

GUTACHTEN

[19 / B / 1442.2]

Naturwerksteinfassade

BV Döppersberg

Stadt Wuppertal

Auftraggeber:

Stadt Wuppertal
Geschäftsbereichsbüro 100.1
Projektleitung Döppersberg
Herr Udo Lauersdorf / Frau Martina Langer
Johannes-Rau-Platz 1

42275 WUPPERTAL

Gutachter:

Dr. Tombers & Partner - Gesellschaft
für Bauschadensforschung, Material-
prüfung und Umweltanalytik mbH

Hauptstraße 68

54455 SERRIG

... Ausfertigung
11.05.2020

0.1 Inhaltsverzeichnis

0.1	Inhaltsverzeichnis	.....	2
1.0	Auftrag und Zweck des Gutachtens	.....	3
2.0	Unterlagen zu dem Gutachten	.....	5
3.0	Ortstermin am 17.10.2019	.....	6
4.0	Bewertung	.....	35
5.0	Ausblick	.....	49
6.0	Laboruntersuchungen	.....	53
7.0	Weitere Untersuchungen	.....	69
8.0	Abschließende Bewertung	.....	80
Anhang			
	Kopien	.....	86

1.0 Auftrag und Zweck des Gutachtens

Die Dr. Tombers & Partner – Gesellschaft für Bauschadens-
forschung, Materialprüfung und Umweltanalytik mbH,
Hauptstraße 68, 54455 Serrig,

wurde von

der Stadt Wuppertal – Geschäftsbereichsbüro 100.1,
Projektleitung Döppersberg,
Herr Udo Lauersdorf / Frau Martina Langer,
Johannes-Rau-Platz 1, 42275 Wuppertal,

beauftragt, den Zustand der neu errichteten Naturwerksteinfassade am
„BV Döppersberg“ zu untersuchen. Insbesondere soll eine Risikoein-
schätzung vorgenommen werden, wobei das Thema „Verkehrssiche-
rungspflicht“ voranzustellen ist. Sich aus der nachfolgend beschriebe-
nen Schadenssituation dann evtl. grundsätzlich ergebende Fragen zur
Gebrauchstauglichkeit des verwendeten Materials in der vorliegenden
Einbausituation sind ebenfalls zu erarbeiten.

Es soll von uns demnach zunächst eine vollständige Schadenerfassung
vorgenommen werden und nach Auswertung aller Erkenntnisse, inkl.
durchzuführender Laboruntersuchungen im Anschluss an die erst dann
erfolgende Bewertung, ggf. Handlungsanweisungen für notwendige
Unterhalts-, Sanierungs- und / oder Erneuerungsmaßnahmen gegeben
werden.

Die Stadt Wuppertal hat ab den Jahren 2010/2011 mit der konkreten
Planung für die Neugestaltung des Döppersberg begonnen und ab
2014 den Neubau der Gebäude Busbahnhof und Bahnhofsmall auch
realisiert.

Am 22.04.2014 wurde im Bereich des Busbahnhofs mit der Installation der in Rede stehenden Naturwerksteinfassade begonnen und in 2017 im Wesentlichen abgeschlossen. Die VOB-Abnahme erfolgte am 19. Dezember 2018.

Mehrfach wurden seitdem immer wieder kleinere abgelöste / abgeplatzte Natursteinscherben bis zu einer Länge von knapp 10 cm resp. einer Masse von bis zu ca. 50 g vorgefunden oder konnten mit der Hand – da schon teilweise abgelöst – problemlos von der Fassade abgenommen werden. Im Frühjahr 2019 wurden dann erstmals anlässlich einer Fassadenbefahrung auch „Risse“ in den Werksteinen vorgefunden. Aus dieser Befahrung resultiert eine erste Mängelanzeige der Bauüberwachung der Arge GKK/HIG (Gößler Kinz Kreienbaum, Hamburg und Hensel Ingenieur GmbH, Kassel) vom 29.04.2019. Darin heißt es: *„ACHTUNG - Es ist nicht ausgeschlossen, dass größere Steinbrocken sich ablösen können, die aus entsprechender Fallhöhe zu erheblichen Verletzungen führen können. Hier sind ggf. Sofort – Sicherungsmaßnahmen notwendig. Die Stellen sind umgehend zu lokalisieren und zu sichern.“*

Am 02.05.2019 hat es durch die ausführende Baufirma, Arbeitsgemeinschaft Wittfeld/MBN, einen Ortstermin mit Beteiligung des Subunternehmers für die Natursteine, Stone-Alliance (Herr Theis) und einen durch die Fa. Stone-Alliance beauftragten Gutachter (Herr Mehmcke) gegeben. Die Ergebnisse stellt Herr Mehmcke in seinem Schreiben vom 09.05.2019 dar. Nach der Begehung am 02.05.2019 und dem Schreiben des Gutachters Mehmcke vom 09.05.2019 antwortet die Arbeitsgemeinschaft Döppersberg auf die Mängelanzeige am 10.05.2019 und weist diese zurück.

Grundlage ist dabei u. a. die o. g. Stellungnahme des SV Mehmcke vom 09.05.2019, in dem auf die Sachfragen des Schreibens vom 29.04.2019 allerdings (zumindest teilweise) überhaupt nicht eingegangen wird.

Für die Stadt stellt sich die tatsächliche Situation nicht exakt dar. Bereits im Juni 2018 hat die Stadt anlässlich einer großen Anfrage der FDP-Fraktion zu diesem Thema berichtet. Seinerzeit wurden keine Probleme gesehen. Zudem hatte bereits im April ein in Sprockhövel ansässiger Steinbruchbesitzer massive Mängel und Fehler für die in Rede stehende Fassade konstatiert und der Stadt schriftlich mitgeteilt. Als ab Mai die Mängelanzeigen von dem ausführenden Unternehmer nicht umfänglich beantwortet wurden, hat die Stadt hier nachgefasst und die Beobachtungsdichte gesteigert. Weiter gab es dann im August 2019 einen Artikel in der Wuppertaler Zeitung „WZ“ sowie im Remscheider General-Anzeiger „rga“, in dem der erwähnte Steinbruchbesitzer nochmals die Mängel und Fehler für die in Rede stehende Fassade aufzeigte.

Verunsichert über ganz offensichtliche Widersprüche zu der Eignung der Natursteine und der oben dargestellten Gesamtsituation ergibt sich die Beauftragung an unsere Gesellschaft.

Mit Datum vom 05.12.2019 wurde hierzu eine erstes, vorläufiges Gutachten [19 / B / 1442] erarbeitet, welches nach Durchführung weiterer Untersuchungen dann ergänzt und Ende April 2020 als Gutachten [19 / B / 1442.2] vorgelegt wurde – bis einschließlich Kapitel 5.0 wurde das vorläufige Gutachten lediglich redaktionell überarbeitet; der Anhang (Fototeil und Kopien) wurde ergänzt.

2.0 Unterlagen zu dem Gutachten

- 2.1 div. Unterlagen, zur Verfügung gestellt durch die Stadt, über die Projektsteuerung – Hasselmann und Müller Planungsgesellschaft mbH, Kassel

(sofern verwendet, exakt benannt und / oder als Kopie im Anhang beigelegt)

- 2.2 Ergebnisse von eigenen Untersuchungen am Objekt
- 2.3 Müller, Friedrich: Gesteinskunde, 3. Auflage; Ebner-Verlag, Ulm, 1991
- 2.4 Weber / Hill: Naturstein für Anwender, 4. Auflage; Ebner-Verlag, 2008
- 2.5 Internetzugriffe; vor allem Wikipedia
- 2.6 Erfahrungsschatz des Unterzeichners sowie Ergebnisse von Laboruntersuchungen / Natursteinprüfungen

3.0 Ortstermin am 17.10.2019

Am 17.10.2019 wurde seitens des Unterzeichners ein Ortstermin an der in Rede stehenden Natursteinfassade durchgeführt. An dem Ortstermin haben teilgenommen:

Herr Lauersdorf (Projektleitung Döppersberg, Stadt Wuppertal),
Frau Langer (Projektleitung Döppersberg, Stadt Wuppertal),
Frau Baumbusch (Projektleitung Döppersberg, Team Hochbau, Stadt Wuppertal),
Herr Gremme (Projektleitung Döppersberg, Team Hochbau, Stadt Wuppertal),
Frau Müller (Projektsteuerung, Hasselmann und Müller Planungsgesellschaft mbH, Kassel),

Herr Eckhardt (Planer und Bauüberwachung, Arge Gößler Kinz Kreienbaum, Hamburg und Hensel Ingenieur GmbH, Kassel),
Herr Dr. Tombers (Sachverständiger, Dr. Tombers & Partner GmbH, Serrig).

Bei der in Rede stehenden Fassade handelt es sich nicht um eine herkömmliche vorgehängte Fassade aus Natursteinplatten, die mit üblichen Halt- und Trageankern, mit Hinterschnittankern oder mit irgend einem anderen bekannten, gängigen System (Schienensysteme etc.) an den dahinter liegenden Außenmauern der verschiedenen Gebäude befestigt sind. Vielmehr sind im vorliegenden Fall einzelne Natursteinbalken von ca. 140 cm bzw. 165 cm Länge und Regelquerschnitten von 16 x 16 cm resp. 16 x 30 cm als „lückenhaftes“ Natursteinmauerwerk mit einer Fugenbreite von ca. 1,5 cm übereinander geschichtet. Der Zusammenhalt dieser Natursteinfassade ergibt sich dadurch, dass die einzelnen Balken jeweils mit zwei Bohrungen (links und rechts) auf Edelstahl-Zugstäben aufgefädelt sind, welche wiederum mittels entsprechenden Ankerplatten an den rückliegenden Außenwänden der unterschiedlichen Gebäudeteile befestigt sind. Auf der Ebene des Freigeländes / Außenbereich ist die Fassade so konstruiert, dass sich eine Brüstungsmauer ergibt.

Einen Eindruck von der Konstruktion vermitteln die nachfolgenden Fotos 1 bis 4.



Foto 1: Blick parallel zur Front Zufahrt Parkhaus / Eingänge zur Bahnhofshalle;
Foto aus der Bauphase (Quelle: Stadt Wuppertal)



Foto 2: Blick auf die Treppe zum oberen Außenbereich (Quelle: Stadt Wuppertal)



Foto 3: Blick über den Bahnhofsvorplatz zum rechten Zugang Bahnhofshalle
(Quelle: Stadt Wuppertal)

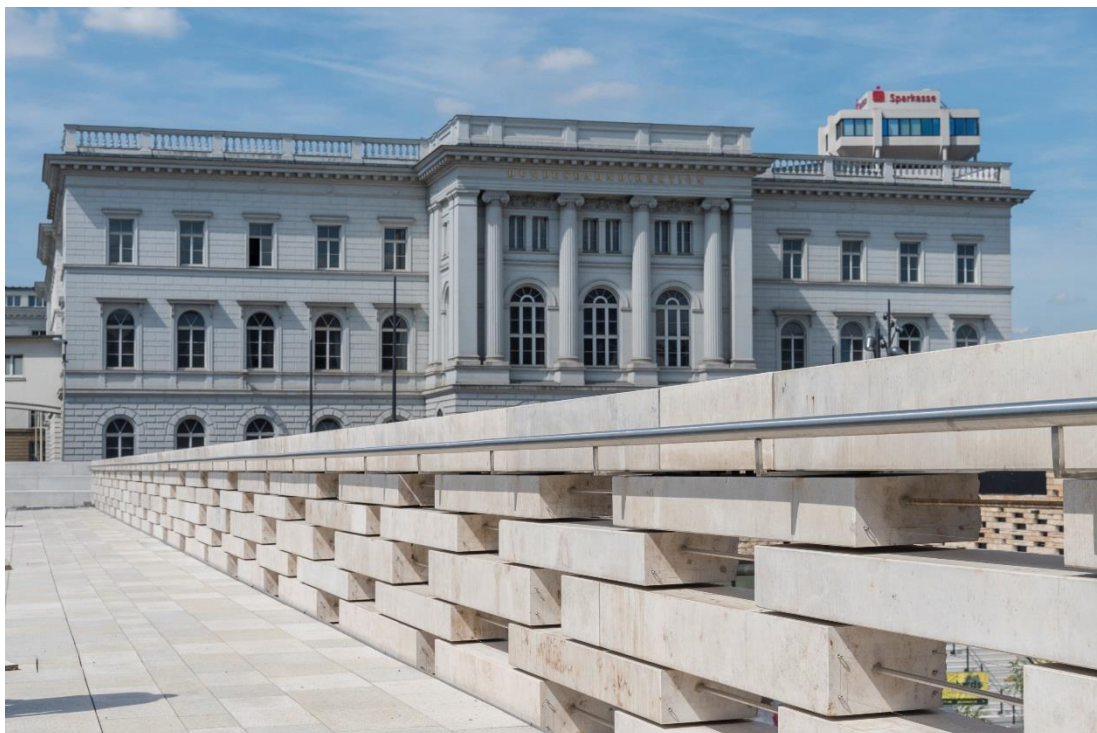


Foto 4: rückwärtige Ansicht der Brüstungsmauer, Bereich Busbahnhof, Randbereich (Quelle: Stadt Wuppertal)

Bei dem verwendeten Natursteinmaterial handelt es sich um Jurakalkstein. Der genaue Bruchort und die verwendeten Lagen sind trotz mehrfacher Nachfrage beim Ausführenden nicht bekannt, es soll sich gemäß LV-Position 08.01.03.003 (Druckdatum 10.03.2015) aber um Dietfurter Kalkstein aus dem Bruch Dietfurt handeln.

Gemeinsam wurde die Natursteinfassade durch Begehung des Bereichs hinter der Brüstung (Bereich Grünanlagen und Busbahnhof einschließlich Treppenanlage) sowie vom Niveau Straße / Platz vor dem Hauptbahnhof aus besichtigt. Seitens des Unterzeichners wurde auch eine kurzzeitige Befahrung mittels Hubsteiger im Bereich über dem linken Zugang zur Bahnhofshalle durchgeführt.

Interessanterweise konnte während unserer Besichtigung beobachtet werden, dass gleichzeitig seitens des Subunternehmers der Arge Döppersberg (Fassadenerbauer Stone-Alliance, Herr „Marek“) eine Befahrung der Fassade durchgeführt wurde, wobei ganz offensichtlich angelöste Bruchstücke, Schalen etc. von der Krustenfassade abgenommen wurden.

Diese Maßnahme resultiert vermutlich aus der Aufforderung der Stadt vom 11.10.2019, eine Mängelbeseitigung in der 42. KW vorzunehmen.

Bei der Befahrung und der weiteren Begehung wurden durch den Unterzeichner die nachfolgenden Feststellungen getroffen:

Bereits aus den oben vorgestellten Fotos 1 bis 4 (insbesondere auf Foto 1) ist erkennbar, dass es sich bei den Mauersteinen um sog. Krustensteine handelt – die Kruste liegt dabei in der außenseitigen, vertikalen Ansichtsfläche der Steine, alle anderen Seiten sind gesägt, was auf Foto 4 (rückwärtige Seite der Brüstung) sehr deutlich zu erkennen ist.

Bedingt durch die nach außen (Ansichtsfläche) gerichtete Kruste sind die Mauersteine nicht entsprechend ihrem natürlichen Lager eingebaut, sondern „stehen auf Spalt“. Dies ist anhand der zahlreichen, auf den geschnittenen Oberflächen erkennbaren Stylolithen deutlich zu erkennen – vgl. hierzu beispielhaft die Fotos 5 und 6.



Foto 5: erkennbare Stylolithen auf der Steinoberfläche



Foto 6: erkennbare Stylolithen auf der Steinoberfläche

Mehr zu den Themen „Lager“, „Stylolithen“ sowie dem Jurakalkstein insgesamt unter „4.0 Bewertung“ (s. u.).

Anlässlich der Befahrung von Teilbereichen der Fassade wurden zahlreiche Fälle vorgefunden, in denen sich nahe der Krusten-Oberfläche befindliche Stylolithen aufweiten und es dort zu beginnenden Ablösungen von Steinscherben kommt. Einige Bereiche sind beispielhaft in den Fotos 7 bis 12 dargestellt. Durch diese beginnenden Ablösungen lassen sich zahlreiche kleinere Scherben problemlos mit der Hand abnehmen – vgl. hierzu die Fotos 12 bis 14.

Auf Foto 14 ist zudem gut erkennbar, dass an der Krustenoberfläche bereits eine Besiedlung mit Algen und Moosen begonnen hat.



Foto 7: Ablösungserscheinungen resp. Ausbildung von Scherben an der Krustenoberfläche



Foto 8: Ablösungserscheinungen resp. Ausbildung von Scherben an der Krustenoberfläche



Foto 9: Ablösungserscheinungen resp. Ausbildung von Scherben an der Krustenoberfläche



Foto 10: Ablösungserscheinungen resp. Ausbildung von Scherben an der Krustenoberfläche



Foto 11: Ablösungserscheinungen resp. Ausbildung von Scherben an der Krustenoberfläche



Foto 12: Abnahme eines Scherbenstücks genau an der in Foto 11 erkennbaren Stelle



Foto 13: Beispiele für abgenommene Scherben; größtes Teilstück oben rechts: 7 cm lang, 5 cm breit, ca. 2 cm dick



Foto 14: Beispiele für abgenommene Scherben; hier Detailaufnahme aus Foto 13: beginnende Algen- und Moosbildungen an der grünlichen Farbe erkennbar

Die beginnenden Ablösungserscheinungen resp. Ausbildung von Scherben an der Krustenoberfläche sind ganz klar auf das „Auskeilen“ der Stylolithen an der Krustenoberfläche zurückzuführen – vgl. hierzu insbesondere Foto 8, aber auch die Dokumentation durch die Fotos 15 bis 27, bei denen sich bereits ähnliche Situationen darstellen.

Die Fotos 28 bis 34 dokumentieren dagegen Mauersteine, bei denen die Stylolithen deutlich weiter hinter der Krustenoberfläche liegen, wodurch aber dann prinzipiell auch dickere Schichtpakete von einer solchen Ablösung zu einem fernerem Zeitpunkt betroffen sein können.

Foto 34 zeigt bereits, dass sich die Stylolithen nicht nur auf die oberliegende Oberfläche der Mauersteine beschränken, sondern selbstverständlich auch auf den Stirnseiten der Mauersteine sichtbar sind. Die weiteren Fotos 35 bis 39 belegen beispielhaft diese Situation. Dabei ist an einigen solchen Fällen schon erkennbar, dass sich die jeweilige Stylolithe im oberen Bereich aufweitet, wodurch das Eindringen von Nässe begünstigt wird und der Prozess sich beschleunigen kann.



