Grauwacken oder Quarzite und Schiefer mit Stressquarz.

3. Ortstermin und Probenahme

Am 07.04.2021 fand die Probenahme der vertikalen Bohrkern an den Wiederlagern des Wehrs und der Schleuse statt. Die horizontalen Bohrkern wurden am 08.04.2021 aus den Wiederlagern entnommen.



Abbildung 1: Übersicht der Bohrkern Entnahmestellen

Tabelle 2: Dokumentation Prüfstelle BK-I und BK-IV

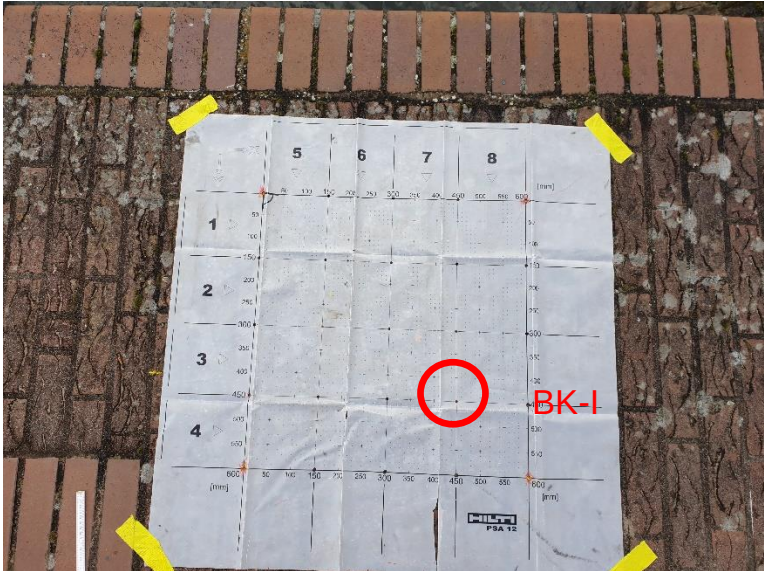
Probenahmestelle	Beschreibung
	Abbildung 2 Bewehrungsartung für die Entnahme von BK-I.
	Abbildung 3 Übersichtsbild der Entnahmestellen von den Bohrkernen BK-I und BK-IV.



Abbildung 4

Verschluss der Entnahmestelle BK-I.



Abbildung 5

Verschluss der Entnahmestelle BK-IV.



Abbildung 6

Prozess der Entnahme des BK-I.



Abbildung 7

BK-I nach der Entnahme.

Tabelle 2: Dokumentation Prüfstelle BK-II und BK-V



Abbildung 8

Bewehrungsart für die Entnahme von BK-II.



Abbildung 9

Übersichtsbild der Entnahmestellen von den Bohrkernen BK-II und BK-V.



Abbildung 10

Verschluss der Entnahmestelle BK-II.



Abbildung 11

Verschluss der Entnahmestelle BK-V.

Tabelle 3: Dokumentation Prüfstelle BK-III und BK-VI



Abbildung 12

Bewehrungsartung für die Entnahme von BK-III.



Abbildung 13

Übersichtsbild der Entnahmestelle des Bohrkerns BK-III.



Abbildung 14

Übersichtsbild der Entnahmestelle des Bohrkerns BK-VI.



Abbildung 15

Verschluss der Entnahmestelle BK-III.

