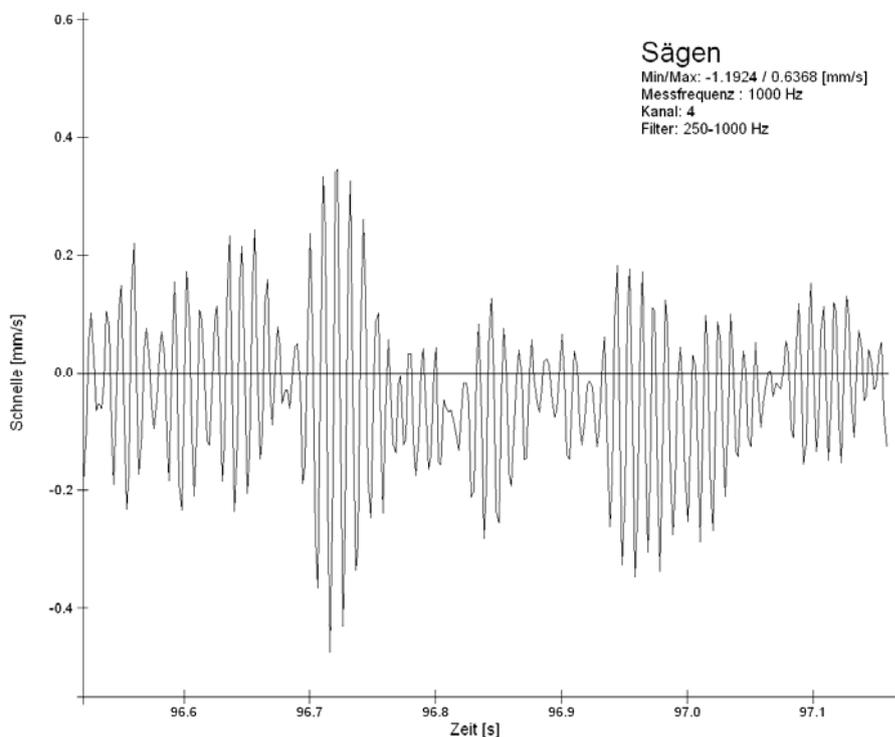


Mohr Bernhard, Dr.-Ing., Bauingenieur, Dr. Schütz Ingenieure Beratende Ingenieure im Bauwesen GmbH, An der Stadtmauer 13, 87435 Kempten.

Zusammenfassung

Erfahrungen mit dem Mauersägeverfahren bei Natursteinmauerwerk an der Katholischen Pfarrkirche in 87448 Niedersonthofen.

Im Jahre 2006 fand an der Katholischen Pfarrkirche Niedersonthofen eine Außenrenovierung statt. Zur Trockenlegung des Wandfußes wurde eine Horizontalsperre aus Edelstahl eingebaut. Aufgrund des mehrschaligen Mauerwerks aus Bruchsteinen wurde eine Vernadelung durchgeführt. Die Anzahl der Nadeln konnte mit Hilfe der zerstörungsfreien Radaruntersuchung reduziert werden. Die Erschütterungen und die Setzungen, die beim Sägen auftraten, wurden gemessen.



Mohr Bernhard, Dr.-Ing., Bauingenieur, Dr. Schütz Ingenieure Beratende Ingenieure im Bauwesen GmbH, An der Stadtmauer 13, 87435 Kempten.

Erfahrungen mit dem Mauersägeverfahren bei Natursteinmauerwerk an der Katholischen Pfarrkirche in 87448 Niedersonthofen.

1. Einleitung
- 1.1 Niedersonthofen und die Kirche Niedersonthofen

Niedersonthofen ist ein Gemeindeteil der Gemeinde Waltenhofen im Oberallgäu und liegt zwischen Kempten und Oberstdorf.



Abb. 1: Kirche Niedersonthofen

Die Kirche wird 1275 unter dem Namen „Alexanderkirche“ als Gründung des Klosters Ottobeuren erwähnt. Die heutige Kirche geht auf einen großen Neubau um die Jahrhundertwende 15./16. zurück. Der Turm wurde 1767 umgebaut. Die Kirche wurde 1777 mit einer neuen, flachen Putzdecke und einem neuen Dachstuhl versehen. Die schadhafte

Nordmauer wurde 1818 abgebrochen und neu errichtet, um sie „gegen eindringende Feuchtigkeit“ zu sichern. Die Kirche „St. Georg und St. Alexander“ ist der „bedeutendste spätgotische Kirchenbau des Landkreises“ (Anm. d. Verf.: Altlandkreis Sonthofen) [1].

Die gotischen Mauern, die mehrschalig ausgebildet wurden, bestehen aus verputzten Bruch- und Rollsteinen. Der Chorbereich weist aufgrund des gemauerten Gewölbes Strebepfeiler auf. Sie wurden an den Stirnseiten mit Sandsteinquadern versehen. Aus Naturstein bestehen auch Gesimse, Tür- und Fenstergewände sowie das Fenstermaßwerk.