Foto 15: an der Krustenoberfläche „auskeilende“ Stylolithen



Foto 16: an der Krustenoberfläche „auskeilende“ Stylolithen



Foto 17: an der Krustenoberfläche „auskeilende“ Stylolithen; Scherbenbildung vorprogrammiert

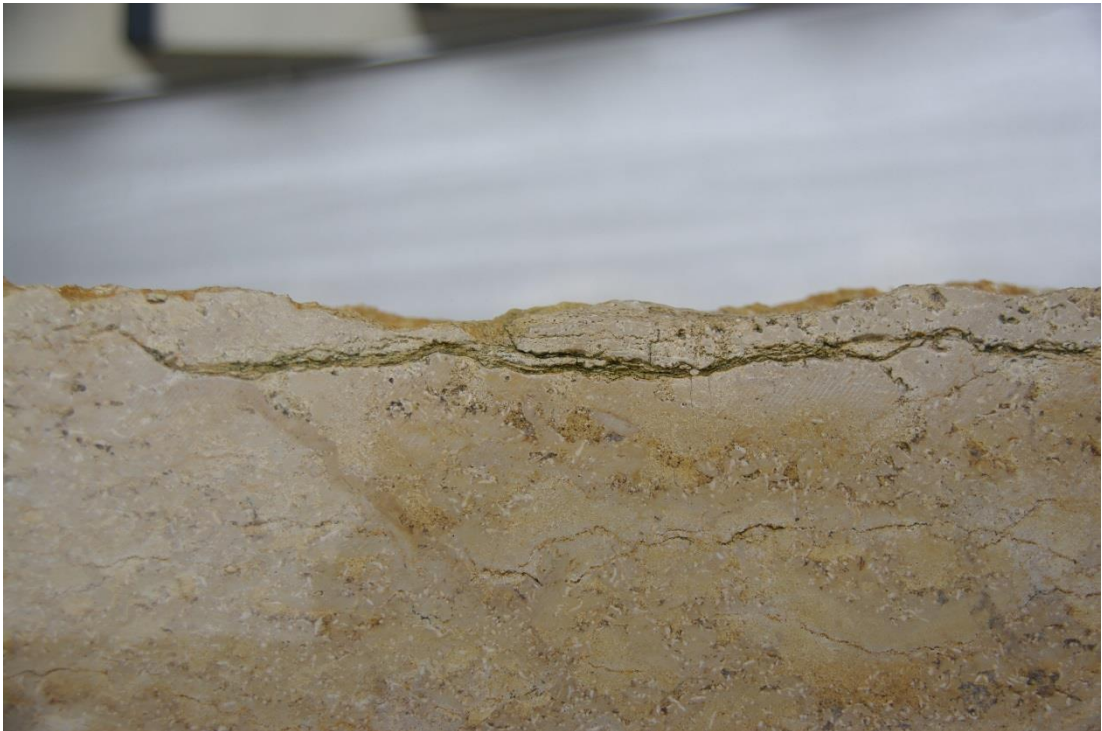


Foto 18: nahe der Krustenoberfläche verlaufende Stylolithen



Foto 19: an der Krustenoberfläche „auskeilende“ Stylolithen



Foto 20: an der Krustenoberfläche „auskeilende“ Stylolithen



Foto 21: an der Krustenoberfläche „auskeilende“ Stylolithen



Foto 22: an der Krustenoberfläche „auskeilende“ Stylolithen; Scherbenbildung vorprogrammiert



Foto 23: an der Krustenoberfläche „auskeilende“ Stylolithen; Scherbenbildung vorprogrammiert



Foto 24: an der Krustenoberfläche „auskeilende“ Stylolithen



Foto 25: an der Krustenoberfläche „auskeilende“ Stylolithen; Scherbenbildung vorprogrammiert



Foto 26: an der Krustenoberfläche „auskeilende“ Stylolithen; Scherbenbildung vorprogrammiert



Foto 27: an der Krustenoberfläche „auskeilende“ Stylolithen; Scherbenbildung vorprogrammiert



Foto 28: Beispiel für weiter hinten liegende Stylolithen, bei denen sich ggf. dickere Schichtpakete ablösen können



Foto 29: Beispiel für weiter hinten liegende Stylolithen, bei denen sich ggf. dickere Schichtpakete ablösen können



Foto 30: Beispiel für weiter hinten liegende Stylolithen, bei denen sich ggf. dickere Schichtpakete ablösen können



Foto 31: Beispiel für weiter hinten liegende Stylolithen, bei denen sich ggf. dickere Schichtpakete ablösen können



Foto 32: Beispiel für weiter hinten liegende Stylolithen, bei denen sich ggf. dickere Schichtpakete ablösen können



Foto 33: Beispiel für weiter hinten liegende Stylolithen, bei denen sich ggf. dickere Schichtpakete ablösen können



Foto 34: Beispiel für weiter hinten liegende Stylolithen, bei denen sich ggf. dickere Schichtpakete ablösen können



Foto 35: an der Oberfläche erkennbare Stylolithen setzt sich auf der Stirnseite des Mauersteins fort



Foto 36: an der Oberfläche erkennbare Stylolithen setzen sich auf der Stirnseite des Mauersteins fort; deutliche Aufweitung im oberen Bereich



Foto 37: an der Oberfläche erkennbare Stylolithen setzen sich auf der Stirnseite des Mauersteins fort



Foto 38: an der Oberfläche erkennbare Stylolithen setzt sich auf der Stirnseite des Mauersteins fort



Foto 39: an der Oberfläche erkennbare Stylolithen setzt sich auf der Stirnseite des Mauersteins fort; deutliche Aufweitung im oberen Bereich

Die nachfolgenden Fotos 40 und 41 dokumentieren Spachtelungen an den Ecken der Mauersteine – auch hier besteht die Gefahr, dass diese Teile sich ablösen und herunterfallen können.



Foto 40: Spachtelung an einer Ecke eines Mauersteins; Reparaturstelle bereits teilweise abgerissen / abgelöst



Foto 41: 2 Spachtelungen an einer anderen Ecke eines Mauersteins; Haarriss bereits an der linken Spachtelung vorhanden

Die Fotos 42 und 43 belegen, dass die Oberfläche der Mauersteine um 2° nach hinten (innen) geneigt ist.

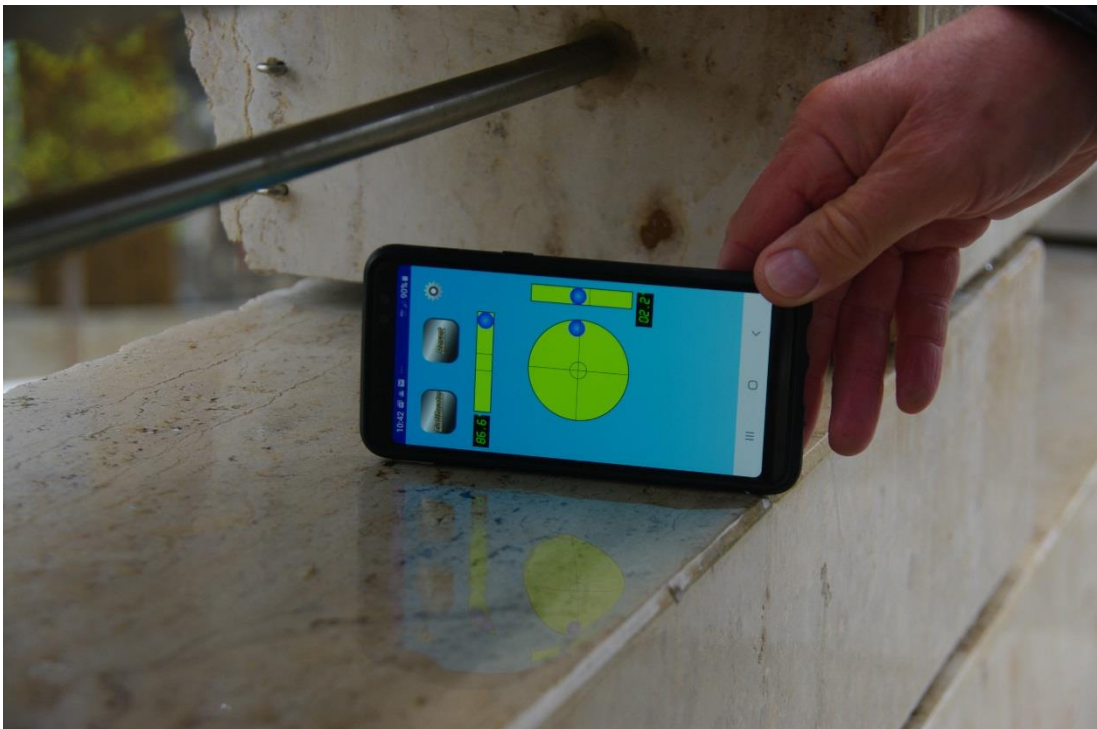


Foto 42: Neigung der Oberfläche der Steine nach hinten (innen) von 2°



Foto 43: Neigung der Oberfläche der Steine nach hinten (innen) von 2°

Obwohl die Oberfläche der Mauersteine ein Gefälle nach hinten (innen) aufweist, bleibt bei Regenwetter ständig Niederschlag auf den Oberflächen stehen, was durch die Fotos 42 und 44 bis 47 – z. T. anhand der aufspiegelnden Flächen (Wasserfilm) – ausreichend dokumentiert ist.



Foto 44: deutlich erkennbarer Wasserfilm auf der Mauerstein-Oberfläche



Foto 45: deutlicher Wasserfilm auf der Mauerstein-Oberfläche an der Spiegelung
erkennbar



Foto 46: deutlicher Wasserfilm auf der Mauerstein-Oberfläche an der Spiegelung erkennbar



Foto 47: deutlicher Wasserfilm auf der Mauerstein-Oberfläche an der Spiegelung erkennbar

4.0 Bewertung

Für die weiter unten folgende Bewertung muss zunächst auf das verwendete Material eingegangen werden:

Bei dem verwendeten Material handelt es sich zweifelsfrei um einen *JURA-Kalkstein*, wenn auch die exakte Herkunft und die genaue Lagenbezeichnung trotz mehrfacher Nachfrage beim Ausführenden nicht bekannt sind – gemäß LV soll es sich um Dietfurter Kalkstein aus dem Bruch Dietfurt handeln.

Die Schreibweise *JURA-Kalkstein* wird hier verwendet, weil damit gleichzeitig zwei Tatsachen ausgedrückt werden. Zum einen handelt es sich um einen Kalkstein – zum anderen wurde dieser Kalkstein während der geologischen Zeitspanne des JURA gebildet.

Folgt man einem Klassifizierungsschema nach der Entstehung der Gesteine, dann gehören Kalksteine zunächst zu der großen Gruppe der Sedimentgesteine – die beiden anderen Gruppen wären magmatische Gesteine und Umwandlungsgesteine.

Innerhalb der Sedimentgesteine gibt es wiederum zwei große Gruppen: die „echten“ Sedimentgesteine oder Ablagerungsgesteine (wie z. B. Sandsteine) und die sog. Niederschlagsgesteine. Zur letztgenannten Gruppe gehören u. a. alle Kalksteine. Diese Materialien entstehen nicht wie die „echten“ Sedimentgesteine aus verwitterten Primärgesteinen, bei denen sich durch Verwitterung, Abtragung und Transport in größeren Becken, Seen oder Meeren die über die einströmenden Flüsse antransportierten Sedimente ablagern und anschließend verfestigen. Im Gegensatz dazu entstehen Kalksteine vielmehr durch Ausscheidung von gelösten Molekülen aus einer Lösung (Fluss, See, Meer) – wobei der Einbau von Kalkskeletten der Meeresbewohner sowie von Kalkbruchstücken (Muschelschalen, ganze Fossilien wie Ammoniten, Tintenfische, Seeigel, Schwämme etc.) dabei durchaus üblich ist. Die Ausscheidung des Kalks funktioniert nur dadurch, dass bestimmte Minerale aus anderen Gesteinen (beispielsweise Plagiokla-

se aus Graniten oder andere basische Silikate) verwittern, wobei CaO entsteht. Dieses zuerst entstandene Kalziumoxid (CaO) konnte sich dann mit dem in der Uratmosphäre reichlich vorhandenen CO₂ (Kohlendioxid) zu den ersten Kalksteinen, bestehend aus CaCO₃ (Calcit) verbinden. Nachdem der erste Kalk verfügbar war, geriet dieser in einen ständigen Kreislauf, aus dem immer wieder entnommen wird und zuverlässig wieder aufgefüllt wird. CO₂ wird dabei ständig durch Pflanzen und Tiere erzeugt, auch bei vulkanischen Ereignissen gelangen riesige CO₂-Mengen in die Atmosphäre. Mehr als bei jedem anderen Gestein ist dabei das Leben auf der Erde maßgeblich beteiligt: ohne Fauna und Flora gäbe es keine Kalkgesteine auf der Erde. Bei dem hier verwendeten *JURA-Kalkstein* handelt es sich um einen Kalkstein, der während des Zeitraums **Jura** entstanden ist. Der **Jura** ist in der Erdgeschichte das mittlere chronostratigraphische System (bzw. Periode in der Geochronologie) des Mesozoikums (Erdmittelalter). Der Jura begann vor etwa 201,3 Millionen Jahren und endete vor etwa 145 Millionen Jahren. Er dauerte somit rund 56,3 Millionen Jahre. Der Jura wird von der Trias unter- und von der Kreide überlagert. In Mitteleuropa transgredierte zu Beginn des Juras das Meer, von Norden kommend, zunächst in einem relativ schmalen Bereich Nord- und Westdeutschlands bis nach Süddeutschland. In Nordostdeutschland und Ostdeutschland wurden kontinentale Ablagerungen sedimentiert. Im Mitteljura dehnte sich das Meer dann weiter nach Osten aus. Fast die gesamte osteuropäische Plattform wurde überflutet. Weite Teile Skandinaviens und Teile Böhmens und die Rheinische Insel blieben jedoch Festland während des beinahe gesamten Jura. Böhmisches Insel und Rheinische Masse wurden bereits während einer Regression im oberen Mitteljura zu einer Insel und trennten Norddeutschen und Süddeutschen Jura. Am Ende des Jura verlandete Süddeutschland weitgehend, während in Norddeutschland weiter marine oder brackische Ablagerungsbedingungen herrschten.

In Deutschland ist der JURA somit generell vorhanden, tritt aber aufgrund stattgefundener geologischer Prozesse nur in Süddeutschland zu

Tage, ist dort landschaftsprägend und wird vor allem im Raum Eichstätt und Treuchtlingen intensiv abgebaut.

Zur Farbigkeit und zu Einlagerungen in Kalksteinen sind folgende Hinweise maßgeblich:

Obwohl das in Kalksteinen vorliegende Hauptmaterial (Calcit, CaCO_3) rein weiß ist, treten Kalksteine von dieser Tönung praktisch nicht auf. Fast immer schleichen sich ein oder mehrere Pigmente mit ein. Dabei sind für den deutschen JURA-Kalkstein vor allem maßgeblich Limonit-Einlagerungen (genauer: Ton mit Limonit), was dann – je nach Pigmentintensität – zu dunkelbraunen, hellbraunen, ockerfarbenen, gelblichen, cremefarbenen oder elfenbeinfarbenen Farbnuancen führen kann. Tritt zusätzlich noch Hämatit als Pigment hinzu, können auch rotbraune, orange oder beige Farben entstehen. Erwähnt seien noch Einlagerungen von Glaukonit und anderen Silikaten (grünliche Färbungen) sowie Einlagerungen von bituminösen Stoffen (Faulschlamm, Kohle), wodurch dann schwarze, graue oder hellgraue Farbtöne entstehen.

Von besonderer Bedeutung ist eine weitere Eigenart der Kalksteine: Kaum ein Kalkstein ist völlig frei von tonigen Beimengungen, denn diese kamen sehr häufig dort zur Ablagerung, wo sich Kalke bildeten. Je nach der Art der Beteiligung der Tone unterscheidet man wie folgt:

- Gleichmäßig eingemischt. Wenn sich der Tongehalt auf 10 % erhöht, spricht man von mergeligen Kalken und bei noch mehr Anteil von Mergel. Den Grad des Tongehaltes können Fachleute beim Polieren erkennen.
- In Form von Bändern eingelagert. An diesen Stellen fällt die Politur matter aus, was sich durch einen schrägen Blick leicht feststellen lässt (vgl. Abbildung 1, links).
- Netzartige Einlagerung: ein sehr häufiges und durchaus willkommenes Dekorelement (vgl. Abbildung 1, Mitte).
- Stylolithen. Sie bilden sich aus den genannten Typen, wenn auf den Kalk starke Drücke eingewirkt haben. Dadurch wird der bewegliche Ton frontenweise durch den Kalk geschoben, bis er sich an gewissen Linien (Nähten) so konzentriert hat, dass weiteres Durch-

dringen nicht mehr geht. Stylolithen sind häufig rot, braun, gelb und unterscheiden sich deutlich von Adern. Im Steingewerbe bezeichnet man davon betroffene Kalksteine irreführend oft als „Geädert“ (ital. „Venato“), was zu falscher Einschätzung der technischen Eigenschaften führen kann (vgl. Abb. 1, rechts).

Die Bildung von Stylolithen kann man sich wie folgt vorstellen: Wenn ein Arbeitskommando eine große Fläche von Schnee befreien soll, ergeben sich zunächst langgezogene Wälle, weil die Schneemassen nicht in einem Zug verräumt werden können. In ähnlicher Weise vollzieht sich die Bildung der Stylolithen: Der Druck reicht nicht aus, um den enthaltenen Ton über weite Strecken zu verschieben. Er bleibt frontenweise im Gestein liegen und bildet dabei die schlierigen, oft zackigen Suturen (Nähte) (vgl. Abb. 2).



Abb. 1: Möglichkeiten der Einlagerung von Tonen in Kalksteinen



Abb.2: Schema zur Bildung von Stylolithen

Für das deutsche JURA-Gebiet gibt es seit Jahrzehnten ein Schema, mit dem man die einzelnen Lagen (Abbauhorizonte) beschrieben und gleichgestellt hat. Diese Notwendigkeit ergibt sich aus dem Umstand, dass die jeweiligen Steinbrüche nicht alle auf dem gleichen topographischen Niveau beginnen und die einzelnen Schichten auch nicht überall gleichmäßig und / oder abbauwürdig vorliegen. Grund für letzteres können z. B. lokale Störungen sein.

Trotzdem ist es gelungen, eine solche Gleichstellung anhand verschiedener Charakteristika zu erarbeiten. Eine entsprechende Übersicht, die bereits im Juni 1985 in der Fachzeitschrift Naturstein erschienen ist, zeigt die nachfolgende Abbildung 3. Dort sind in der dritten Spalte von links die Normalbezeichnungen von 1 bis 25 aufgelistet. Daneben werden in verschiedenen Brüchen eigene Bezeichnungen verwendet, die entsprechend gelistet sind.