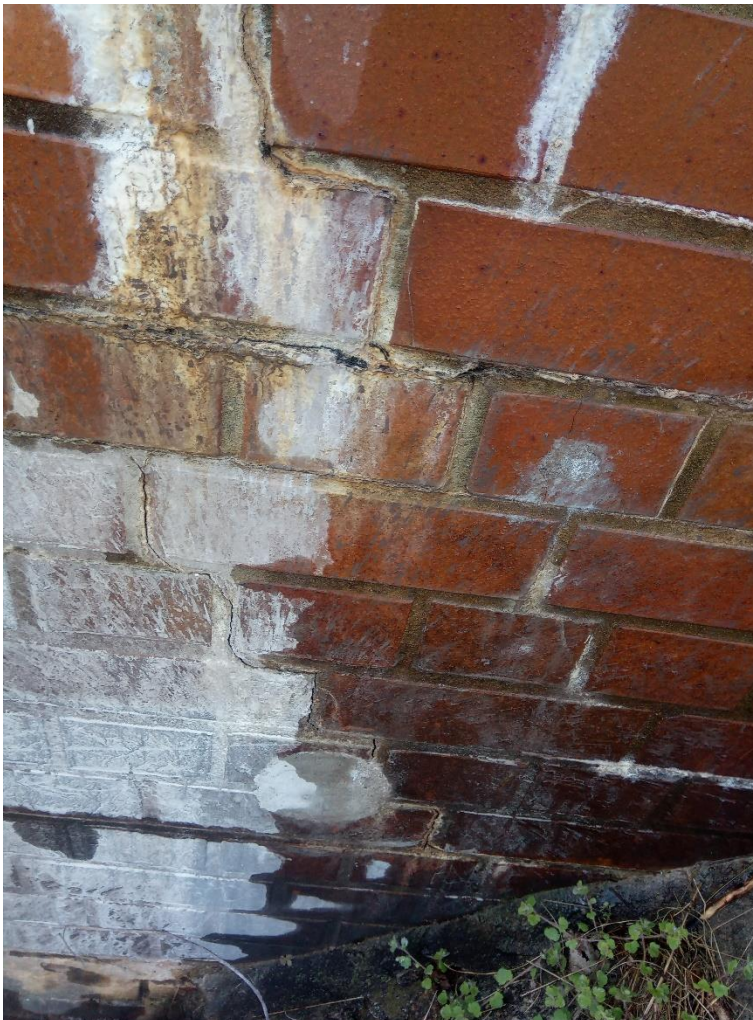
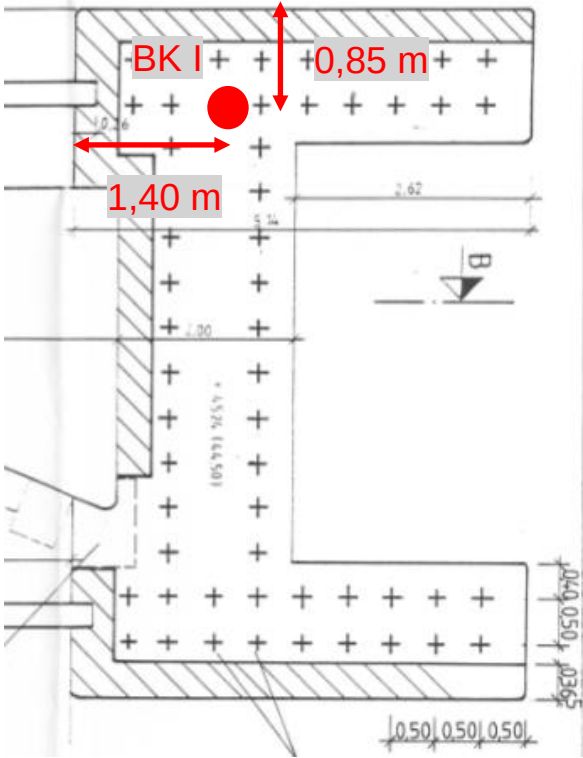
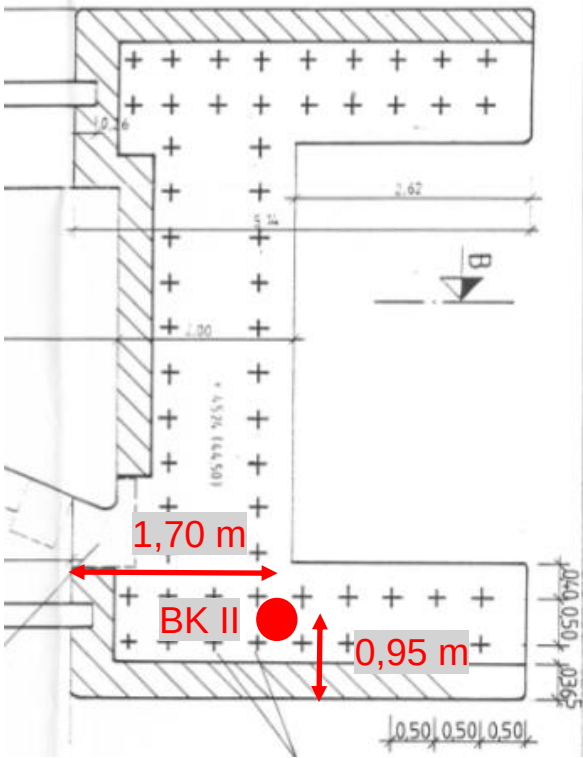


Abbildung 16

Verschluss der Entnahmestelle BK-VI.

Tabelle 4: Lage der Bohrkerne BKI bis BKVI

	Abbildung 17 Lage der Bohrkernentnahmestelle BKI
	Abbildung 18 Lage der Bohrkernentnahmestelle BKII