1.2 Kurzvorstellung des Mauersägeverfahrens

Ziel des Mauersägeverfahrens ist das Einbringen einer Horizontalsperre am Wandfuß, um die aufsteigende Feuchtigkeit zu unterbinden.

Im vorliegenden Fall wurden in die Sägefugen, die mit einer Diamantkettensäge hergestellt wurden, Edelstahlbleche eingeschoben. Die Höhe wurde so gewählt, dass die Einbindung auf der Innenseite in der Höhe der vorhandenen Fußbodenplatte aus Beton erfolgt. Das Sägen erfolgte mit einer Wasserspülung [Abb. 2].



Abb. 2: Kettensäge mit Wasserspülung

Zur Durchführung des Mauersägens im mehrschaligen Mauerwerk sind aus technischer Hinsicht mehrere Schritte [Abb. 3] erforderlich:

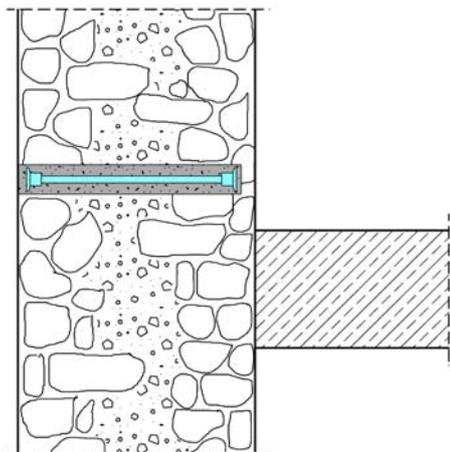


Abb. 3.1: Vernadelung des mehrschaligen Mauerwerks, um eine Schalenablösung zu vermeiden.

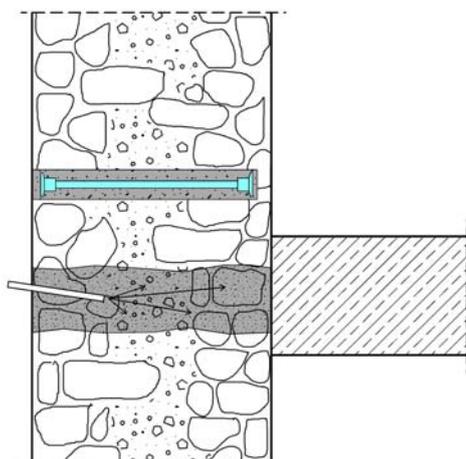


Abb. 3.2: Verpressen und Verfestigen des Schnittbereiches um lockere Steine oder Mörtelbrocken zu sichern (vgl. [7]).

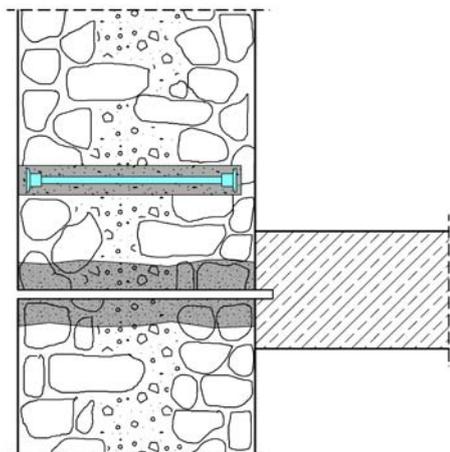


Abb. 3.3: Abschnittsweises Sägen des Mauerwerks.

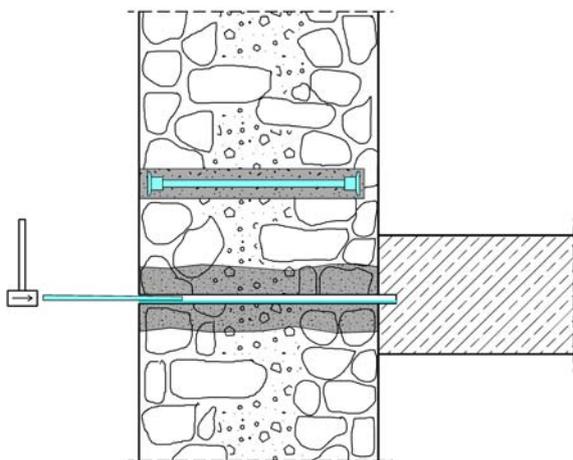


Abb. 3.4: Einlegen des Edelstahlbleches und Eintreiben der Abstandshalter aus Kunststoff.

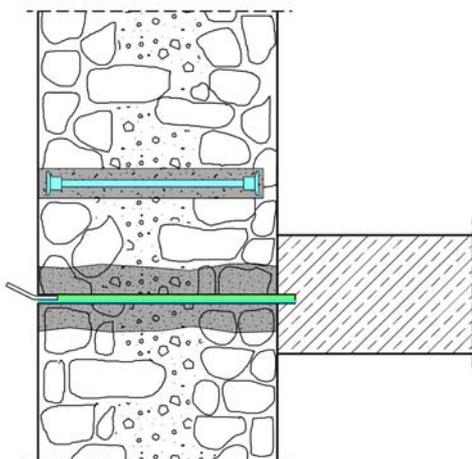


Abb. 3.5: Verpressen der Sägefuge mit Suspension.

