Institut für Diagnostik
und Konservierung an Denkmalen
in Sachsen und Sachsen-Anhalt e.V.

Bericht HAL 70/2008

St. Marien Köthen

Zerstörungsarme und zerstörungsfreie Untersuchungen zur Unterstützung und Absicherung der Projektplanung
Archivalische Forschungen zur Baugeschichte und zu der Verkehrssituation

Beauftragt durch:	Katholische Kirchgemeinde St. Marien
Bearbeiter:	Dr. J. Meinhardt-Degen, Dipl.-Ing. U. Kalisch, Dipl.-Math. B. Hofestädt
Anzahl der Seiten:	25
Anhang	37 Seiten

Halle, 28.11.2008

Veröffentlichungen von Untersuchungsberichten, auch auszugsweise, und Hinweise auf Untersuchungsergebnisse zu Werbezwecken bedürfen in jedem Einzelfall der schriftlichen Einwilligung des Instituts für Diagnostik und Konservierung an Denkmalen in Sachsen und Sachsen-Anhalt e.V.

Arbeitsstellen in den Ländern:

Sachsen:
Schloßplatz 1
01067 Dresden
Tel.: 0351-48430-408/09/10/27
Fax.: 0351-48430-468
Internet: www.idk-info.de

Sachsen-Anhalt:
Domplatz 3
06108 Halle
Tel.: 0345-472257-21/22/23
Fax.: 0345-472257-29
e-mail: info@idk-info.de

Vorstand:
Prof. Stephan Pfefferkorn
Boje E. Hans Schmuhl
Ellen Schmid-Kamke
Geschäftsführer:
Dipl.-Ing. Stefan Weise
Registergericht Dresden: VR 2891

Bankverbindung:
Ostsächsische Sparkasse Dresden
Konto-Nr.: 3120 115 524
BLZ: 850 503 00
Steuer-Nr. 201 140 11356
Ust-ID: DE234216408

Inhalt

1. Einleitung ... 3
2. Untersuchungsmethoden ... 3
2.1 Passive infrarotthermographische Untersuchungen ... 3
2.2 Erkundung von Konstruktions- und Stützelementen aus Metall ... 4
2.3 Untersuchung der Rissbewegungen ... 7
2.4 Schadstoffanalysen – quantitative Salzanalyse ... 11
2.5 Petrographische Bestimmung der Sandsteinsäulen ... 19
3. Archivalische Forschungen zur Baugeschichte ... 21
4. Recherchen zur Verkehrsbelastung im Umfeld der Kirche St. Marien ... 22
5. Quellenverzeichnis ... 25

Anhang

Abbildung Deckblatt: Kirche St. Marien Köthen (Süd-West-Ansicht)

1. Einleitung

Die im Rahmen des Forschungsprojektes der Deutschen Bundesstiftung Umwelt an der Kirche St. Marien laufenden zerstörungsarmen und zerstörungsfreien Untersuchungen hatten die Aufgabe, die Planung des Projektes zu unterstützen und abzusichern. Diese Untersuchungstechniken haben den Vorteil, dass sie die notwendigen Eingriffe und Beschädigungen reduzieren, die zur Tragwerksanalyse sowie zur Untersuchung der vorliegenden Schäden notwendig sind.

Im Projekt kamen folgende Untersuchungstechniken zum Einsatz:

- Zerstörungsfreie infrarotthermografische Untersuchungen zur Erkundung verdeckter statisch relevanter Baustrukturen
- Zerstörungsfreie Erkundung der Lage von statisch wichtigen Konstruktions- und Stützelementen aus Metall
- Aufzeichnung von Rissbewegungen in Abhängigkeit von Umwelteinflüssen wie der Materialtemperatur aber auch verkehrsbedingten Erschütterungen
- Schadsalzanalysen an den geschädigten Baustoffen
- Mineralogische Analyse der Sandsteinsäulen

Zusätzlich wurden archivalische Forschungen zur Baugeschichte und der Verkehrsbelastung der Kirche St. Marien vorgenommen. Entsprechende Erkenntnisse werden ebenfalls in diesem Bereich dargelegt.

2. Untersuchungen

2.1 Passive infrarothermographische Untersuchungen

Für die infrarot-thermografischen Untersuchungen wurde eine VARIOSCAN 3021 ST der Firma InfraTec eingesetzt. Die Kamera arbeitet im Wellenlängenbereich zwischen 8 - 12 µm. Die Auswertung erfolgte mit einer Software derselben Firma („IRBIS-professional V2.2“). Die vom Körper ausgesendete elektromagnetische Strahlung wird von der Kamera zweidimensional hochauflösend bestimmt und von einer Software in einen Farbcode übertragen.
Die Untersuchungen zur Bauteilthermographie wurden mit Hilfe der passiven Thermographie durchgeführt, was mit einer Beobachtung des stationären Zustands vorliegender Oberflächentemperaturen einhergeht. Notwendig zur Ortung von Strukturen im Mauerwerk ist ein vorliegender Temperaturgradient durch (natürliche) Umgebungsbedingungen.
Verschieden Baumaterialien (Steine, Mörtel, Holz) verfügen über unterschiedliche Wärmeleitfähigkeitskoeffizienten. Unterschiedliche Wärmeleitfähigkeiten führen zu von einander abweichenden Oberflächentemperaturen.
Der mit der IR-Kamera gemessene Strahlungswert ist vom Emissionsgrad des realen Objektes abhängig und kann auf seinem Weg zur Kamera noch verändert werden. Hier stellt vor allem die Umgebungsstrahlung, insbesondere die Sonnenstrahlung, einen Störfaktor dar. Daher wurden die Messungen am 20. Februar 2008 erst nach Eintritt der Dunkelheit ausgeführt.

Ergebnisse

Mit Hilfe der passiven Infrarotthermographie konnten sowohl oberhalb der Säulen im Chorbereich als auch entlang der Längsseite des Schiffes bogenförmige Stützstrukturen (Zugbänder) zwischen den Säulen sichtbar gemacht werden. Die folgenden beiden Abbildungen zeigen entsprechende Aufnahmen. Die unterschiedlichen Farben in Abbildung 1 repräsentieren verschiedene Temperaturen, die an der Oberfläche gemessen werden. Der Temperaturunterschied zwischen den dunkelblauen Tönen in den Wandflächen (9,5°C) und dem Orange der Säulen beträgt (8 °C) 1,5 °C.

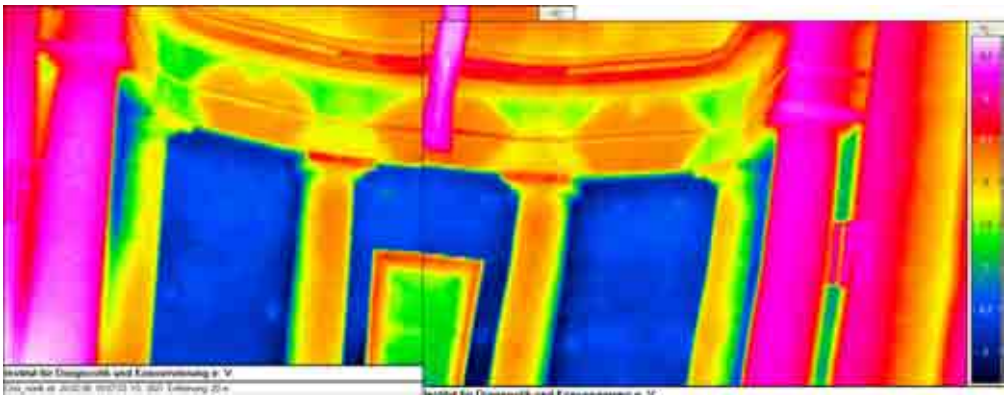


Abb. 1: Infrarotaufnahmen des Chorbereiches

Aufgrund der sehr geringen Temperaturgradienten an den innen liegenden Bereichen des in Ost-West-Erstreckung wurde für einen besseren Kontrast der Bauteile für die Abbildung die schwarz-weiße Darstellung gewählt (siehe Abbildung 2).

Abb. 2: Infrarotaufnahmen der Südseite des Kirchenschiffes

2.2 Erkundung von Konstruktions- und Stützelementen aus Metall

Bei der Abnahme diverser Putz- und Deckenbereiche war aufgefallen, dass sich in verschiedenen Bereichen der Baukonstruktion Metallkeile und Metallbänder befinden, die vor dem Hintergrund von Korrosionserscheinungen entweder entfernt oder im Fall der Stützbänder entrostet und mit entsprechenden Anstrichen versehen werden müssen. Aus diesem Grund sollten die Metallelemente in den Stützkonstruktionen im Vorfeld der Putzentfernung aufgespürt werden, um im Nachhinein gezielter vorgehen zu können.
Zum Zweck der Metalldetektion kam zum einen das Gerät White's 6000 / Di PRO SL (White's Electronics, UK) zum Einsatz. Da allerdings viele Bauelemente nah an das Gerüst angrenzen und dieses ebenfalls deutliche Signale an dem Gerät hervorruft, wurde zu dem noch ein kleineres Gerät zur Metal- und Spannungssuche der Firma Proxxon verwendet. Dieses konnte kleinflächig direkt über die Bauteiloberfläche geführt werden. Mit dieser Ausrüstung wurden alle tragenden Elemente der Kirche untersucht. Bei

der Begutachtung fanden alle tragenden Elemente im Deckenbereich bzw. oberhalb der Sandsteinsäulen, im gesamten Chor und im Bereich der Emporen Berücksichtigung. Im Anhang sind die entsprechenden Kartierungen verzeichnet. Für diesen Zweck sind vom IDK eigene Pläne angefertigt worden, die durch entsprechende Kennzeichnungen auch mit den Plänen und Schnitten des Büros für Architektur und Design in Verbindung stehen und somit eine einfache Zuordnung der untersuchten Bereiche ermöglichen (siehe Abbildung 3).

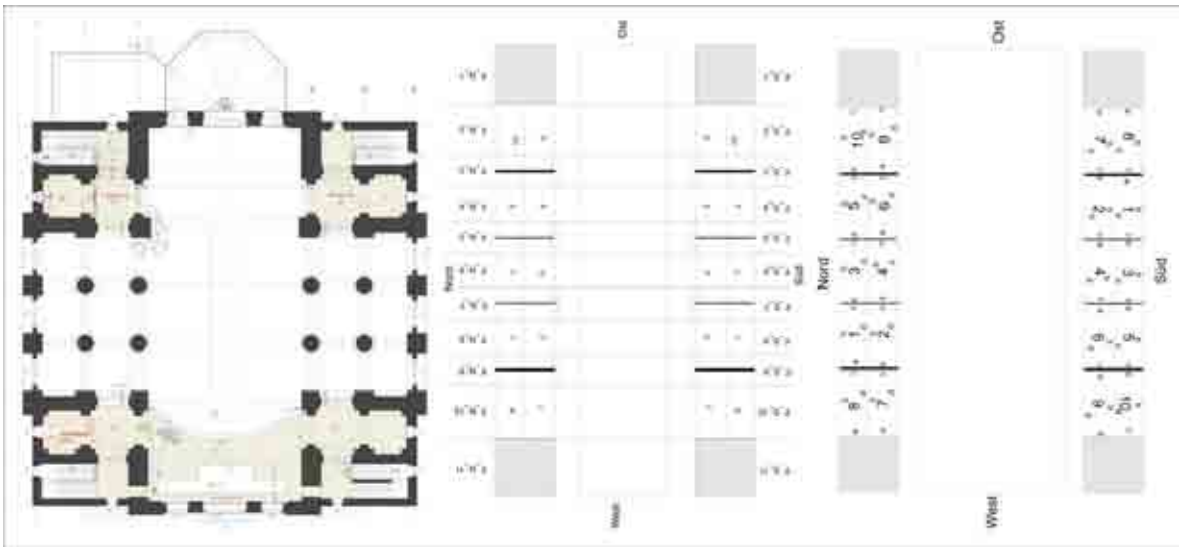


Abb. 3: Gegenüberstellung der Pläne vom Atelier für Architektur und Design (links) und vom IDK (Mitte und rechts)

Abbildung 4 zeigt ein Detail der untersuchten Kassetten im Deckenbereich der Säulen, wo jede einzelne Fläche untersucht worden ist.

Abb. 4: Beispiel der untersuchten Kassetten oberhalb der Säulen. Die Pfeile markieren einige der untersuchten Flächen.

Dabei sind Stellen, an denen es ein eindeutiges Signal für Metall gegeben hat, entsprechend dem Verlauf des Signals mit einer roten Linie eingerahmt worden (siehe Abbildung 5 und 7). Die hellblauen Linien kennzeichnen ein Signal, das aber auf den massiven Einfluss des jeweils am Unterzug verlaufenden längs verlaufenden Metallbandes zurückzuführen ist (siehe Abbildung 6). Alle entsprechenden Kartierungen befinden sich im Anhang des Berichtes.

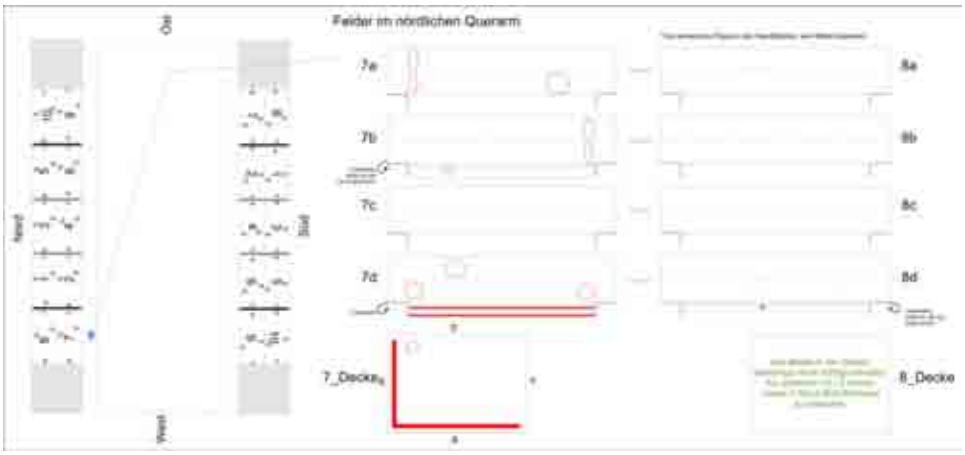


Abb. 5: Beispieldarstellung der Risse in den Feldern 7 und 8 am nördlichen Querarm

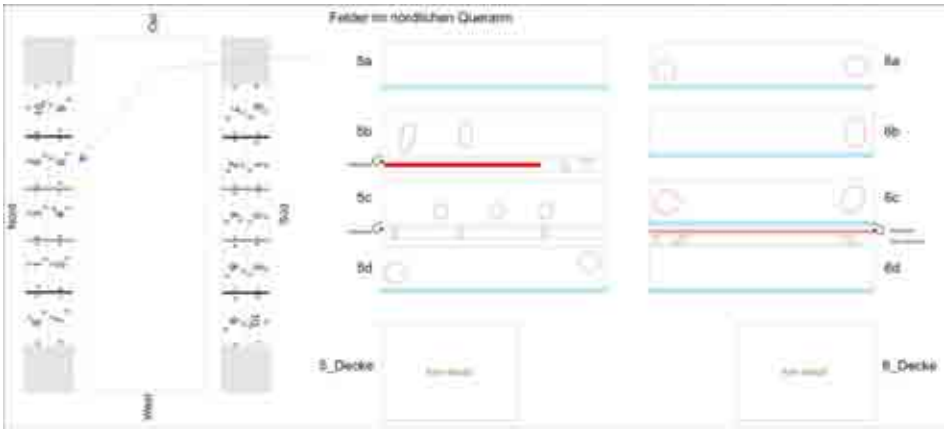


Abb. 6: Beispieldarstellung der Risse in den Feldern 5 und 6 am nördlichen Querarm

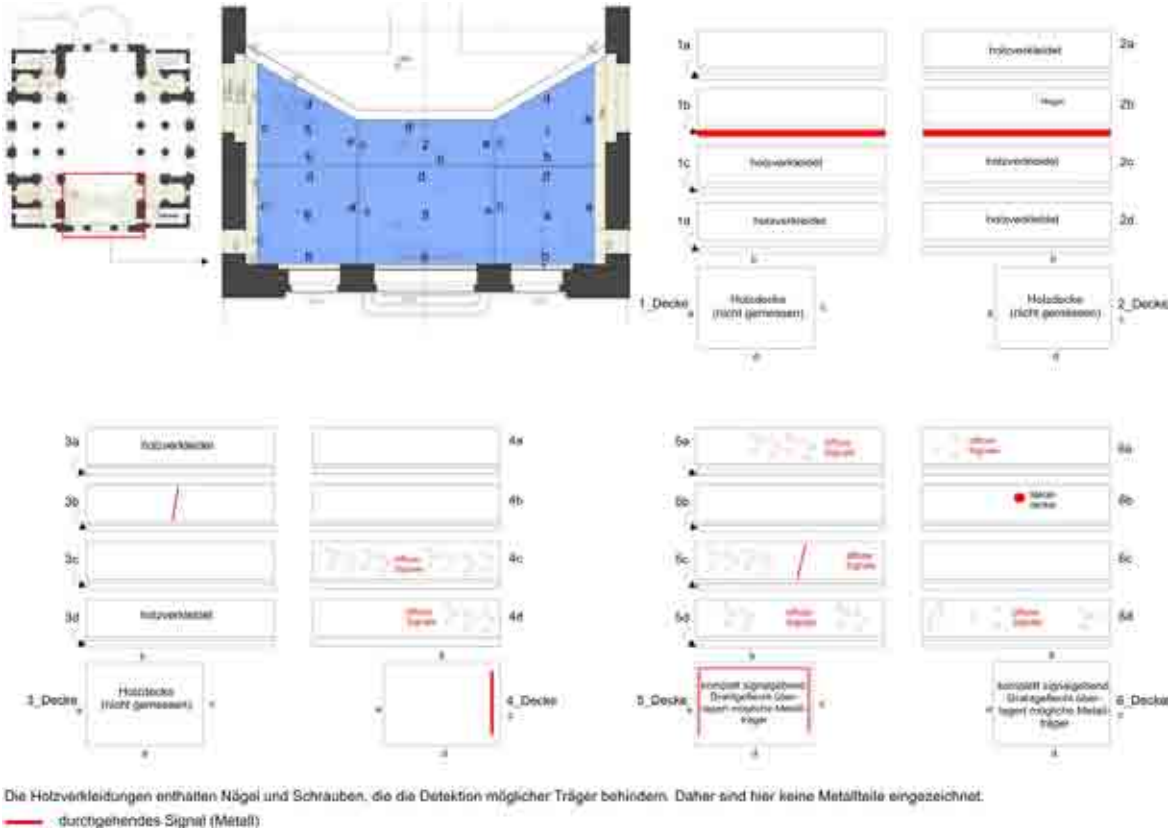


Abb. 7: Beispieldarstellung der detektierten Metallsignale im Bereich der Empore

2.3 Untersuchung der Rissbewegungen

Messtechnik und Untersuchungsbereich

Die Untersuchung der Bauwerksbewegung erfolgt mit einer durch das Institut für Diagnostik und Konservierung an Denkmalen in Sachsen und Sachsen-Anhalt entwickelten Geräteanpassung. Sie ermöglicht die automatische Aufzeichnung von Rissbewegungen mit einer Auflösung von 5µm (5/1000 mm). Die Messeinrichtung arbeitet vom Stromnetz unabhängig und ermöglicht bei einer Messwerterfassung pro Stunde die Aufzeichnung der Rissbewegung über einen Zeitraum von 3 Jahren. In Kombination mit der Aufzeichnung der umgebenden Luftfeuchte, Lufttemperatur und Wandoberflächentemperatur sowie den Außenklimabedingungen lässt sich die Temperaturabhängigkeit von Rissbewegungen beobachten. Tritt mit zunehmender Zeit keine Rückstellung Rissbewegung auf und vergrößert sich die Rissweite zunehmend, ist von baukonstruktiven Problemen auszugehen. Häufig werden Risse in Bauwerken durch äußere mechanische Einwirkungen hervorgerufen wie zum Beispiel durch verkehrsbedingte Erschütterungen. Diese lassen sich besonders gut bei konstanter Temperatur und gleichzeitigen kurzzeitigen Schwankungen der Rissaufzeichnung erkennen.