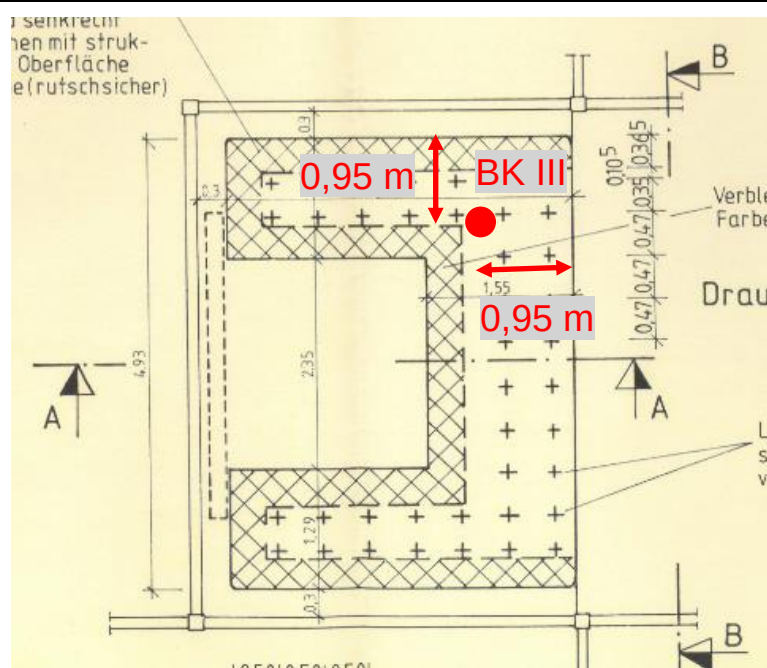


Abbildung 19

Lage der Bohrkernentnahmestelle BKIII



Abbildung 20

Lage der Bohrkernentnahmestelle BKIV



Abbildung 21

Lage der Bohrkernentnahmestelle BKV



Abbildung 22

Lage der Bohrkernentnahmestelle BKVI

Tabelle 5: Dokumentation der Trockenlegung



Abbildung 23

Trockenlegung der Schleusenanlage im Zuge der 1994 durchgeführten Sanierung



Abbildung 24

Trockenlegung der Schleusenanlage im Zuge der 1994 durchgeführten Sanierung



Abbildung 25

Trockenlegung der Schleusenanlage im Zuge der 1994 durchgeführten Sanierung



Abbildung 26

Trockenlegung der Schleusenanlage im Zuge der 1994 durchgeführten Sanierung

4. Prüfverfahren und Prüfnormen

4.1 Bewehrungsart

Die Lage der Bewehrung im Beton wird zerstörungsfrei oder zerstörungsarm auf Grundlage des Merkblatts B2 „Merkblatt zur zerstörungsfreien Betondeckungsmessung und Bewehrungsart an Stahl- und Spannbetonbauteilen“ der Deutschen Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (DGZfP) ermittelt. Folgendes Gerät und Messprinzip wurden eingesetzt: Hilti PS 1000

Hilti PS 1000: Das Gerät arbeitet mit dem Radar-Verfahren und kann die Lage der Bewehrung über den Messweg aufzeichnen. Auf ihrem Weg durch das Bauteil wird die elektromagnetische Welle an Diskontinuitäten und am Übergang zwischen Medien mit unterschiedlichen Dielektrizitätszahlen gestreut, reflektiert und gebeugt sowie durch Absorption geschwächt. Entsprechend den konstruktiven Randbedingungen beträgt die Sichttiefe bis zum 300 mm.

4.2 Bestimmung der Betondruckfestigkeit

Die Betondruckfestigkeit wird an aus dem Bauwerk entnommenen Bohrkernen ermittelt.

Grundlage für die Prüfung bilden die Vorgaben der DIN EN 12504-1:2009-07, Teil 1 sowie die Vorgaben der DIN EN 12390-3:2009-07, Teil 3.

Die Betondruckfestigkeit wird anschließend entsprechend DIN EN 13791:2020-02 eingeschätzt.

4.3 Gefügebildung, Fotodokumentation und Beurteilung des Verbunds der Bohrkern

Die Bohrkern wurden fotografiert und die Gesteinskörnung an der Mantelfläche und den Bruchflächen der Körnung petrographisch untersucht, d.h. die Gesteinsarten wurden visuell anhand ihres Mineralgehaltes und ihres Gefügebildes bestimmt. Dabei wurde auch auf deutliche Anzeichen einer Alkali-Kieselsäure-Reaktion geachtet.

4.4 Mikroskopische Untersuchung des Betons

Von jeder Probe wurde jeweils mindestens ein Anschliff hergestellt, indem Schnittflächen geschliffen und poliert wurden. Weiterhin wurden die Bruchflächen der Bohrkern auf AKR-Gel untersucht. Die Betrachtung erfolgte an dem Stereomikroskop bei maximaler Vergrößerung von 65 : 1.

4.5 Bestimmung des Alkaliäquivalentes

Die Betonproben werden grob zerkleinert und in der Schwingscheibenmühle aufgemahlen. Für die Bestimmung wird das analysenfeine Probenmaterial salzsauer aufgeschlossen und die Gehalte an Natrium und Kalium mittels ICP-OES bestimmt. Für die Beurteilung des Na_2O -Äquivalents wird Kalium stöchiometrisch (also im molaren Verhältnis) als Natrium in das Na_2O -Äquivalent eingerechnet.

5. Ergebnisse

5.1 Gefügeaufnahme, Fotodokumentation und Beurteilung des Verbunds der Bohrkerne

Tabelle 6: Zusammenfassung des Schichtaufbaus der BK-I bis BK-VI

Zusammenfassung BK-I bis BK-VI

Abbildung 27: Übersichtsbild der Bohrkerne BK-I bis BK-VI
Beschreibung
<u>BK-I</u> Länge gesamt: 313 cm Schicht 1: 0 bis 11,5 cm Mauerwerk / Hohllochziegel Schicht 2: 11,5 bis 263 cm Konstruktionsbeton Schicht 3: 263 bis 313 cm Stampfbeton
<u>BK-II</u> Länge gesamt: 328 cm Schicht 1: 0 bis 11,5 cm Mauerwerk / Hohllochziegel Schicht 2: 11,5 bis 156 cm Konstruktionsbeton Schicht 3: 156 bis 328 cm Stampfbeton
<u>BK-III</u> Länge gesamt: 340 cm Schicht 1: 0 bis 11 cm Mauerwerk / Hohllochziegel Schicht 2: 11 bis 153 cm Konstruktionsbeton Schicht 3: 153 bis 324 cm Mauerwerk / Hohllochziegel Schicht 5: 324 bis 340 cm Stampfbeton
<u>BK-IV</u> Länge gesamt: 51 cm Schicht 1: 0 bis 35 cm Mauerwerk / Hohllochziegel Schicht 2: 35 bis 51 cm Konstruktionsbeton
<u>BK-V</u> Länge gesamt: 50 cm Schicht 1: 0 bis 36 cm Mauerwerk / Hohllochziegel Schicht 2: 36 bis 50 cm Konstruktionsbeton
<u>BK-VI</u> Länge gesamt: 36 cm Schicht 1: 0 bis 28 cm Mauerwerk / Hohllochziegel Schicht 2: 28 bis 39 cm Konstruktionsbeton