Schichthöhe cm	allgem. übliche zusätzliche Be- zeichnungen für einz. Schichten	Normalbez. "Ideal-Nr."	STIEGLER FRANKSCHOTTER TEICH - BALZ	GERHÄUSER	KIEFER	GLAUDO KALDORF	MAUDERER	DOESCHLER Ostendorf	WEISENBURG	WUNIBALD KARL	ALOIS SCHÖPFEL	XAVER SCHÖPFEL	NEUMEYER	HENLE DOESCHLER
85		27	105er					4.80	1					
25		26	Pack.30					Glaser 27	2					
75		25	90er	23	A 80			1	3					
80		24	70er	72	B 70			2	4	A				
95		23	100er	21	C			3	5	B 70				
100	2 Platten	22	85/45	70	D 110			4	6 + 7	—				
90	wilde Schicht	21	70er	19	E			5	wilde Schicht	—		A 1		
85	Deckel	20	140er rot. Lsg.	18	F	I		6	7	C	A 1	A 2	D	A
40	grüne Platte	19	Pack.35	17	G	II		7	Pack.10	D	A	A 3	—	B
65	ausgewaschene Schicht	18	Trav.85	16	H	III		8	11	E	B	B	—	C
90	I. gebünderte Schicht	17	Goldbarrn	15	J	A		9	12	F	C	C	E	—
80	doppelte Schicht	16	Travert. 45+45	14	K	B / C		10 + 11	13 + 14	G	D / E	D / E	F	—
120	160er Schicht	15	Trav.85	13	L	D		—	15	H	F	F	G	—
40		14	Trav.85	13	L	E		—	16	J	G	G	G	—
130	I. 130er Schicht	13	Travert.	12	M	F / G		14 + 15	17	K	H / J	J	H	—
50	—	12	B 1	11	N	H		16	—	L	K	K	J	—
130	II. 130er Sch.	11	Rahmer	10	O	J		17	18	M	L	L	K	G
90	II. gebünderte Schicht	10	B 2	9	P	K		17	19	N	M	M	—	H
40	I. Platte	9	Wurmloch	8	Q	L		20	20	O	N	N	—	J
40	II. Platte	8	B	7	P	M		21	21	P	O	O	—	J
35	III. Platte Gl.	7	B 2	6	S	N		22	22	Qu	P	P	—	—
140	2 Deckel	6	B 3	5	T	O / P		24 + 23	24	R	R	Q / R	L	H
90	Bärenlage	5	B 4	4	U	Q		25	25	S	S	S	M	G
70	feine Schicht	4	B 5	3	V	R		26	26	T	T	T	N	P feine
70	—	3	B 6 + 7	2	W	S / T		27	27	U	U	U	P	Qu
65	3 Platten-Sch. blaue Platte	2	B 8	—	X	U / V		28	28	V	V	V	O	die Wilden
100	gebünderte Meterbank	1	B 9	7	Y	W		29	29	W	W	W	Qu	die 3 Schicht
50	Glaser	X	—	—	—	Z	—	—	—	X	—	—	—	—

Klassifizierung
der Schichthöhe

25 - 50 cm

55 - 100 cm

über 100 cm

Schicht ist voll
verwertbar

Schicht ist nur teil-
weise verwertbar

Schicht nicht
verwertbar

Abb. 3: deutsche JURA-Abfolge

Heute gibt es verschiedene Brüche, in denen die Abfolge bereits bis zur Lage 31 geführt werden kann. Ebenso sind einige der in obiger Abbildung genannten Steinbrüche (1. Zeile) nicht mehr aktiv. Dies trifft nach Kenntnisstand des Unterzeichners zumindest auf die Brüche Kiefer, Glauco, Mauderer und Doeschler (Osterdorf) zu. Andere Brüche wurden umfirmiert, d. h. sie haben andere Eigentümer und wieder andere sind völlig neu dazugekommen, wobei die obige Liste auch nicht unbedingt vollständig war.

Die ersten 8 genannten Steinbrüche (Stiegler, Frankenschotter, Teich, Balz bis einschl. Wunibald, Karl) sind dem Treuchtlinger Revier zuzuordnen, wogegen die restlichen (Alois, Schöpfel bis Hene, Doeschler) zum Eichstädter Revier zählen.

Nach noch nicht endgültig bestätigten Angaben soll es sich bei den hier verbauten und somit in Rede stehenden Mauersteinen um Material aus den Lagen 10 und 11 handeln. Diese Lagen werden zumindest auf S. 2 von 3 eines Schriftsatzes des SV Mehmcke vom 09.05.2019 benannt (Mehmcke ist als SV im Auftrag des Subunternehmens Stone-Alliance GmbH der ARGE Döppersberg tätig). Ebenfalls wird in vorliegenden Prüfzeugnissen, auf die später noch eingegangen wird, von den Lagen 10 und 11 gesprochen.

Für die jetzt beginnende Bewertung wird zunächst auf ein Merkblatt der Altmühltaler Kalksteine e. V. verwiesen: Anwendung von Jura-Kalkstein im Garten und Landschaftsbau. Das zweiblättrige Merkblatt findet sich vollständig als Kopie im Anhang.

Dort gibt es folgende Warnhinweise: „... *Aber nicht alle Kalksteine sind für die zentralkontinentalen Witterungsbedingungen ausreichend widerstandsfähig. ... Durch seine Materialbeschaffenheit verfügt Jurakalkstein über eine für Kalksteine überdurchschnittliche Widerstandsfähigkeit gegenüber aggressiven Umwelteinflüssen. ... Bei sachgerechter Anwendung, der Vermeidung von Staunässe und der Auswahl der entsprechenden Gesteinsschichten kann bei Jura-*

kalkstein das Risiko eines Frostschadens nahezu ausgeschlossen werden.“

Diese Warnungen münden dann in der konkreten Handlungs-Vorschrift: *„geschichtete bzw. lagerhafte Steine sind im Bauwerk so zu verwenden, wie es ihrer natürlichen Schichtung entspricht. ...“*

Nachfolgend wird dann auf Verfahrensweisen hingewiesen, die sich in der Anwendungspraxis bewährt haben und deshalb als fach- und sachgerechte Ausführung gelten können:

„1. Wegen der materialtypischen Saugwirkung bei Kalksteinen ist Staunässe in jedem Fall zu vermeiden. Deshalb müssen Gala-Bau-Produkte aus Jura-Kalkstein vor aufsteigender und nachdrückender Feuchtigkeit geschützt werden. ... 4. Der Aufbau sollte erfolgen: ... bei Mauern und Verblendsteinen: Trockenmauern müssen schichtweise mit gleicher Hinterfüllung ausgebaut werden. Vermörtelte Mauern sind mit Trassmörtel herzustellen und mit einer Abdeckplatte zu versehen. ... 5. Natursteinarbeiten mit Jurakalkstein sollten bis ca. Oktober abgeschlossen sein, um ein ausreichendes und für die Frostsicherheit entscheidendes Austrocknen der Materialien zu ermöglichen. Bei einer Anwendung von Jurakalkstein im Spätherbst oder im Winter zwischen den Frostperioden darf nur ein gesichert vollständig ausgetrocknetes Natursteinmaterial eingesetzt werden. 6. Gala-Bau-Produkte aus Jurakalkstein dürfen nur aus Abbauschichten produziert werden, die infolge ihres spezifischen Materialgefügeaufbaus geeignet sind, den i. d. R. langfristig zu erwartenden ganzjährigen Witterungsverhältnissen des kontinentalen Klimas zu widerstehen. ...“

In einer weiteren, dem Unterzeichner nur fragmentarisch (S. 14 – 16) vorliegenden Informationsschrift *„Die wichtigsten Informationen zu Juramarmor (Jurakalkstein)“* (Kopie im Anhang) heißt es auf S. 1 f unter dem Punkt Eigenschaften: *„... Juramarmor ist eingeschränkt frostbeständig. Bei Staunässe besteht die Gefahr von Abplatzungen und Plattenrissen. ... Für die Anwendung als Fassadenplatte oder*

die Materialverwendung im Außenbereich als Bodenbelag oder Massivstück werden ausschließlich sog. Oberlagen oder Jura-Travertin verwendet. ...“.

Diese Anmerkungen, Hinweise und Vorschriften wurden – zumindest was das erstgenannte Merkblatt angeht – eigentlich für den Garten- und Landschaftsbau (GaLaBau) erarbeitet. Ohne diesen wichtigen Geschäftsbereich herabwürdigen zu wollen, geht es bei diesem Gewerk in erster Linie um (relativ) niedrige Mauern, um Treppen, Wege und Freiflächen – i. d. R. aber um mehr oder weniger nicht sicherheitsrelevante Bauprojekte und Objekte.

Wenn quasi der eigene Zweckverband der lokalen Steinbruchbesitzer – nichts anderes ist die Industrievereinigung Altmühltaler Kalksteine e. V. mit Sitz in Solnhofen – solche Warnungen und Hinweise herausgibt, dann sollten sich daran auch alle Verarbeiter tunlichst halten. Umso mehr müssen solche Hinweise und Warnungen dann aber auch bei ingenieurmäßigen Bauwerken, wie der hier in Rede stehenden Fassadenmauer berücksichtigt werden. Die hier vorliegende Fassadenkonstruktion hat immerhin eine Bauhöhe von knapp 10 m und überspannt u. a. eine Tiefgaragenzufahrt sowie zwei Zugänge zur Bahnhofshalle des Hauptbahnhofs und ist zudem im nahezu gesamten Bereich öffentlich zugänglich. Wenn es hier zu Ablösungen und dem Absturz von einzelnen Fassadenteilstücken / Mauersteinteilen kommt, besteht ggf. unmittelbare Gefahr für Leib und Leben von Passanten!

Im vorliegenden Fall wurde nahezu gegen jeden o. g. Warnhinweis und jede Empfehlung verstoßen:

1. Alle Mauersteine sind nicht lagegerecht eingebaut! Es wurden sog. Krustensteine verwendet, bei denen das Lager senkrecht steht, da die Kruste als Fassadenansicht dient. Zum Thema Krustensteine später mehr.

2. Die geschnittenen Mauersteinoberflächen zeigen auf ihren Ansichtsflächen eine z. T. deutliche Häufung von Stylolithen. Bei Niederschlägen sind diese Flächen oft stundenlang dem Regen ausgesetzt, auch nach Beendigung des Regens steht weiterhin noch stundenlang Wasser auf den Oberflächen. Dieser Zustand der stehenden Feuchtigkeit ist mit einem Zustand der aufstauenden Feuchtigkeit direkt vergleichbar.

Gefordert war gemäß Ausschreibung (LV-Position 02.08.02.004) wie folgt:

„... Vorbehandlung und Oberflächenbehandlung:

werkseitige antifungizide Grundierung aller Flächen des Steins durch Tauchbad auf Wasserbasis um Ausblühungen und Flecken zu vermeiden,

Obere Schicht:

dampfdiffusionsoffene und wasserdichte Heißimprägnierung der Ansichtsflächen der Fugen vor Ort (Anstrich) mit Graffitischutz als Heißimprägnierung als langfristiger Schutz gegen alle Umwelteinflüsse, die Oberflächen darf dadurch nicht verändert werden. Eindringtiefe bis ca. 5 mm tief. ...“

Nach Angaben der Stadt wurden zwar die Steine vor dem Verbauen allseitig imprägniert und antifungizid behandelt – allerdings wurden bereits deutliche Anzeichen für eine beginnende Vergrünung (erster Algen- und Moosbewuchs) festgestellt.

Es muss deutlich darauf hingewiesen werden, dass alle Stellen, an denen bereits oberflächliche Abplatzungen entstanden sind, resp. bei Sicherungsmaßnahmen Material abgenommen wurde, jetzt nicht mehr geschützt sind und somit die Schutzwirkung an diesen Stellen aufgehoben wurde. Dadurch ist die gesamte Schutzwirkung an der Fassade hinfällig, da es bereits jetzt zu Feuchtigkeits-hinterwanderungen an der Schutzschicht kommen kann (gleicher Effekt wie in der Siegfriedsage: Dort wo das Lindenblatt lag, besteht keine Schutzwirkung – hier sind durch das abgängige Material „zahlreiche Lindenblätter“ vorhanden).

Es ist in diesem Zusammenhang auch anzumerken, dass der angeblich verwendete HMK S234 Fleckschutz der MOELLER Stone Care das Eindringen von Wasser und anderen Flüssigkeiten in den Stein nicht verhindert, sondern lediglich vermindert. Dies ist ein großer Unterschied und bedeutet eindeutig, dass insbesondere über die Stylolithen – die aus Ton und Mergeln bestehen – Feuchtigkeit in den Stein eindringen kann.

3. Die vorgehangene Fassadenmauer hat keine Abdeckplatte oder einen anderen Schutz gegen Niederschlag. Wasser kann ungehindert auf den nahezu horizontalen Oberflächen der bis zu ca. 30 cm breiten Attika-Abdecksteine stehen bleiben. Gleiches gilt für alle horizontalen Flächen unterhalb der sog. „Lückensteine“. Auch diese sind dem Wasserzutritt aus Niederschlag ungeschützt ausgesetzt.

Gemäß hier vorliegendem Detailplan BM-5-AP-JSWDJSWD-0514-21-AD (Stand 11.09.2009) soll der Attika-Abschlussstein an der Oberfläche ein Gefälle von 5 % aufweisen. Die darunter befindlichen Natursteine sollen an der Oberfläche ein Gefälle von 3 % aufweisen. Diese Gefälle sind so nicht vorhanden.

4. Es wird angezweifelt, dass wesentliche Teile der Natursteinarbeiten bis Beginn Oktober abgeschlossen waren, da die Abnahme erst im Dezember erfolgte.
5. Da der Lastfall stehende Nässe bzw. Staunässe vorliegt, darf nur bestimmtes Material, das als tatsächlich frostsicher gilt, verwendet werden. Gemäß Angaben der „Jura-Industrievereinigung“ sollten hierfür nur Materialien aus den sog. Oberlagen oder aber Jura-Travertin verwendet werden. Das hier verwendete Material ist kein Travertin. Nach bisherigem Kenntnisstand stammt das Material aus den Lagen 10 und 11. Die sog. Oberlagen / Oberbänke beginnen aber erst mit Lage 17.

Aus all den bisher genannten Tatsachen ergibt sich, dass die gesamte Konstruktion aus sachverständiger Sicht vertragswidrig errichtet wurde.

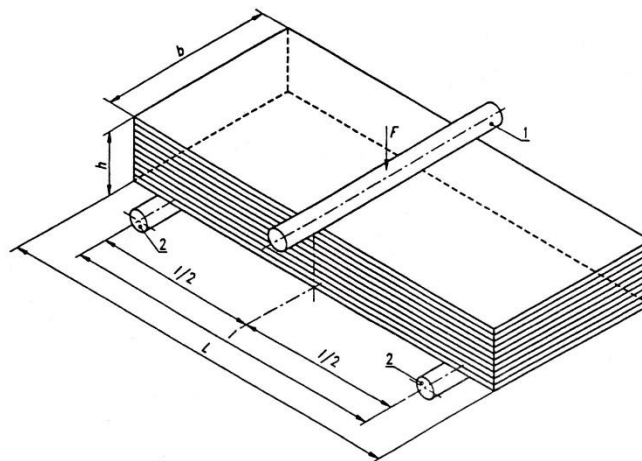
Wenn man – wie von der Industrievereinigung Altmühltaler Kalksteine e. V. mit Sitz in Solnhofen angeführt – deren Merkblatt als fach- und sachgerechte Ausführungsbeschreibung ansieht, dann ist die gesamte Konstruktion somit auch nicht fach- und sachgerecht – also entgegen den Regeln der Technik – errichtet.

Zusätzlich ist auf die nachfolgende Problematik zu verweisen:

Im Zusammenhang mit der Auftragserteilung wurden seitens der Stadt Wuppertal von den Bietern Prüfzeugnisse über die Materialeigenschaften des verwendeten Materials angefordert und u. a. die Eigenschaft Frostbeständigkeit (mit Beeinflussung der Leistungscharakteristik Biegezugfestigkeit) abgefragt.

Hierzu wurde u. a. das Prüfzeugnis BBV 1319024-16 der TÜV Rheinland LGA Bautechnik GmbH vom 12.03.2013 vorgelegt. In diesem Prüfzeugnis wird Material Jura gelb der Lagen 10/11 an Prismen im Format 180 x 90 x 30 mm geprüft. Normgemäß sollten die Prüfkörper allerdings 50 x 50 x 300 mm groß sein. Die Zahl der Frost-Tauwechsel beträgt lediglich 14 – üblicherweise werden heute 56 Zyklen (zum damaligen Zeitpunkt aber auch schon 48 Zyklen) vorgenommen. Dies gilt zumindest für Materialien, die besonderen Feuchtigkeitsbedingungen unterliegen, was hier eindeutig der Fall ist.

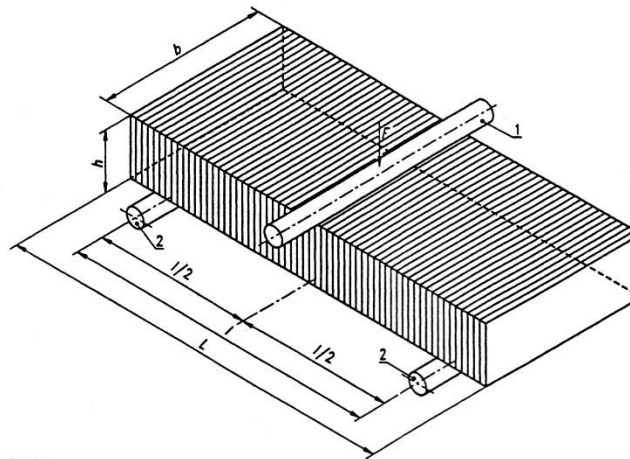
Die anschließende Prüfung auf Biegefestigkeit wurde dabei senkrecht zum Lager vorgenommen (Prüfung gemäß Bild 2 in DIN EN 12372:2007-02). Werden Materialien geprüft, die eine Schichtung aufweisen – dies ist hier eindeutig der Fall – so sollte die Biegefestigkeitsprüfung auch noch entsprechend den anderen Lastfällen (Bilder 3 und / oder 4 gemäß der genannten Norm) durchgeführt werden. Dies wurde hier nicht gemacht.



- 1 Biegeschneide
- 2 Biegeauflager

**Bild 2: Prüfanordnung für einen Probekörper mit Lastaufbringung senkrecht zur Schichtebene
(natürliche Schichtung, Bankung oder Schieferung)**

Abb. 4: DIN EN 12372 (Bild 2)



- 1 Biegeschneide
- 2 Biegeauflager

**Bild 3: Prüfanordnung für einen Probekörper mit Lastaufbringung parallel zur Schichtebene
(natürliche Schichtung, Bankung oder Schieferung)**

Abb. 5: DIN EN 12372 (Bild 3)

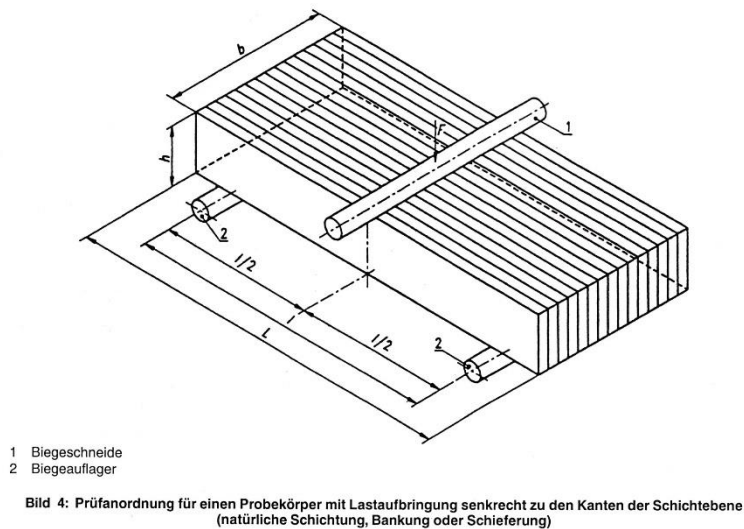


Abb. 6: DIN EN 12372 (Bild 4)

Fest steht, dass unterschiedliche Ergebnisse bei der Prüfung herauskommen, je nachdem, wie man den Prüfkörper zur Lastaufbringung positioniert (vgl. Abb. 4 bis 6).