In der Kirche St Marien wurden im Bereich auffälliger Rissstrukturen an der inneren südwestlichen sowie der nordwestlichen Gebäudeecke Rissdetektoren und Klimaaufzeichnungsgeräte installiert (siehe Abb. 8 bis 11).

Abb. 8

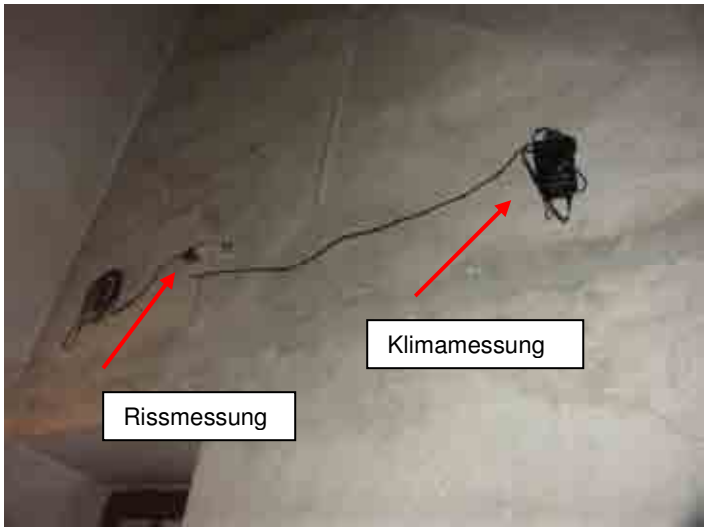


Abb. 9

Anbringung eines Rissdetektors sowie der Klimaaufzeichnung im Bereich des südlichen Treppenhauses an der Südwand

Abb. 10 und 11: Anbringung einer Rissdetektors im Bereich der inneren Nordwestecke an der Nordwand

Bewertung der Messergebnisse

Für die Beurteilung der Temperaturabhängigkeit der Rissbewegung erfolgten die Rissaufzeichnungen bereits seit dem 12. Dezember 2007. Damit sollte sichergestellt werden, dass die Zeiträumer der kalten und warmen Jahreszeiten und deren Auswirkung auf die Bauwerksrisse erfasst werden konnten. Der zeitige Messbeginn hat sich darüber hinaus als günstig erwiesen, da der Beginn der Bauarbeiten an den jeweiligen Messpunkten zu einer deutlichen Beeinflussung der Rissmessung führte (siehe Diagramme 1 und 2 im Anhang). Dies betrifft die Abbrucharbeiten einer hölzernen Zwischendecke im April 2008 im Bereich der Nordwestecke sowie den Beginn der Stemmarbeiten zur Abnahme der Zementputze im Umfeld der Rissmessungen auf der Süd- und Nordseite ab dem 19. August 2008. Besonders gut auswertbare Messergebnisse ließen sich daher für beide Bereiche von 19.12.2007 bis zum 19.08.2008 ermitteln. Für die Nordseite ergaben sich im April 2008 temporär Einschränkungen.

Bei der Auswahl der Messpunkte war es gelungen, signifikante Risse zu finden, die für das Bauwerk relevant waren. Ein Vergleich der Rissweitenänderungen zwischen Nord- und Südseite belegt eine übereinstimmende Bewegungstendenz mit jeweils spezifischer Rissweitenänderung (siehe Diagramm 3 im Anhang und Abb. 12). Daraus wird deutlich, dass es sich bei den untersuchten Risssystemen nicht um isolierte Strukturen handelt, sondern um Bewegungsfugen, die auf Bewegungen der Westfassade zum Kirchenschiff schließen lassen.

Eine Untersuchungsaufgabe bestand in der Analyse welche Abhängigkeit die Rissbewegungen vom Raumklima aufweisen. Dazu erfolgten im südlichen Treppenhaus Aufzeichnungen der relativen Raumluftfeuchte, der Lufttemperatur sowie der Oberflächentemperatur der Südwand. Sowohl die Raumlufttemperatur wie auch die Wandoberflächentemperatur wiesen keine Korrelation mit den mittelfristigen Rissbewegungen im Verlauf eines Monats auf (siehe Diagramme 5 und 6 im Anhang). Lediglich mit der relativen Raumluftfeuchte wiesen die Rissbewegungen wenigen Korrelationen auf (siehe Diagramm 4 im Anhang). Die Fragestellung warum überhaupt Korrelationen mit der relativen Raumluftfeuchte beobachtet werden konnten, führte zur Ausdehnung der Untersuchungen und zur Einbeziehung von Außenklimadaten aus der Region Halle. Ein Vergleich mit Aufzeichnungen der relativen Außenluftfeuchte wies zum einen die gleichen aber darüber hinaus zusätzlich deutlich häufigere Korrelationen mit den Rissweitenänderungen auf. Daraus lies sich ableiten, dass die Schwankungen der relativen Raumluftfeuchte, die mit den Rissweitenänderungen korrelierten durch Außenklimaschwankungen verursacht wurden. Da es sich

bei der relativen Luftfeuchte um eine Relativgröße handelt, die sehr stark vom temperaturabhängigen Sättigungsvermögen der Luft abhängt, wurde die Abhängigkeit der Rissweitenänderung von Schwankungen der absoluten Luftfeuchte (siehe Diagramm 8 im Anhang), die den absoluten Feuchtigkeitsgehalt der Luft in Gramm pro Kubikmeter angibt, sowie von Außentemperaturschwankungen (siehe Diagramm 9 im Anhang) untersucht.

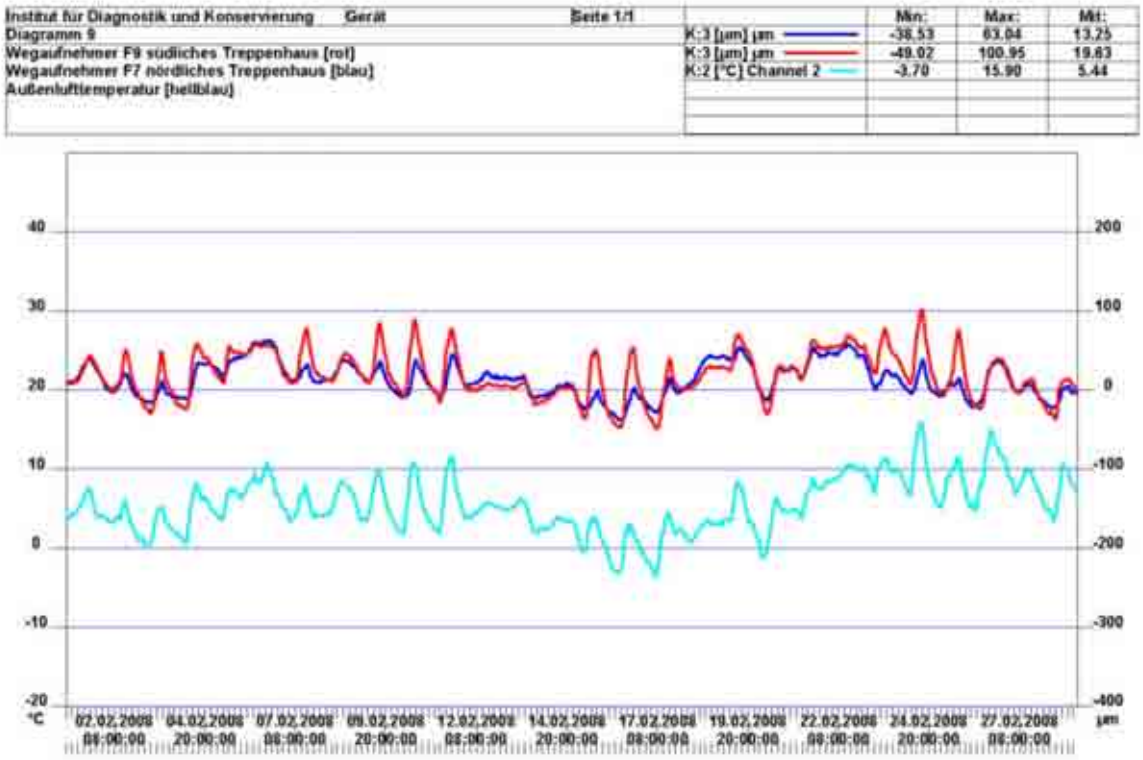


Abb. 12: Diagramm 9 Vergleich der synchron verlaufenden Rissweitenänderungen mit dem Außentemperaturverlauf

Bei dieser Analyse wurde deutlich, dass die Rissweitenänderungen eine direkte Korrelation mit den Schwankungen der Außentemperatur aufwiesen. Dabei führten Außentemperaturänderungen am 10. Februar 2008 von 1,8 auf 10,7 °C zu Rissweitenänderungen auf der Südseite von 93 µm (0,093 mm) und auf der Nordseite von 45 µm (0,045 mm). Im Sommer am 07. August 2008 bewegte sich die Außentemperatur zwischen 19,7 und 32,3 °C und führte zu einer geringfügig höheren Rissweitenänderung von 106 µm auf der Südseite und 65 µm auf der Nordseite (siehe Diagramm 10 und 11 im Anhang). Ein Vergleich der Rissweitenänderungen zwischen kalter und warmer Jahreszeit in beiden Übersichtsdiagrammen bestätigt die geringfügig stärkere Rissweitenänderung in Abhängigkeit von Außentemperaturschwankungen in den Sommermonaten im Vergleich zum Winter.

Bei der Beurteilung der Messergebnisse ab dem 19.08.2008 fällt auf, dass eine kontinuierliche Rissweitenzunahme im Bereich des südlichen Treppenhauses ab dem 21.08.2008 zu beobachten ist. Eine temperaturabhängige tägliche Rissweitenänderung ist dieser kontinuierlichen Rissweitenzunahme ab dem 21.08.2008 unterlegt, aber nicht ursächlich. Momentan ist nicht zu ermitteln, ob die umgebenden Stemm- und Putzarbeiten zu einer Messwertverfälschung geführt haben, oder tatsächlich eine Bauwerksbewegung vorliegt (siehe Diagramm 1 im Anhang).

Gegenstand einer weiteren Analyse war die Abhängigkeit der Rissweitenänderung von verkehrsbedingten Erschütterungen. Dazu wurden Zeiträume im Winter (12. bis 14.02.2008) sowie im Sommer (01.08 bis 03.08.2008) ausgewählt, an denen möglichst konstante Außentemperaturbedingungen vorlagen (siehe Abb. 13 sowie Diagramme 10 und 11 im Anhang). In beiden Zeiträumen traten wiederholt geringe

Schwankungen der Rissweiten zwischen 3 und 8 µm auf, die einen Verdacht auf erschütterungsbedingte Rissweitenänderungen zuließen. Dabei muss berücksichtigt werden, dass diese Rissweitenänderungen in der Größenordnung der Messungenauigkeit der Messeinrichtung schwankten.

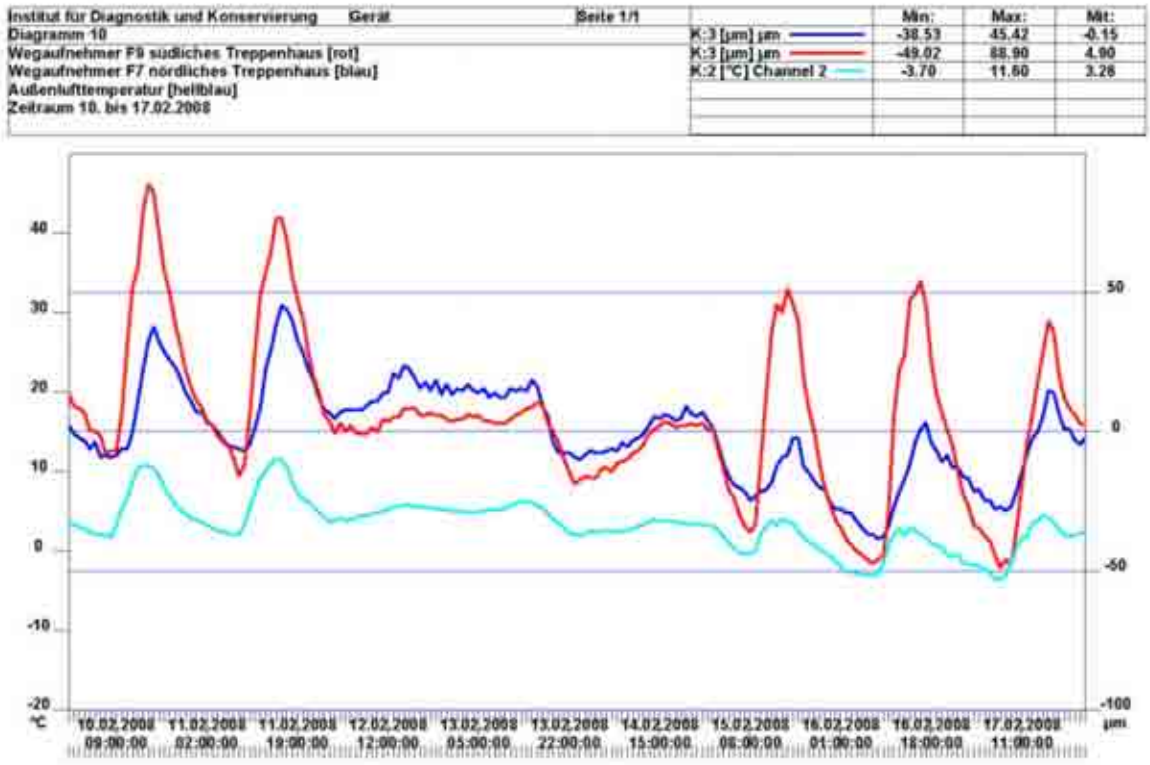


Abb. 13: Diagramm 10 geringe Schwankungen der Rissweiten bei nahezu konstanter Temperatur weisen auf erschütterungsbedingte Rissbewegungen hin

Ein durch die Jahreszeit bedingter Temperaturunterschied von ca. 15 K hatte keine erkennbare Auswirkung auf die beobachtete Schwankungsstärke (siehe Diagramme 10 und 11). Bedingt durch den relativ milden Winter 2007 / 2008 war kein Vergleich mit einer starken Frostsituation möglich, bei der der Baugrund starr gefriert und Vibrationen stärker überträgt.

Aus dieser ersten Betrachtung leitete sich ein weiterer Versuch vom 18. zum 19.08.2008 ab, bei dem die Messfrequenz auf einen Messintervall von 2 s herabgesetzt wurde. Die Grundüberlegung des Versuches ging davon aus, dass eine stärkere Verkehrsbelastung am Tag zu einer stärkeren Schwankungshäufigkeit und Intensität führen, als es die verkehrsberuhigte Situation in der Nacht hervorrufen kann.

Die ermittelten Messergebnisse wiesen keine erschütterungsbedingten Rissweitenänderungen über die sichere Nachweisgrenze der Messeinrichtung von 10 µm hinaus aus (siehe Abb. 14 sowie Diagramme 12 und 13 im Anhang).

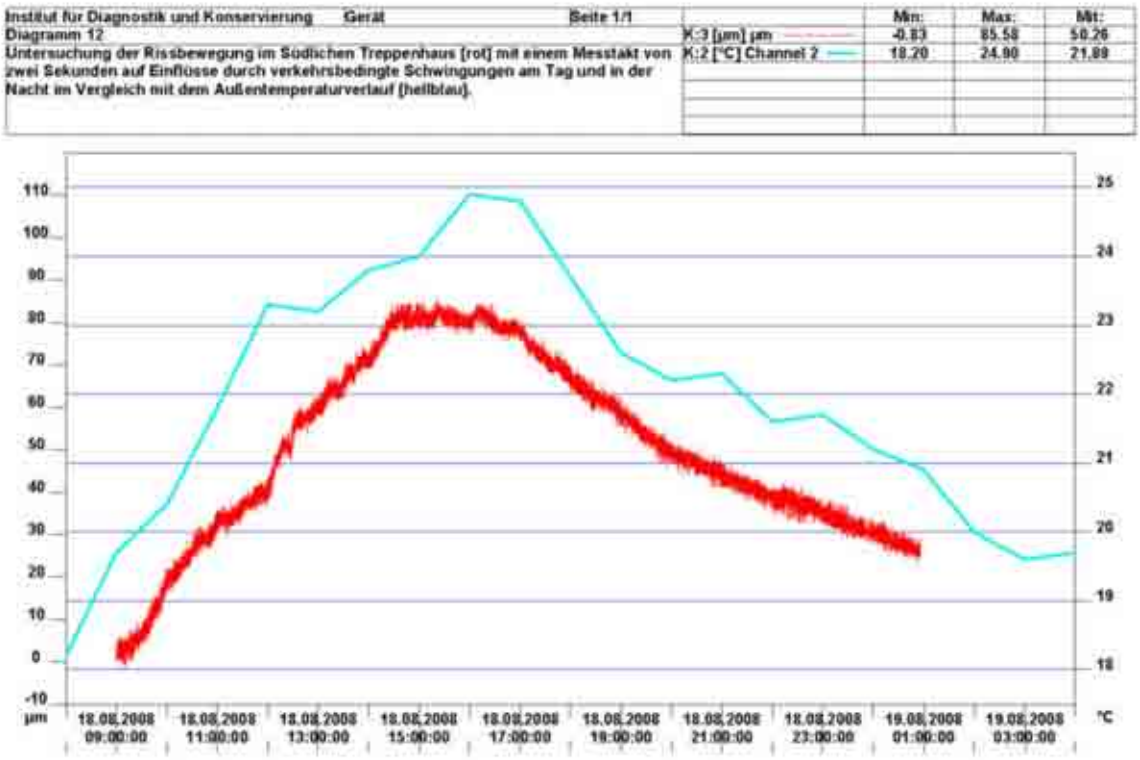


Abb. 14:Diagramm 12 Die hochauflösende Rissmessung am 18.08.2008 wies keine stärkeren Rissweitenänderung im am Tag im Vergleich zur Nacht nach. Deutlich war wiederum die starke Abhängigkeit der Rissbewegung vom Außentemperaturverlauf.