Tabelle 7: Gefügeaufnahme BK-I

BK-I	Beschreibung
	Abbildung 28: Teilstück BK-I.1. • Mauerwerk / Hohllochziegel, Vorsatzschale • Verbund Mauerwerk-Konstruktionsbeton: kein Haftverbund vorhanden
	Abbildung 29: Teilstück BK-I.2 • Konstruktionsbeton: • Stellenweise stark gespaltene Gesteinskörnung → Hinweis auf AKR • weißer Saum um Gesteinskörnung → Hinweis auf Reaktionsprodukte einer AKR • Abplatzungen am Konstruktionsbeton → Hinweis auf AKR • Längsriss im Konstruktionsbeton



Abbildung 30: Teilstück BK-I.3

- Konstruktionsbeton:
- Stellenweise stark gespaltene Gesteinskörnung → Hinweis auf AKR
- weißer Saum um Gesteinskörnung → Hinweis auf Reaktionsprodukte einer AKR



Abbildung 31: Teilstück BK-I.4

- Konstruktionsbeton:
- Stellenweise stark gespaltene Gesteinskörnung → Hinweis auf AKR
- weißer Saum um Gesteinskörnung → Hinweis auf Reaktionsprodukte einer AKR



Abbildung 32: Teilstück BK-I.4 bis I.5

- Konstruktionsbeton:
- Stellenweise stark gespaltene Gesteinskörnung → Hinweis auf AKR
- weißer Saum um Gesteinskörnung → Hinweis auf Reaktionsprodukte einer AKR



Abbildung 33: Teilstück BK-I.5 bis I.6

- Konstruktionsbeton:
- Stellenweise stark gespaltene Gesteinskörnung → Hinweis auf AKR
- weißer Saum um Gesteinskörnung → Hinweis auf Reaktionsprodukte einer AKR
- starke Verschotterung des Konstruktionsbetons → Hinweis auf AKR
- Längsriss im Konstruktionsbetons



Abbildung 34: Teilstück BK-I.7

- Konstruktionsbeton:
- Stellenweise stark gespaltene Gesteinskörnung → Hinweis auf AKR
- weißer Saum um Gesteinskörnung → Hinweis auf Reaktionsprodukte einer AKR



Abbildung 35: Teilstück BK-I.8 bis I.9

- Konstruktionsbeton:
- Stellenweise stark gespaltene Gesteinskörnung → Hinweis auf AKR
- weißer Saum um Gesteinskörnung → Hinweis auf Reaktionsprodukte einer AKR
- Längsriss im Konstruktionsbeton



Abbildung 36: Teilstück BK-I.8 bis I.9

- Konstruktionsbeton:
- Stellenweise stark gespaltene Gesteinskörnung → Hinweis auf AKR
- weißer Saum um Gesteinskörnung → Hinweis auf Reaktionsprodukte einer AKR
- Längsriss im Konstruktionsbeton



Abbildung 37: Teilstück BK-I.9

- Konstruktionsbeton:
- Stellenweise stark gespaltene Gesteinskörnung → Hinweis auf AKR
- weißer Saum um Gesteinskörnung → Hinweis auf Reaktionsprodukte einer AKR
- Stampfbeton:
- vereinzelt Verdichtungs-poren
- Verbund Konstruktionsbeton-Stampfbeton: Haftverbund vorhanden



Abbildung 38: Teilstück BK-I.10 bis I.11

- Stampfbeton:
- vereinzelt Verdichtungs-poren

Tabelle 8: Gefügeaufnahme BK-II

BK-II	Beschreibung
	Abbildung 39: Teilstück BK-II.1 • Mauerwerk / Hohllochziegel, Vor-satzschale • Verbund Mauerwerk-Konstruktionsbeton: kein Haftverbund vorhanden
	Abbildung 40: Teilstück BK-II.2 • Konstruktionsbeton: • Stellenweise stark gespaltene Gesteinskörnung → Hinweis auf AKR • weißer Saum um Gesteinskörnung → Hinweis auf Reaktionsprodukte einer AKR • starke Verschotterung des Konstruktionsbetons → Hinweis auf AKR



Abbildung 41: Teilstück BK-II.3 bis II.4

- Konstruktionsbeton:
- Stellenweise stark gespaltene Gesteinskörnung → Hinweis auf AKR
- weißer Saum um Gesteinskörnung → Hinweis auf Reaktionsprodukte einer AKR



Abbildung 42: Teilstück BK-II.4 bis II.5

- Konstruktionsbeton:
- Stellenweise stark gespaltene Gesteinskörnung → Hinweis auf AKR
- weißer Saum um Gesteinskörnung → Hinweis auf Reaktionsprodukte einer AKR



Abbildung 43: Teilstück BK-II.6 bis II.8

- Konstruktionsbeton:
- Stellenweise stark gespaltene Gesteinskörnung → Hinweis auf AKR
- weißer Saum um Gesteinskörnung → Hinweis auf Reaktionsprodukte einer AKR



Abbildung 44: Teilstück BK-II.8 bis II.11

- Konstruktionsbeton:
- Stellenweise stark gespaltene Gesteinskörnung → Hinweis auf AKR
- weißer Saum um Gesteinskörnung → Hinweis auf Reaktionsprodukte einer AKR
- Verbund Konstruktionsbeton-Stampfbeton: kein Haftverbund vorhanden
- Stampfbeton:
- vereinzelt Verdichtungs-poren