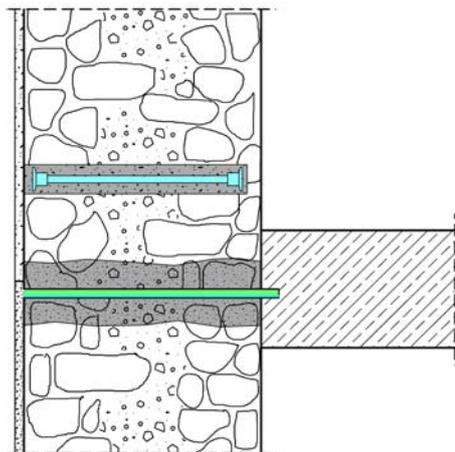


Abb. 3.6: Begleitende Maßnahmen (Aufbringen des Sperr- und Sanierputzes).

1.3 Entscheidungskriterien im konkreten Fall

Der Bauherr hat sich aus folgenden Gründen für dieses Verfahren entschieden:

- Die Feuchtigkeitsschäden waren unansehnlich [Abb. 4].



Abb. 4: Südseite des Langhauses vor der Sanierung

- Die Feuchtigkeitsschadenproblematik ist historisch überliefert (vgl. [1]).
- In der Vergangenheit wurden verschiedene Putzsysteme verwendet, um die Feuchtigkeitsschäden gering zu halten. Die Lebensdauer dieser Putze war für den Aufwand relativ kurz.

- Es wurde festgestellt, dass durch die Putzerneuerungen auch das Mauerwerk in gewissem Umfang abgetragen oder beschädigt wird. Diese Bereiche sind dann mit Betonvorsatzschalen versehen worden.
- Die Injektionsverfahren wurden als nicht sinnvoll angesehen.

2. Allgemeine Bewertung aus statischer Sicht

2.1 Statische Probleme

Beim Mauersägeverfahren wird etwa auf Bodenhöhe die Wand vollständig durchtrennt. Durch den Schnitt werden naturgemäß Spannungsumlagerungen und Spannungskonzentrationen [Abb. 5] erzeugt, da jeder Wandbereich mit dem Schnitt die direkte Lastableitung in den Baugrund kurzzeitig verliert und sich nach unten verformt. Dies führt, wenn keine Gegenmaßnahmen (z.B. Anheben oder Aufkeilen) vorgesehen sind, zwangsläufig zu bleibenden Setzungen.

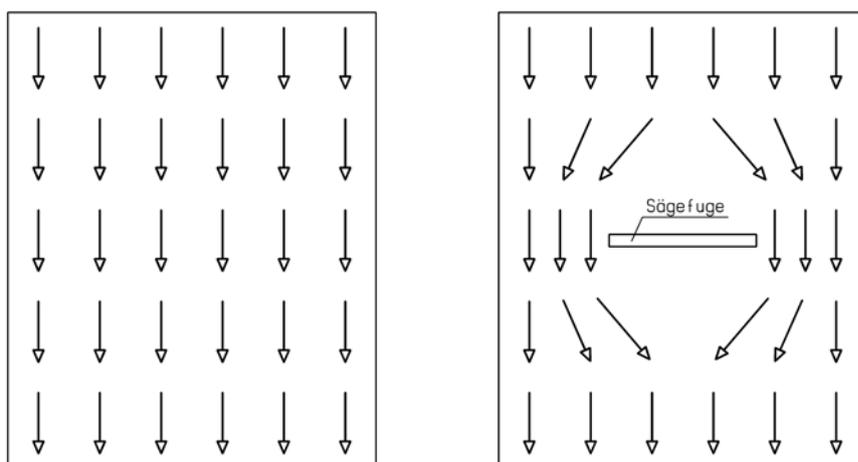


Abb. 5: Spannungsumlagerungen und -konzentrationen

Die Turmwände wurden hier nicht geschnitten, da die statischen Probleme deutlich größer geworden wären.

Die Fußschwellenlage im Chor war durch Fäulnis geschädigt worden, so dass sie die Ringankerfunktion nicht mehr vollständig erfüllen konnte [Abb. 6]. Es entstanden Risse in den Wandecken. Im Zuge dieser Maßnahme wurden die geschädigten Hölzer im Chor saniert, um die stabilisierende Wirkung für die Außenwände wiederherzustellen und den Horizontalschub aus dem Dachtragwerk abzufangen.