Die Prüfung mit dem Lastauftrag senkrecht zur Schichtung liefert die besten Ergebnisse, alle anderen Prüfungen ergeben schlechtere Festigkeitswerte, am schlechtesten wohl die Prüfung gemäß Bild 3 (Abb. 5).

Für die weitere Beurteilung in der Statik (vgl. Bemessung der „Natursteinbalken“ Fassade Neugestaltung Döppersberg, Wuppertal; Wolf Natursteinplanungen, vom 21.11.2016; vgl. Anhang) wurden die Werte gemäß dem genannten Prüfzeugnis der TÜV Rheinland LGA Bautechnik GmbH verwendet. Es muss hier nochmals klar wiederholt werden, dass dort eine Prüfsituation und damit ein Prüfergebn zur Anwendung gelangte, was keinen Bezug zur vorliegenden Situation hat und dazu auch noch die verwendeten Datenwerte auf einer nur minimalen Prüfzyklenzahl von 14 beruhen.

Damit muss zunächst auch die dieser Konstruktion zu Grunde liegende Statik hinterfragt werden!

Nach allem was bisher vorgetragen wurde, bleibt momentan nur ein Schluss: die hier vorliegende Konstruktion hätte so nicht errichtet werden dürfen.

5.0 Ausblick

Eine Problematik im vorliegenden Fall ist die Verwendung von möglicherweise nicht ausreichend frostsicherem Material. Angeblich wurde Material der Lagen 10 und 11 verwendet – diese gehören aber nicht zu den sog. Oberlagen / Oberschichten. Nur Material ab Lage 17 (aufwärts) zählt zu diesen von der Industrievereinigung Altmühltaler Kalksteine e. V. mit Sitz in Solnhofen angeführten „frostbeständigen“ Lagen.

Der geführte Nachweis der Frostbeständigkeit über ein Prüfzeugnis der TÜV Rheinland LGA Bautechnik GmbH wird nicht anerkannt, da dort nur 14-Frost-Tau-Zyklen durchgeführt wurden. Bei dem vorliegenden Lastfall stehende Nässe (= Staunässe) sind 56 Prüfzyklen zu absolvieren. Die Prüfung der Biegefestigkeit gemäß Bild 2 in DIN EN 12372 (vgl. Abb. 4) ist dem Objekt nicht angemessen – die Verwendung dieser Werte in der Statik ist daher unzulässig. Die Statik ist zu hinterfragen.

Ein weiteres großes Problem ist im vorliegenden Fall auch der nicht lagerechte Einbau der Steine (Lager steht senkrecht) in Verbindung mit den vorhandenen Stylolithen. Die Stylolithen bestehen aus Tonen und Mergeln, die z. T. quellfähig sein können. Durch einen u. U. tagelang vorliegenden Lastfall von stehendem Wasser auf den Mau-

erstein-Oberflächen (vgl. zum Zeitpunkt des Ortstermins vorliegende Witterung) kann das Wasser in diese Stylolithen eindringen und zu ersten Quellerscheinungen führen. Eine ggf. durchgeführte Behandlung der Steine mit einem Fleckschutz kann gemäß Angaben des Herstellers das Eindringen von Wasser und anderen Flüssigkeiten nicht verhindern, sondern allenfalls vermindern – zudem ist der Oberflächenschutz durch abgefallene / abgenommene Gesteinsbruchstücke bereits massiv gestört!

Das eingedrungene Wasser kann dann im Winter durch Frosteinwirkung zu einer weiteren Aufweitung der Stylolithen führen, was den Verwitterungsprozess beschleunigen wird. Es muss daher grundsätzlich mit Ablösungen von Steinscherben oder auch größeren Gesteinsbrocken gerechnet werden!

Aus vorgenanntem Grund kann die Fassadenmauer nicht eine ihr angemessene und ursprünglich zugedachte Lebensdauer erreichen. Sie wird unweigerlich „frühzeitig“ durch Verwitterungsprozesse altern und muss vor dem Erreichen der ihr zugedachten Lebensdauer rückgebaut und erneuert werden. Von Bedeutung dabei ist auch der Umstand, dass wegen der unterschiedlichen Steindicken resp. der Dicke des jeweiligen „gesunden“ Steinmaterials bzw. der Dicke der anfälligen Naturkruste die Lebensdauer zu unterschiedlichen Zeiten beendet sein wird.

Auch für diese verkürzte Lebensdauer sind auf Grund der Verkehrssicherungspflicht jährliche Kontroll- und Wartungsarbeiten zwingend notwendig, bei denen die Fassade regelmäßig überprüft und neu bewertet werden muss.

Anlässlich des durchgeführten Ortstermins hat der Unterzeichner die Fassade für momentan „noch sicher“ bewertet, d. h. es liegt noch keine Gefahr für Leib und Leben von Passanten vor. Dies wird (bei günstigen Umständen) auch vermutlich für den Winter 2019/2020 so bleiben.

Diese – auch in einem gesonderten Schriftsatz vom 22.10.2019 – der Stadt vorliegenden Aussage wurde unter der Annahme erstellt, dass die Fassadenbefahrung durch den Subunternehmer „Marek“ des Auftragnehmers der ARGE Döppersberg (Stone-Alliance GmbH, Wetzlar) gründlich vorgenommen wurde und alle lose resp. angelösten „Scherben“ abgenommen wurden. Berücksichtigt bei dieser Aussage wurden auch der Erfahrungsschatz des Unterzeichners und der Umstand, dass dem Material durchaus eine gewisse „Gutmütigkeit“ zugesprochen werden kann: Die Ton- und Mergeleinlagerungen bilden keine glatte Schichten, sondern sind durch eine enge Verzahnung und Verkrallung durchaus in gewisser Weise „fest“ miteinander verbunden – nur leider nicht dauerhaft.

Aus vorgenannten Gründen haben wir mit der Stadt Wuppertal vereinbart, dass über diesen Winter eine sorgfältige Wetterbeobachtung durchgeführt wird, wobei ständig die Temperatur und die Niederschlagsmengen aufgezeichnet werden. Weiterhin wird ein Mitarbeiter der Stadt regelmäßig im mindestens 14-tägigen Rhythmus eine Begehung am Fassadenfuß vornehmen und nach abgefallenen Bruchstücken Ausschau halten – dies möglichst vor den Reinigungsarbeiten am frühen Morgen. Diese Bruchstücke werden dokumentiert und sorgfältig aufbewahrt.

Sollten sich die abgefallenen Bruchstücke mehren, die Witterungsdaten ungünstige Werte (häufige Frost-Tau-Wechsel) anzeigen oder sonst jemand der Beteiligten die Situation „Gefahr im Verzug“ feststellen, sind wir unverzüglich zu benachrichtigen.

Unabhängig davon wird ein im „Musterraum“ bei der Stadt vorhandener Muster-Gesteinsriegel (vgl. Foto 48), der vom Unterzeichner mitgenommen wurde, auf seine Frostbeständigkeit, Biegefestigkeit und ggf. Druckfestigkeit geprüft.



Foto 48: Musterstein der Fassade, Verladen im Kofferraum

Nach Vorliegen dieser Prüfergebnisse werden diese ggf. an den Statiker weitergeleitet um die Statik zu überprüfen und notfalls nachzubessern.

Weiterhin wurden von uns in einem weiteren Ortstermin am 28.10.2019 sieben Steinoberflächen der Brüstung exakt dokumentiert. Dieser Vorgang wird nach dem Winter wiederholt um dann ggf. einen Eindruck über die „Verwitterungsgeschwindigkeit“ zu erhalten.

6.0 Laboruntersuchungen

Der auf Foto 48 erkennbare Musterstein wurde in unser Labor gebracht und dort so aufgesägt, dass zunächst die vordere Seite (Krustenseite) vom rückwärtigen Teil abgetrennt wurde.

Der rückwärtige Teil wurde dann so aufgesägt, dass insgesamt 20 Prüfkörper (5 x 5 x 30 cm) zur Prüfung der Biegefestigkeit und weitere 20 Prüfkörper (5 x 5 x 5 cm) zur Prüfung der Druckfestigkeit zur Verfügung standen.

Alle Sägearbeiten wurden im Nassschnittverfahren mit einem Diamantsägeblatt durchgeführt.

Die o. g. 40 Prüfkörper wurden zur Materialprüfungs- und Versuchsanstalt Neuwied (MPVA) gebracht, um dort Prüfungen hinsichtlich der Biegefestigkeit und der Druckfestigkeit an unbelastetem Material durchzuführen sowie an Material, welches zunächst einen Frost-Tauwechsel-Versuch mit 56 Zyklen gemäß DIN EN 12371 durchlaufen hatte. Bei den Prüfungen wurde ebenso ein unterschiedlicher Lastauftrag bzgl. der Anisotropieebene (dem „Lager“) berücksichtigt.

Der vollständige Bericht der MPVA findet sich als Kopie im Anhang.

Das verbliebene Vorderteil des Mustersteins (Krustenseite) wurde in unserem Hause so aufgesägt, dass insgesamt 12 Prüfkörper mit 30 cm Länge, 5 cm Breite und – bedingt durch die Kruste – wechselnder Dicke entstanden.

An diesen Prüfkörpern wurde in unserem Hause ebenfalls die Frostbeständigkeitsprüfung gemäß DIN EN 12371 durchgeführt.

Die nachfolgenden Fotos 49 bis 53 zeigen die Prüfkörper vor dem Befrostungsversuch.



Foto 49: 6 der 12 Prüfkörper



Foto 50: weitere 6 der 12 Prüfkörper

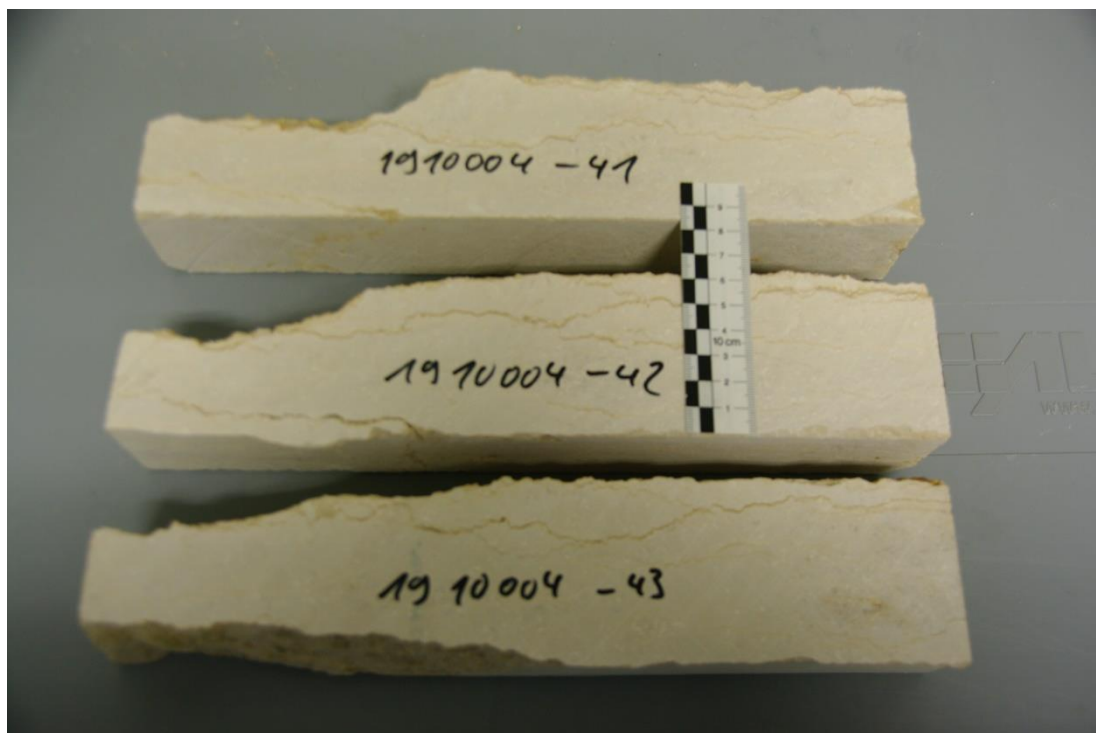


Foto 51: Prüfkörper 1910004-41 bis -43

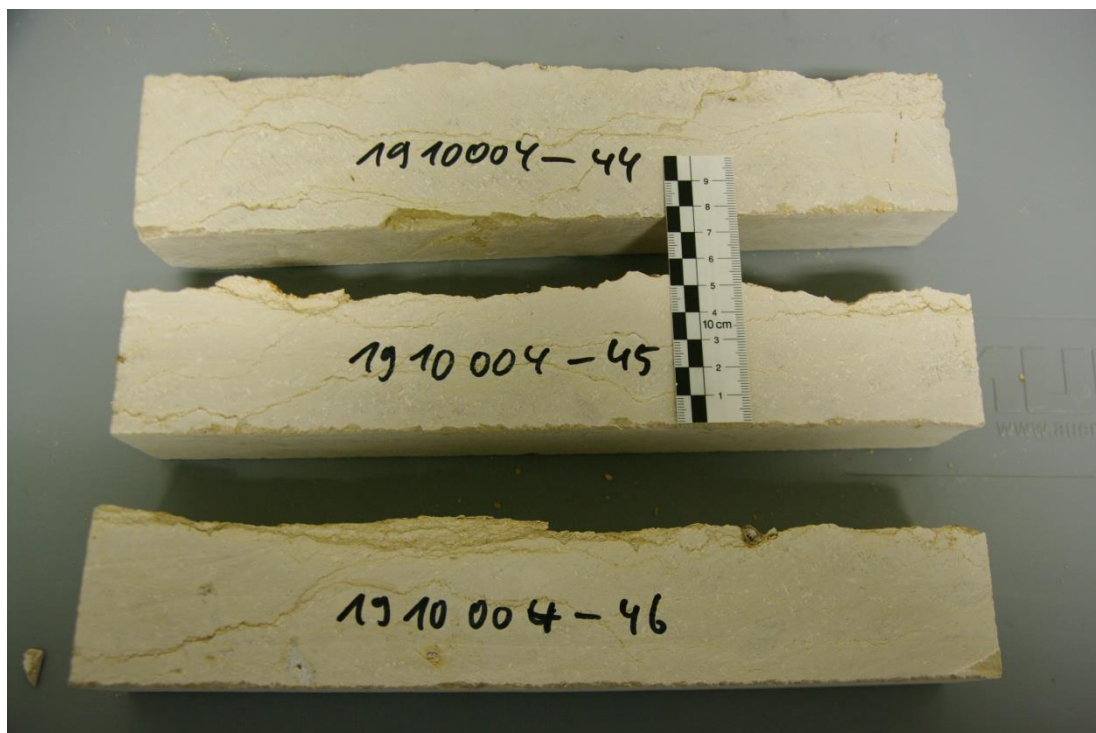


Foto 52: Prüfkörper 1910004-44 bis -46

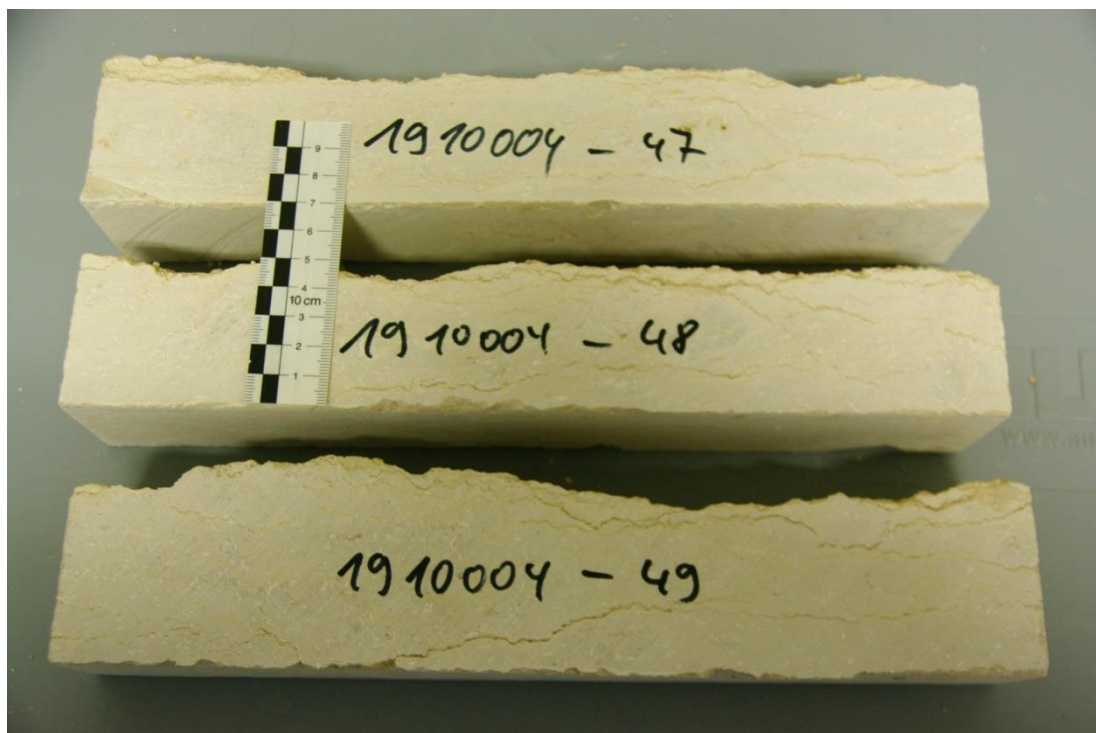


Foto 53: Prüfkörper 1910004-47 bis -49

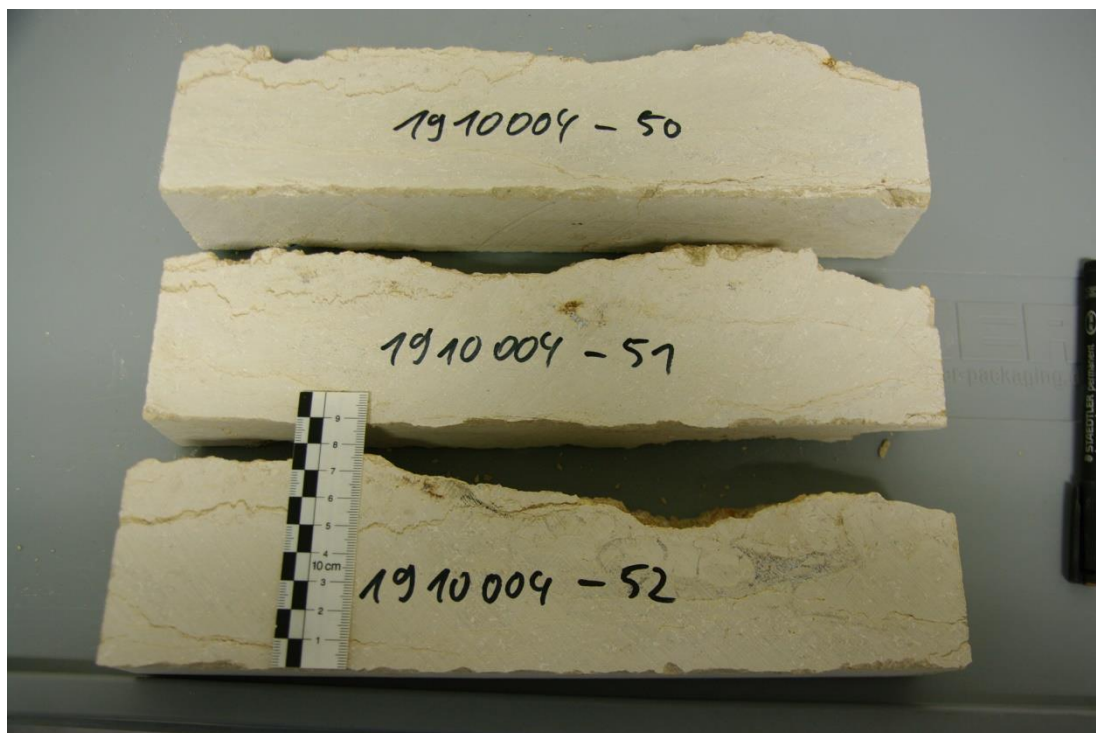


Foto 54: Prüfkörper 1910004-50 bis 52

Deutlich sind auf den Seitenflanken der Prüfkörper die z. T. schon leicht geöffneten Stylolithen erkennbar.