Fazit

Die untersuchten Rissweitenänderungen an den Messpunkten im südlichen Treppenhaus sowie im nordwestlichen Eckbereich weisen eine direkte Abhängigkeit vom Außentemperaturverlauf auf. Dabei wurden tägliche Rissweitenschwankungen von bis zu 136 µm und langfristige Rissweitenänderungen von bis zu 400 µm registriert.
Eine direkte Abhängigkeit der Rissweitenänderung vom Raumklima wurde nicht beobachtet.
Erschütterungsbedingte Rissweitenänderungen bewegten sich unterhalb der sicheren Nachweisgrenze von 10 µm der Messeinrichtung und wurden im Mittel durch die täglichen außentemperaturbedingten Rissweitenänderungen um das 10fache überlagert.

2.4 Schadstoffanalysen – quantitative Schadstoffanalyse

Für die chemischen Analysen wurden Probenahmen vor Ort durch das IDK durchgeführt. Einerseits sind lose Putzproben und Salzausblühungen entnommen worden. Anderseits wurden in einem Fall mit einem Spiralbohrer (Ø = 6 mm) aus definierten Tiefenstufen Bohrmehlproben erbohrt und in luftdichten Behältern aufgefangen.
Aus den Proben wurden für die quantitative Salzanalyse durch ein standardisiertes Elutionsverfahren wässrige Auszüge im Labor des IDK erstellt. Es erfolgte eine Bestimmung des Anteils der löslichen Bestandteile vom Probematerial. Von den Extrakten ist mittels ionenselektiver Methode von Natrium (Na^+) und mittels Photometrie von den Kationen (K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}) und den Anionen (SO_4^{2-}, Cl^-, NO_3^-) die jewei-

ligen Konzentrationen bestimmt worden. Die quantitative Ionenbestimmung erfolgte mittels HACH DR/2000 Direct Reading Spectrometer; Natrium HACH Sension 2.
Die Analysenergebnisse der Salzuntersuchungen werden in M.-% angegeben und bewertet. Die Darstellung im Diagramm erfolgt in molaren Equivalentkonzentrationen, die sich aus der Massenkonzentration unter Berücksichtigung der Atom- bzw. Molekülmassen und der Ladung errechnen. Durch diese Normierung aller Ionen auf Masse und Ladung lassen sich die Konzentrationen direkt miteinander vergleichen. Bei Schadsalzuntersuchungen ist in der Regel ein kleiner Kationenüberschuss zu verzeichnen, der u. a. damit erklärt wird, dass etwaige OH^- und CO_3^{2-}-Ionen in der Analyse nicht erfasst werden können (Steiger 1998).

Nachfolgend werden die Probenahmepunkte zur Bestimmung der Schadsalzgehalte in den geschädigten Bauteiloberflächen lokalisiert und beschrieben.
Zunächst sind die Probenahmepunkte im Inneren der Kirche erläutert. Die Grafik in Abbildung 15 zeigt im Überblick die neun Beprobungspunkte. Sie liegen auf verschiedenen Ebenen und sind hier lediglich für eine grobe Orientierung eingezeichnet.

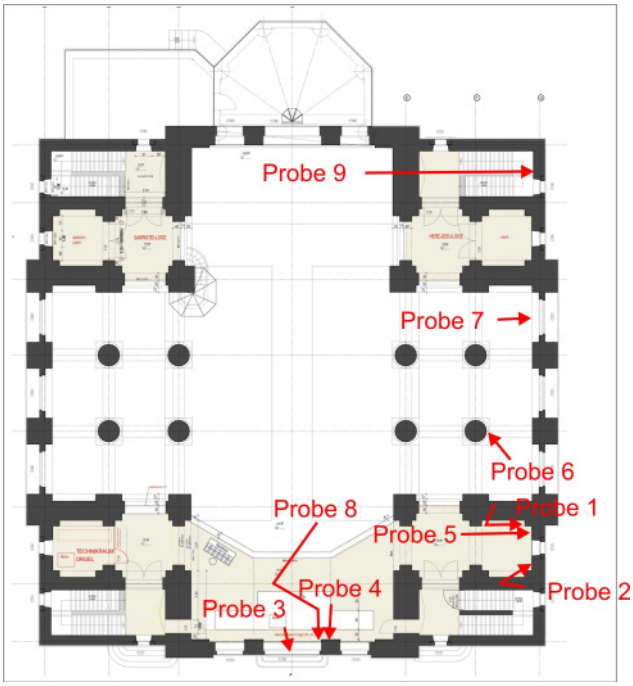


Abb. 15: Gesamtübersicht der Probenahmepunkte im Innenraum der Kirche St. Marien

Im Folgenden werden die genauen Punkte mit einem Photo und einer Erläuterung versehen.
Probe 1 und 2 liegen innerhalb desselben Raumes, auf gegenüberliegenden Wandflächen (siehe Abb. 16).
Probe 1 ist ein Gemisch aus einem weichen, angewitterten Putz mit entsprechenden Ausblühungen. Probe 2 ist eine Ausblühungsprobe.

Abb. 16: Lokalisierung der Proben 1 und 2 im Innenraum der Kirche, Südwand

Bei Probe 3 handelt es sich um einen Mörtel aus dem Mauerwerksbereich unterhalb des großen Fensters (Engelbildnis) an der Westfassade (siehe Abb. 17).

Abb. 17: Lokalisierung der Probe 3 im Innenraum der Kirche, Westwand

Probe 4 wurde als Salzausblühung von der Wandoberfläche am südlichen Zwischenpfeiler, im Bereich des großen Fensters an der Westwand entnommen (siehe Abb. 18).

Abb. 18: Lokalisierung der Probe 4 im Innenraum der Kirche, Westwand

Auch Probe 5 wurde als Salzausblühung von der Wandoberfläche abgenommen. Die Entnahmestelle befindet sich an der Südwand im 1. Obergeschoss, unterhalb der Entnahmestelle von Probe 1 (siehe Abb. 19).

Abb. 19: Lokalisierung der Probe 5 im Innenraum der Kirche, Südwand

Im Sockelbereich an der Südwand ist im Innenraum eine weitere Mörtelprobe (Probe 7) für die Salzanalytik entnommen worden (siehe Abb. 20).

Abb. 20: Lokalisierung der Probe 7 im Innenraum der Kirche, Sockelbereich, Südwand

Des Weiteren ist an der Südwand, im Sockelbereich des östlichen Gebäudeteils, ein Tiefenprofil angelegt worden (siehe Abb. 21). Die Probenahmestelle befindet sich dort, wo an der Außenfassade das Regenrohr verläuft. Aus dieser Situation können sich Belastungen des Mauerwerks ergeben.
Das entsprechende Tiefenprofil beinhaltet Bohrmehl aus folgenden Beprobungstiefen:

Probe 9_1 0 - 1 cm
Probe 9_2 1 - 2 cm
Probe 9_3 2 - 5 cm

Abb. 21: Lokalisierung des Tiefenprofils, Probe 9, im Innenraum der Kirche, Sockelbereich, Südwand

Um einen repräsentativen Überblick über die Belastungssituation im Sockelbereich zu erhalten, wurde auch an der Westwand, südlich des Eingangsportals eine Mörtelprobe zur Salzbestimmung entnommen (Probe 8) (siehe Abb. 22).

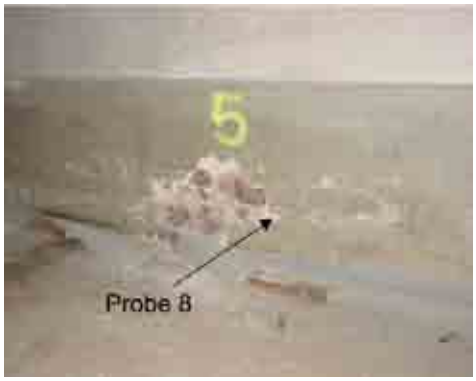


Abb. 22: Lokalisierung der Probe 8 im Innenraum der Kirche, Sockelbereich, Westwand

Die Beprobungspunkte an der Außenfassade verteilen sich entsprechend der Abbildung 23.

Abb. 23: Gesamtübersicht der Probenahmepunkte an der westlichen Außenfassade der Kirche St. Marien

Bei Probe 1 handelt es sich um eine Mörtelfuge (Tiefe 1-4 cm). Unmittelbar daneben ist ein offenbar vorgeschädigter Ziegel (Probe 2) entnommen worden (siehe Abb. 24).

Abb. 24: Lokalisierung der Proben Köth_SM_außen_West_1 und 2 an der westlichen Außenfassade der Kirche

Die Proben 3 und 4 repräsentieren geschädigte Steinmaterialien an der Westfassade. Beide Materialien sind stark absandend. Probe 3 ist eine Sandsteine und Probe 4 ein Ziegel (siehe Abb. 25).

Abb. 25: Lokalisierung der Proben Köth_SM_außen_West_3 und 4 an der westlichen Außenfassade der Kirche

Die Proben Köth_SM_außen_West_5 und 6 stellen auch ein Tiefenprofil der Salzbelastung dar. Dafür ist Mörtelmaterial aus der Fuge herausgekratzt worden. Die Entnahmestelle liegt bodennah und repräsentiert folgende Tiefen:

Köth_SM_außen_West_5 0 - 2 cm Tiefe
Köth_SM_außen_West_6 2 - 5 cm Tiefe

Abb. 26: Lokalisierung der Proben Köth_SM_außen_West_5 und 6 an der westlichen Außenfassade der Kirche

Auffällig war, dass der tiefer liegende Fugenbereich nicht mit Mörtel ausgefüllt und hohl war. In diesem Bereich kann sich Feuchtigkeit sammeln und nach innen durchschlagen bzw. können Salze nach innen transportiert werden.

Ergebnisse der Salzuntersuchungen

An allen Proben wurde zunächst die Summe der löslichen Bestandteile bestimmt, um abschätzen zu können, für welche Proben eine detaillierte Analyse der Kationen (Na^+, K^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}) und der Anionen (Cl^-, NO_3^-, SO_4^{2-}) sinnvoll ist.

Innenraum der Kirche St. Marien

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Proben aus dem Innenbereich der Kirche dargestellt (siehe Tab. 2). Die Bewertung der detektierten Anionen-Gehalte in den relevanten Proben jeder Messachse (nach WTA-Merkblatt „Mauerwerksdiagnostik“) erfolgt durch farbige Markierungen entsprechend Tabelle 1.

Tab. 1: Bewertungsskalen für die Salzbelastung von Baustoffen

Anion	unbelastet	gering			mittel			hoch		
Sulfat [M.-%]	< 0,024	<0,5	<0,1	>0,024 <0,077	0,5-1,5	0,1-0,5	>0,077 <0,24	>1,5	>0,5	<0,77
Nitrat [M.-%]	< 0,016	<0,1	<0,05	>0,016 <0,050	0,1-0,3	0,05-0,15	>0,05 <0,18	>0,3	>0,15	<0,5
Chlorid [M.-%]	< 0,008	<0,2	<0,05	>0,008 <0,026	0,2-0,5	0,05-0,5	>0,026 <0,08	>0,5	>0,5	<0,28

Eine Klassifizierung der Anionen-Gehalte (nur von detailliert analysierten Proben) erfolgt in Tabelle 2.
Für den Innenbereich der Kirche wurden alle Proben auf Grund ihres Gehaltes an wasserlöslichen Bestandteilen einer detaillierten Ionenanalyse zugeführt worden (siehe Tab. 2)
Unter Hinzunahme der Bewertung in Tabelle 1 kann eine Klassifikation der bauschädlichen Substanzen vorgenommen werden, die in den Proben detektiert wurden.
Die Proben 1 und 2, die aus mürbem Putz mit Ausblühungssalzen bestanden, weisen eine extreme Sulfatbelastung auf, die auf Calcium- aber auch Magnesiumsulfat zurückgeht. Probe 3 und Probe 4 sind beide an der Westwand, allerdings in unterschiedlichen Höhen entnommen worden. Der Mörtel (Probe 3), der aus einem Bereich knapp unterhalb des großen Fensters stammt, weist nur eine ganz geringe Sulfatbelastung auf, kann ansonsten als unbelastet klassifiziert werden.

Tab. 2: Ergebnisse der Salzanalyse der Proben aus dem Innenraum der Kirche

	Anteile an löslichen Ionen in M.-%							
Probe	**∑ wasserlösl. Bestandteile**	**Ca^{2+}**	**Mg^{2+}**	**K^{+}**	**Na^{+}**	**SO_4^{2-}**	**Cl^{-}**	**NO_3^{-}**
Probe 1	3,65	0,748	0,349	0,026	0,058	1,746	0,027	0,050
Probe 2	11,55	0,849	0,949	0,215	0,904	6,990	0,012	0,051
Probe 3	0,21	0,060	0,020	<0,005	0,015	0,025	<0,01	<0,01
Probe 4	10,50	3,064	0,613	0,015	0,195	6,128	0,135	0,121
Probe 5	10,74	4,772	1,591	0,022	0,178	3,976	0,130	0,084
Probe 7	3,22	0,749	0,250	0,043	0,164	0,275	0,104	0,593
Probe 8	4,22	1,095	0,299	0,015	0,068	1,866	0,019	0,155
Probe 9_1	1,77	0,291	0,043	0,024	0,142	0,428	0,134	0,185
Probe 9_2	2,29	0,362	0,068	0,023	0,169	0,622	0,098	0,224
Probe 9_3	1,57	0,281	0,056	0,015	0,094	0,469	0,073	0,124

Die Ausblühprobe (Probe 4) von einem der Zwischenpfeiler innerhalb des großen Fensters besteht entsprechend der Analyse hauptsächlich aus Sulfat- und Nitratverbindungen. Chloride konnten untergeordnet ebenfalls detektiert werden. Gerade dieser „Schadstoffcocktail“ weist auf eine erhebliche Belastung mit bauschädlichen Salzen hin.

Die Ausblühprobe (Probe 5), die im 1. OG, in der Achse der Probe 1, entnommen wurde, besteht ebenso wie Probe 1 aus extrem hohen Gehalten an Sulfationen. Hinzu kommen auch geringe Chlorid- und Nitratgehalte.
Die Analysen an den beiden Mörtelproben aus dem Sockelbereich – zu einen an der Südwand (Probe 7) und zum anderen an der Westwand (Probe 8) – deuten auf eine massive Belastung des entsprechenden Mauerwerks mit Schadsalzen hin. In der Probe von der Südwand konnten erhöhte Gehalte an Nitraten, nachgewiesen werden. Chloride und Sulfate sind untergeordnet An der Westwand sind vor allem hohe Sulfatgehalte und mittlere Nitratgehalte als kritisch zu bewerten.

Zusätzlich zu der oberflächennahen Mörtelentnahme ist an der Südwand im östlichen Bereich das Tiefenprofil 9 angelegt worden. Die Ergebnisse zeigen, dass durchhaltend eine mittlere Nitratbelastung zu detektieren gewesen ist. Auch die Kontamination des untersuchten Mauerwerkes durch geringe und mittlere Gehalte an Sulfaten ist zu bemerken. Chloridionen sind eher zu vernachlässigen.

Die stichprobenartigen Analysen im Innenbereich der Kirche weisen in den oberen Ebenen auf eine kritische Belastung des Putzes mit bauschädlichen Salzen hin. Im Sockel kommt hierzu auch noch eine Tiefenbelastung des Mauerwerkes – zumindest in der untersuchten Zone, im Einflussbereich des außen entlanglaufenden Regenrohrs. Die tiefreichende Kontamination des Mauerwerks mit bauschädlichen Salzen konnte zumindest bis in eine Tiefe 5 cm nachgewiesen werde. Es wird vermutet, dass die entsprechende Belastung auch noch tiefer reichend ist.

Westfassade (außen) der Kirche St. Marien

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Proben aus dem Innenbereich der Kirche dargestellt (siehe Tab. 3). Die Bewertung der detektierten Anionen-Gehalte in den relevanten Proben jeder Messachse (nach WTA-Merkblatt „Mauerwerksdiagnostik“) erfolgt durch farbige Markierungen entsprechend Tabelle 1.

Tab. 3: Ergebnisse der Salzanalyse der Proben von der westlichen Außenfassade der Kirche

	Anteile an löslichen Ionen in M.-%							
Probe	**∑ wasserlösl. Bestandteile**	**Ca^{2+}**	**Mg^{2+}**	**K^{+}**	**Na^{+}**	**SO_4^{2-}**	**Cl^{-}**	**NO_3^{-}**
Köth_SM_außen_West_1	0,56	0,145	0,015	0,015	0,012	0,400	<0,01	<0,01
Köth_SM_außen_West_2	0,29	0,085	0,010	0,006	0,006	0,194	<0,01	<0,01
Köth_SM_außen_West_3	1,61	0,402	0,019	0,007	<0,005	1,101	<0,01	<0,01
Köth_SM_außen_West_4	4,16	1,260	0,031	0,011	0,011	2,498	0,017	0,078
Köth_SM_außen_West_5	1,26	0,286	0,010	0,031	0,031	0,877	0,015	0,046
Köth_SM_außen_West_6	2,29	0,594	0,015	0,038	0,052	1,546	0,033	0,072

Auch die Proben von der westlichen Außenfassade mussten aufgrund ihres Gehaltes an wasserlöslichen Bestandteilen alle einer detaillierten Ionenanalyse zugeführt werden. Die Bewertung der in Tabelle 4 dargestellten Ergebnisse zeigt, dass in allen untersuchten Bereichen der westlichen Außenfassade vor allem eine kritische Sulfatbelastung vorliegt, die vornehmlich auf den Hausbrand zu DDR-Zeiten zurückgeht.

2.5 Petrologische Beschreibung der Sandsteinsäulen

Der nördliche und der südliche Querarm des Kirchenschiffes werden unter anderem jeweils durch vier Sandsteinsäulen getragen (siehe Abb. 27).