Abb. 6: Fäulnisschäden im Chorbereich

Die Strebepfeiler wurden ebenfalls abgeschnitten. Durch den Horizontalschub aus dem Gewölbe träten bei rein waagrechten Schnitten Schubkräfte in den Schnittfugen auf, die ein Abgleiten des oberen Wandbereiches bewirken könnten. Hier wurden einerseits besandete Bleche verwendet, andererseits wurde die Schnittfuge geneigt und etwa senkrecht zu den resultierenden Kräften der Strebepfeiler angesetzt. Zudem wurde vorgeschrieben, dass die Grundflächen der Strebepfeiler jeweils in vier verschiedenen Zeiträumen geschnitten werden müssen. Zwischen den Zeiträumen sind ausreichende Erhärtungsphasen einzuhalten.

2.2 Spezielle Probleme der Mehrschaligkeit

2.2.1 Vernadelung

Im Zuge der statischen Voruntersuchungen [2] wurde festgestellt, dass die Einzelschalen aufgrund der hohen Schlankheit (h_k/d_{Schale}) für sich allein stehend nicht ausreichend standsicher sind. Durch die Erschütterungen und Spannungsumlagerungen musste mit einem Ablösen der Schalen untereinander gerechnet werden. Zudem war das Maß der Schalenablösung für den damaligen Zustand nicht bekannt. Für die zu erwartenden Lastumlagerungen wurden Nadelanker (Nadeln) geplant. Die Bemessung orientierte sich an den Regeln des Sonderforschungsbereiches 315 der Universität Karlsruhe [3], welche folgendes vorsehen:

- Je m^2 Wandfläche sind 5 % der zulässigen vertikalen Gebrauchslast als horizontale Nadelzugkraft anzusetzen.

- Größter Nadelabstand a_N : $a_N = 1,0 \text{ m}$ oder $a_N = d_M$ (für Wanddicke $< 1,0 \text{ m}$)

Abweichend von dieser Regel wurde mit Rücksicht auf die historische Bedeutung des Gebäudes der Nadelabstand in beide Richtungen verdoppelt (d.h. 1 Nadel statt 4 Nadeln auf 4 m^2). Dies war aufgrund des vorgefundenen Zustandes (z.B. Rissbildungen, Auswölbungen und Schiefstellungen) vertretbar. Die durchgemauerten Fensterleibungen wurden als verbindendes Element angerechnet und ersetzen Nadeln.

Im Bereich des Sägeschnittes wurde die Vernadelung so ausgelegt, dass die Nadeln auch in der Lage sind, als scherfeste Verbindung zwischen den Schalen zu wirken. Dies hatte lediglich größere Betonstabstahldurchmesser zur Folge.

2.2.2 Radaruntersuchung und Nadelreduktion

Diese verminderte Nadelanzahl war den Mitarbeitern des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege immer noch zu groß. Insgesamt wurde auch das Mauersägeverfahren als äußerst kritisch eingestuft. Zur weiteren Verminderung der Nadelanzahl wurde eine zerstörungsfreie Radaruntersuchung der mehrschaligen Wände vorgeschlagen und veranlasst.

Für die weitere Beurteilung waren folgende Ergebnisse aus der Radaruntersuchung [4], wesentlich:

- a) Schalenablösungen und größere Hohlstellen in der Innenfüllung konnten nicht lokalisiert werden.
- b) Die Steine der Außenschalen binden in die Innenfüllung ein und es entsteht eine gute Verzahnung der einzelnen Schalen. In den einzelnen Radargrammen konnten auch lokal durchbindende Steine erkannt werden.
- c) Der untersuchte Strebebogen ist zweischalig. Eine Verzahnung ist über den Versatz der Steine gegeben. Eine Innenfüllung konnte nicht erkannt werden.
- d) Die Abmessungen der Schalendicken außerhalb der Kernbohrbereiche wurden bestimmt.
- e) Das Mauerwerk ist stark durchfeuchtet und versalzen.

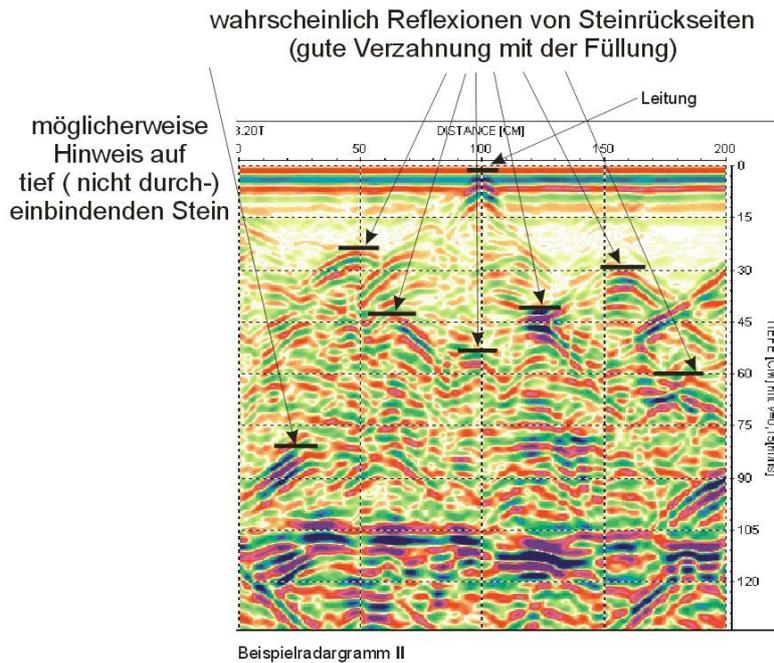


Abb. 7: Radargramm zu Lokalisierung der einbindenden Steine (aus [4])