Die nachfolgenden Fotos 55 bis 73 zeigen jeweils einzelne, ausgewählte Prüfkörper, an denen sich während des Frost-Tauwechsel-Versuchs Schäden in Form von Abplatzungen mehr oder weniger großer Teilstücke zeigten. Die jeweilige Zyklenzahl (= Schadenseintritt) ist unter dem Foto vermerkt. Die Fotos wurden stets nach dem Auftauzyklus (vor dem nächsten Gefrierzyklus) aufgenommen.



Foto 55: Prüfkörper -47 nach dem 5. Zyklus



Foto 56: Prüfkörper -42 nach dem 20. Zyklus



Foto 57: Prüfkörper -46 nach dem 20. Zyklus



Foto 58: Prüfkörper -50 nach dem 20. Zyklus



Foto 59: Prüfkörper -41 bis -44 nach dem 30. Zyklus

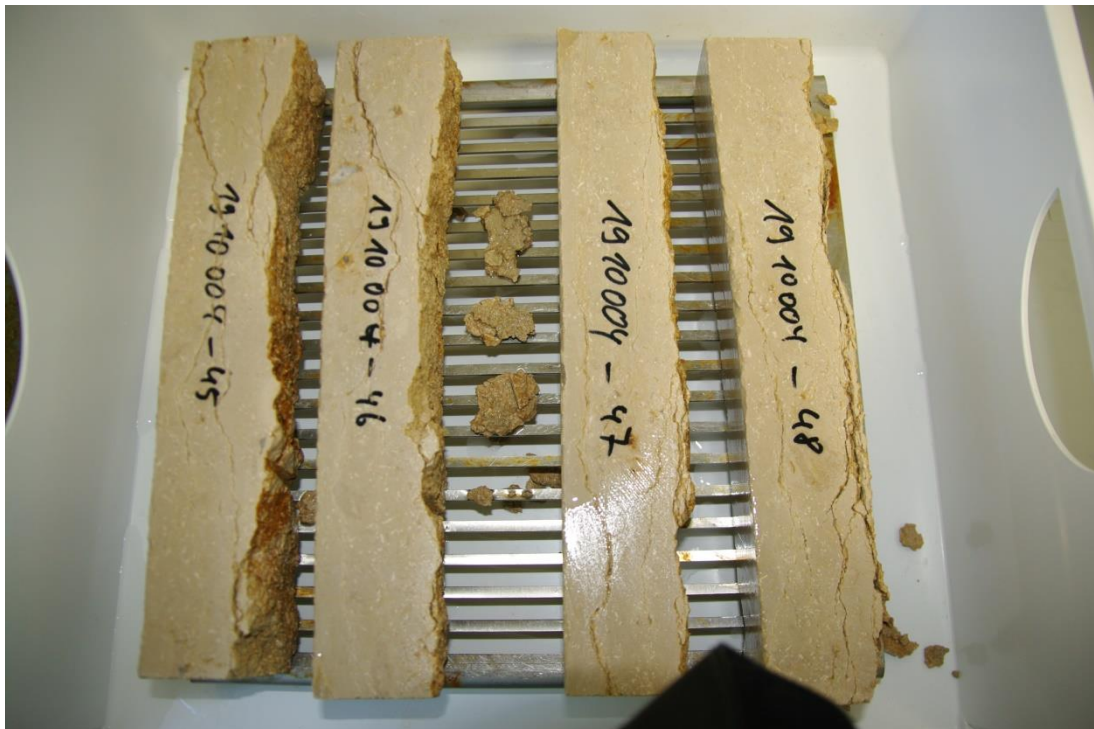


Foto 60: Prüfkörper -45 bis -48 nach dem 30. Zyklus



Foto 61: Prüfkörper -49 bis -52 nach dem 30. Zyklus



Foto 62: Prüfkörper -45 bis -48 nach dem 35. Zyklus



Foto 63: Prüfkörper -49 bis -52 nach dem 35. Zyklus



Foto 64: Prüfkörper -44 nah dem 38. Zyklus komplett zerstört



Foto 65: Prüfkörper -45 bis -48 nach dem 40. Zyklus



Foto 66: Prüfkörper -41 bis -43 nach dem 45. Zyklus



Foto 67: Prüfkörper -45 bis -48 nach dem 45. Zyklus; Prüfkörper -45 und -46 komplett zerstört



Foto 68: Prüfkörper -49 bis -52 nach dem 45. Zyklus



Foto 69: Prüfkörper -41 bis -43 nach dem 50. Zyklus



Foto 70: Prüfkörper -45 bis -48 nach dem 50. Zyklus; Prüfkörper -45 und -46 komplett zerstört



Foto 71: Prüfkörper -49 bis -52 nach dem 50. Zyklus



Foto 72: Prüfkörper -41 bis -43 nach Ende des Versuchs; alle Prüfkörper komplett zerstört



Foto 73: Prüfkörper -49 bis -52 nach Ende des Versuchs

Es ist anhand der Fotoserie deutlich erkennbar, wie die einzelnen Prüfkörper im Laufe des Frost-Tauwechsel-Versuchs nach und nach exakt im Bereich der Styrolithen auseinanderbrechen und später zum Teil auch noch mehr oder weniger quer dazu reißen, so dass man bei 7 von 12 Prüfkörpern eindeutig von einer vollständigen Zerstörung sprechen kann. Der Vollständigkeit halber ist nachfolgend das Prüfprotokoll zu diesem Versuch wiedergegeben:

Die Bestimmung des Frostwiderstandes wurde gemäß DIN EN 12371: 2010-07 unter Anwendung von 56 Frostzyklen durchgeführt.

Der nachfolgenden Tabelle sind die Angaben für die Trockenmassen vor und nach dem Versuch, die Wasseraufnahmen (massebezogener Wasseraufnahmegrad $W_{m,a}$ für die Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck) und die Gewichtsverluste durch Absplitterungen für die einzelnen Probekörper zu entnehmen:

Probe Nr.	Trockenmasse- vor Frost- Versuch [g]	Wasseraufnahme- grad $W_{m,a}$ vorher / nachher [Gew.-%]	Trockenmasse nach Frost- versuch [g]	Gewichts- verlust [Gew.-%]
1910004-41	2.122,0	3,00 / -	-	-
1910004-42	1.966,2	3,19 / -	-	-
1910004-43	1.878,8	2,98 / -	-	-
1910004-44	1.983,7	2,98 / -	-	-
1910004-45	1.833,6	2,97 / -	-	-
1910004-46	1.912,6	3,05 / 3,37	1.092,3	75,10
1910004-47	1.862,1	2,96 / 3,56	1.714,7	-
1910004-48	1.840,2	2,92 / 3,28	1.587,3	15,93
1910004-49	1.842,9	2,89 / 2,94	1.457,7	26,43
1910004-50	2.521,4	2,79 / -	-	-
1910004-51	2.207,2	2,64 / -	-	-
1910004-52	2.310,6	2,46 / 2,60	1.849,3	24,94

Nach 56 Frost-Tau-Wechseln beträgt der mittlere Gewichtsverlust an den nicht vollständig zerstörten 5 Balken $\Delta_m = 30,20$ Gew.-%. Zu beachten ist, dass weitere 7 Balken als vollständig zerstört gelten (jeweils 100 % Gew.-Verlust)!

Seitens der Stadt Wuppertal wurden uns auch mehrere Bohrkerne übergeben. Es handelt sich um Bohrkerne, die bei der Errichtung der Fassade vor Ort angefallen sind – die Bohrungen sind notwendig für die Aufnahme der Zugstäbe und liegen alle im hinteren Bereich der Mauersteine.

Foto 74 zeigt die Bohrkerne, die übergeben wurden und an denen ebenfalls ein Frost-Tauwechsel-Versuch gemäß DIN EN 12371 durchgeführt wurde.



Foto 74: Bohrkerne aus der Vorhangfassade

Probe Nr.	Trockenmasse- vor Frost- Versuch [g]	Wasseraufnahme- grad $W_{m,a}$ vorher / nachher [Gew.-%]	Trockenmasse nach Frost- versuch [g]	Gewichts- verlust [Gew.-%]
1910007-1	967,3	1,46 / 1,45	967,1	0,02
1910007-2	1.256,5	1,89 / 2,02	1.255,9	0,05
1910007-3	1.277,3	1,18 / 1,20	1.277,2	0,01
1910007-4	1.263,7	1,83 / 1,95	1.263,5	0,02
1910007-5	940,5	1,97 / 2,14	940,3	0,02

Nach 56 Frost-Tau-Wechseln beträgt der mittlere Gewichtsverlust an diesen Bohrkernen nur $\Delta_m = 0,02$ Gew.-%!

7.0 Weitere Untersuchungen

Ende Oktober 2019 wurden an der Fassade von insgesamt 7 Brüstungssteinen sog. Papierreliefzeichnungen angefertigt. Die ausgewählten Brüstungssteine liegen zwischen dem Busbahnhof und der Ecke, an der die Fassade nach Norden verspringt. Auf den ausgewählten Steinen sind nahe der Vorderkante ausgeprägte Stylolithen enthalten, die sich bei den Papierreliefzeichnungen (genau wie die Vorderkante selbst) klar durchdrücken.

Ziel dieser Papierreliefzeichnungen ist, nach jeweils beliebigen Zeitabständen erneut entsprechende Dokumentationen anzufertigen und diese mit den Ursprungszeichnungen zu vergleichen. Der Vorteil dieser Methode ist, dass es eine „Abbildung“ im 1:1 –Format ist, die nicht wie bei Kameraaufnahmen durch unterschiedliche Neigungswinkel oder verschiedene Abstände von der Oberfläche verzerrt sein kann.

Durch den Vergleich der Aufnahmen von verschiedenen Zeitpunkten lässt sich schnell erkennen, ob es Veränderungen in Form von Abplatzungen an der Oberfläche oder Aufweitungen der Stylolithen oder ähnliche Erscheinungen gibt.

Nachfolgend finden sich beispielhaft einige Fotos (75 bis 82) sowie die entsprechenden Papierreliefzeichnungen (3 Stück) zu diesem Stein, um die Situation zu veranschaulichen.