Abbildung 45: Teilstück BK-II.11 bis II.12

- Stampfbeton:
- vereinzelt Verdichtungs-poren



Abbildung 46: Teilstück BK-II.13 bis II.14

- Stampfbeton:
- vereinzelt Verdichtungsporen



Abbildung 47: Teilstück BK-II.15

- Stampfbeton:
- vereinzelt Verdichtungsporen



Abbildung 48: Teilstück BK-II.16 bis II.17

- Stampfbeton:
- vereinzelt Verdichtungsporen



Abbildung 49: Teilstück BK-II.16 bis II.17

- Stampfbeton:
- vereinzelt Verdichtungsporen

Tabelle 9: Gefügaufnahme BK-III

BK-III	Beschreibung
	Abbildung 50: Teilstück BK-III.1 • Mauerwerk / Hohllochziegel, Vorsatzschale • Verbund Mauerwerk-Konstruktionsbeton: kein Haftverbund vorhanden



Abbildung 51: Teilstück BK-III.2

- Konstruktionsbeton
- Stellenweise stark gespaltene Gesteinskörnung → Hinweis auf AKR
- weißer Saum um Gesteinskörnung → Hinweis auf Reaktionsprodukte einer AKR
- Längsriss im Konstruktionsbetons
- starke Verschotterung des Konstruktionsbetons → Hinweis auf AKR



Abbildung 52: Teilstück BK-III.3

- Konstruktionsbeton:
- Stellenweise stark gespaltene Gesteinskörnung → Hinweis auf AKR
- weißer Saum um Gesteinskörnung → Hinweis auf Reaktionsprodukte einer AKR
- starke Verschotterung des Konstruktionsbetons → Hinweis auf AKR



Abbildung 53: Teilstück BK-III.4

- Konstruktionsbeton:
- Stellenweise stark gespaltene Gesteinskörnung → Hinweis auf AKR
- weißer Saum um Gesteinskörnung → Hinweis auf Reaktionsprodukte einer AKR



Abbildung 54: Teilstück BK-III.4 bis III.6

- Konstruktionsbeton:
- Stellenweise stark gespaltene Gesteinskörnung → Hinweis auf AKR
- weißer Saum um Gesteinskörnung → Hinweis auf Reaktionsprodukte einer AKR



Abbildung 55: Teilstück BK-III.7

- Konstruktionsbeton:
- Stellenweise stark gespaltene Gesteinskörnung → Hinweis auf AKR
- weißer Saum um Gesteinskörnung → Hinweis auf Reaktionsprodukte einer AKR



Abbildung 56: Teilstück BK-III.8 bis III.9

- Mauerwerk / Hohllochziegel
- Verbund Konstruktionsbeton-Mauerwerk: geringer Haftverbund



Abbildung 57: Teilstück BK-III.10

- Mauerwerk / Hohllochziegel



Abbildung 58: Teilstück BK-III.11 bis III.12

- Mauerwerk / Hohllochziegel



Abbildung 59: Teilstück BK-III.13

- Mauerwerk / Hohllochziegel



Abbildung 60: Teilstück BK-III.13

- Mauerwerk / Hohllochziegel



Abbildung 61: Teilstück BK-III.13 bis III.14

- Mauerwerk / Hohllochziegel
- Stampfbeton:
- vereinzelt Verdichtungs-poren
- Verbund Mauerwerk-Stampfbeton: kein Haftverbund vorhanden

Tabelle 10: Gefügeaufnahme BK-IV

BK-IV	Beschreibung
	Abbildung 62: Übersichtsbild BK-IV • Mauerwerk / Hochlochziegel • Konstruktionsbeton: • weißer Saum um Gesteinskörnung → Hinweis auf Reaktionsprodukte einer AKR • weißer Saum um Gesteinskörnung → Hinweis auf Reaktionsprodukte einer AKR • Verbund Mauerwerk-Konstruktionsbeton: kein Haftverbund vorhanden

Tabelle 11: Gefügeaufnahme BK-V

BK-V	Beschreibung
	Abbildung 63: Übersichtsbild BK-V • Mauerwerk / Hochlochziegel • Konstruktionsbeton: • weißer Saum um Gesteinskörnung → Hinweis auf Reaktionsprodukte einer AKR • Abplatzungen am Konstruktionsbeton → Hinweis auf AKR • starke Verschotterung des Konstruktionsbetons → Hinweis auf AKR • Verbund Mauerwerk-Konstruktionsbeton: kein Haftverbund vorhanden

Tabelle 12: Gefügeaufnahme BK-VI

BK-VI	Beschreibung
	Abbildung 64: Übersichtsbild BK-VI • Mauerwerk / Hochlochziegel • Konstruktionsbeton: • Abplatzungen am Konstruktionsbeton → Hinweis auf AKR • Längsriß im Konstruktionsbeton • starke Verschotterung des Konstruktionsbetons → Hinweis auf AKR • Verbund Mauerwerk-Konstruktionsbeton: kein Haftverbund vorhanden
	Abbildung 65: Detailbild BK-VI • Konstruktionsbeton: • weißer Saum um Gesteinskörnung → Hinweis auf Reaktionsprodukte einer AKR

5.2 Bestimmung der Betondruckfestigkeit

Die ermittelte Betonrohddichte und Druckfestigkeit werden in Tabelle 13 bis 15 dargestellt.