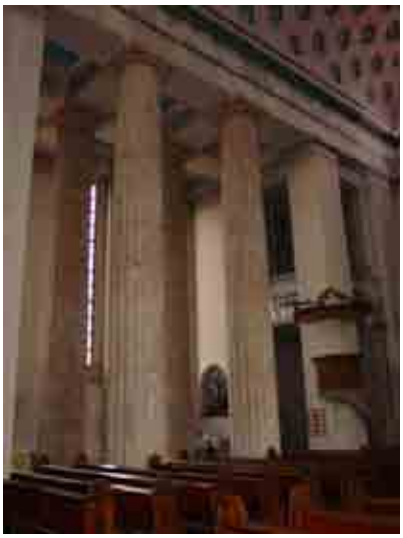


Abb. 27: Nördlicher Querarm des Kirchenschiffes mit vier Sandsteinsäulen

Insgesamt erscheint der verbaute Sandstein hellbeige-grau bis gelblich, mittelkörnig und als besonderes Merkmal fallen die markanten eisenhaltige Anreicherungen auf, die sich als rostige Bänder und ringartige Strukturen zeigen (siehe Abb. 28).

Abb. 28: Erscheinungsbild des Sandsteins mit den auffälligen Eiseneinlagerungen

Diese Erscheinung ist sehr typisch für den Rät-Sandstein und kann laut der freundlichen mündlichen Mitteilung von Frau Dr. Ehling auch in Berlin an den ehemaligen Königskolonnaden entsprechend beobachtet werden. Von diesem Sandstein wurde eine kleine Probe an der Abdeckplatte der südöstlichen Säule entnommen (siehe Abb. 29) und mikroskopisch untersucht. Hierbei handelt es sich um einen Rät-Sandstein.

Abb. 29: Lokalisierung der Probe des Sandsteins mit Eisenanreicherungen, entnommen an der oberen Kante der südöstlichen Säule

Es gibt allerdings im Ensemble der Sandsteine auch einige Bereich, die diese Eisenreicherungen nicht zeigen und dafür eine deutliche Schichtung aufweisen (siehe Abb. 30). Sie sind ebenfalls mittelkörnig. In diesen Fällen deutet der makroskopische Befund auf einen Mittleren Buntsandstein (möglicherweise Bernburger Sandstein) hin.

Abb. 30: Erscheinungsbild des Sandsteins mit Schichtung

3. Archivalische Forschungen zur Baugeschichte

Die archivalischen Forschungen sollten ursprünglich dem Wirken des Baumeisters Gottfried Bandhauer (1790-1837) in seinem anhaltischen Hauptbetätigungsgebiet mit besonderem Schwerpunkt auf der Marienkirche Köthen gelten. Nach einer ersten Bestandsaufnahme im Landesamt für Denkmalpflege und Archäologie (Bibliothek, Akten- und Fotoarchiv, Kollegenkreis) wurde diese Bearbeitung eingestellt, um eine Dopplung mit den Recherchen einer gleichzeitig beauftragten Kunsthistorikerin zu vermeiden.
Dazu liegt die folgende Faktensammlung vor.

Literatur
Durchsicht der Bestände der Amtsbibliothek zum Thema und Kopie wichtiger Passagen von Fachbeiträgen, z. B. aus

- Robert Schulze: Köthen in Anhalt – Ein Führer durch die Stadt und ihre Geschichte, Köthen 1923.
- Franz Schulte: Herzog Ferdinand und Herzogin Julie von Anhalt-Cöthen, Köthen 1925
- „... und keiner mehr kennt mich auch hier“ – Der Dichter Joseph v. Eichendorff und Köthen in Anhalt, Dößel 2005
- Früher & Heute – Chronik Köthen/Anhalt, Reken-Köthen 1997
- Peter Kühn / Günther Hoppe: Köthen in Anhalt, Beucha 1993
- Georg Dehio: Handbuch der Deutschen Kunstdenkmäler, Sachsen-Anhalt II: Regierungsbezirke Dessau und Halle
- Ernst Haetge / Marie Luise Harksen: Die Kunstdenkmale des Landkreises Dessau-Köthen, Burg 1943
- Berent Schwineköper (Hrsg.): Handbuch der Historischen Stätten, Bd. 11: Provinz Sachsen-Anhalt, Stuttgart 1987
- Wilhelm van Kempen: Die Baukunst des Klassizismus in Anhalt nach 1800, Dessau 1926
- ders.: Die katholische Kirche zu Cöthen in Anhalt, in: Denkmalpflege und Heimatschutz, 27. Jg. 1925

Aktenauszüge
Auszüge von Protokollen aus dem Aktenarchiv des Landesamtes zu Vorortberatungen, Baumaßnahmen, Absprachen und Festlegungen

Fotoarchivalien
Kopien von einigen im Fotoarchiv des Landesamtes vorhandenen Fotos (Innen- und Außenaufnahmen) sowie Grundrissen, Entwürfen und Bauzeichnungen

Hinweise aus dem Kollegenkreis des Landesamtes
Dazu wurden eingesehen und teilweise kopiert:

- Herr Andreas Stahl (Bauforschung): Sammlung von Archivalien und Literatur
  (enthält u. a. eine Liste relevanter Aktenbestände sowie etliche Kopien des anhaltinischen Landesarchivs Oranienbaum/Dessau)
- Frau Birthe Rüdiger (Gebietskonservatorin): Aufstellung zu Bandhauer-Bauten in den Gebieten Anhalt-Köthen und Anhalt-Bernburg

4. Recherchen zur Verkehrsbelastung im Umfeld der Kirche St. Marien

Die Verkehrssituation als einer der ursächlichen Schadfaktoren zur Beförderung der Rissbildung in Mauern und Gewölben der Kirche kann anhand verschiedener statistischer Tabellen belegt werden. Hier konnte auf die Zuarbeit der Stadtverwaltung und dabei insbesondere des Abteilungsleiters Stadtplanung, Herrn Werner Georges, zurückgegriffen werden.
In den Abbildungen 31 und 32 sind die Lage der Kirche St. Marien und die umgebende Straßensituation dargestellt.

Abb. 31: Die Verkehrssituation an St. Marien im Jahre 2007 (Blick aus der Stiftstraße von Südwesten). LKW müssen direkt vor der Kirche links abbiegen.

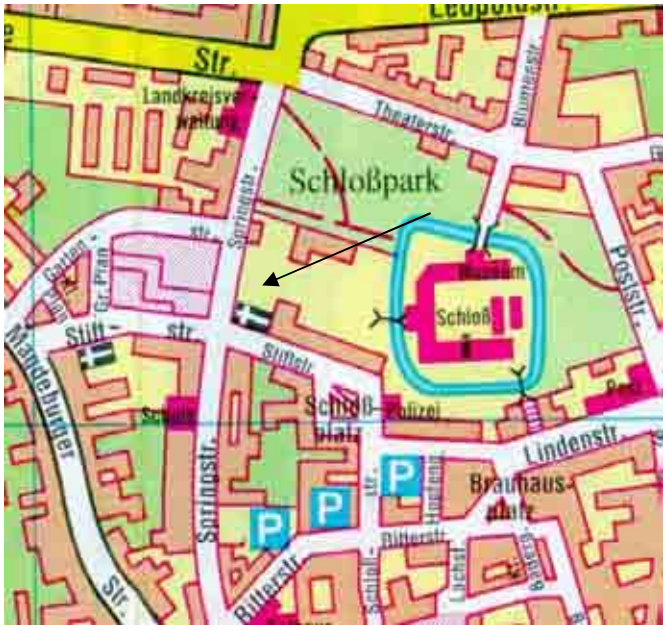


Abb. 32: Die Umgebung der Kirche St. Marien (Pfeil)

Eine Analyse der Verkehrsbelastung im Kernbereich der Stadt Köthen auf der Basis von Verkehrserhebungen 2004/05 und einer Modellanalyse 2005 ergab die in Abbildung 33 ausgewiesenen Zahlen. Die an der Kreuzung Stift-/Springstraße gelegene Kirche wurde demnach täglich von etwa 4000 Kraftfahrzeugen umfahren, darunter etwa 2 % (also 80) Lastkraftwagen. Diese Zahlen erscheinen in Anbetracht weit höherer in den Hauptverkehrsstraßen als relativ gering, allerdings muss auch der Straßenzustand insbesondere im Kreuzungsbereich beachtet werden.

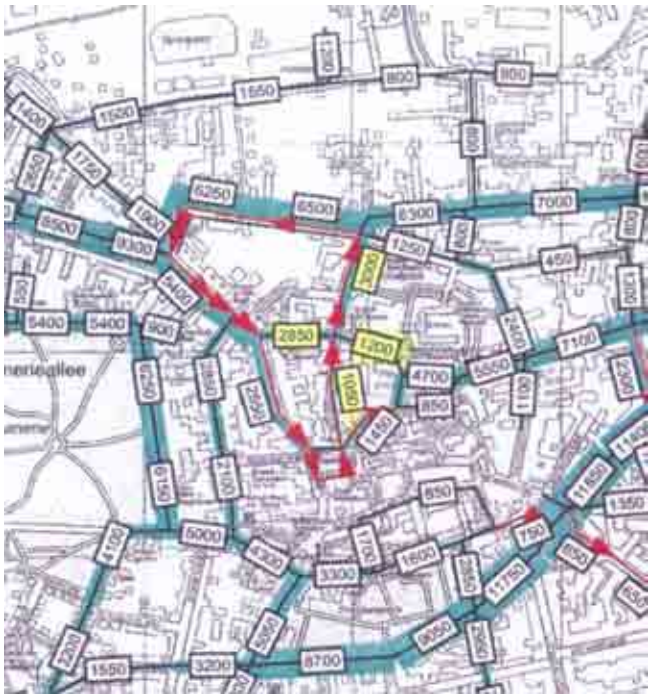


Abb. 33: Die Verkehrszählung ergab 2005 die folgenden Zahlen in unmittelbarer Umgebung (gelb) für die Kirche St. Marien (Pfeil)[1]

Dazu kommt die Tatsache, dass es 2005 auf Grund verschiedener verkehrsberuhigender Maßnahmen der Stadt schon zu einer Reduzierung des Kraftverkehrs, insbesondere der Schwerlasttransporte gekommen war. Dies zeigt auch eine Verkehrszählung aus dem Jahre 1991. Damals lag das tägliche Verkehrsaufkommen an der Kirche bei etwa 8000 Fahrzeugen, davon waren ungefähr 4,2 % LKW. Dies bedeutet, dass also täglich um die 250 schwere Fahrzeuge den Kreuzungsbereich befuhren (Abb. 34).

[1] Auszug aus Unterlagen der Abteilung Stadtplanung Köthen.

Abb. 34: Verkehrsflüsse im Jahre 1991 an der Kirche St. Marien (gelb hervorgehoben)[1]

Da sich die Risse im Innern der Kirche als relativ alt darstellen, kann also davon ausgegangen werden, dass sie bereits in Zeiten höherer Belastung entstanden sind, wie eben in den 1990er Jahren, als man in den neuen Bundesländern und unter deren Städten im ausdrücklich hervorgehobenen Köthen eine „sprunghaft gestiegene Verkehrsbelastung“ konstatierte[2]. Im Übrigen ist sich die Stadt dieses Verkehrsproblems ebenso bewusst, wie es auch der Bund ist. Der Bundesverkehrswegeplan BVWP 2003 hat das Großprojekt „B6n BAB 395-BAB 14- BAB 9“ nicht zuletzt zur nachhaltigen Entlastung des Stadtverkehrs in Köthen ins Programm vordringlicher Aufgaben aufgenommen.

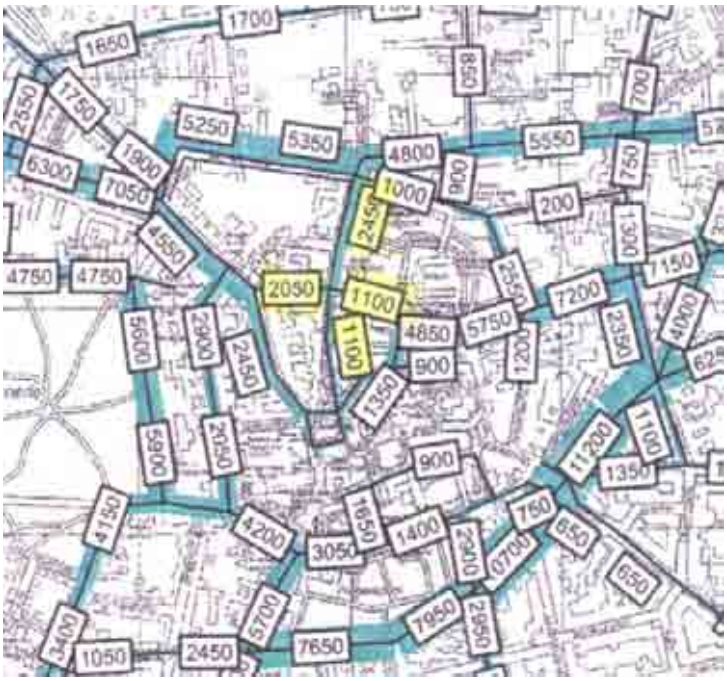


Abb. 35: Prognose für die Verkehrbelastung von Köthens Innenstadt im Jahre 2015 (Variante 4 von insgesamt vier Modellen)[3]

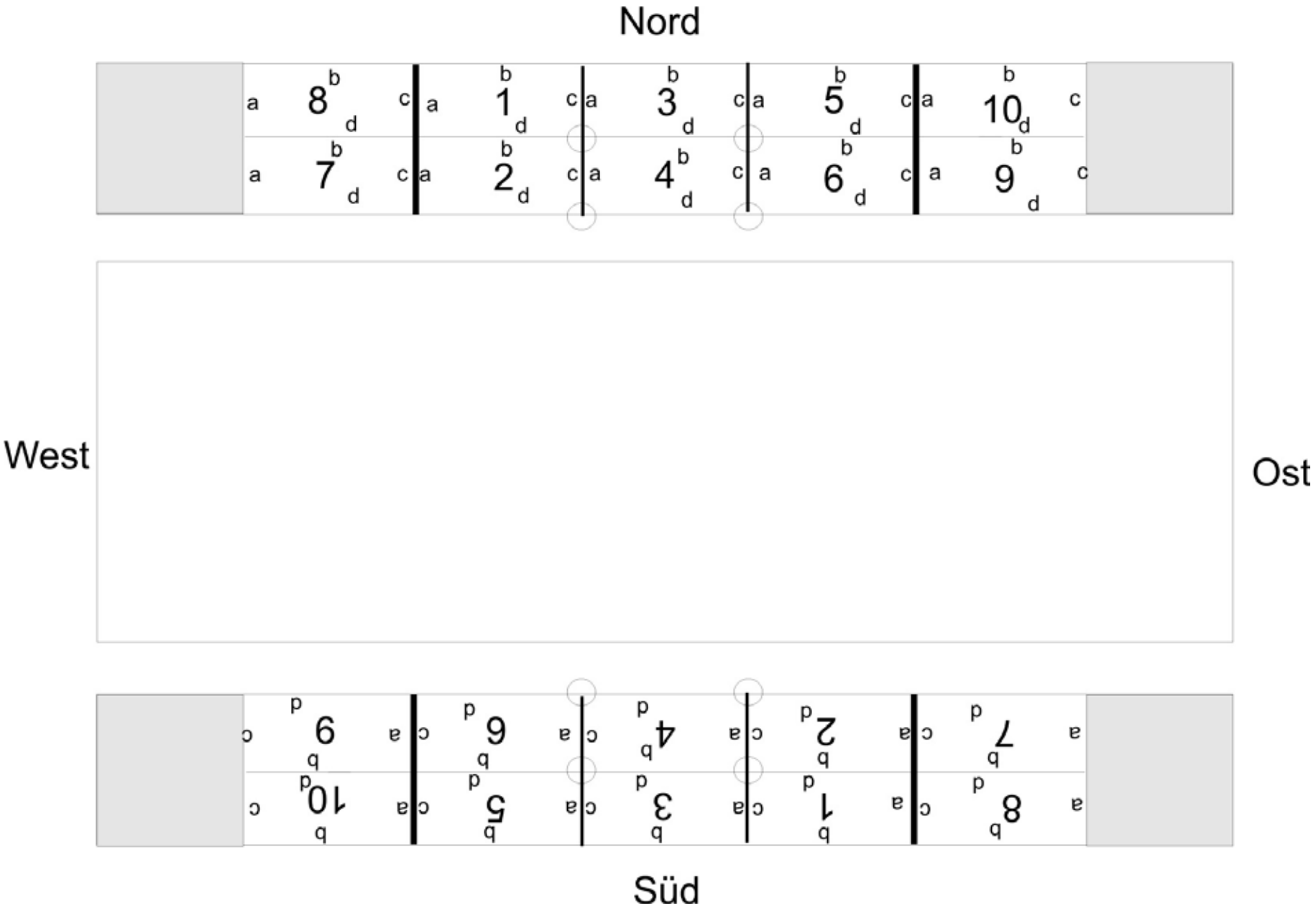
[2] Quelle: Internet, Forschungsportal Sachsen-Anhalt.
[3] Wie Anm. 1.

Und bei der Stadtplanungsabteilung existieren mehrere Modelle, die die zu erwartende Entlastung der Innenstadt für das Jahr 2015 prognostizieren. Im günstigsten Falle, bei Fertigstellung der teilweise nur erst geplanten Autobahnen bzw. Realisierung weiterer Ortsumgehungsstrecken, ergibt sich das unten dargestellte Bild (siehe Abb. 35). Dieses bringt eine weitere Reduzierung des Verkehrsflusses an der Kirche, obwohl insgesamt im Großraum Köthen mit einem Anstieg der Zahlen zu rechnen ist.