Foto 75: Referenzstein I; Übersichtsaufnahme

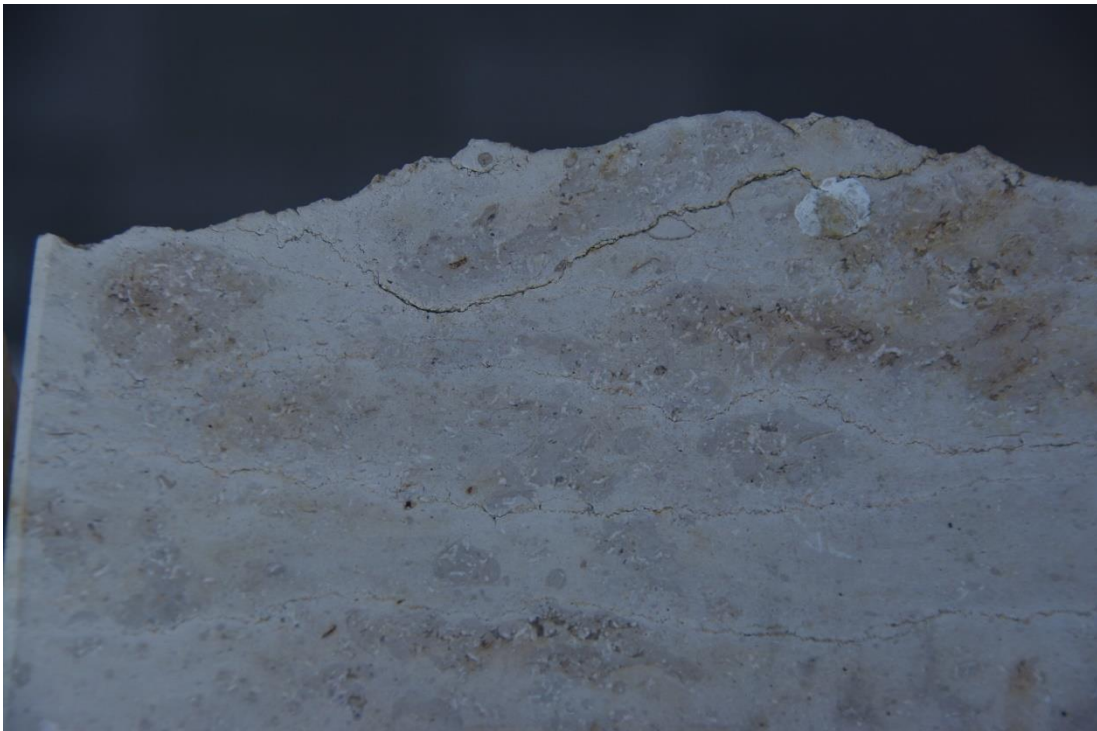


Foto 76: Referenzstein I; Detailaufnahme beginnend am linken Rand

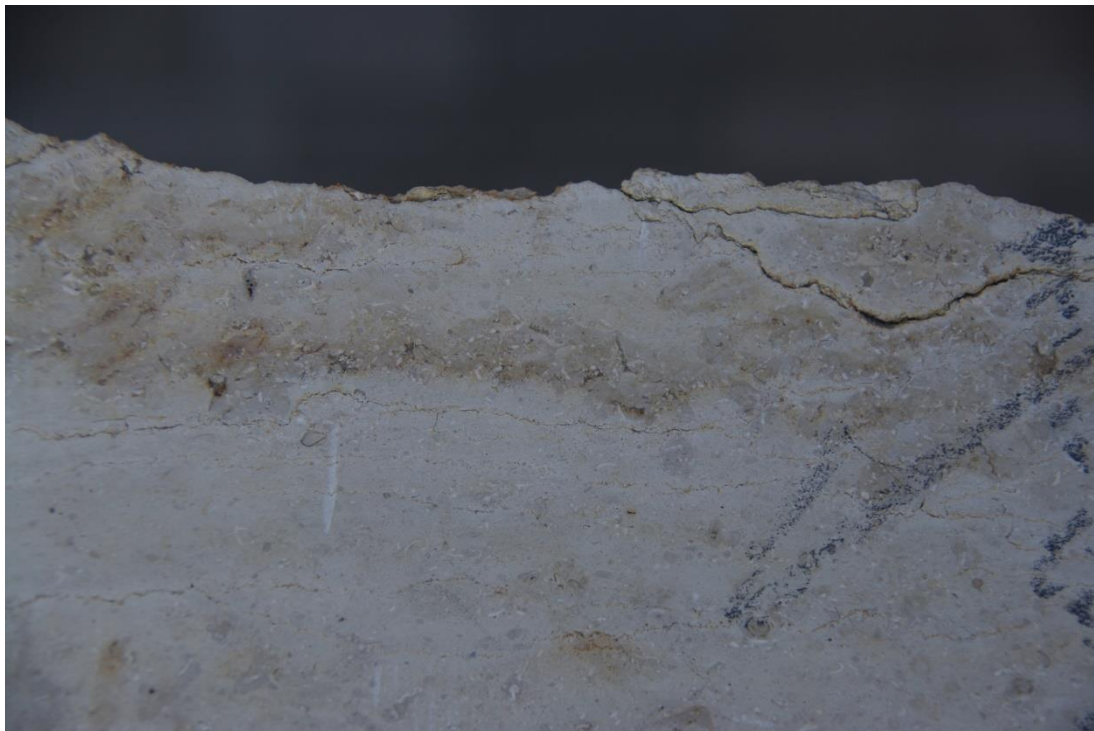


Foto 77: Referenzstein I; Detailaufnahme – Fortsetzung von Foto 76 nach rechts

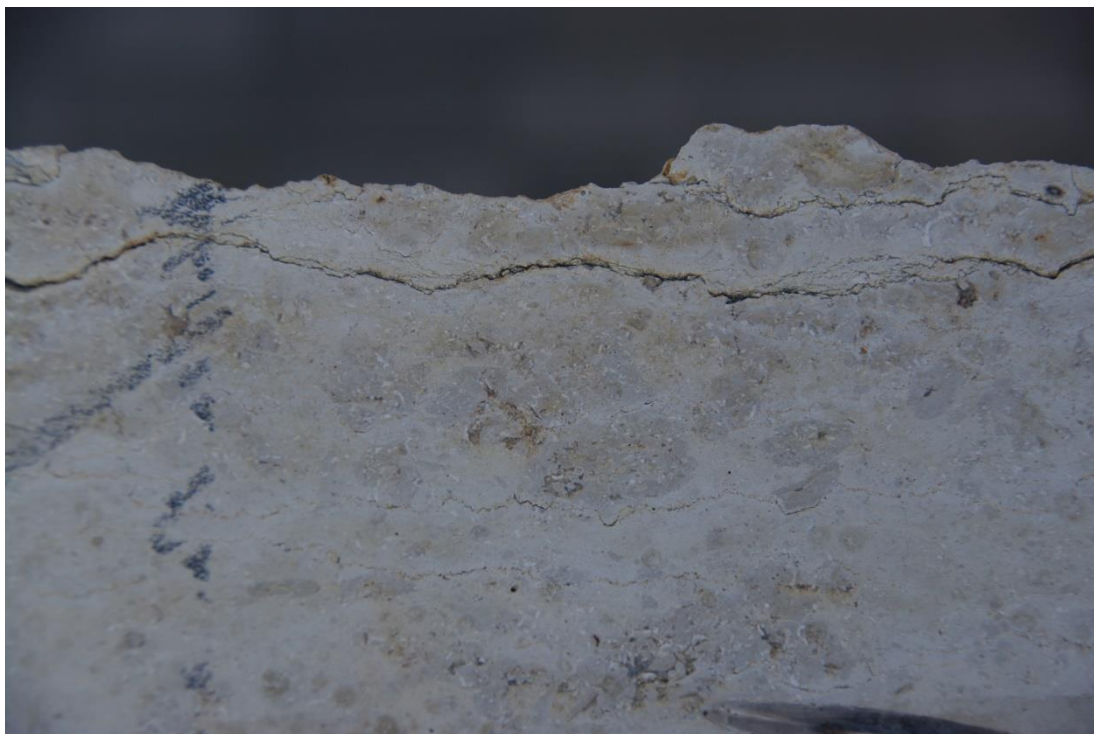


Foto 78: Referenzstein I; Detailaufnahme – Fortsetzung von Foto 77 nach rechts

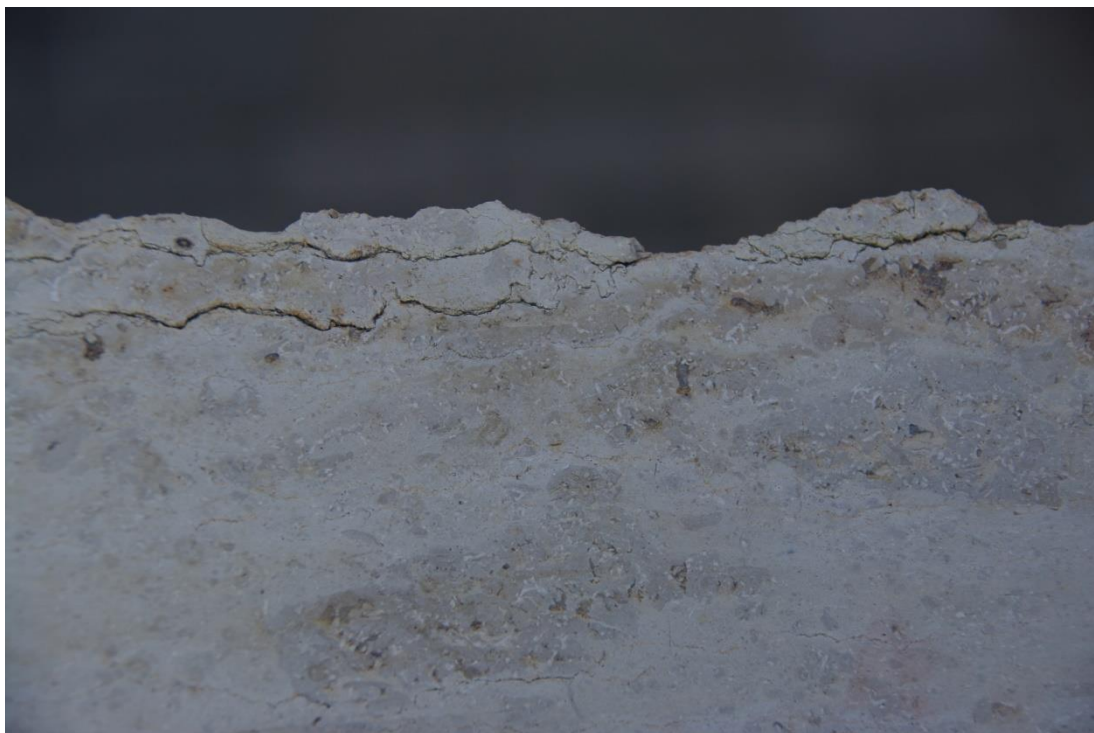


Foto 79: Referenzstein I; Detailaufnahme – Fortsetzung von Foto 78 nach rechts

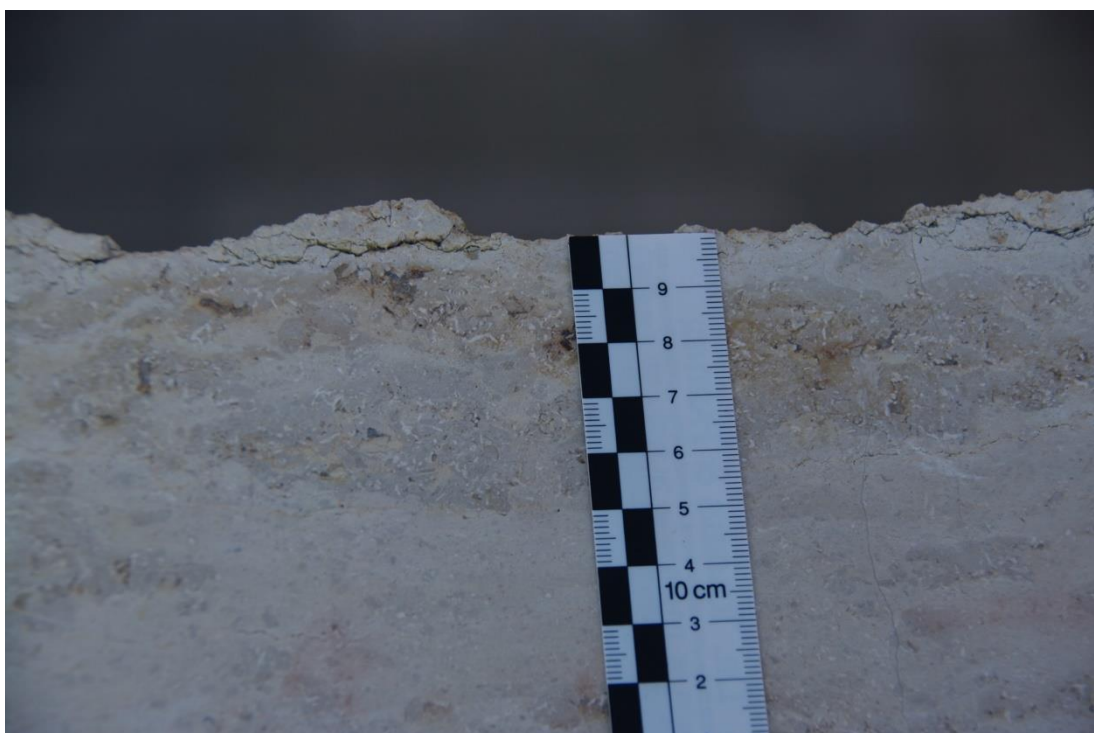


Foto 80: Referenzstein I; Detailaufnahme – Fortsetzung von Foto 79 nach rechts

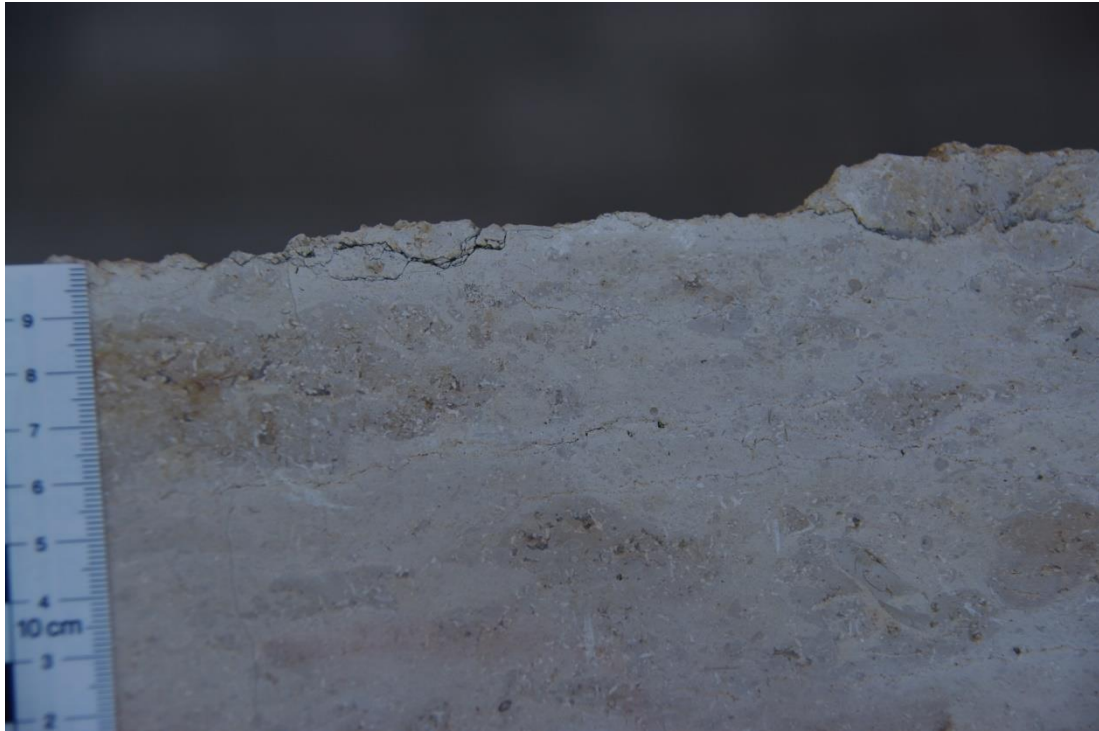


Foto 81: Referenzstein I; Detailaufnahme – Fortsetzung von Foto 80 nach rechts

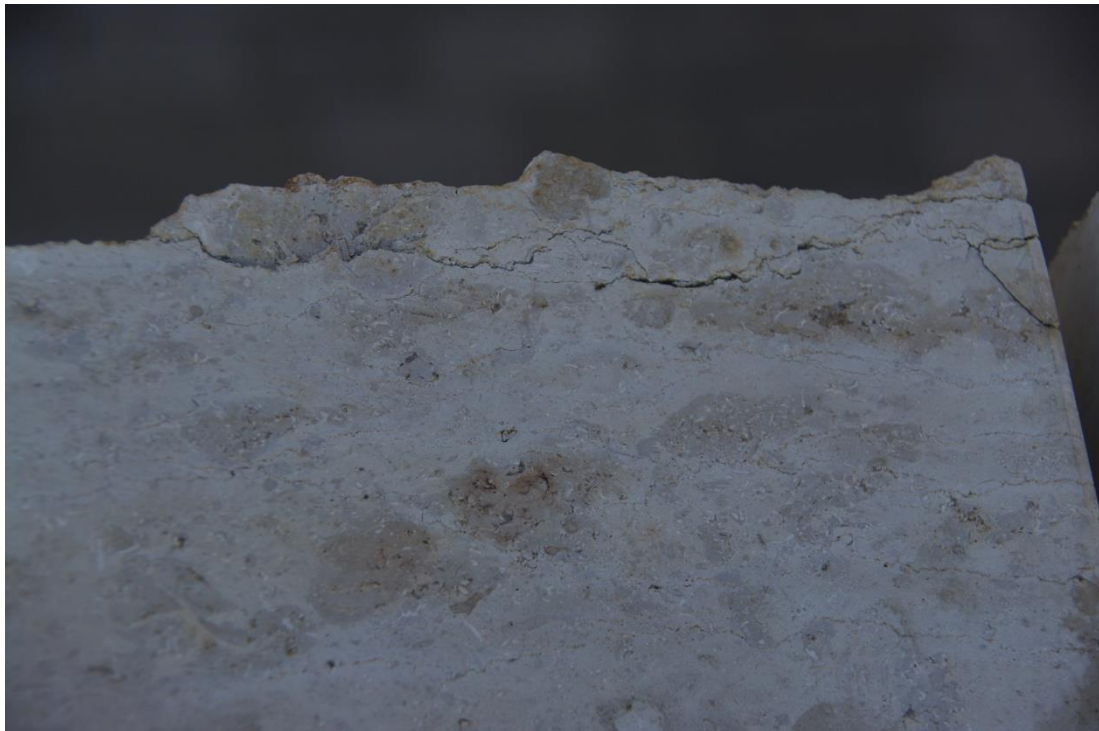
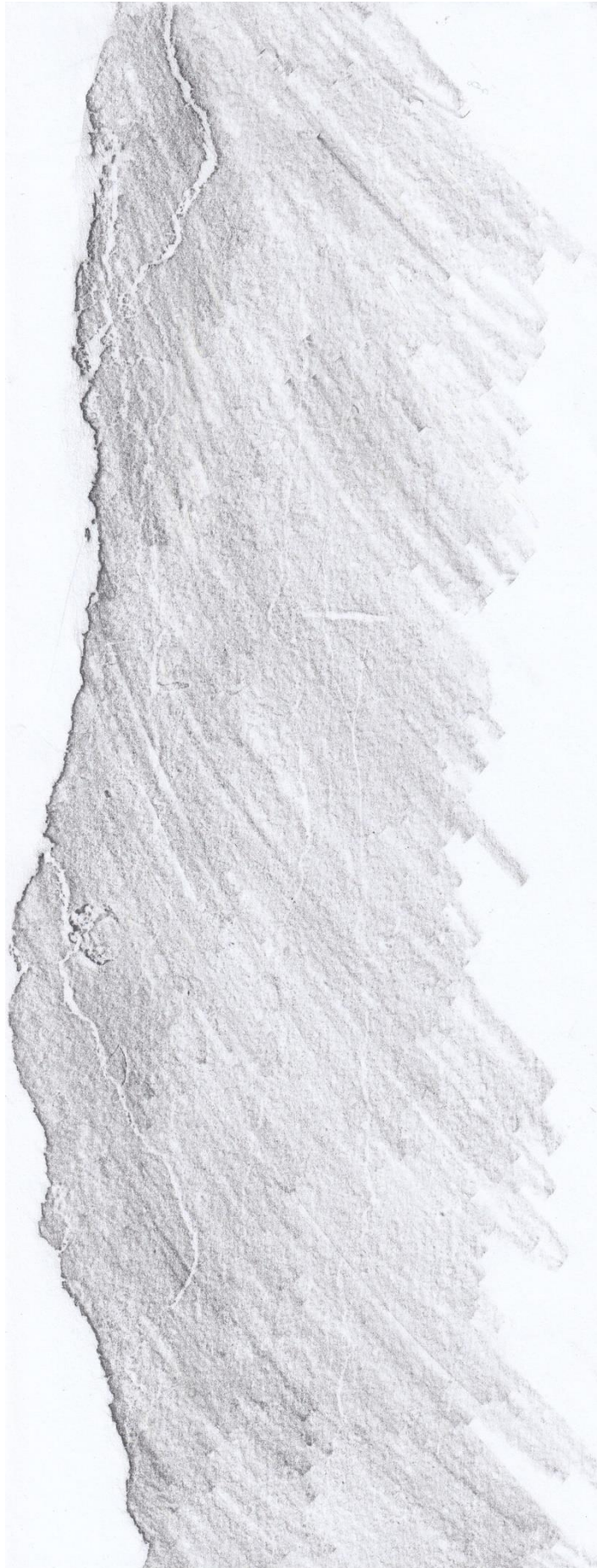


Foto 82: Referenzstein I; Detailaufnahme – Fortsetzung von Foto 81 nach rechts







Anfang April 2020 wurde eine erste Kontrolle dieser Referenzsteine durchgeführt. Dabei zeigte sich, dass keinerlei Veränderung gegenüber der Situation von Ende Oktober eingetreten ist.

Eine weitere Kontrolle der Fassade wurde seitens der Mitarbeiter der Stadt Wuppertal, Geschäftsbereich 100.1, Projektleitung Döppersberg vorgenommen. Hierzu wurden seit Spätherbst 2019 längstens im Abstand von 14 Tagen Begehungen entlang der Fassade vorgenommen und dabei weitestgehend alle Partikel eingesammelt, die von der Vorhangfassade abgesplittert sind. Es handelt sich dabei um Partikel, die durchaus eine Größe von bis zu 10 cm hatten! Diese Begehungen resp. die dabei gemachten Funde wurden dokumentiert und uns regelmäßig zugesandt. Nachfolgend findet sich ein zweiseitiges Dokument über die Begehung vom 22.11.2019.

Es wird unsererseits geschätzt, dass alleine die dokumentierten Funde eine Gesamtmasse von gut einem Kilogramm beinhaltet!

Gleichzeitig ist aber davon auszugehen, dass durch die nicht permanente, sondern nur ca. 2-wöchentlich stattgefundene Begehung und zwischenzeitliche Reinigungsarbeiten auf dem Platz und den Gehwegen sowie durch Abschwemmungen bei starken Regenfällen nur ein Bruchteil der insgesamt abgelösten Partikel aufgefunden und dokumentiert wurde.

Der tatsächliche Abtrag von solchen Partikeln dürfte demnach deutlich höher sein.

Neugestaltung Wuppertal Döppersberg #		Datum: 22.11.2019
		Aktenzeichen 07.12.07.06.17
Natursteinfassade Mall, Parkdeck, Passage		
Begehung der Fassadenbereiche im Hinblick auf Stein-Abplatzungen (Stylolithen)		
Datum	22.11.2019	Uhrzeit Uhr
Wetter	regnerisch	
Temperatur	8 °C	
Teilnehmer	1. Frau Baumbusch 2. Herr Gremme 3. 4.	
Bereich der Begehung	Fassade Parkdeck-Mall, bis ca. 2,5 m v. OK gesichtet, Gehweg und Brüstung o. Plätze	
Feststellung	kleinere Teile der N-Fassade ließen sich mit dem Taschenmesser z. T. leicht lösen An der B7, 1 Teil	
Abplatzungen	ja / nein	Anzahl ca. 25 Stück
Größe / Durchmesser ca.	1 - 15 cm	
Bild 1 Datum 22.11.2019 Ort PD / M		
Ersteller:		

Neugestaltung Wuppertal Döppersberg		Datum:	22.11.2019
		Aktenzeichen	07.12.07.06.17
Natursteinfassade Mall, Parkdeck, Passage			
Begehung der Fassadenbereiche im Hinblick auf Stein-Abplatzungen (Stylolithen)			
Bild 2			
Datum	22.11.2019		
Ort	B7		
			
Bild 3			
Datum	22.11.2019		
Ort			
Ersteller:			

8.0 Abschließende Bewertung

Nachfolgend werden die in den Kapiteln 6 und 7 erzielten Laborergebnisse und Feststellungen im Kontext mit der bisherigen, im Kapitel 4.0 vorgestellten, vorläufigen Bewertung diskutiert.

Das bei der MPVA geprüfte Material gilt zunächst als „frostsicher“ im Sinne der Prüfnorm – dies muss aber gleich wieder differenziert betrachtet werden!

Bei den Prüfungen der MPVA wurde insgesamt festgestellt, dass die Einzelwerte für die Biegefestigkeit sowohl bei der Belastung senkrecht als auch parallel zu den Anisotropieebenen (Lager) – egal ob mit oder ohne Befrostung – relativ stark schwanken. Entsprechend groß sind die Unterschiede zwischen jeweiligem Mittelwert und unterem Erwartungswert. Die Mittelwerte liegen bei 10,8 MPa für unbefrostedes Material bzw. bei 10,3 für befestetes Material (senkrecht zur Anisotropieebene) resp. bei 11,9 MPa (unbefrosted) bzw. bei 11,3 MPa (befrosted) (parallel zur Anisotropieebene) – gefordert war gemäß LV-Position 02.08.02.004 eine Biegefestigkeit von 19,1 MPa.

Als kleinster unterer Erwartungswert gemäß Prüfzeugnis MPVA wird eine Biegefestigkeit von 6,5 MPa erzielt.

In der Berechnung des Büros Wolf Natursteinplanungen vom 21.11.2016 wurde seinerzeit bei der *Bemessung der „Natursteinbalken“ Fassade Neugestaltung Döppersberg, Wuppertal* der unterste Erwartungswert mit 8,7 N/mm² aus dem Prüfzeugnis BBV 1319024-16 der TÜV Rheinland LGA Bautechnik vom 12.03.2013 verwendet. Der jetzt nachgewiesene Wert ist deutlich kleiner als der in dieser Berechnung angenommene Wert. **Wir halten eine Neuberechnung der Bemessung mit dem jetzt vorliegenden unteren Erwartungswert von 6,5 MPa für notwendig!**

Bei den Frostprüfungen in unserem Hause wurde bei den Bohrkernen das Material ebenfalls als „frostsicher“ im Sinne der Prüfnorm

eingestuft – auch diese Prüfkörper stammen (wie das Material, was bei der MPVA geprüft wurde) aus dem jeweils hinten liegenden Teil der Balken. Der vordere Materialteil, in dem jeweils die eigentliche Kruste durch Aufspalten / Brechen erzeugt wird, scheint dagegen deutlich andere Eigenschaften zu haben. Hier wurden in dem bei uns durchgeführten Frostversuch 7 von 12 Balken vollständig zerstört und bei den restlichen 5 Balken nach dem Frostversuch ein Gewichtsverlust von im Mittel über 30 Gew.-% festgestellt – im Sinne der Prüfnorm können auch diese 5 Balken somit nicht als frostbeständig gelten.