Tabelle 13: Rohddichte und Druckfestigkeit der vertikalen Bohrkern des Konstruktionsbetons

Prüfkörper	Rohddichte in kg/m ³	Mittelwert Rohddichte in kg/dm ³	Druckfestigkeit Bohrkern $f_{c,BK}$ in N/mm ²	Mittelwert Druckfestigkeit / kleinster Einzelwert in N/mm ²	Maßgebliches $f_{ck,is}$ in N/mm ² / Druckfestigkeitsklasse
BK-I.2	2319	2319	44,8	36,8 / 32,1	26,3 / C25/30
BK-I.4	2275		32,1		
BK-I.7	2303		36,2		
BK-II.2	2336		36,0		
BK-II.5	2322		33,4		
BK-III.2	2324		37,0		
BK-III.7	2351		38,0		

Tabelle 14: Rohddichte und Druckfestigkeit der horizontalen Bohrkern des Konstruktionsbetons

Prüfkörper	Rohddichte in kg/m ³	Mittelwert Rohddichte in kg/dm ³	Druckfestigkeit Bohrkern $f_{c,BK}$ in N/mm ²	Mittelwert Druckfestigkeit / kleinster Einzelwert in N/mm ²	Maßgebliches $f_{ck,is}$ in N/mm ² / Druckfestigkeitsklasse
BK-IV	2302	2306	48,1	45,3 / 40,9	33,5 / C30/37
BK-V	2286		40,9		
BK-VI	2330		47,0		

Tabelle 15 Rohdichte und Druckfestigkeit der vertikalen Bohrkern des Stampfbetons

Prüfkörper	Rohdichte in kg/m ³	Mittelwert Rohdichte in kg/dm ³	Druckfestigkeit Bohrkern $f_{c,BK}$ in N/mm ²	Mittelwert Druckfestigkeit / kleinster Einzelwert in N/mm ²	Maßgebliches $f_{ck,is}$ in N/mm ² / Druckfestigkeitsklasse
BK-I.9	2208	2227	17,6	34,7 / 30,0	24,6 / C20/25
BK-I.10	1956		8,4		
BK-II.10	2249		42,0		
BK-II.17	2184		30,0		
BK-III.14	2249		32,0		

5.3 Mikroskopische Untersuchung des Betons

Tabelle 16: Mikroskopische Untersuchung am Anschliff BK-III.6

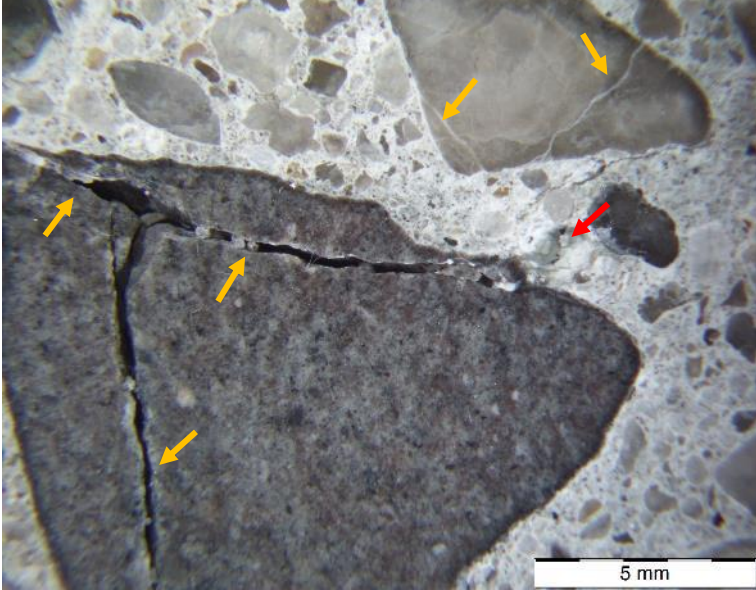
BK III-6 – Anschliff	Beschreibung
	Abbildung 66: Anschliff Der Anschliff repräsentiert den Bereich von ca. 80 bis 100 cm Bohrkerntiefe. Bereits makroskopisch ist erkennbar, dass einige Gesteinskörner innere Risse aufweisen.
	Abbildung 67: Detail Innerhalb einiger Gesteinskörner treten sowohl Mikrorisse als auch markantere Risse auf (gelbe Pfeile). Bei den Gesteinskörnern handelt es sich um feinkörnige Grauwacke und hellere kieselsäurehaltige Siltsteine. Die Pore in unmittelbarer Umgebung zu diesen Gesteinskörnern ist in der Wandung mit weißem Material verfüllt (roter Pfeil).