Mit den Ergebnissen a) bis d) wurde nun ein neuer Ansatz zur Bemessung der Nadeln gewählt. Es ergibt sich

- aus a): Das mehrschalige Mauerwerk befindet sich in einem guten Zustand. Auf den Ansatz eines „hydrostatischen“ Druckes aus der Innenfüllung (d.h. lockere Innenfüllung, die nach außen drückt) wurde verzichtet.
- aus b): Die ein- und durchbindenden Steine wurden auf die erforderliche Nadelanzahl angerechnet [Abb. 8].
- aus c): Die Strebepeiler müssen nicht vernadelt werden.
- aus d): Die Schalenbreiten konnten flächig ermittelt werden. Sie sind für die Ermittlung der Ankerkräfte erforderlich, weil die Einbindetiefen der Anker in die äußeren Schalen meist maßgebend für die Bemessung sind.

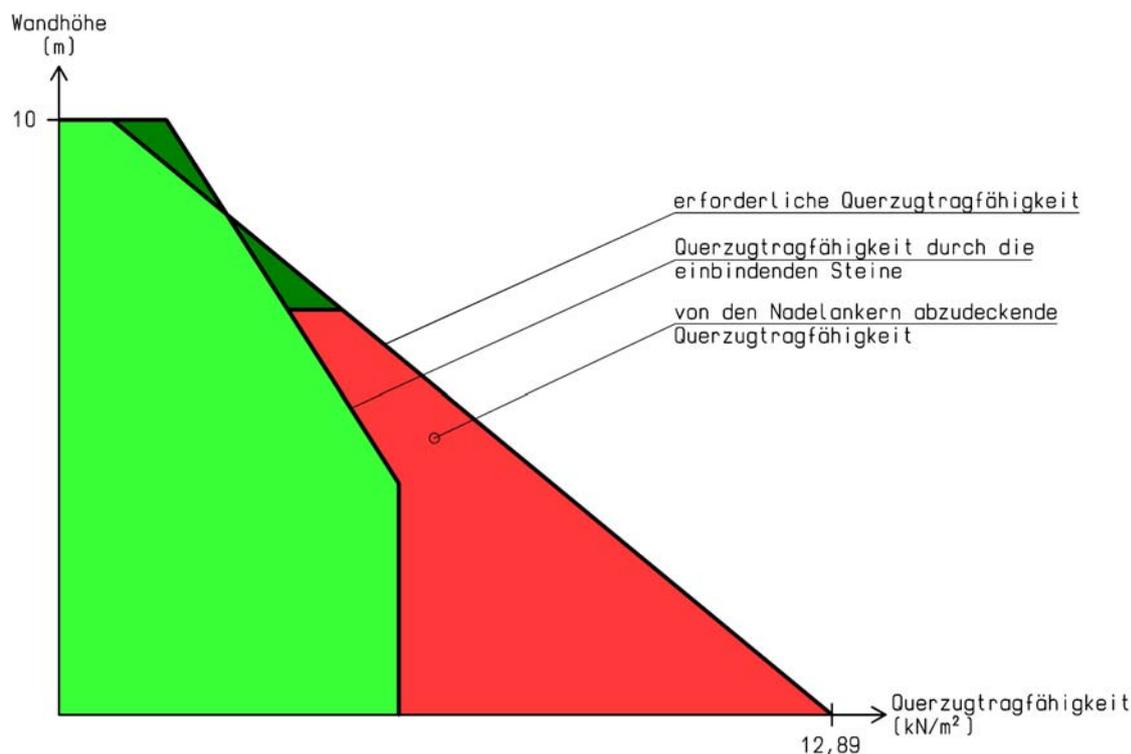


Abb. 8: Nadelbemessung

Aufgrund dieser Untersuchung konnte die Nadelanzahl um 29 % vermindert werden. Es konnten auch weniger tragfähige, geklebte Nadeln eingesetzt werden. Die Summe der Bohrungsflächen konnte noch um 38 % auf 0,6 m² (entspricht ca. 0,05 % der Gesamtwandfläche) reduziert werden.