Der Unterschied zwischen dem vorderen, krustigen Balkenteil und dem rückwärtigen Material ist in der Entstehungsgeschichte begründet.

Bereits im Kapitel 4.0 wurde auf die Entstehungsgeschichte des Jura eingegangen und dort festgehalten, dass die Entstehung der gesamten Jura-Abfolge etwa 56,3 Millionen Jahre gedauert hat. Für die deutsche Jura-Abfolge kann man seit langem mit Sicherheit wenigstens 25 Schichten unterscheiden – heute geht die Zählung bereits bis über 30 Schichten. Stark vereinfacht kann man daher sagen, dass die Entstehung einer einzelnen Schicht ca. 1,5 Millionen gedauert hat. Dies ist zwar eine ganz stark vereinfachte Annahme und gilt streng genommen nur dann, wenn alle Schichten gleich dick wären und die Ausfällungsrate ständig gleich wäre. Dies ist sicherlich so nicht der Fall – es soll aber nur verdeutlicht werden, in welchen Zeiträumen die Entstehung einer solchen Schicht abläuft.

Alleine der Umstand, dass überhaupt verschiedene Schichten unterschieden werden können zeigt, dass die Entstehung des Jura nicht ganz kontinuierlich abgelaufen ist, sondern dass es zu bestimmten Zeiten Störungen gab. Diese Störungen resultieren in erster Linie aus Meeresspiegelschwankungen – das Jurameer war lange Zeit nur ein Randmeer und daher in weiten Bereichen ein Flachmeer. In der geowissenschaftlichen Fachliteratur wurde der Jura lange als relativ ruhige, ereignisarme und klimatisch stabile Epoche beschrieben.

Diese Einschätzung änderte sich in den letzten Jahrzehnten grundlegend. Demnach war der mittlere Abschnitt des Mesozoikums eine Zeit umfangreicher tektonischer Prozesse, prägnanter Meeresspiegelschwankungen sowie rasch verlaufender Erwärmungs- und Abkühlungsphasen mit einer Dauer von jeweils 0,5 bis 1,0 Millionen Jahren. Ein wichtiges Indiz für das Auftreten von Vereisungsprozessen im Jura sind die stark ausgeprägten Hebungen und Senkungen des Meeresspiegels, die aufgrund ihrer sehr raschen Abfolge tektonisch bedingte Änderungen des Ozeanbeckenvolumens in vielen Fällen ausschließen. Eine umfassende Analyse der ozeanischen Trends kommt zu dem Ergebnis, dass die signifikanten Meeresspiegelschwankungen (überwiegend im Bereich von 25 bis 75 Metern) ohne die zeitweilige Existenz großer Eisschilde kaum erklärbar sind. In Flachmeeren können sich solche Meeresspiegelschwankungen ganz fatal auswirken – es kann sogar bis zur teilweisen Trockenlegung von Ozeanböden führen, wobei dann natürlich keine gleichmäßige Kalkausfällung mehr stattfindet. Im Gegenteil – es kommt sogar zu An- bzw. Einwehungen von „Fremdpartikeln“ wie Tone und andere Feinstäube aus den großen Landmassen. Solche Prozesse dauern dann aber auch einen Zeitraum von mehreren Tausend Jahren oder länger an. Genau diese Einlagerungen stellen später die Bereiche mit den sog. Stylolithen dar – oder sogar richtige Schichtgrenzen, also echte Grenzschichten zwischen den einzelnen Bänken der Juraabfolge. Insgesamt sind die Zonen mit solchen Stylolithen auch weniger verfestigt, da das Meer aufgrund der extremen Flachwassersituation unruhiger war und keine großen Kalkausscheidungen stattfanden.

Auch bei der später durch weitere Auflagerungen stattgefundenen Diagenese (Kompaktion und Zementation) können diese Zonen nicht die gleiche Festigkeit erreichen, wie ein über hunderttausende von Jahren durch gleichmäßige Ausfällung entstandener Meeresboden.

Das Resultat dieser Entstehungsgeschichte zeigt sich in vielfältiger Weise:

- Es gibt quasi in jeder Kalkbank (Schicht) des Jura Bereiche, in denen eine langanhaltende, relativ gleichmäßige Kalkausscheidung für ein gleichmäßiges Wachstum und somit für eine „gesunde“ ziemlich homogene Materialqualität sorgt.
- Bereiche, die während extremen Flachwasserzonen entstanden sind, zeigen in deutlich stärkerem Ausmaß Stylolithen. Sie sind qualitativ deutlich schlechteres Steinmaterial. Solche Materialien wurden beim Abbau früher häufig verworfen resp. vom „gesunden“ Kernbereich abgesägt und deponiert.
- Das Aufspalten solcher Bänke mit diesen Merkmalen im Lager ist relativ einfach – genau dann entstehen auch die Krustenplatten. Diese sind zwar durchaus attraktiv, haben aber völlig andere Eigenschaften als das „gesunde“ Hauptmaterial der Bänke.
- Die Unterschiede in den Materialeigenschaften zeigen sich in einer nicht vorhandenen Frostbeständigkeit, geringeren Festigkeiten und höheren Wasseraufnahmen. So liegt die Wasseraufnahme bei den Bohrkernen (= hinterer, guter Bereich der Krustenbalken) bei 1,7 Gew.-% (Mittelwert) – im vorderen Bereich der Kruste dagegen bei 2,9 Gew.-%.

Die Folge dieser Entstehungsgeschichte zeigt sich dann aber leider auch an der Fassade:

Permanent lösen sich teils kleinere, bis zu 10 cm große Partikel ab und fallen herunter. Dies wurde über den gesamten Zeitraum vom Spätherbst bis heute ausreichend dokumentiert.

Die regelmäßigen Begehungen mit Kontrolle der Fassade sowie dem Einsammeln und der Dokumentation der abgefallenen Partikel sollten unbedingt weitergeführt werden.

Das Versagen aller Prüfkörper aus der Krustenstein-Vorderseite bei der Frostbeständigkeitsprüfung in unserem Hause ist ebenfalls auf die Entstehungsgeschichte zurückzuführen (s. o.).

Es ist reiner Zufall, dass der Winter 2019/2020 quasi ausgefallen ist und alleine deswegen keine stärkeren Schäden an der Fassade entstanden sind. Klimaaufzeichnungen einer extra angelegten Messstelle der Stadt am Islandufer (knapp 300 m Luftlinie von der Fassade entfernt; etwa gleiche Höhenlage) belegen, dass im gesamten bisherigen Messzeitraum von Ende November 2019 bis Ende April 2020 lediglich 2 Frostnächte aufgetreten sind. Die Temperaturen sanken dabei auf lediglich -0,53 °C am 02.01.2020 bzw. -0,69 °C am 30.03.2020. Leider gibt es eine Messlücke vom 15.01. bis zum 03.02.2020 – ein Vergleich mit im Internet abrufbaren Daten der Wetterstation Wuppertal-Buchenhofen zeigen aber, dass in diesem Zeitraum auch nur maximal 1 bis 3 weitere Frostnächte (mit auch nur ganz schwachen Minustemperaturen) gewesen sein können.

Daher kann mit Fug und Recht behauptet werden, dass der Winter 2019/2020 nicht stattgefunden hat, was für die Schadensauswirkungen auf die Fassade ein glücklicher Umstand ist.

Dies erklärt auch, warum an den dokumentierten Referenzsteinen bisher keine Veränderungen festgestellt wurden.

Zusammenfassend und abschließend müssen wir an der ursprünglichen Bewertung festhalten:

- **Die Fassade hätte in der hier vorliegenden Form nicht errichtet werden dürfen.**
- **Das Versetzen der Mauersteine gegen das Lager entspricht nicht den allgemein anerkannten Regeln der Technik.**
- **Die Langzeitbelastung durch die Situation stehendes Wasser wurde falsch beurteilt – demgemäß hätte eine Frostprüfung mit einer wesentlich höheren Prüfzyklenzahl (als 14) gewählt werden müssen.**
- **Es darf nicht nur das „gesunde“ Material der kompakten, hinteren Steinteile geprüft werden, sondern gerade auch das**

weitaus schwächere Material des vorderen Krustenbereichs mit den zahlreichen, eingelagerten Stylolithen.

- **Selbst das „gesunde“ Material aus dem hinteren Bereich des Steins hat nur eine Biegefestigkeit (Mittelwert) von 10,8 bis bis 11,9 MPa (unbefrosten; je nach Belastungsrichtung zur Anisotropie) – gefordert war gemäß LV eine Biegefestigkeit von 19,1 MPa.**
- **Das nicht eingehaltene Gefälle von mindestens 3 % beschleunigt den Verwitterungsprozess.**
- **Ständig lassen sich vor / unterhalb der Fassade abgeplatzte Gesteinsscherben auffinden.**
- **Nicht zuletzt wegen des quasi ausgefallenen Winters – haben sich keine größeren Steinteile gelockert!**

Langfristig gesehen wird diese Fassade immer schadensträchtig bleiben, sie bedarf einer ganz besonderen, permanenten Überwachung.

Aus unserer Sicht müssen zunächst umgehend Sicherungsmaßnahmen – mindestens in Form von Sicherungsnetzen oberhalb im Bereich der Durchgänge zum Bahnhofsgebäude / zu den Ladengeschäften – ausgeführt werden.

Serrig, den 11. Mai 2020



Dr. Johannes Tombers

Geschäftsführer + Prüflaborleiter
ö. b. u. v. Sachverständiger

Anhang

Kopien



Anwendung von Jura-Kalkstein im Garten- und Landschaftsbau



Kalkstein ist seit jeher ein attraktives und vielseitig eingesetztes Natursteinmaterial im Garten- und Landschaftsbau. Gerade die neuen Trends in der Gestaltung des baulichen und gartenarchitektonischen Außenbereichs haben die Nachfrage nach den gestaltungsvielseitigen und farblich interessanten Kalksteinen deutlich verstärkt. Aber nicht alle Kalksteine sind für die zentralkontinentalen Witterungsbedingungen ausreichend widerstandsfähig.

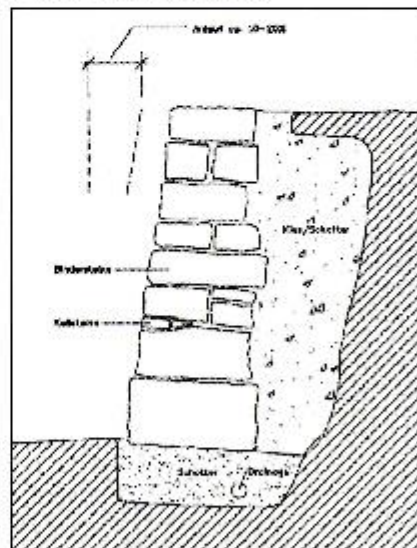
Jurakalkstein aus Bayern wird seit vielen Jahrhunderten, von den Römern beginnend über die Barockbaumeister bis hin zur Gegenwart, im Außenbereich angewandt. So liegen auch ungezählte Beispiele für seine Witterungstauglichkeit in Form von Hauselementen, Einfassungen, Grabsteinen, Brunnen und vielem mehr vor. Durch seine Materialbeschaffenheit verfügt Jurakalkstein über eine für Kalksteine überdurchschnittliche Widerstandsfähigkeit gegenüber aggressiven Umwelteinflüssen. Seine interessante, konturreiche Patina entfaltet gerade im gestalterischen Anwendungsbereich ihre attraktive Wirkung. Bei sachgerechter Anwendung, der Vermeidung von Staunässe und der Auswahl der entsprechenden Gesteinsschichten kann bei Jurakalkstein das Risiko eines Frostschadens nahezu ausgeschlossen werden.

Geschichtete bzw. lagerhafte Steine sind im Bauwerk so zu verwenden, wie es ihrer natürlichen Schichtung entspricht. Horizontal verlaufende Lagereinschlüsse sowie Mergelablösungen an Naturkanten sind materialtypische Verwitterungserscheinungen und stellen bei Sedimentgesteinen keinen Mangel dar.

Nachfolgend soll auf die Vorfahrensweisen hingewiesen werden, die sich in der Anwendungspraxis bewährt haben und deshalb als fach- und sachgerechte Ausführung gelten können.

1. Wegen der materialtypischen Saugwirkung bei Kalksteinen ist Staunässe in jedem Fall zu vermeiden. Deshalb müssen Gela-Bau-Produkte aus Jurakalkstein vor aufsteigender und nachdrückender Feuchtigkeit geschützt werden.

2. Werden Gela-Bau-Produkte aus Jurakalkstein mit Erdreich oder ähnlichen feuchtigkeitsspeichernden Materialien hinterfüllt, ist immer eine Trennschicht einzubauen (Trennfolie, Sickerschicht oder evtl. Drainage).



Altmühltales Kalksteine e.V.
Industrievereinigung
Solnhöfer Bruch 9
91807 Solnhofen

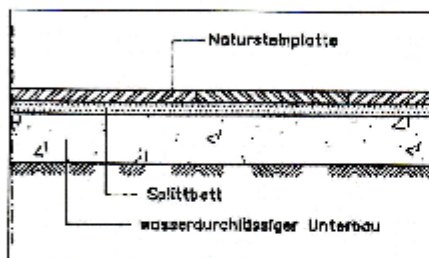


Anwendung von Jura-Kalkstein im Garten- und Landschaftsbau



3. Der Unterbau für alle Gala-Bau-Produkte aus Jurakalkstein sollte richtigerweise aus einem mineralischen Bodenaufbau bestehen (kapillarbrechende Schicht).

Ist ein Betonfundament erforderlich, müssen die hierauf versetzten Jurakalksteinmaterialien gegen aufsteigende Feuchtigkeit durch eine Trennschicht geschützt werden. In jedem Fall ist der Bodenunterbau mit ausreichendem Gefälle zum Zwecke der Wasserableitung auszuführen.



4. Der Aufbau sollte erfolgen:

- bei Massivstufen, Treppen- und Terrassenbelägen:
auf Edelsplitt, auf drainfähigem Einkornmörtel oder auf Stielzager.

- bei Mauern und Verblendsteinen:
Trockenmauern müssen schichtweise mit gleichzeitiger Hinterfüllung aufgebaut werden.

Vermörtelte Mauern sind mit Trassmörtel herzustellen und mit einer Abdeckplatte zu versehen.

Verblendsteine sind mit frostsicherem Natursteinkleber zu verlegen und mit Trassmörtel zu verfugen.

- bei nicht belährbaren Pflasterbelägen:
durch Verwendung von Edelsplitt oder Einkornmörtel.

Die bei Bodenbelägen vorhandenen Fugen sollten generell offen belassen oder mit ausschließlich wasserdurchlässigen Materialien verschlossen werden.

5. Natursteinarbeiten mit Jurakalkstein sollten bis ca. Oktober abgeschlossen sein, um ein ausreichendes und für die Frostsicherheit entscheidendes Austrocknen der Materialien zu ermöglichen.

Bei einer Anwendung von Jurakalkstein im Spätherbst oder im Winter zwischen den Frostperioden darf nur ein gesichert vollständig ausgetrocknetes Natursteinmaterial eingesetzt werden.

6. Gala-Bau-Produkte aus Jurakalkstein dürfen nur aus Abbau-schichten produziert werden, die infolge ihres speziellen Materialgefüges aufbau-s geeignet sind, den i.d.R. langfristig zu erwartenden ganzjährigen Witterungsverhältnissen des kontinentalen Klimas zu widerstehen.

7. Jurakalksteine sind nur bedingt widerstandsfähig gegen Frost-Tau-Wetter sowie gegen die Einwirkung von Streusalzen. Es wird daher die Verwendung von Splitt im Winter empfohlen.

Altmühltaler Kalksteine e.V.
Industrievereinigung
Solnhöfer Bruch 9
91807 Solnhofen

Die wichtigsten Informationen zu Juramarmor (Jurakalkstein)

Bezeichnung

Die petrographische Bezeichnung für Jurakalkstein gilt nach DIN EN 12407:2000. Die einzelnen Produzentenbetriebe verwenden z. Teil jedoch unterschiedliche Handelsnamen.

Chemische Zusammensetzung

Juramarmor ist ein Sedimentgestein, das sich im wesentlichen aus Calciumcarbonat CaCO_3 zusammensetzt, dem Metalloxyde und Farberden beigemischt sind. Durch seine Substanzdichte ist Juramarmor in besonders hervorragendem Maße polierfähig. Deshalb und wegen seiner changierenden Farbstruktur wird Jurakalkstein vor allem in geschliffener und polierter Oberfläche auch als Juramarmor bezeichnet.

Zum typischen Erscheinungsbild von Juramarmor gehören fossile Einschlüsse von Algen, Schwämmen und Wassertieren (z. B. Poriferen, Spongien, Belemniten, Ammoniten oder Bacherschwämme). Die Häufigkeit solcher fossilen Einschlüsse ist in den verschiedenen Abbauschichten unterschiedlich.

Farben

Juramarmor gibt es in den Farben gelb, grau, gemischtfarben (gelb bis grau in einer Platte) und – gegen das Lager geschnitten – gelb gebändert. Je nach Abbauage werden von den Produzenten zusätzlich firmenspezifische Bezeichnungen verwendet wie z. B. goldgelb, rahmweiß, rotbunt u.ä.

Quarzadern

Verschiedentlich wird Juramarmor von sog. Glas- und Quarzadern durchzogen. Hierbei handelt es sich um Calcitadern, deren Kalkspat in der Entstehungszeit des Jurakalksteins Materialspaltungen verschlossen hat und mit den übrigen Materialsübetzen des Juramarmors fest verwachsen ist. An dieser Stelle besitzt das Natursteinmaterial substanzbedingt eine besondere Härte. Quarzadern gehören zum materialtypischen Erscheinungsbild und sind deshalb in zur Plattengröße angemessenem Umfang und Breite kein Reklamationsgrund.

Eigenschaften

Juramarmor verändert ohne Oberflächenbehandlung sein Aussehen über lange Zeiträume nur unwesentlich (geringe Aufhellung bei intensiver UV-Einstrahlung). Juramarmor ist eingeschränkt frostbeständig. Bei Staunässe besteht die Gefahr von Abplatzungen und Plattenrissen. Bedingt saiz- und säureempfindlich (ggf. Schutzbehandlung durch Oberflächenversiegelung oder Materialimprägnierung). Reinigung durch Wasser mit geringen Zusätzen von wachs- und säurefreien Reinigungsmitteln (es gilt die Pflegeanleitung des Altmühltaler Kalksteine e. V.).

Die wichtigsten Informationen zu Juramarmor (Jurakalkstein)

Für die Anwendung als Fassadenplatte oder die Materialverwendung im Außenbereich als Bodenbelag oder Massivstück werden ausschließlich sog. Oberlagen oder Jura-Travertin verwendet. Juramarmor ist ein Kalkstein, dessen gesägte Oberfläche je nach Abbauschicht verschiedentlich eine materialtypische Offenporigkeit besitzt. Um eine geschlossene Oberfläche zu erhalten, werden diese Gesteinsporen mit umweltverträglichen UV-Kitt gespachtelt, der durch ultraviolette Bestrahlung durchgehärtet wird.