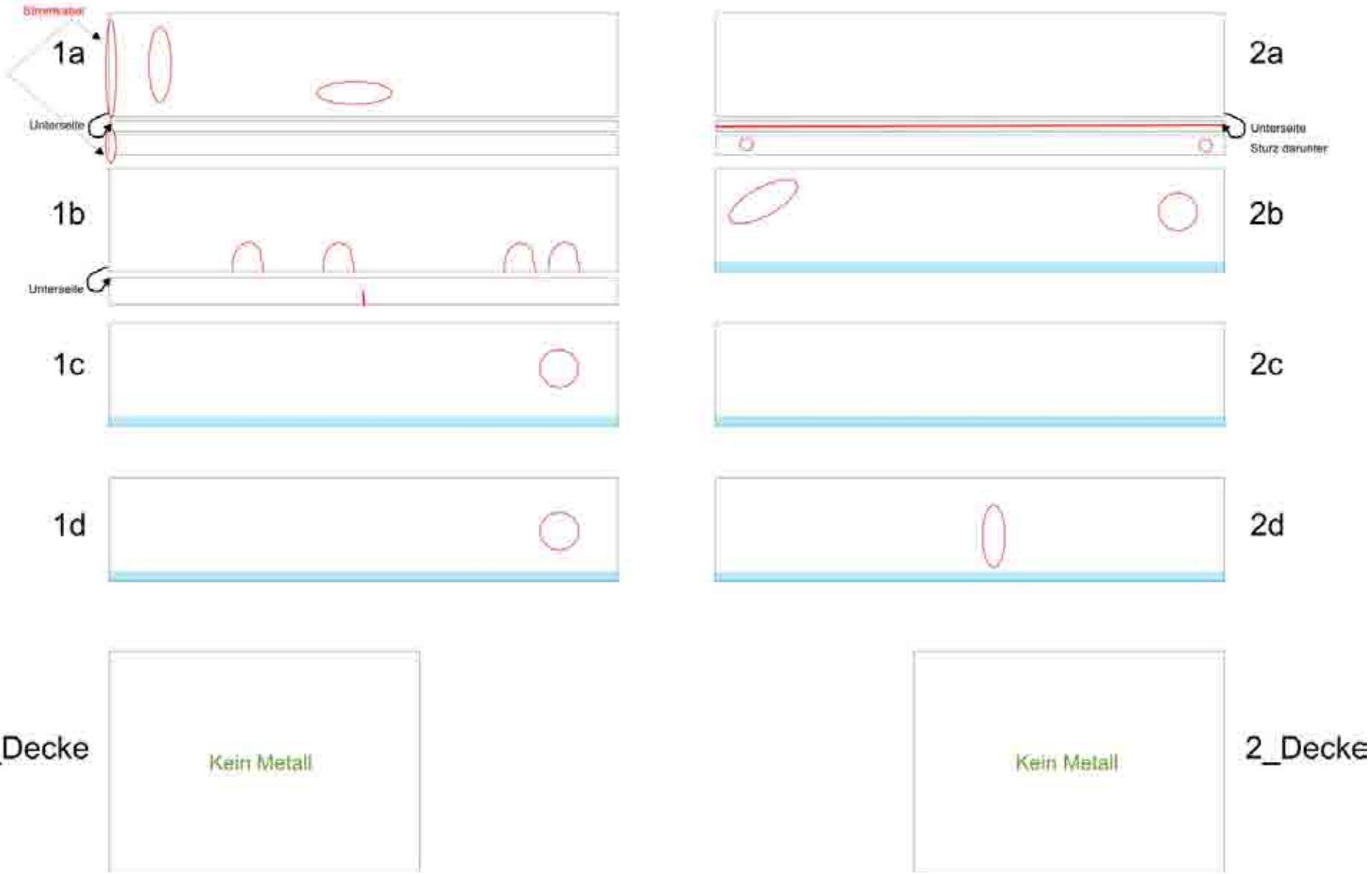
5. Quellenverzeichnis

Steiger, M., Neumann, H.-H., Grodten, T., Wittenburg, C., Dannecker, W. (1998): Salze in Naturstein mauerwerk - Probennahme, Messung und Interpretation. In R. Snethlage, Ed. Denkmalpflege und Naturwissenschaft, Natursteinkonservierung II, Stuttgart, S. 61-91.

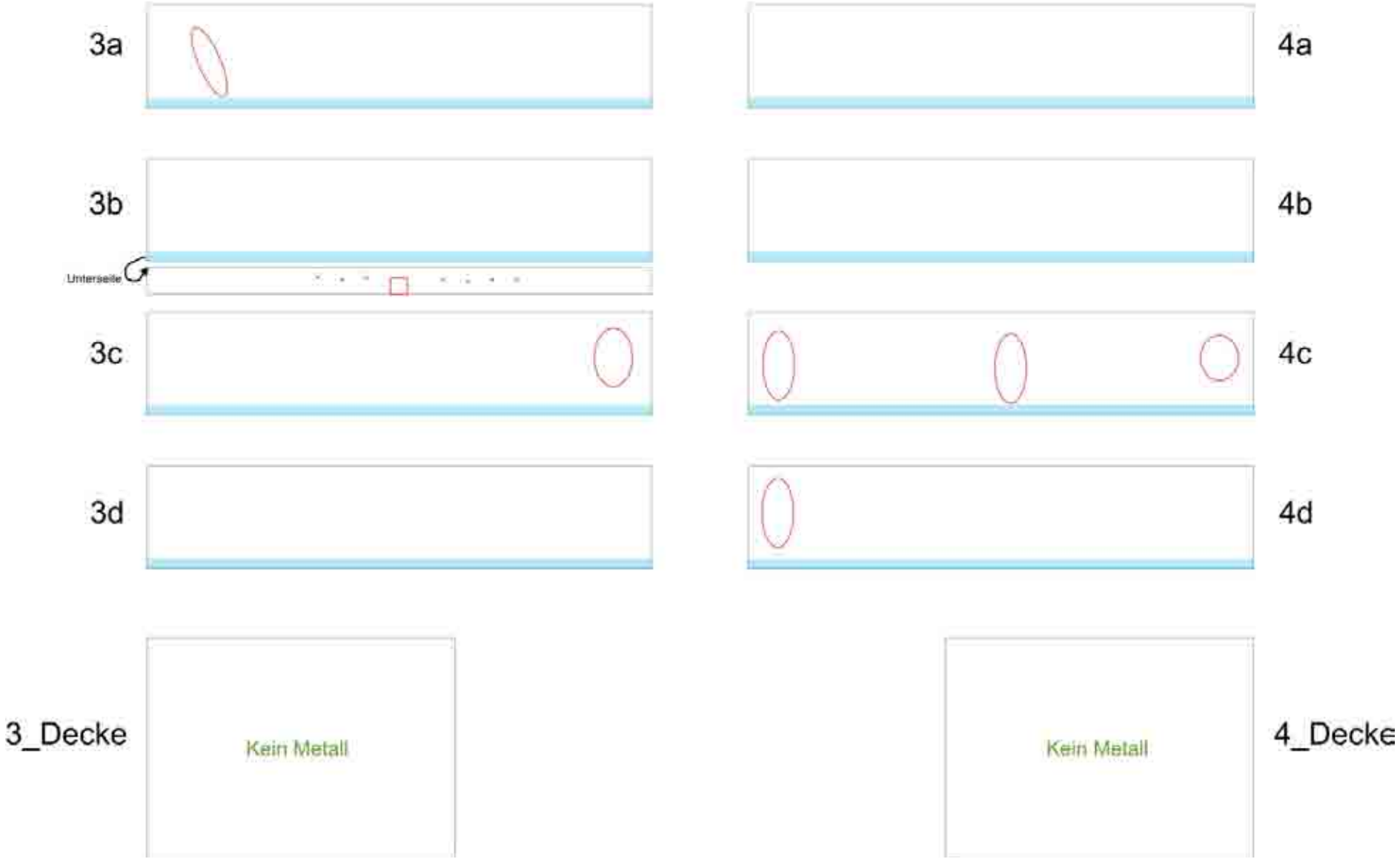
WTA-MERKBLATT „Kompressenentsalzung“ (2001): WTA-Merkblatt E 3-13-01/D: Zerstörungsfreies Entsalzen von Naturstein und anderen porösen Baustoffen mittels Kompressen, Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V..