2.3 Erschütterungen und Setzungen

Um während des Bauvorganges Schalenablösungen und andere Schädigungen zu vermeiden, waren die Erschütterungen und die Setzungen zu begrenzen. Die DIN 4150, Teil 3, nennt „Anhaltswerte, bei deren Einhaltung Schäden im Sinne einer Verminderung des Gebrauchswertes von Bauwerken **nicht** eintreten.“ [5] Für die denkmalgeschützte Kirche Niedersonthofen wurde der entsprechende Anhaltswert für Dauererschütterungen aus Tabelle 3 der DIN 4150, Teil 3, [5] festgelegt zu:

$$\text{max. } v_i = 2,5 \text{ mm/s}$$

Zur Begrenzung der Setzungen wurde die maximale Setzung festgelegt zu:

$$\text{max. } \Delta s = 0,05 \text{ mm}$$

Diese Grenzwerte wurden mit der ausführenden Firma vorher abgestimmt und vertraglich vereinbart.

Vor der Maßnahme wurde ein Beweissicherungsverfahren durchgeführt.

3. Erfahrungen

3.1 Vernadelung und Mehrschaligkeit

Es wurden keine Probleme und Veränderungen festgestellt, die im Zusammenhang mit der Mehrschaligkeit stehen. Dies wird in erster Linie im Zusammenhang mit den geringen Erschütterungen, die während dem Verfahren auftraten (siehe 3.3), gesehen. Es sollte angedacht werden, die erforderliche Nadelanzahl noch weiter zu reduzieren. Hierzu sind aber noch Forschungsarbeiten erforderlich.

3.2 Horizontalschub bei Pfeilern

Der Horizontalschub bei den Strebepfeilern konnte durch die vorgesehenen Maßnahmen (Wiederherstellung des Fußschwellerkranzes oberhalb des Chorgewölbes, besandete Bleche, geneigter Verlauf, 4 Zeitabschnitte) problemlos abgetragen werden. Die Gips- und Setzdehnungsmessmarken über den vertikalen Rissen in den Wandecken des Chores zeigten keinerlei Relativverformungen.

3.3 Erschütterungen

Die auftretenden Erschütterungen [Abb. 9 und 10] wurden durch eine begleitende Schwingungsmessung überprüft. Der Anhaltswert der DIN 4150, Teil 3, Tabelle 3 für denkmalgeschützte Gebäude wurde eingehalten.

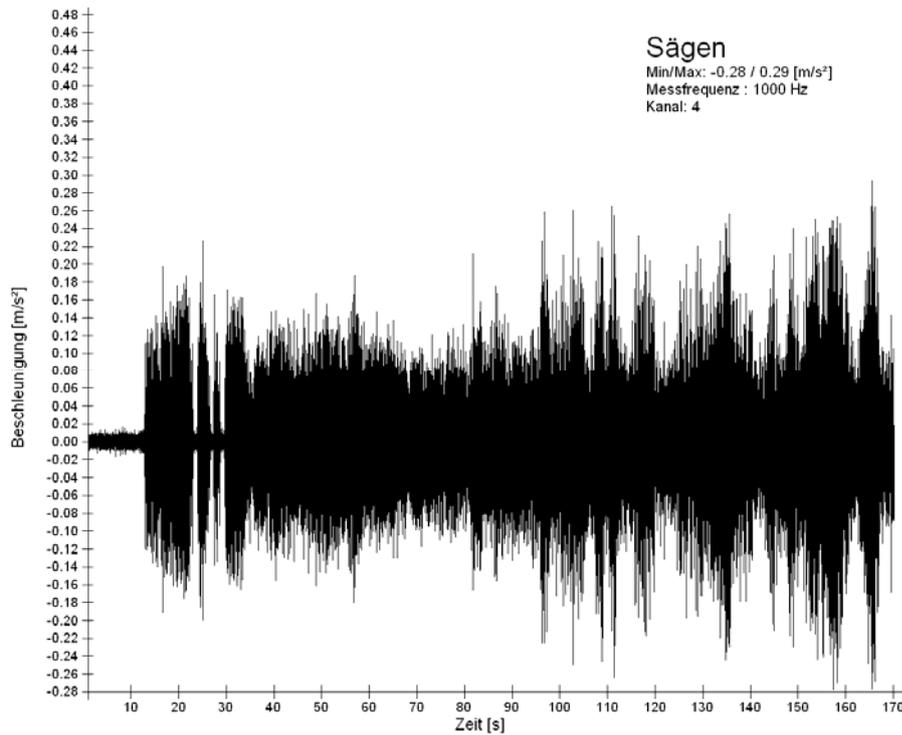


Abb. 9: Schwingungen in Mauerquerrichtung an der Mauerkrone (Hinweis: Sägebeginn nach ca. 12 s mit anfänglichen Unterbrechungen)