Tabelle 17: Mikroskopische Untersuchung am Anschliff BK-III.6

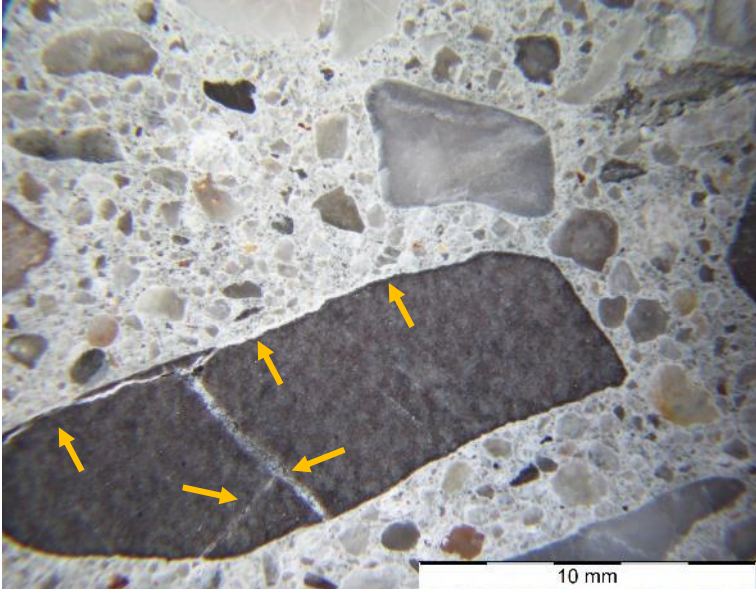
BK III-6 – Anschliff	Beschreibung
	Abbildung 68: Detail Ein Riss setzt sich von einem Gesteinskorn in der Betonmatrix fort und verläuft entlang eines Quarzkornes (gelbe Pfeile). In unmittelbarer Nähe befindet sich eine tiefe und an der Wandung mit weißem Material verfüllte Pore (roter Pfeil).
	Abbildung 69: Detail Bei diesem Gesteinskorn treten Risse sowohl innerhalb des Kornes als auch entlang der Korngrenze verlaufend auf (gelbe Pfeile). Die Risse sind hier mit weißem Material verfüllt.

Tabelle 18: Mikroskopische Untersuchung am Anschliff BK-III.6

BK III-6 – Bruchfläche und Mantelfläche	Beschreibung
	Abbildung 70: Detail An den Rändern der Grauwackenkörner befinden sich weiße Säume, die sich in der Betonmatrix fortsetzen.
	Abbildung 71: Detailbild AKR-Gel In dieser Pore hat sich AKR-Gel gebildet. Durch Austrocknung dieses Gels entstehen typische, ungerichtete Trockenrisse.

5.4 Bestimmung des Alkaliäquivalentes

Soll der Alkaligehalt auf den Kubikmeter Beton bezogen werden, so muss die ermittelte oder abgeschätzte Rohdichte für die Berechnung einbezogen werden.

Tabelle 19: Ergebnisse zum Alkaligehalt im Beton (die Umrechnung auf den Zementgehalt erfolgte in der letzten Spalte mit einem angenommenen Zementgehalt von 350 kg/m³ und einer angenommenen Rohdichte von 2.324 kg/m³)

Probe	Na ₂ O [M.-%]	K ₂ O [M.-%]	Na ₂ O-Äquiv. [M.-%]	Na ₂ O-Äquiv. [kg/m ³] Beton	Na ₂ O-Äquiv. [M.-%] Zement
BK-III.6	0,0333	0,33	0,25	5,8	1,66

Nach Angaben aus der Literatur liegen die Gehalte des Na₂O-Äquivalentes im Beton, bei deren Unterschreitung auch bei Vorliegen alkaliempfindlicher Zuschläge eine schädigende AKR ausgeschlossen werden kann, zwischen 3,6 kg/m³ und 2,7 kg/m³.

Nach der Alkali-Richtlinie des Deutschen Ausschuss für Stahlbeton (2013-10) ergibt sich der schärfste Bezugswert von 2,7 kg/m³. In Punkt 4.3.2 ist beschrieben, welche Mengen an Betonzusatzmitteln und Zement bei Einsatz von Zuschlägen der Alkaliempfindlichkeitsklassen E II-O, E II-OF, E III-O, E III-OF oder E III-G sowie der Feuchtigkeitsklasse WF und WA im Beton eingesetzt werden darf:

- Alkaligehalt (Na₂O-Äquivalent) des Betonzusatzmittels: ≤ 8,5 M.-%
- Zugabemenge des Betonzusatzmittels, bezogen auf den Zementgehalt: ≤ 2,0 M.-%
- Zementgehalt des Betons: $z \leq 350 \text{ kg/m}^3$.

Daraus ergibt sich, dass bei Ansatz der jeweils zulässigen Höchstmengen und dem Einsatz eines Zementes mit niedrigem wirksamen Alkali-Gehalt ein Wert von max. 2,7 kg/m³ nicht überschritten werden darf (2,1 kg/m³ aus dem na-Zement und 0,6 kg/m³ aus dem Zusatzmittel ergeben den Bezugswert von 2,7 kg/m³).

Die schärfsten Grenzwerte für den Alkaligehalt in Zementen werden in der DIN 1164-10:2013-03 „Zusammensetzung, Anforderungen und Übereinstimmungsnachweis von Zement mit niedrigem wirksamen Alkaligehalt“ angegeben. Demnach darf ein Zement ohne Hüttensand nur maximal 0,60 M.-% Na₂O-Äquivalent enthalten.

Das am Bohrkern BK-III.6 ermittelte Na₂O-Äquivalent überschreitet die von der Literatur vorgegebenen Bezugswerte von 3,6 kg/m³ und 2,7 kg/m³ bei weitem.

Nach Ermittlung des exemplarischen Alkaligehalts und der Mikroskopischen Untersuchung am Bohrkern BK-III.6 sowie der visuellen Bohrkernansprache der Bohrkern BK-I bis BK-VI, kann davon ausgegangen werden das **im Konstruktionsbeton aller untersuchten Bauwerke eine schädigende AKR-Reaktion vorliegt.**

6. Zusammenfassung und Bewertung

Die Kiwa GmbH wurde von WBV Nördlicher Spreewald, Am Sieg 15 in 15910 Bersteland / OT Freiwalde durch Herr Sven Gerhardt zur Bauwerksuntersuchung des Wehrs und des Ober- sowie Unterhauts der Schleuse in Alt Shadow beauftragt. Es soll festgelegt werden, ob eine Alkali-Kieselsäure-Reaktion im Beton des Bauteils stattfindet oder stattgefunden hat.