Nord
West
Ost
Süd

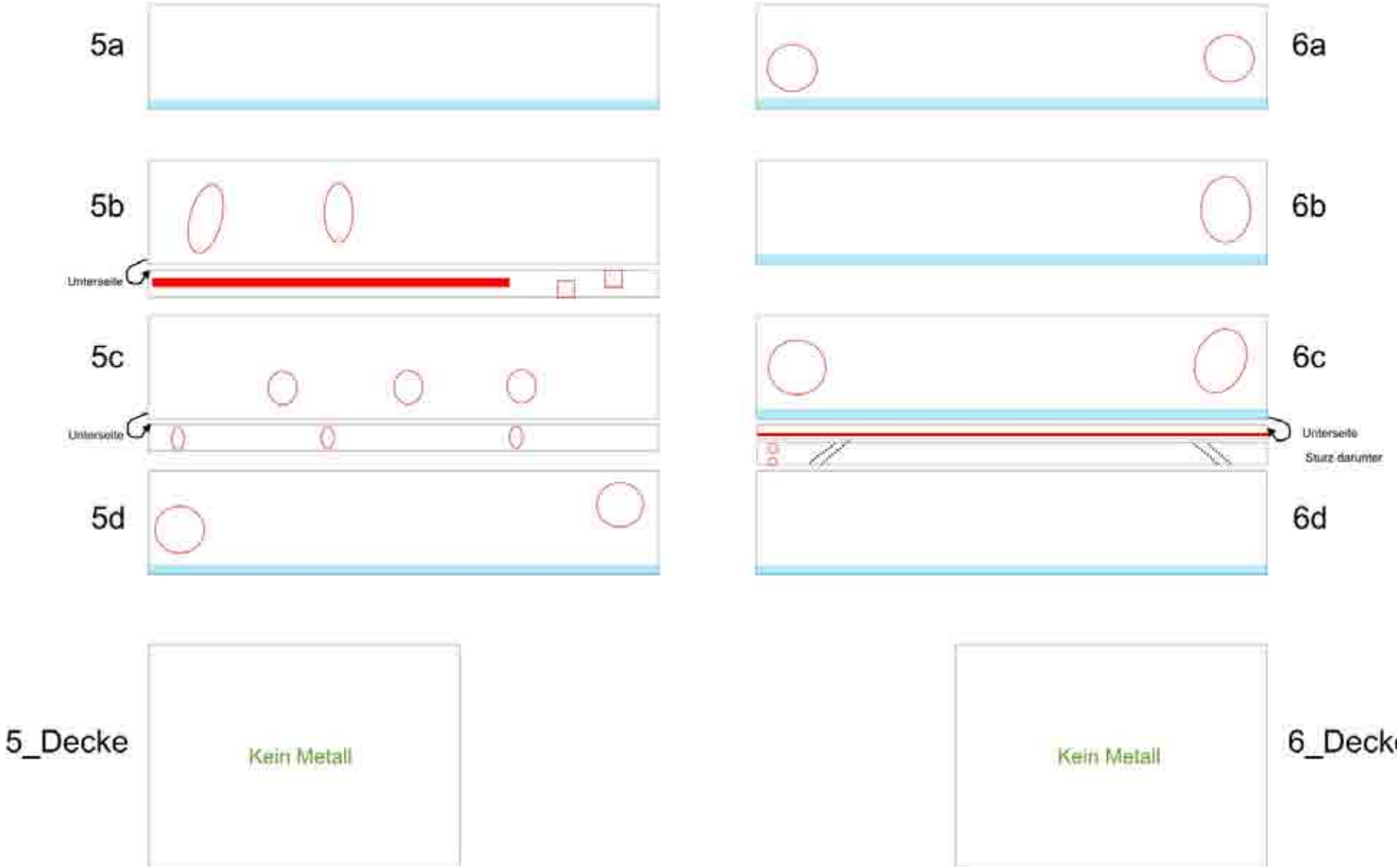
Felder im nördlichen Querarm



Felder im nördlichen Querarm

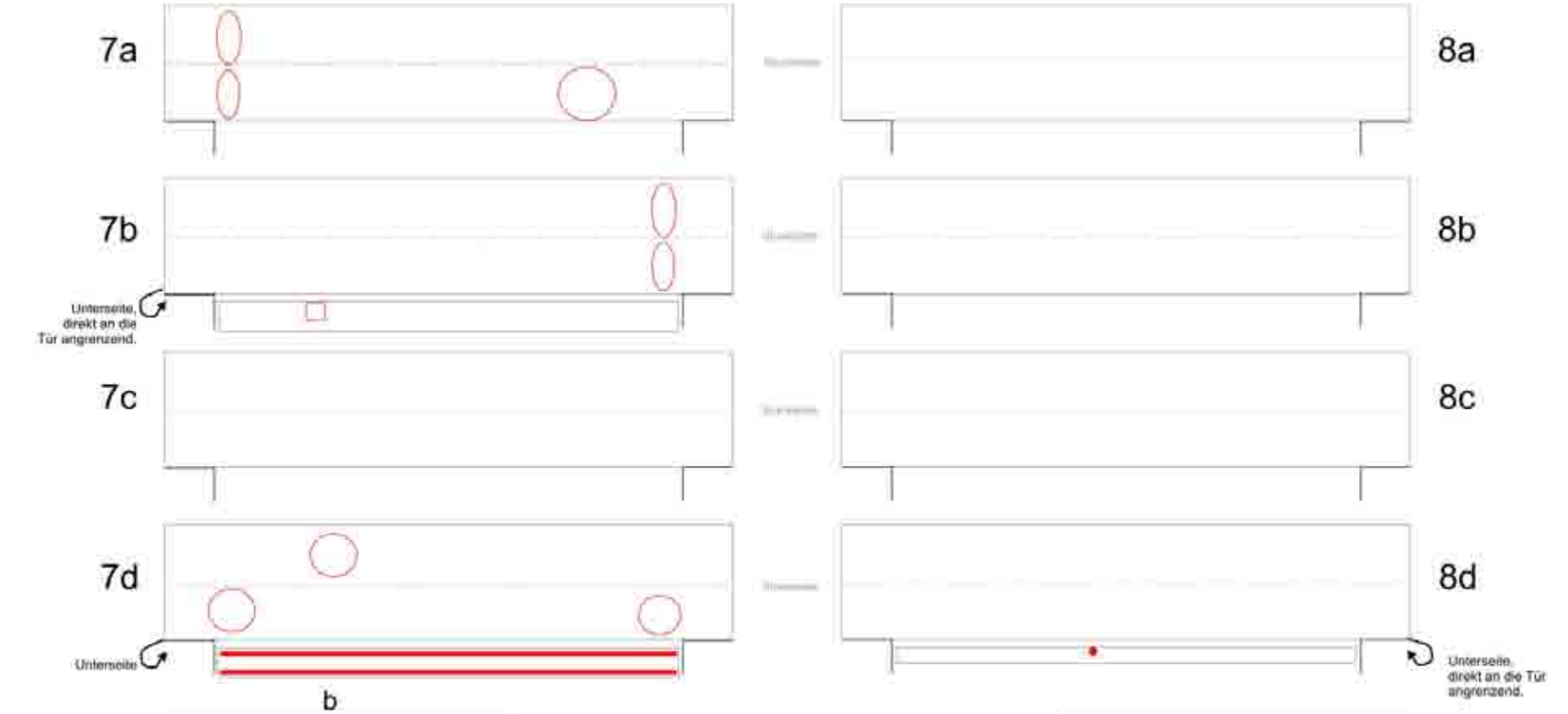


Felder im nördlichen Querarm

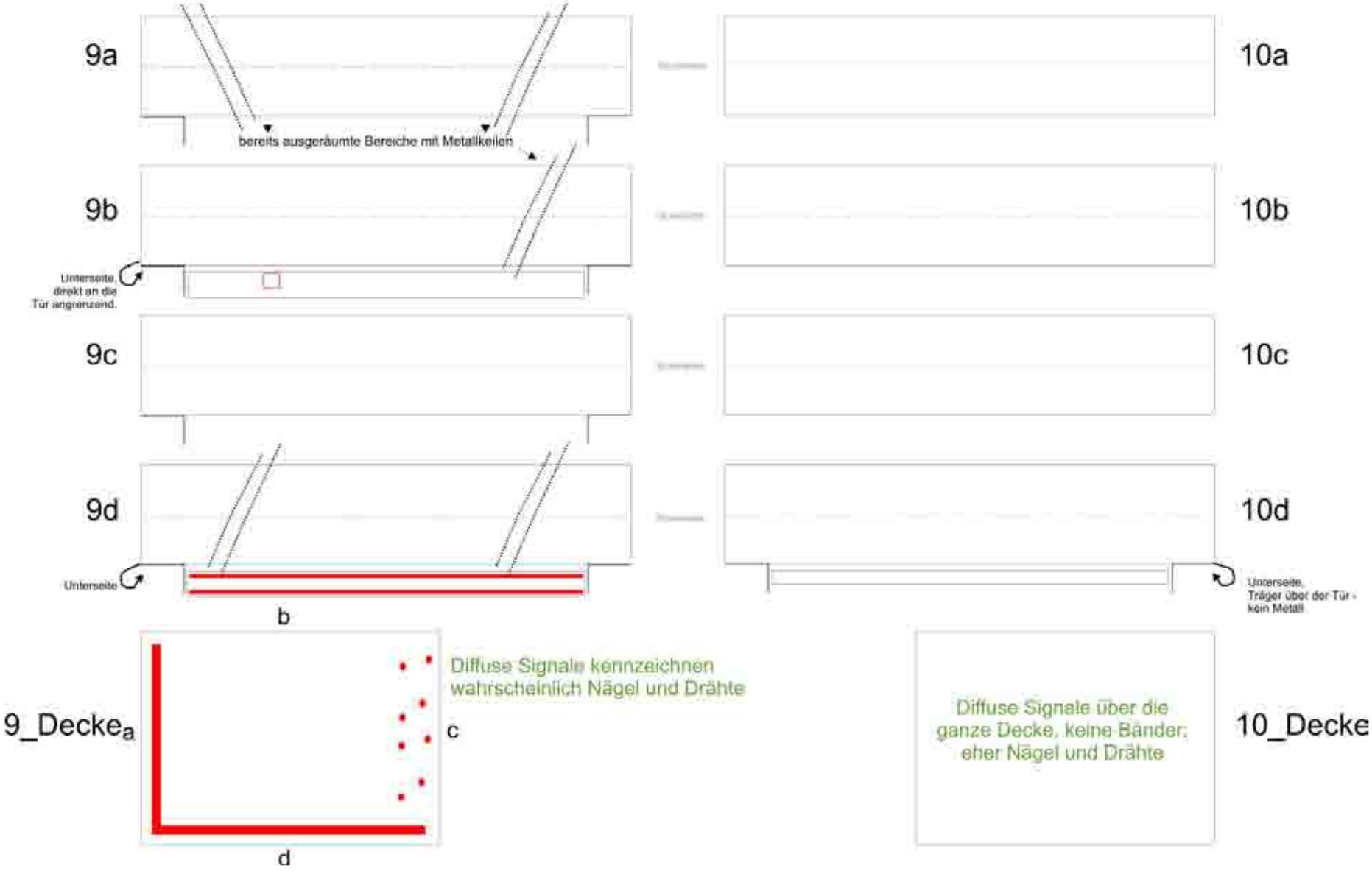


Felder im nördlichen Querarm

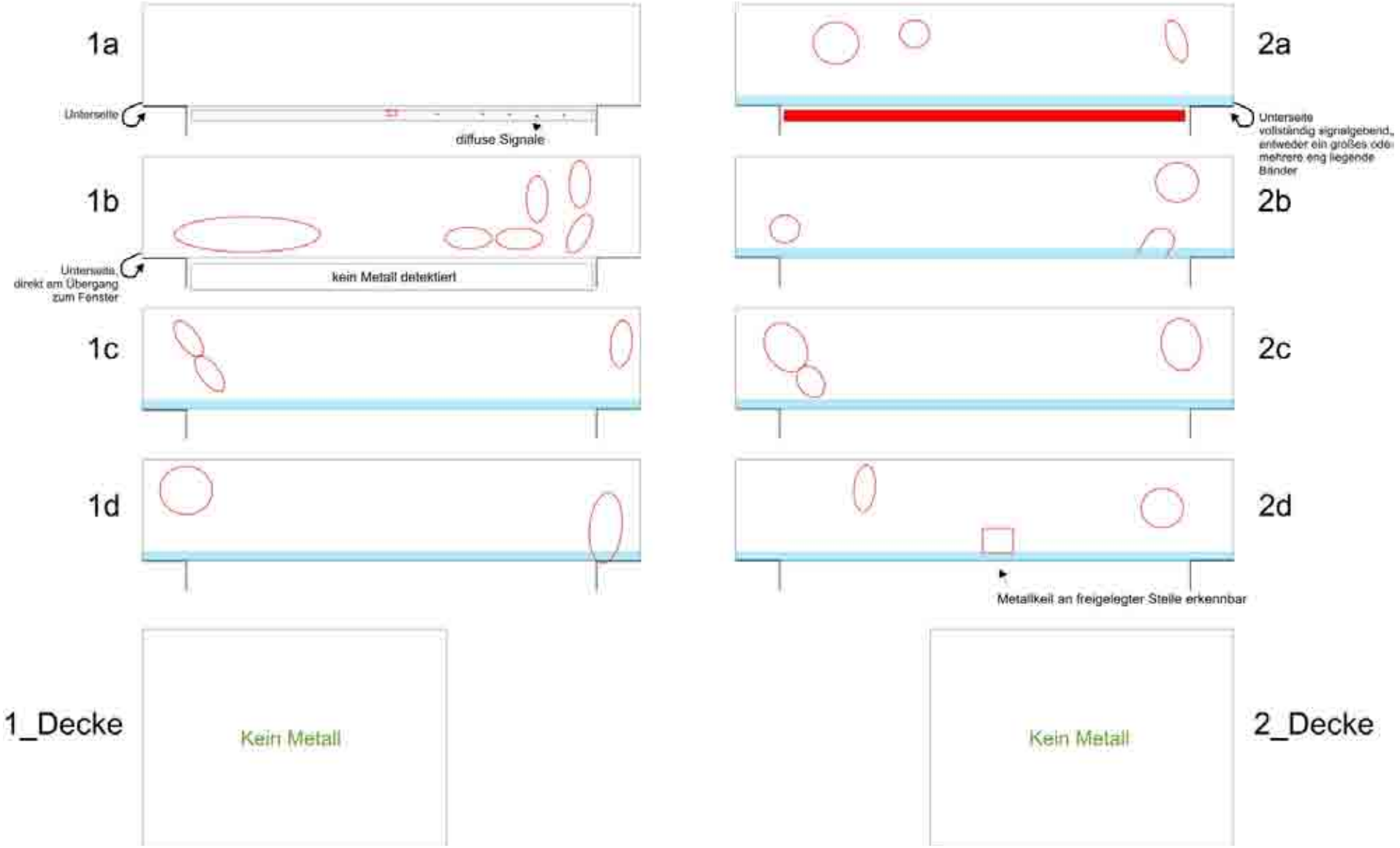
Trotz erheblicher Risse in den Wandflächen, kein Metall detektiert.