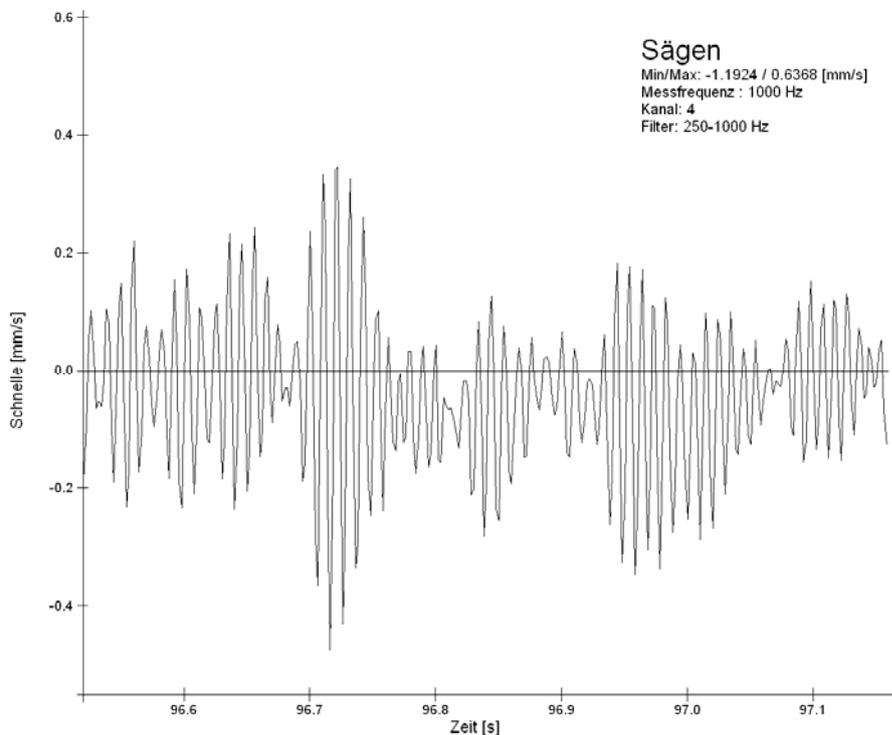


Abb. 10: Erschütterungen (Auszug) in Mauerquerrichtung an der Mauerkrone

Folgende Erschütterungen wurden beim Sägen der Sakristeilängswand, ca. 0,5 m unter der Mauerkrone ermittelt:

Vertikale Richtung (nach unten)	0,18 mm/s
Mauerlängsrichtung (nach Westen)	0,14 mm/s
Mauerquerrichtung (nach Süden)	0,41 mm/s
Überlagerung in horizontaler Richtung	0,43 mm/s
Gesamtüberlagerung	0,47 mm/s

Bewertung: Die Erschütterungen, die bei diesem Verfahren entstanden sind, lagen unterhalb des Anhaltswertes der DIN 4150, Teil 3, Tabelle 3 für denkmalgeschützte Gebäude und waren somit unbedenklich.

3.4 Setzungen

Die Setzungen wurden mit Hilfe eines Setzdehnungsmessgerätes, das eine Genauigkeit von ca. 0,02 mm besitzt, ermittelt. Hierbei wurden die Messmarken vor dem Schnitt ober- und unterhalb der vorgesehenen Schnittfuge an das Mauerwerk geklebt.