Am 07.04.2021 fand die Probenahme der vertikalen Bohrkerne an den Wiederlagern des Wehrs und der Schleuse statt. Die horizontalen Bohrkerne wurden am 08.04.2021 aus den Wiederlagern entnommen.

An den Bohrkernen BK-I bis BK-VI wurden folgende Untersuchungen durchgeführt.

- Gefügaufnahme, Fotodokumentation und Beurteilung des Verbunds der Bohrkerne
- Bestimmung der Druckfestigkeit

Des Weiteren wurde am Bohrkern BK-III.6 folgende exemplarische Untersuchungen bezüglich einer Alkali-Kieselsäure-Reaktion durchgeführt.

- Mikroskopische Untersuchungen an Anschliffen und Bruchflächen
- Bestimmung des Alkaliäquivalentes

Die Ergebnisse aller Untersuchungen sind in Tabelle 20 und 21 zusammengefasst.

Tabelle 20: Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse

	Konstruktionsbeton	Stampfbeton
Visuelle Bohrkernansprache	Risse innerhalb einiger Gesteinskörner, weiße Porenfüllungen	Vereinzelt Verdichtungs-poren
Mikroskopie	häufig Risse innerhalb der feinkörnigen Gesteinskörner, welche sich im Zementstein fortsetzten, weißes AKR-Gel in Poren	-
Na ₂ O-Äquivalent des Betons	5,8 kg/m ³	-
Druckfestigkeit horizontale Bohrkerne	33,54 / C30/37	-
Druckfestigkeit vertikale Bohrkerne	26,3 / C25/30	24,6 / C20/25

Es wurde am Bohrkern BK-III.6 ein Alkaligehalt von $5,8 \text{ kg/m}^3$ ermittelt. Dieser Gehalt überschreitet die von der Literatur vorgegebenen Bezugswerte von $3,6 \text{ kg/m}^3$ und $2,7 \text{ kg/m}^3$, welche sich aus der Alkali-Richtlinie des Deutschen Ausschuss für Stahlbeton (2013-10) für die Feuchtigkeitsklasse WF und WA ergeben bei weitem.

Nach Ermittlung des exemplarischen Alkaligehalts und der Mikroskopischen Untersuchung am Bohrkern BK-III.6 sowie der visuellen Bohrkernansprache der Bohrkern BK-I bis BK-VI, kann davon ausgegangen werden das **im Konstruktionsbeton aller untersuchten Bauwerke eine schädigende AKR-Reaktion vorliegt.**

Tabelle 21: Zusammenfassung der visuellen Begutachtung

Bohrkern		Mauerwerk Vorsatzschale		Konstruktionsbeton	Konstruktionsbeton		Stampfbeton
BK-I		Kein Haftverbund vorhanden			Haftverbund vorhanden		
BK-II		Kein Haftverbund vorhanden			Kein Haftverbund vorhanden		
BK-IV		Kein Haftverbund vorhanden			-		
BK-V		Kein Haftverbund vorhanden			-		
BK-VI		Kein Haftverbund vorhanden			-		
Bohrkern	Mauerwerk Vorsatzschale	Konstruktionsbeton	Konstruktionsbeton	Mauerwerk	Mauerwerk	Stampfbeton	
BK-III	Kein Haftverbund vorhanden		Geringer Haftverbund		Kein Haftverbund vorhanden		

BK-I (Schleuse Oberhaupt):

- Zwischen der Vorsatzschale aus Mauerwerk und dem Konstruktionsbeton ist kein Verbund vorhanden
- Zwischen dem Konstruktionsbeton und dem Stampfbeton ist ein Haftverbund vorhanden

BK-II (Schleuse Unterhaupt):

- Zwischen der Vorsatzschale aus Mauerwerk und dem Konstruktionsbeton ist kein Verbund vorhanden
- Zwischen dem Konstruktionsbeton und dem Stampfbeton ist kein Verbund vorhanden

BK-III (Wehr)

- Zwischen der Vorsatzschale aus Mauerwerk und dem Konstruktionsbeton ist kein Verbund vorhanden
- Zwischen dem Konstruktionsbeton und dem Mauerwerk ist ein geringer Haftverbund gegeben.
- Zwischen dem Mauerwerk und dem Stampfbeton ist kein Haftverbund vorhanden

BK-IV (Schleuse Oberhaupt):

- Zwischen der Vorsatzschale aus Mauerwerk und dem Konstruktionsbeton ist kein Verbund vorhanden

BK-V (Schleuse Unterhaupt):

- Zwischen der Vorsatzschale aus Mauerwerk und dem Konstruktionsbeton ist kein Verbund vorhanden

BK-IV (Wehr):

- Zwischen der Vorsatzschale aus Mauerwerk und dem Konstruktionsbeton ist kein Verbund vorhanden

Zwischen dem 1994 im Zuge einer Sanierung Eingebrachten Konstruktionsbeton und dem Bestandsbeton bzw. Mauerwerk ist nur ein sehr begrenzter Haftverbund vorhanden. Auf Grund Stand der Technik ist ein Austausch von mehreren kaum Verbundenen Werkstoffen zwingend erforderlich. Insbesondere auf Grund statischer Belange. Ein Ersatzneubau sollte, auch auf Grund der AKR Schäden, in Erwägung gezogen werden.