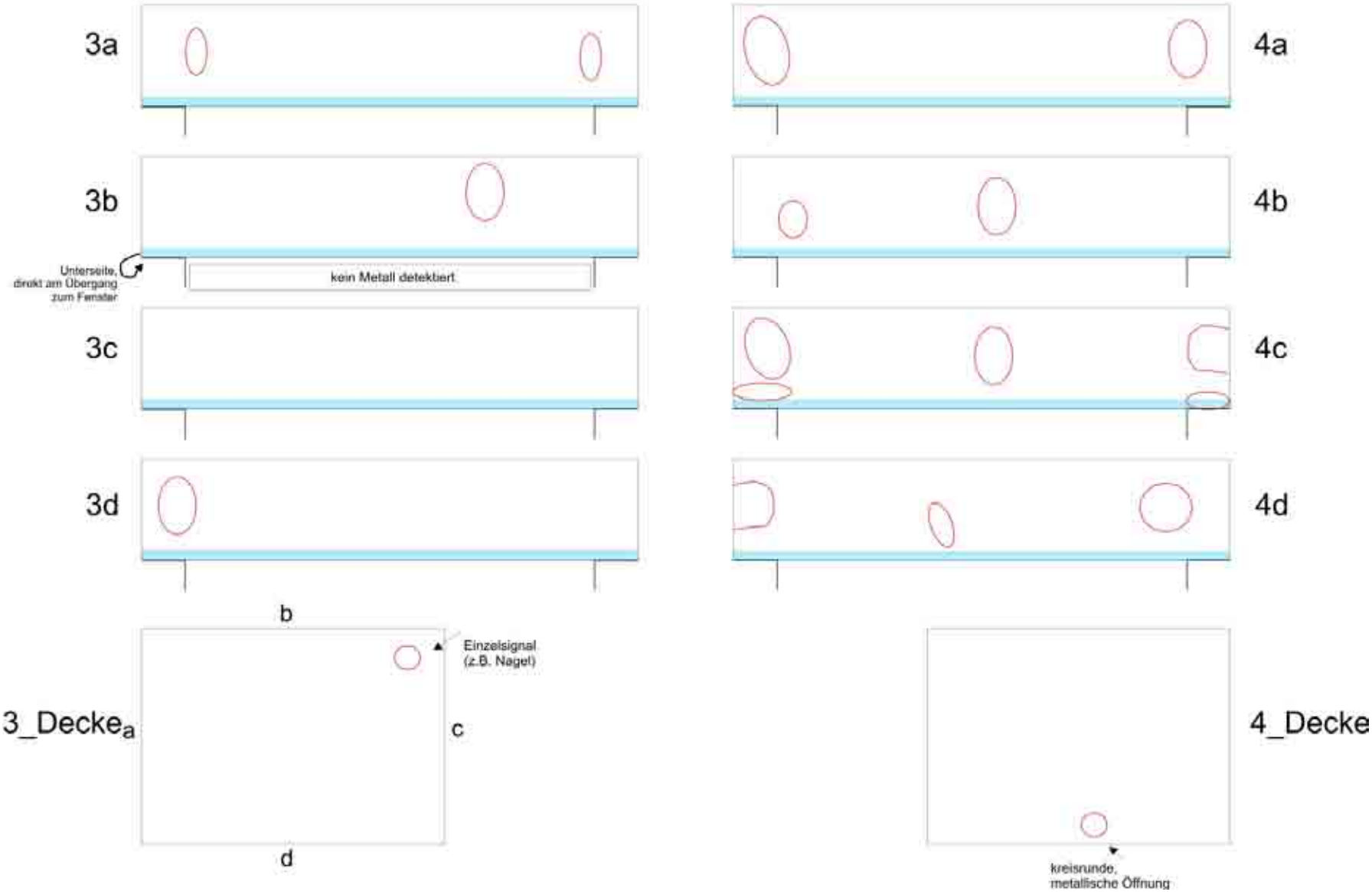
Felder im nördlichen Querarm



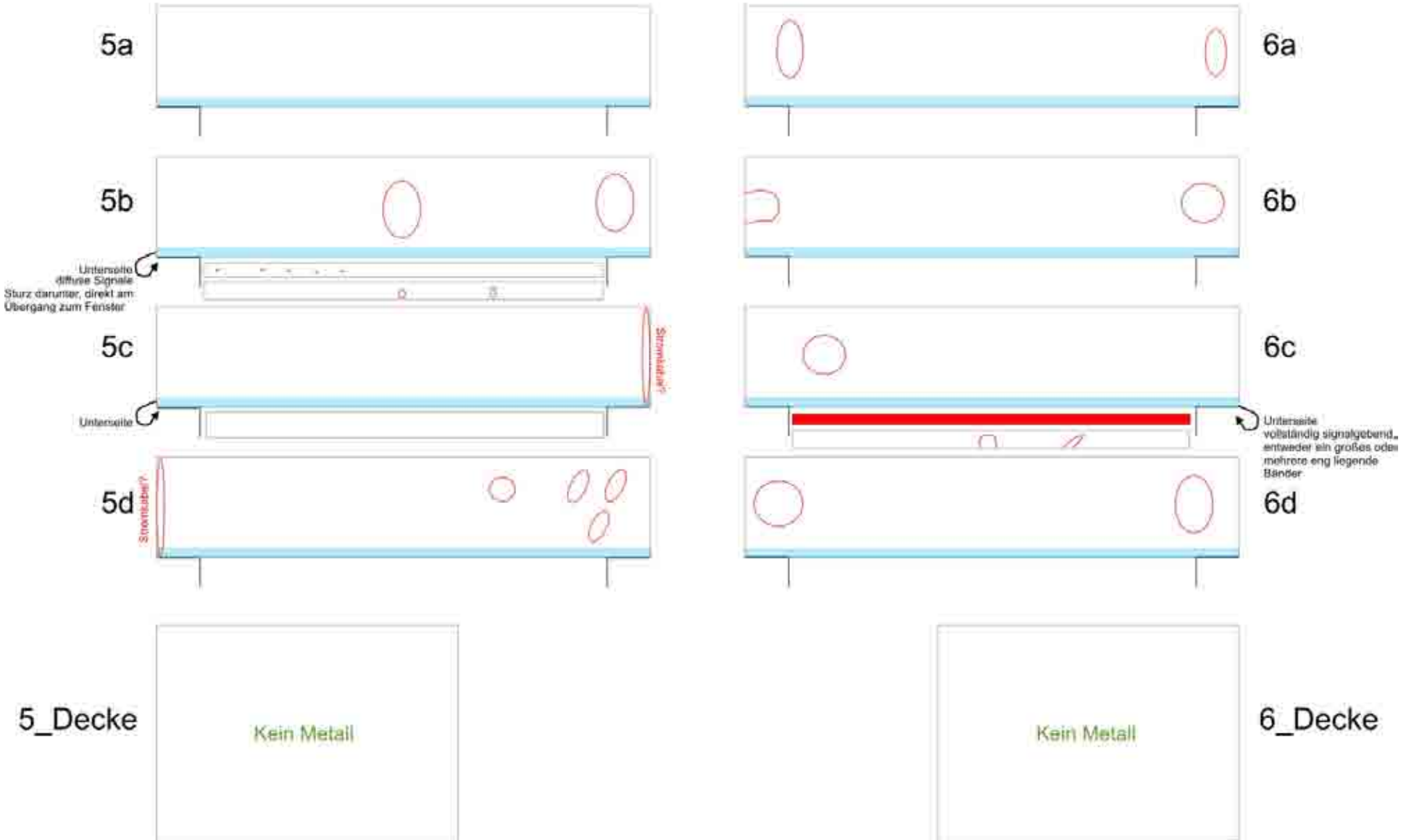
Felder im südlichen Querarm



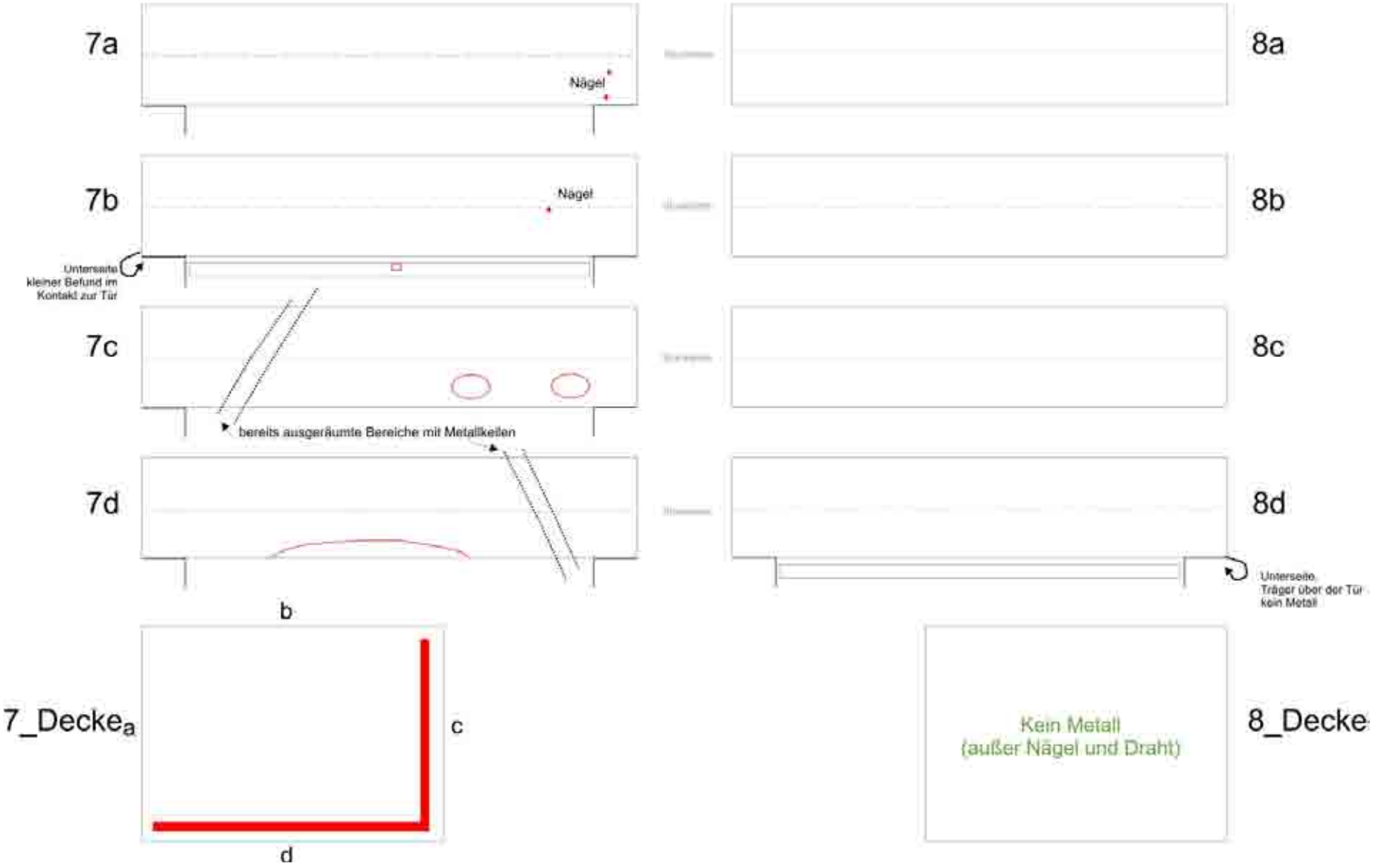
Felder im südlichen Querarm



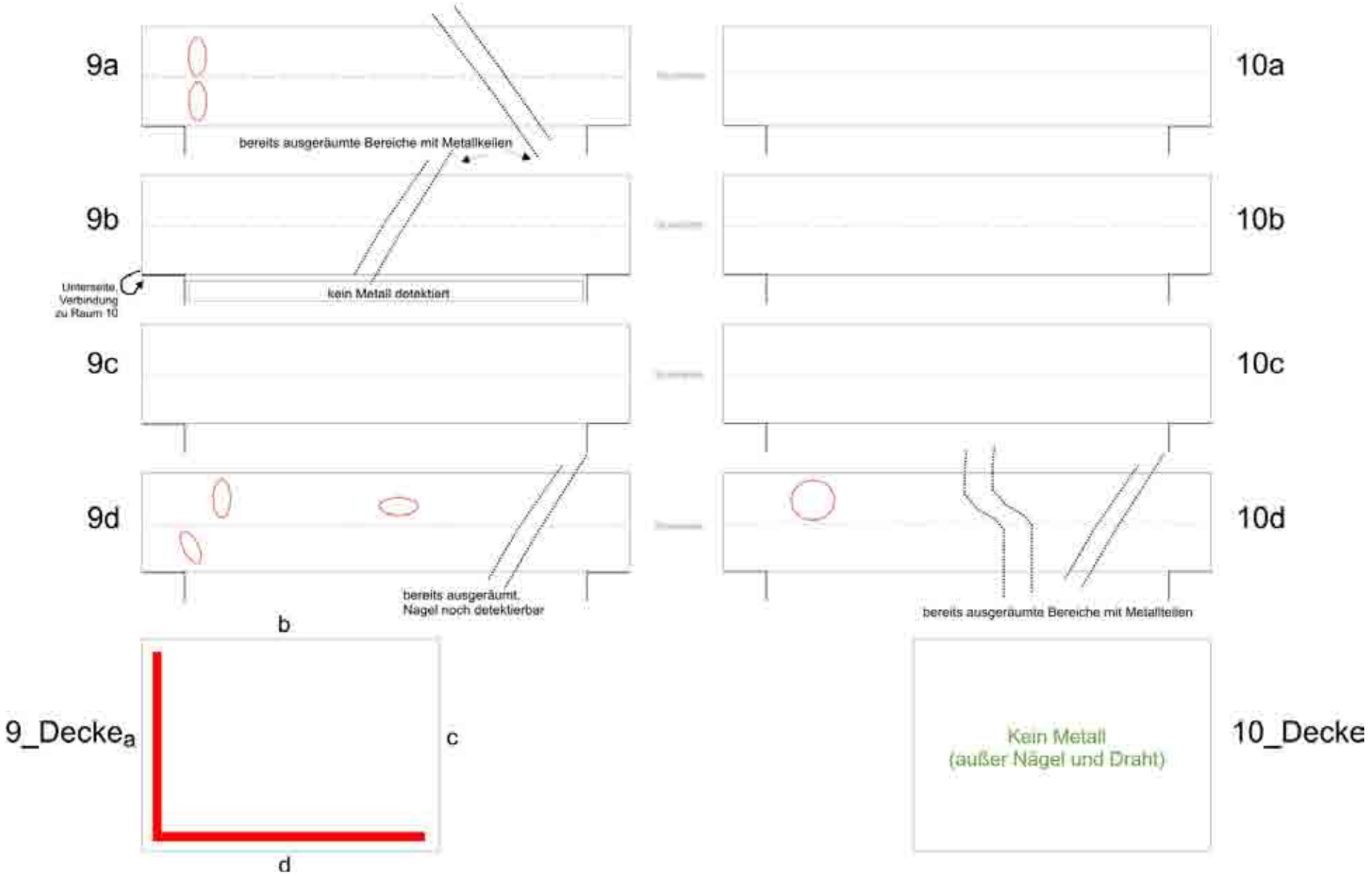
Felder im südlichen Querarm

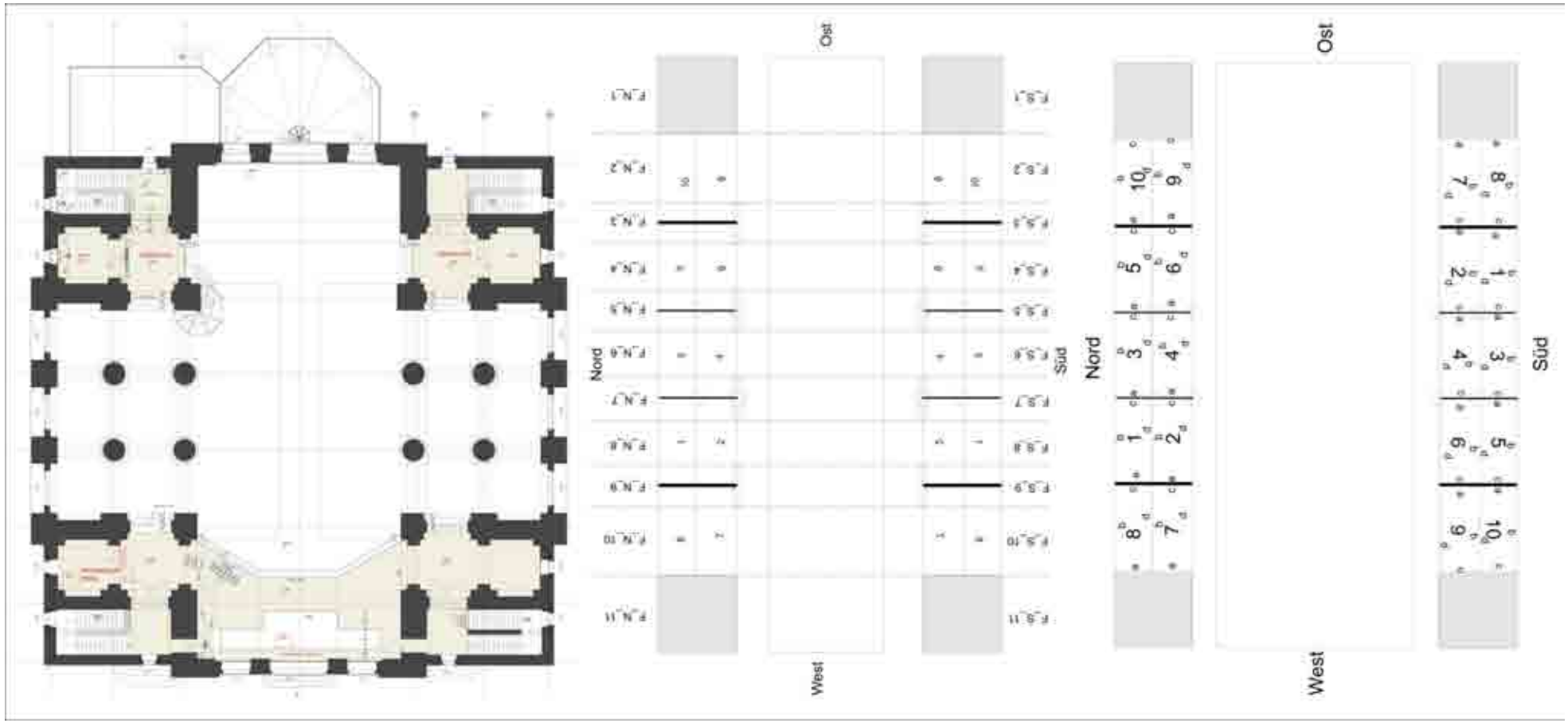


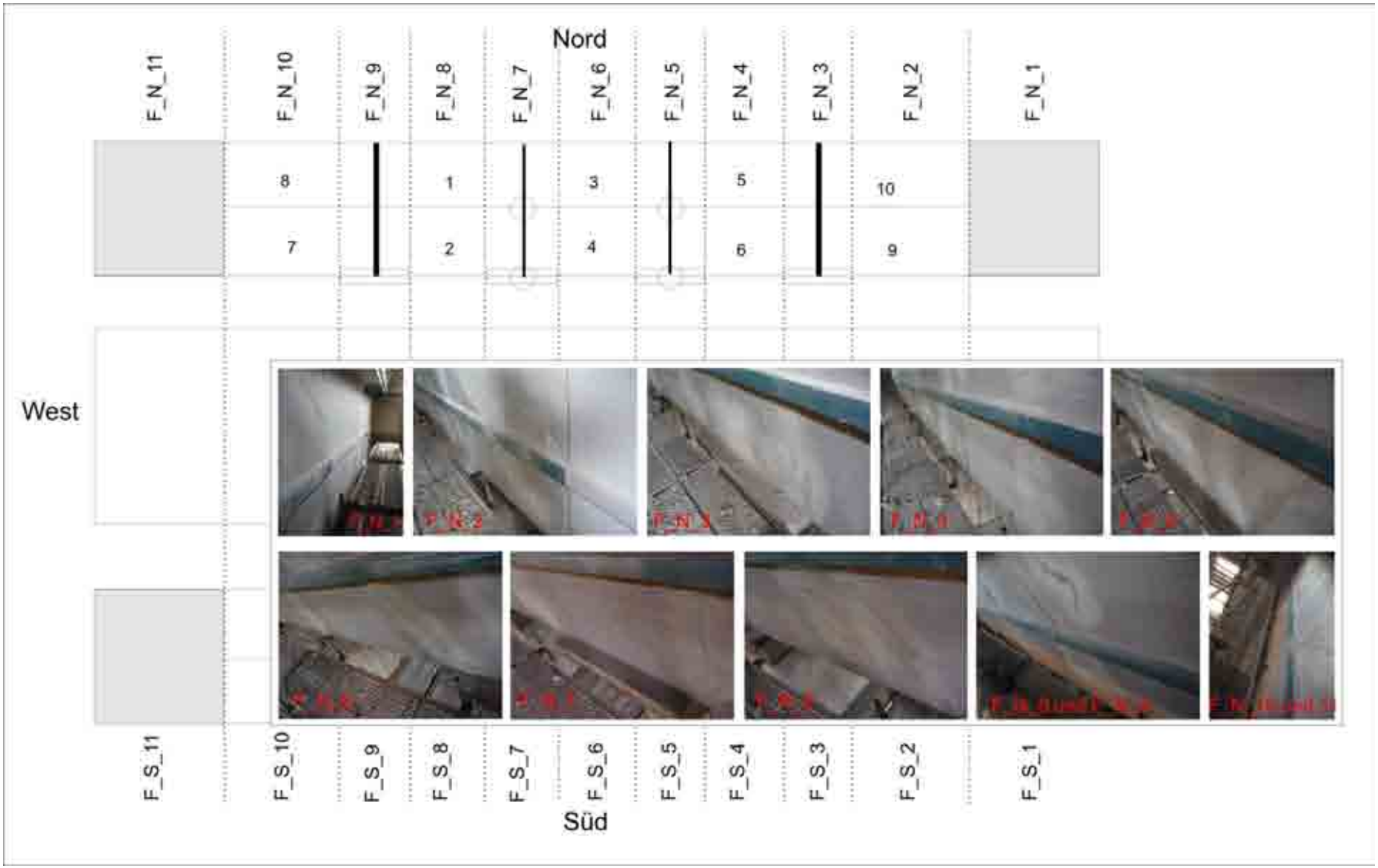
Felder im südlichen Querarm



Felder im südlichen Querarm




Ost
West
Nord
Süd
Ost
West
Nord
Süd


Nord
F_N_11
F_N_10
F_N_9
F_N_8
F_N_7
F_N_6
F_N_5
F_N_4
F_N_3
F_N_2
F_N_1
8
1
3
5
10
7
2
4
6
9
West
F_S_11
F_S_10
F_S_9
F_S_8
F_S_7
F_S_6
F_S_5
F_S_4
F_S_3
F_S_2
F_S_1
Süd

Achsen in Nord-Süd-Richtung, Flächen auf der Nordseite (F_N_)

F_N_1

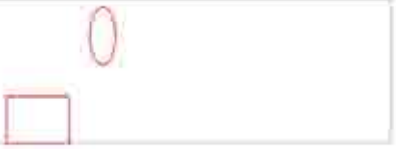
F_N_2

Metallträger bzw. Band auf der betrachteten Fläche

F_N_3

Anker

F_N_4



F_N_5

F_N_6

F_N_7

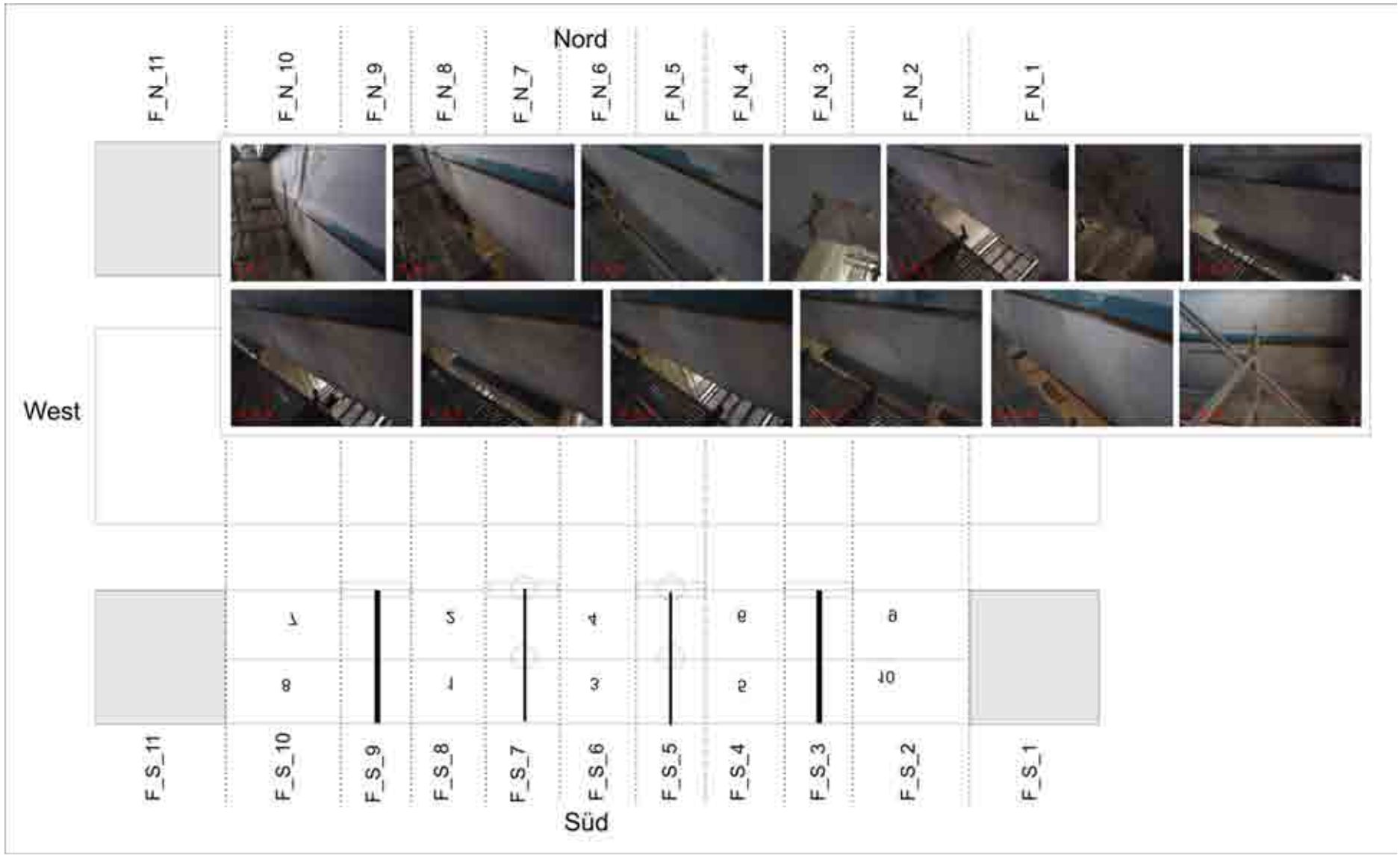
F_N_8

F_N_9

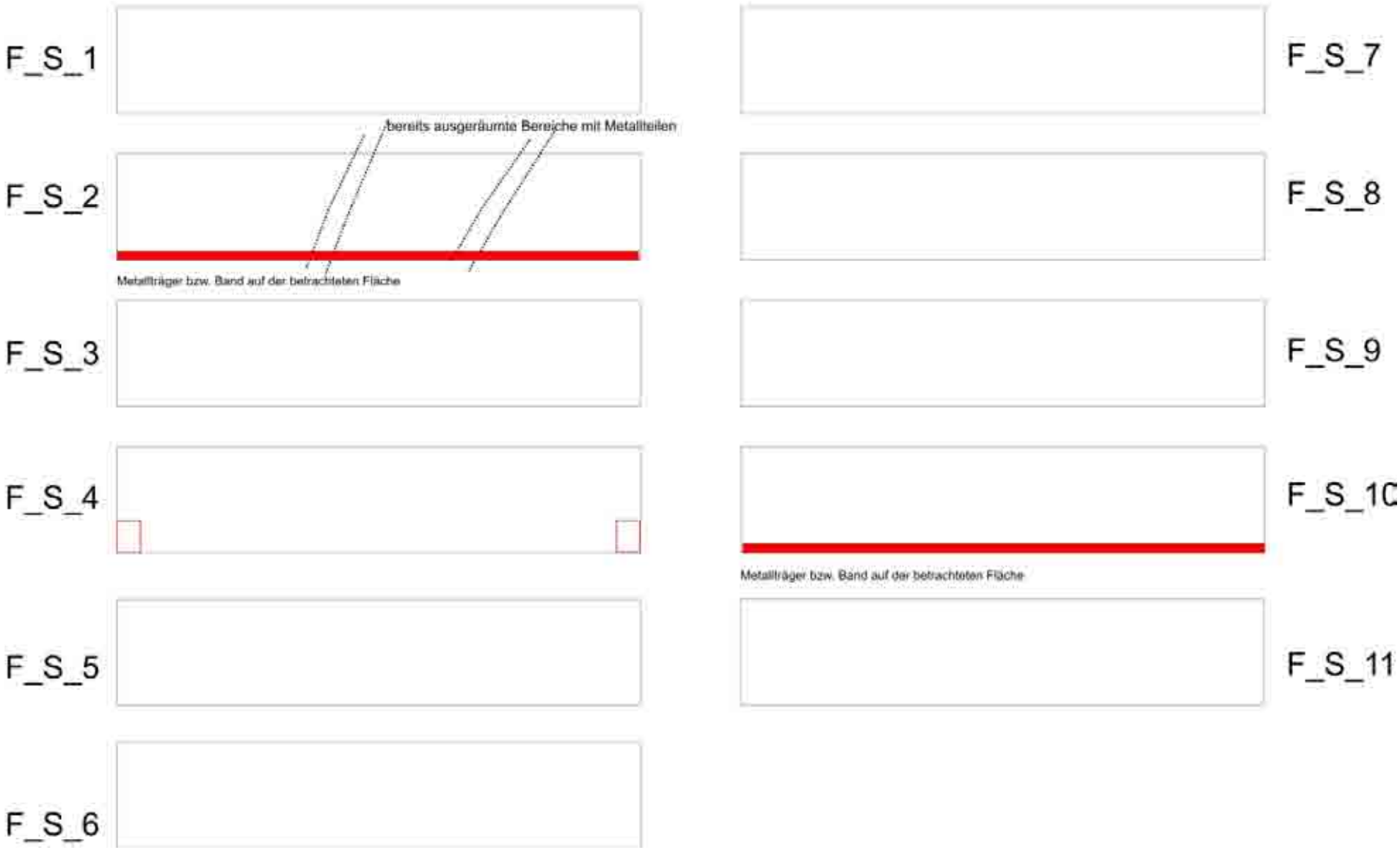
F_N_10

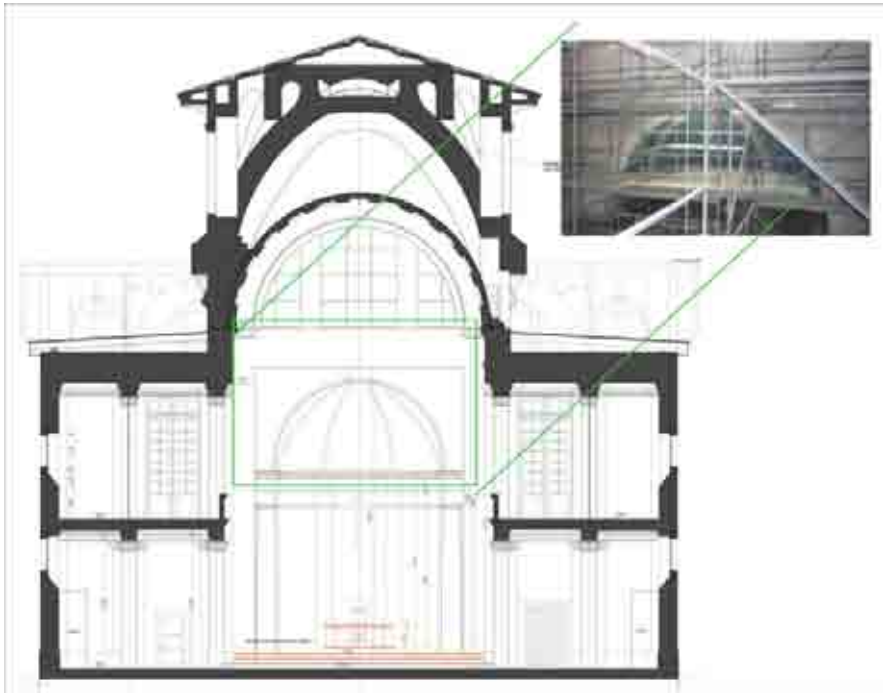
Metallträger bzw. Band auf der betrachteten Fläche