Diese Oberflächenbearbeitung stellt nach DIN 18332 Ziff. 2.1.5 eine zulässige Bearbeitungsart dar. Juramarmor besitzt eine herausragende Wärmeleitfähigkeit und ist deshalb als Oberbelag für Fußbodenheizungskonstruktionen in besonderem Maße geeignet.

Formate

Überlängen

Quadrate

Rechtecke bis 100 cm Seitenlänge

Fensterbänke bis 300 cm Länge

Oberflächenbearbeitungen

grobgeschliffen	(Schliff 120 = R 10)
geschliffen	(Schliff 180/7 oder 220 gleichwertig = R 9)
feingeschliffen	(Schliff 320)
poliert	(> Schliff 320)
gestockt	(R 13)
scharriert	(R 13)
geriffelt	(R 13)
sandgestrahlt	(R 13)

weitere mögliche Oberflächenbearbeitungen

getrommelt	antik
gebürstet	antik
diamantgesägt	(sägerau)

nassbelastete Barfußbereiche

tellersandgestrahlt = Bewertungsgruppe C

Materialdicken

10 mm/13 mm/15 mm/ 20 mm/

30 mm/40 mm/50 mm und dicker

Verlegung

nach DIN 18332 auch über Warmwasser- und Elektrobodenheizungen.

(Es gilt die Verlegeanleitung des Aitmühltaler Kalksteine e. V., Industrievereinigung)

Technische Werte zu Juramarmor (Jurakalkstein)

Wasseraufnahme nach DIN EN 13755	ca. 1,8 % (massebezogen)
Rohdichte nach DIN EN 1936	ca. 2,5 g/cm ³
Druckfestigkeit nach DIN EN 1926	ca. 125 MPa
Biegefestigkeit nach DIN EN 12372	ca. 11,5 N/mm ²
Abriebwiderstand nach DIN EN 14157/B (nach Böhme)	ca. 17,7 cm ³ /50 cm ²
Abriebwiderstand nach DIN EN 14157 (nach Capon)	ca. 19,4 mm - 20,5 mm

Radioaktivität

Nach Untersuchung auf Radioaktivität (Gammaskopimetrische Messung) durch die LGA Nürnberg, Messbericht M 5921 104 B Juramarmor gelb und M 5921 104 C Juramarmor graublau vom 16.4.2002 liegt die festgestellte Strahlenkonzentration im Bereich von 19 Bq/kg bis 15 Bq/kg sowie < 5,5 Bq/kg bis < 5,1 Bq/kg deutlich unter den in der Tabelle 64 (BMU, 1987 <37>) genannten Prüfverle der übrigen Baustoffe.



Materialprüfungs- und Versuchsanstalt Neuwied

Forschungsinstitut für vulkanische Baustoffe GmbH
Sandkauler Weg 1, 56564 Neuwied

Brandprüfstelle nach DIN 1026-1, Überwachungs- und Zertifizierung DIN 1026-2
Anlagen- und Instandhaltung nach DIN 1026-3
Brandverhalten nach DIN 1026-4
Produktion nach DIN 1026-5

PRÜFBERICHT

Prüfzeichen: 0-91/2250/19

Auftraggeber: Dr. Tombers & Partner
Gesellschaft für Bauschadensforschung
Hauptstr. 68

54455 Serrig

Hauptverwaltung
Sandkauler Weg 1
D-56564 Neuwied
Tel: +49 (0) 2631 / 9993-0
Fax: +49 (0) 2631 / 9993-20
Internet: www.mpa-neuwied.de
E-Mail: info@mpa-neuwied.de

Gegenstand des Antrags: Prüfung von Naturstein

Handelsname: JURA-Kalkstein

Petrographische Familie: Kalkstein

Geologisches Zeitalter: n. bek.

Typische Farbe: hellgrau-beige

Herkunftsort: Musterstein, Projekt Döppersberg

Karl-Jens Voß
Dipl.-Ing.
von der Industrie- und Handels-
kammer zu Koblenz, S. B. u. V.
Sachverständiger für
„Analyse von bautechnischen
Baustoffen“
Tel: +49 (0) 2631 / 9993-28
E-Mail: vo@mpa-neuwied.de

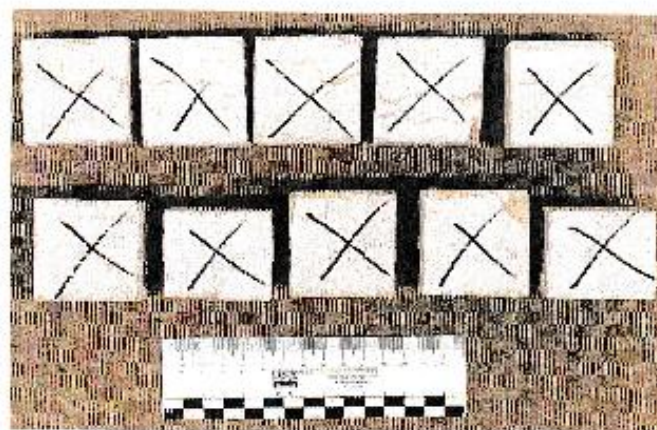
Datum des Antrages: 27.11.2019

Datum der Ausfertigung: 15.01.2020

Henning Rohowski
Dipl.-Ing.
von der Industrie- und Handels-
kammer zu Koblenz, S. B. u. V.
Sachverständiger für „Bauteile
aus Stahl“
Tel: +49 (0) 2631 / 9993-20
E-Mail: roh@mpa-neuwied.de

Textseiten: 3 Anlagen: 8

Petra Arens
Dipl.-Ing.
von der Industrie- und Handels-
kammer zu Koblenz, S. B. u. V.
Sachverständige für
„Gips und Plaster“
Tel: +49 (0) 2631 / 9993-21
E-Mail: aren@mpa-neuwied.de



In Prüfprotokollen beziehen sich auch häufig auf die Prüfobjekte. Die Messergebnisse sind angegeben, sofern hier keine widersprechenden Aussagen getroffen werden, den Anforderungen der
genannten Prüfnormen. Die Wesensgehalt des Prüfobjekts in irgendeiner Form, wie z.B. als Holzbohle oder als Holzbohle, ist nicht relevant für die Beurteilung der Ergebnisse.

Druck: 15.01.2020 09:59:00, Dr. Henning Rohowski, Henning Rohowski

Telefon: (02631) 9993-0, Fax: (02631) 9993-20
Internet: www.mpa-neuwied.de

Geschäftsführer: Dr. Henning Rohowski, Dr. Henning Rohowski

Berichterstatter: Henning Rohowski
Angaben gemäß DIN EN ISO 9001

**MATERIALPRÜFUNGS- UND
VERSUCHSANSTALT
NEUWIED**

Seite 2 von 4

zum Bericht
vom

D-91/2299/19
15.01.2020

1 Auftragsgegenstand

Am 27.11.2019 wurden insgesamt 40 Natursteinproben gemäß dem o.a. Auftrag angeliefert. Es handelte sich dabei, lt. Angabe des Auftraggebers um einen Naturstein mit auf Seite 1 genannten Handelsbezeichnung. Für jede Prüfung und Prüfrichtung (Lastaufbringung senkrecht bzw. parallel zu den Anisotropieebenen) lagen nur jeweils fünf Prüfkörper vor.

Auftragsgemäß sollten die in Tabelle 1 genannten Prüfungen durchgeführt werden.

2 Zusammenfassung Prüfergebnisse

Tabelle 1: Zusammenfassung der Prüfergebnisse, Lastaufbringung senkrecht zu den Anisotropieebenen

Prüfung	Wert	Vergleichswerte DNV ¹⁾
Biegefestigkeit nach DIN EN 12 372		
Mittelwert	10,8 MPa	6 - 10 MPa
Unterer Erwartungswert ²⁾	7,6 MPa	---
Standardabweichung	1,6 MPa	
Biegefestigkeit nach DIN EN 12 372, nach 56 Frost-Tau-Wechsel		
Mittelwert	10,3 MPa	---
Unterer Erwartungswert ²⁾	6,5 MPa	---
Standardabweichung	1,8 MPa	
Bewertung	Änderung der mittleren Biegezugfestigkeit -4,6%	
Druckfestigkeit nach DIN EN 1926		
Mittelwert	78 MPa	80 - 100 MPa
Unterer Erwartungswert ²⁾	47 MPa	---
Standardabweichung	13 MPa	
Druckfestigkeit nach DIN EN 1926, nach 56 Frost-Tau-Wechsel		
Mittelwert	95 MPa	---
Unterer Erwartungswert ²⁾	70 MPa	---
Standardabweichung	12 MPa	
Bewertung	Änderung der mittleren Druckfestigkeit +21,6%	

¹⁾ Unterer Erwartungswert und ²⁾ Oberer Erwartungswert, jeweils als 5 % Quantil mit 95 % Aussagewahrscheinlichkeit ³⁾ DNV - Bautechnische Informationen Naturwerkstein - 1.7 Bautechnische und bautechnische Hinweise, Würzburg 1985 (Vergleichswerte für dichte (norm) Kalksteine)

Tabelle 2: Zusammenfassung der Prüfergebnisse, Lastaufbringung parallel zu den Anisotropieebenen

Prüfung	Wert	Vergleichswerte DIN ¹⁾
Biegefestigkeit nach DIN EN 12 372		
Mittelwert	11,9 MPa	6 - 15 MPa
Unterer Erwartungswert ²⁾	7,9 MPa	---
Standardabweichung	1,9 MPa	
Biegefestigkeit nach DIN EN 12 372, nach 56 Frost-Tau-Wechsel		
Mittelwert	11,3 MPa	---
Unterer Erwartungswert ²⁾	8,1 MPa	
Standardabweichung	1,6 MPa	
Bewertung	Änderung der mittleren Biegezugfestigkeit <5%	
Druckfestigkeit nach DIN EN 1926		
Mittelwert	98 MPa	80 - 100 MPa
Unterer Erwartungswert ²⁾	93 MPa	---
Standardabweichung	2 MPa	
Druckfestigkeit nach DIN EN 1926, nach 56 Frost-Tau-Wechsel		
Mittelwert	96 MPa	---
Unterer Erwartungswert ²⁾	89 MPa	---
Standardabweichung	2,4 MPa	
Bewertung	Änderung der mittleren Druckfestigkeit <2%	

¹⁾ Unterer Erwartungswert und ²⁾ Oberer Erwartungswert, jeweils als 5 % Quantil mit 95% Ausgegensehenheit ³⁾ DIN - Deutscher Normenrat, Information Naturwerkstein - 1/7 Bauteileigenschaften und benutzerspezifische Einflüsse, Würzburg 1995 (Vergleichswerte für dicke (feste) Kasse)

**MATERIALPRÜFUNGS- UND
VERSUCHSANSTALT
NEUWIED**

Seite 4 von 4

zum Bericht
vom

0-91/2299/19
15.01.2020

3 Beurteilung

Die abschließende Beurteilung erfolgt durch den Auftraggeber.

Die ermittelten Kennwerte können für die CE-Kennzeichnung für den Naturstein
" **JURA-Kalkstein** " für

- Platten aus Naturstein für Außenbereiche nach **DIN EN 1341:2013-03** -
Anforderungen und Prüfverfahren; Deutsche Fassung EN 1341:2012;

verwendet werden.

Neuwied, 15.01.2020/Ka

Sachbearbeiter

Institutsleitung

(Dr. rer. nat. Jan Ottinger)



(Dr. rer. nat. Karl-Uwe Voß)

**Materialprüfungs- und
Versuchsanstalt
Neuwied**

Anlage 3 von 8

zum Bericht
vom

91/2299/19
15.01.2020

**Druckfestigkeit nach DIN EN 1926
Naturstein der Handelsbezeichnung:**

Probe	Breite	Breite	Mittelwert	Höhe	Bruchlast	Druckfestigkeit		
Nr.	b_1	b_2	Seiten- abmessung b	h	F	R	R_c (transf.)	
[-]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[kN]	[MPa]	[-]	
26	40,9	51,9	46,4	51,4	143	66,56	4,1981	
27	41,6	48,7	45,2	51,5	173	84,48	4,4365	
28	49,5	48,5	49,0	52,9	249	103,54	4,6400	
29	41,8	50,3	46,0	51,5	143	67,67	4,2146	
30	50,4	48,3	49,4	52,7	164	67,33	4,2096	
Mittelwert $\bar{R}$						78	4,3398	
Standardabweichung s						[MPa]; [-]	16	0,1930
Variationskoeffizient v						[%]	20,8	-
Quantilfaktor ($p = 5 \%$) k_{50}^{*1}						[-]		2,46
Unterer Erwartungswert E						[MPa]		47
$n =$ 10 Versuche und								
$W =$ 75 % Aussagewahrscheinlichkeit								

Datum der Prüfung: 09.01.2020

Bemerkung: Prüfung senkrecht zur Anisotropie (früher Lager)
Die Prüfung erfolgte an Würfeln
Die Lasteinwirkungsflächen wurden geschliffen

**Materialprüfungs- und
Versuchsanstalt
Neuwied**

Anlage 4 von 8

zum Bericht
vom

91/2299/19
15.01.2020

**Druckfestigkeit nach DIN EN 1926, nach 56 Frost-Tau-Wechsel
Naturstein der Handelsbezeichnung:**

Probe	Breite	Breite	Mittelwert	Höhe	Bruchlast	Druckfestigkeit	
Nr.	b_1	b_2	Seiten- abmessung $\bar{t}$	h	F	R	R (transf.)
[-]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[kN]	[MPa]	[-]
36	47,0	50,0	43,0	52,2	219	91,21	4,5132
37	51,6	42,7	47,2	50,8	200	89,59	4,4952
38	49,1	50,1	49,8	53,1	285	115,97	4,7533
39	50,1	53,0	50,0	51,9	233	94,24	4,5458
40	50,9	42,4	46,6	51,2	183	84,09	4,4319
Mittelwert $\bar{R}$						95	4,5479
Standardabweichung s						[MPa]; [-]	12
Variationskoeffizient v						[%]	12,9
Quantilfaktor ($p = 5 \%$) k_{50}						[-]	2,46
Unterer Erwartungswert E						[MPa]	70
$n = 10$ Versuche und $W = 75 \%$ Aussagewahrscheinlichkeit							

Datum der Prüfung: 09.01.2020

Bemerkung: Prüfung senkrecht zur Anisotropie (früher Lager)
Die Prüfung erfolgte an Würfeln
Die Lasteinleitungsflächen wurden geschliffen

**Materialprüfungs- und
Versuchsanstalt
Neuwied**

Anlage 6 von 8

zum Bericht 0-91/2299/19
Datum 15.01.2020

Biegefestigkeit nach DIN EN 12372 nach Frost-Tau-Wechselbeanspruchung
Lasteinleitung parallel zu den Anisotropieebenen
Naturstein der Handelsbezeichnung: 0

Probe	Maße am Bruchquerschnitt			Stützweite	Bruchlast	Biegefestigkeit	
Nr.	Breite	Höhe	Länge				in (transf.)
[-]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[N]	[MPa]	[-]
16	49,5	50,7	303,5	250	4462	13,2	2,583
17	51,0	50,5	301,4	250	3279	9,4	2,241
18	52,3	49,0	301,0	250	3557	10,6	2,361
19	51,1	52,2	299,7	250	4152	11,2	2,416
20	50,2	49,8	302,1	250	4073	12,3	2,510
Mittelwert				[MPa] []		11,3	2,422
Standardabweichung				[MPa]: [-]		1,5	0,132
Variationskoeffizient				[%]: [%]		13,3	5,5
Median (geom. Mittelwert)				[N/mm²]			11,3
Quantilfaktor (p = 5 %) ¹⁾				[-]			2,46
geschätzte kleinste Biegefestigkeit für die 5%-Quantile ¹⁾				[MPa]			8,1
¹⁾ n = 10 Versuche und W = 75 % Aussagewahrscheinlichkeit							

Datum der Prüfung: 09.01.2020

Bemerkung: Der Naturwerkstein mit der Handelsbezeichnung wird als frostbeständig im Sinne des angewandten Verfahrens beurteilt

**Materialprüfungs- und
Versuchsanstalt
Neuwied**

Anlage 7 von 8

zum Bericht
vom

91/2299/19
15.01.2020

**Druckfestigkeit nach DIN EN 1926
Naturstein der Handelsbezeichnung:**

Probe	Dicke	Breite	Mittelwert	Höhe	Bruchlast	Druckfestigkeit	
Nr.	l_1	b	Seiten- abmessung l	h	F	R	$\ln$ (transf.)
[-]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[kN]	[MPa]	[-]
21	51,9	49,1	50,5	50,1	257	100,85	4,6136
22	50,6	51,2	50,9	50,1	250	96,53	4,5699
23	49,6	49,2	49,4	53,6	237	97,24	4,5772
24	49,6	50,0	49,8	51,7	248	100,16	4,6068
25	50,9	50,1	50,5	42,4	244	95,64	4,5606
Mittelwert $\bar{R}$						98	4,5850
Standardabweichung s						[MPa]; [-]	2 0,0233
Variationskoeffizient v						[%]	2,3
Quantilfaktor ($p = 5 \%$) $k_{s, 10}$						[-]	2,46
Unterer Erwartungswert F						[MPa]	93
$n = 10$ Versuche und $W = 75 \%$ Aussagewahrscheinlichkeit							

Datum der Prüfung: 09.01.2020

Bemerkung: Prüfung parallel zur Anisotropie (früher Lager)
Die Prüfung erfolgte an Würfeln
Die Lasteinleitungsflächen wurden geschliffen

**Materialprüfungs- und
Versuchsanstalt
Neuwied**

Anlage 8 von 8

zum Bericht
vom

9*/2299/19
15.01.2020

**Druckfestigkeit nach DIN EN 1926, nach 56 Frost-Tau-Wechsel
Naturstein der Handelsbezeichnung:**

Probe	Breite	Breite	Mittelwert	Höhe	Bruchlast	Druckfestigkeit	
Nr.	l_1	l_2	Seiten- abmessung $\bar{l}$	h	F	R	f_n (transf.)
[-]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[kN]	[MPa]	[-]
31	50,0	50,9	50,5	42,6	243	95,44	4,5585
32	49,8	51,4	50,6	41,8	160	62,87	4,1331
33	50,5	51,2	50,8	50,2	269	104,35	4,6478
34	51,5	50,3	50,9	43,3	234	90,16	4,5016
35	50,2	49,3	49,7	42,4	318	126,74	4,8576
Mittelwert $\bar{R}$						96	4,5398
Standardabweichung s					[MPa]; [-]	24	0,2646
Variationskoeffizient v					[%]	25,0	-
Quantilfaktor (p = 5 %) $k_{5\%}$ ¹⁾					[-]		2,46
Unterer Erwartungswert E					[MPa]	49	
¹⁾ n = 10 Versuche und W = 75 % Aussagewahrscheinlichkeit							

Datum der Prüfung: 09.01.2020

Bemerkung: Prüfung parallel zur Anisotropie (früher Lager)
Die Prüfung erfolgte an Würfeln
Die Lasteinleitungsflächen wurden geschliffen