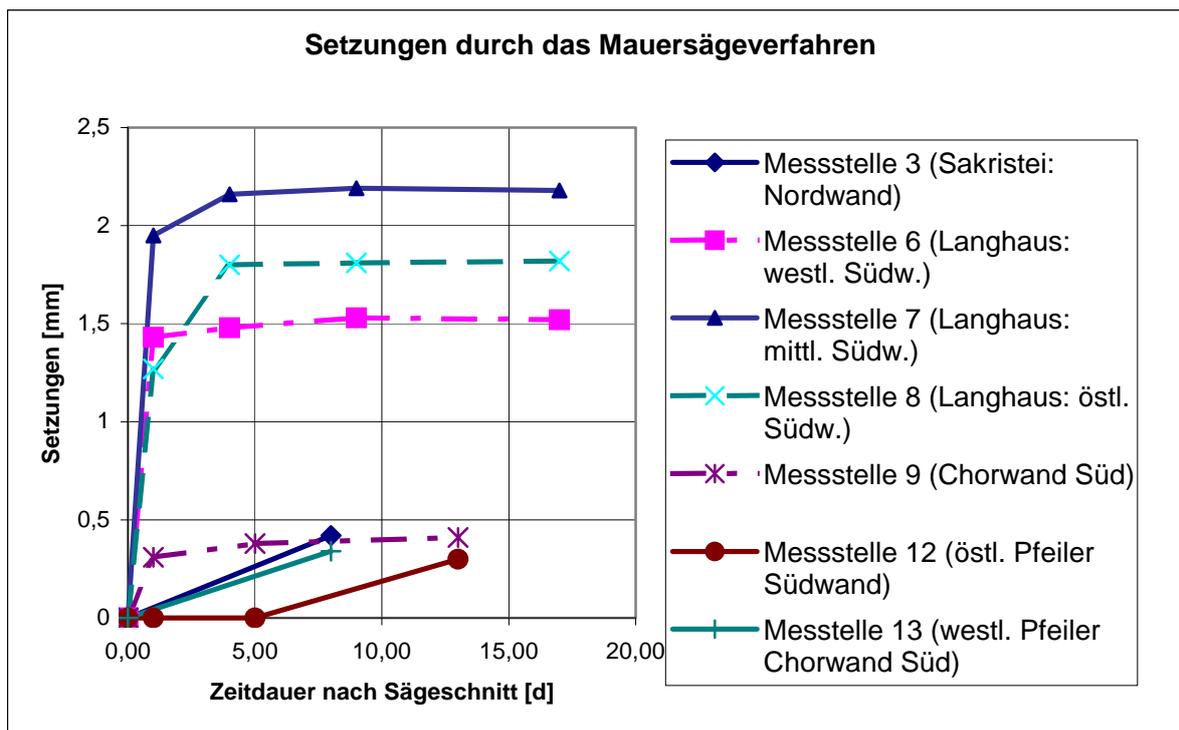


Abb. 11: Setzungen durch das Mauersägeverfahren

Bei den hohen Langhauswänden wurden verfahrensbedingt zunächst Setzungen zwischen 1,5 und 2,2 mm gemessen. Durch Verfahrensverbesserungen konnten diese Setzungen auf 0,4 mm gesenkt werden.

Die Auswertung des Beweissicherungsverfahrens ergab, dass wenige Risse neu entstanden sind und sich einige Risse vergrößert haben. Dies war insbesondere im Anschluss an Bereiche festzustellen, die nicht mit einer Horizontalsperre versehen wurden (z.B. Anschluss an Turm, Türeingänge aus bearbeitetem Naturstein).

Bewertungen und Folgerungen aus den Setzungsbeobachtungen:

- Die Setzungen waren beim gewählten Verfahren eindeutig zu groß.
- Die Reihenfolge der Sägeschnitte muss vom Tragwerksplaner geplant und vorgegeben werden. Hier sollte man sich an der DIN 4123 [6] orientieren und die Länge der einzelnen Sägebereiche begrenzen. Gegebenfalls kann von beiden Seiten einer Wand gesägt werden.
- Kleinere Setzungen treten auch nach dem Einbringen der Kunststoffkeile und nach dem Verpressen der Schnitffuge durch das Kriechen auf. Hier sind entsprechende Aushärtungsphasen zu berücksichtigen.
- Mauerwerkstrockenlegungen sind vorher zu planen und entsprechend auszuschreiben.

3.5 Feuchtigkeit

Durch die erforderliche Kühlung der Sägeblätter wird zunächst viel Feuchtigkeit in das Mauerwerk eingebracht.

4. Zusammenfassung

Das Mauersägeverfahren zum Einbau einer Edelstahlplatte stellt ein sicheres Verfahren zur Herstellung einer Horizontalsperre am Wandfuß dar.

Die Eingriffe am Mauerfuß sind erheblich. Mit dem Sägen findet zunächst eine vollständige Durchnässung statt.

Eine Vernadelung des mehrschaligen Mauerwerks wird meist erforderlich sein.

Die Erschütterungen sind gering.

Das Verfahren ist so zu planen und auszuschreiben, dass Setzungen nur in geringem Umfang auftreten.

Bei denkmalgeschützten Gebäuden ist eingehend zu prüfen, ob eine solche Horizontalsperre zwingend erforderlich ist und dieser Nutzen die Eingriffe rechtfertigt.

5. Literatur

- [1] Petzet, Michael: Die Kunstdenkmäler von Schwaben: Teil VIII: Landkreis Sonthofen, R. Oldenbourg Verlag München 1964.

- [2] Mohr, B. (Bearb.): Gutachten zur Standsicherheit während des Mauersägeverfahrens an der Katholischen Pfarrkirche „St. Alexander und Georg“ in 87448 Niedersonthofen, Lkr. Oberallgäu, Dr. Schütz Ingenieure, Kempten, 10.02.2003.

- [3] Dahmann W.: Untersuchungen zum Verbessern von mehrschaligem Mauerwerk durch Vernadeln und Injizieren, Dissertation Karlsruhe 1983. Zitiert in
Wenzel, F.: Verpressen, Vernadeln und Vorspannen von Mauerwerk historischer Bauten. Stand der Forschung, Regeln für die Praxis. Universität Karlsruhe, Sonderforschungsbereich 315, Jahrbuch 1987, Ernst & Sohn, Berlin 1988.

- [4] Patitz, G.: Zerstörungsfreie Radaruntersuchungen an der Katholischen Pfarrkirche „St. Alexander und Georg“ in Niedersonthofen am 18./19. Juli 2005 und am 16. August 2005, Untersuchungsbericht, Karlsruhe, 21.10.2007.

- [5] DIN 4150: Erschütterungen im Bauwesen, Teil 3: Einwirkungen auf bauliche Anlage, Ausgabe 2/1999.

- [6] DIN 4123: Gebäudesicherung im Bereich von Ausschachtungen, Gründungen und Unterfangungen, Ausgabe 5/1972.

- [7] WTA Merkblatt 4-7-02/D: Nachträgliche Mechanische Horizontalsperre, Fassung 4.12.2002.