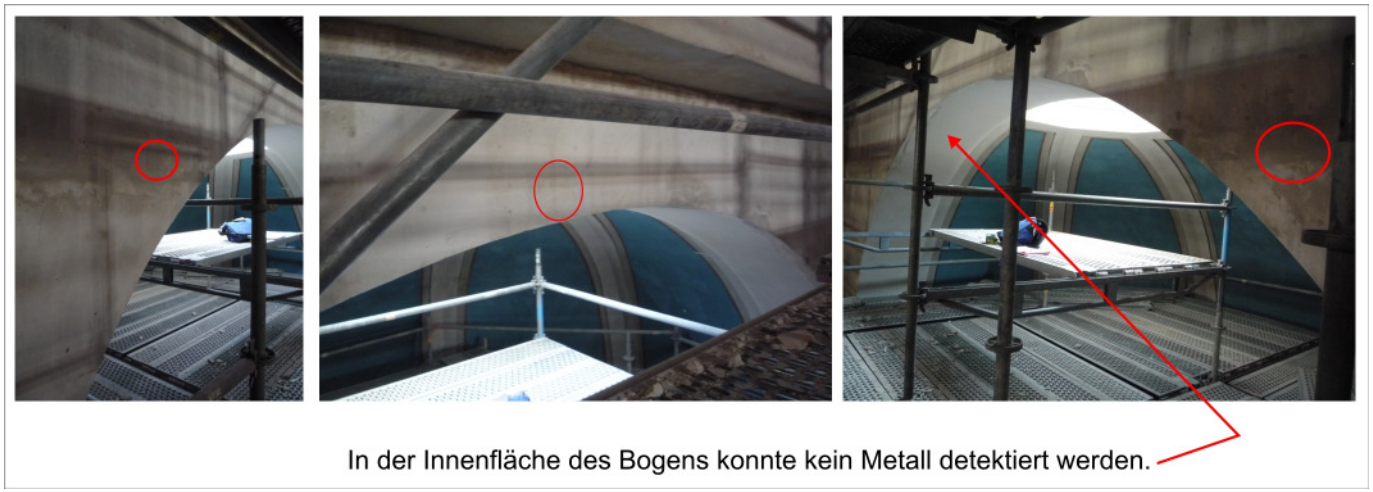
F_N_11


Nord
West
Süd
F_N_11
F_N_10
F_N_9
F_N_8
F_N_7
F_N_6
F_N_5
F_N_4
F_N_3
F_N_2
F_N_1
F_S_11
F_S_10
F_S_9
F_S_8
F_S_7
F_S_6
F_S_5
F_S_4
F_S_3
F_S_2
F_S_1

Achsen in Nord-Süd-Richtung, Flächen auf der Südseite (F_S_)





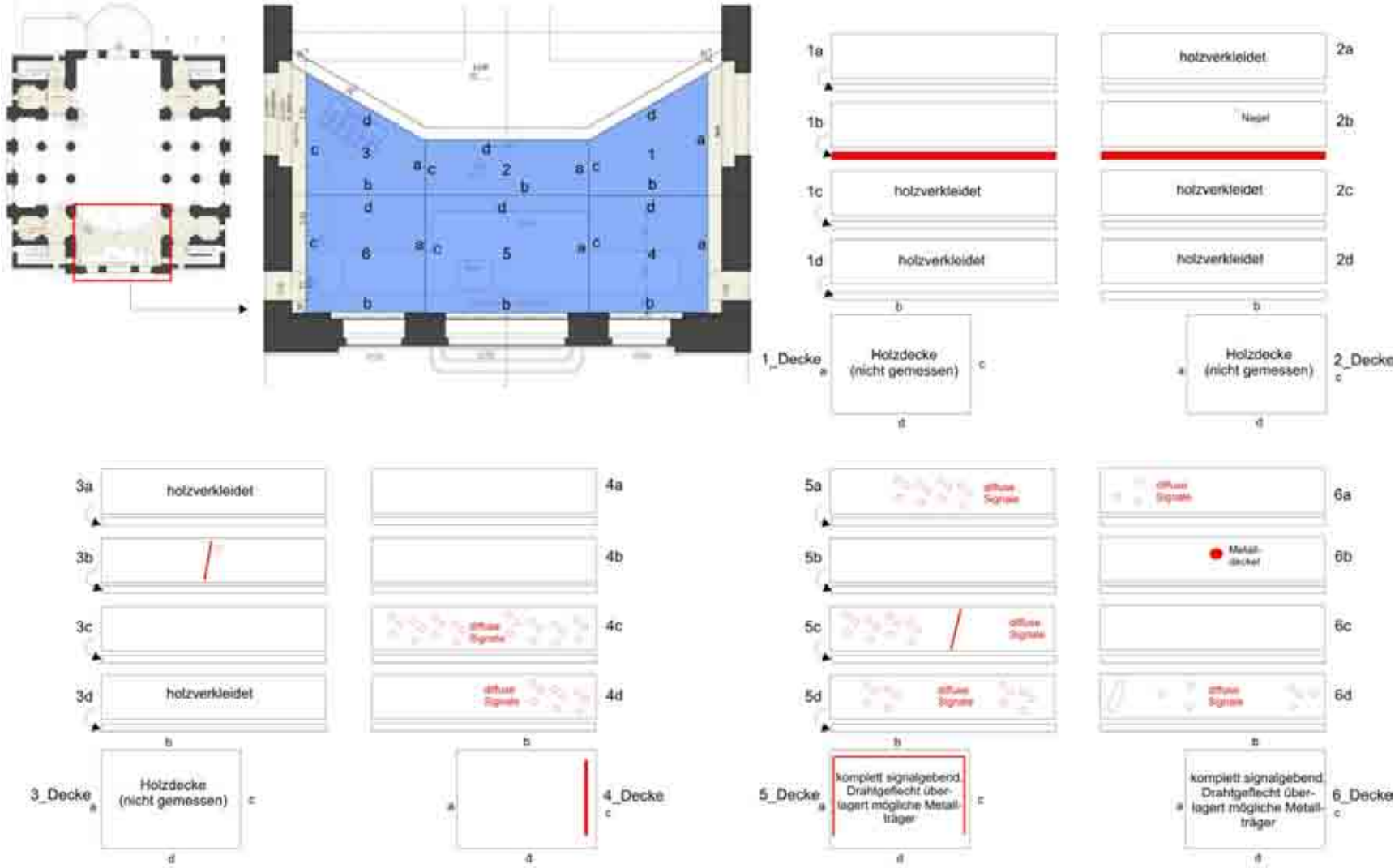

In der Innenfläche des Bogens konnte kein Metall detektiert werden.

In diesem Träger ist über die gesamte Länge und gesamte Breite durchgehend Metall detektiert worden. Entweder handelt es sich um ein breites oder zwei schmale Bänder nebeneinander. (Ostseite)

In den Trägern der Kuppel ist sehr viel Metall enthalten. z.T. ist es diffus über die gesamte Fläche verteilt, die rot gekennzeichnet ist.
(Plan vom Atelier für Architektur und Design)

Die Untersuchung des Trägers oberhalb der Säulen ergab nur ganz vereinzelte Signale, die rot gekennzeichnet sind (Photos Blick nach Osten). (Plan vom Atelier für Architektur und Design)

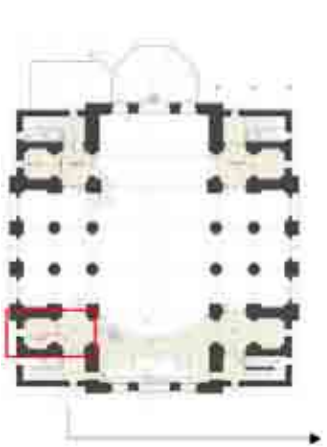
Empore

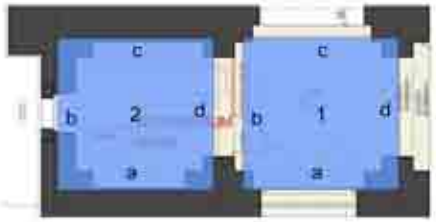


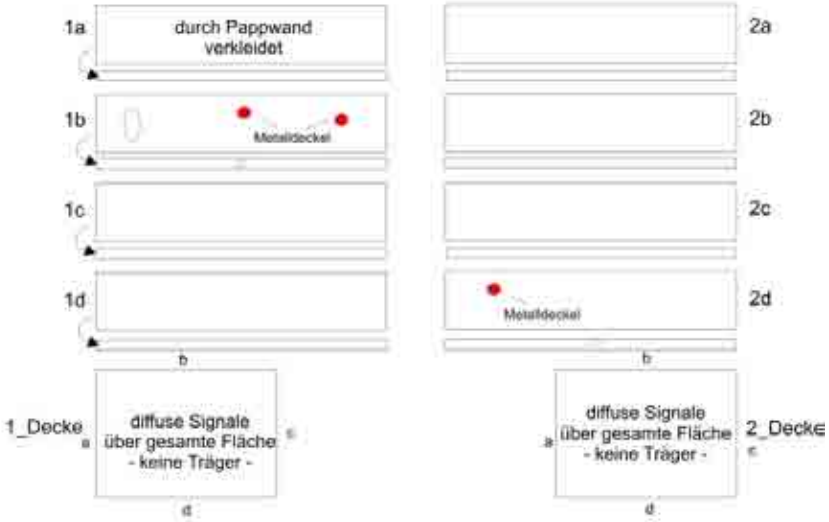
Die Holzverkleidungen enthalten Nägel und Schrauben, die die Detektion möglicher Träger behindern. Daher sind hier keine Metallteile eingezeichnet.

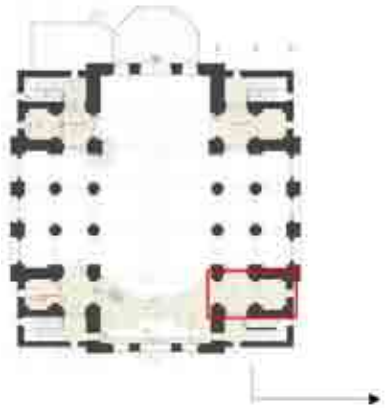
durchgehendes Signal (Metall)

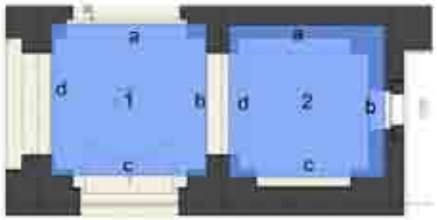
Räume nord- und südwestlich der Empore

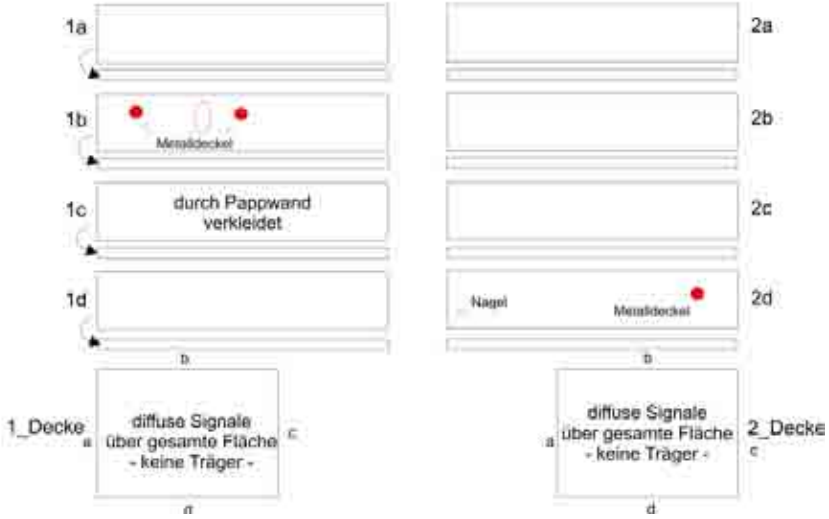




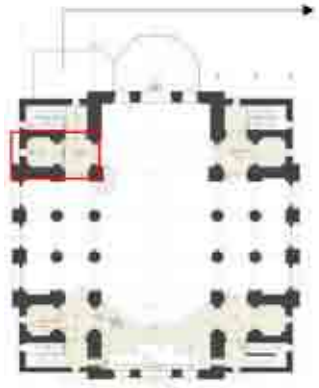


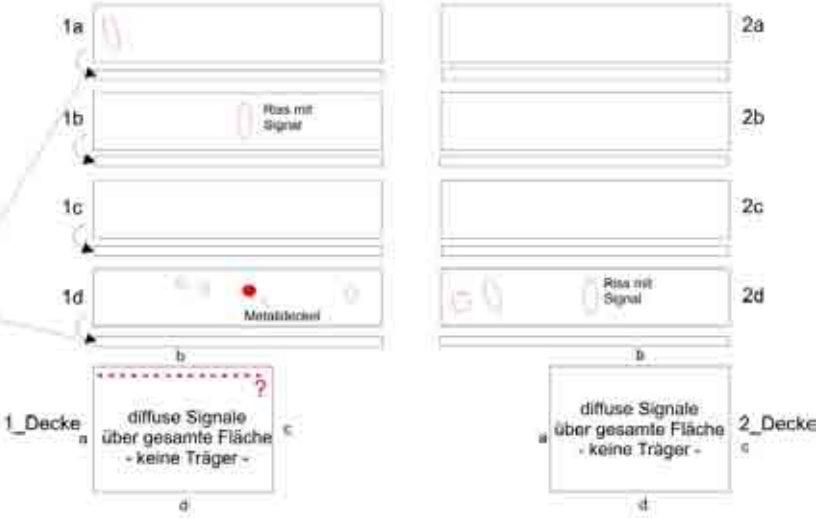


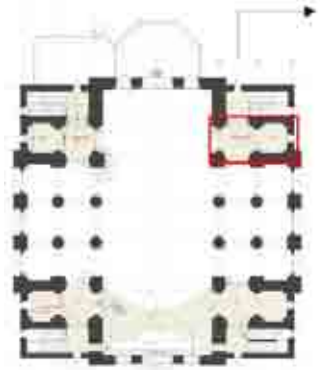


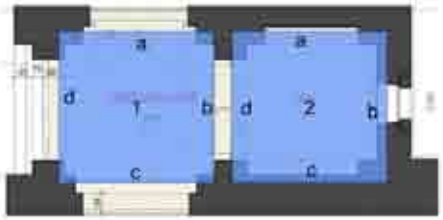


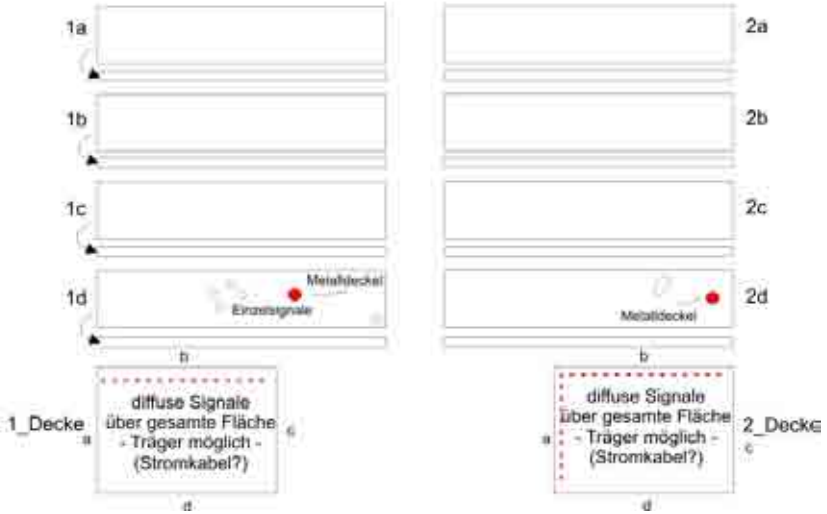
Räume nord- und südwestlich des Chores (Emporenhöhe)



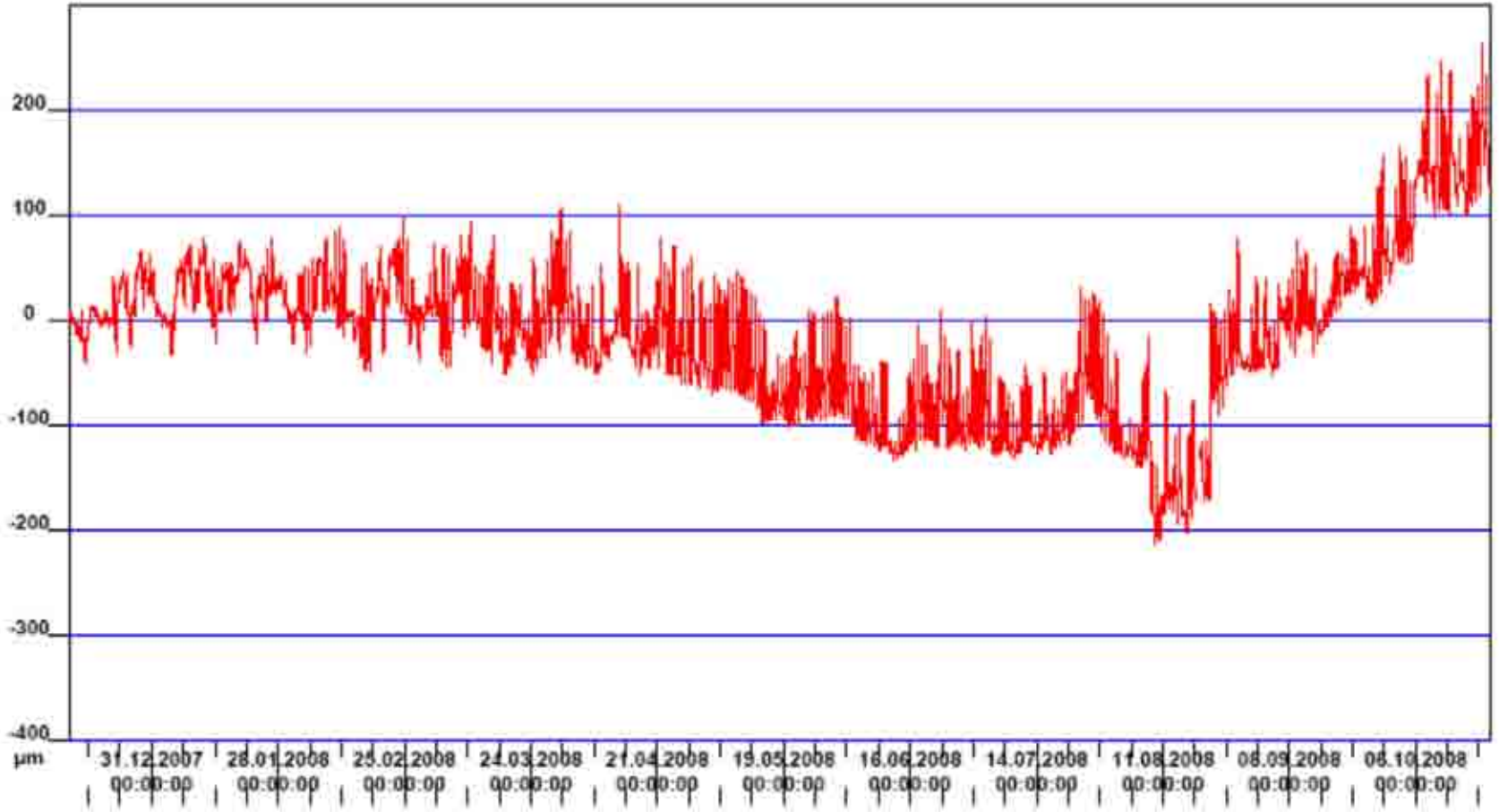






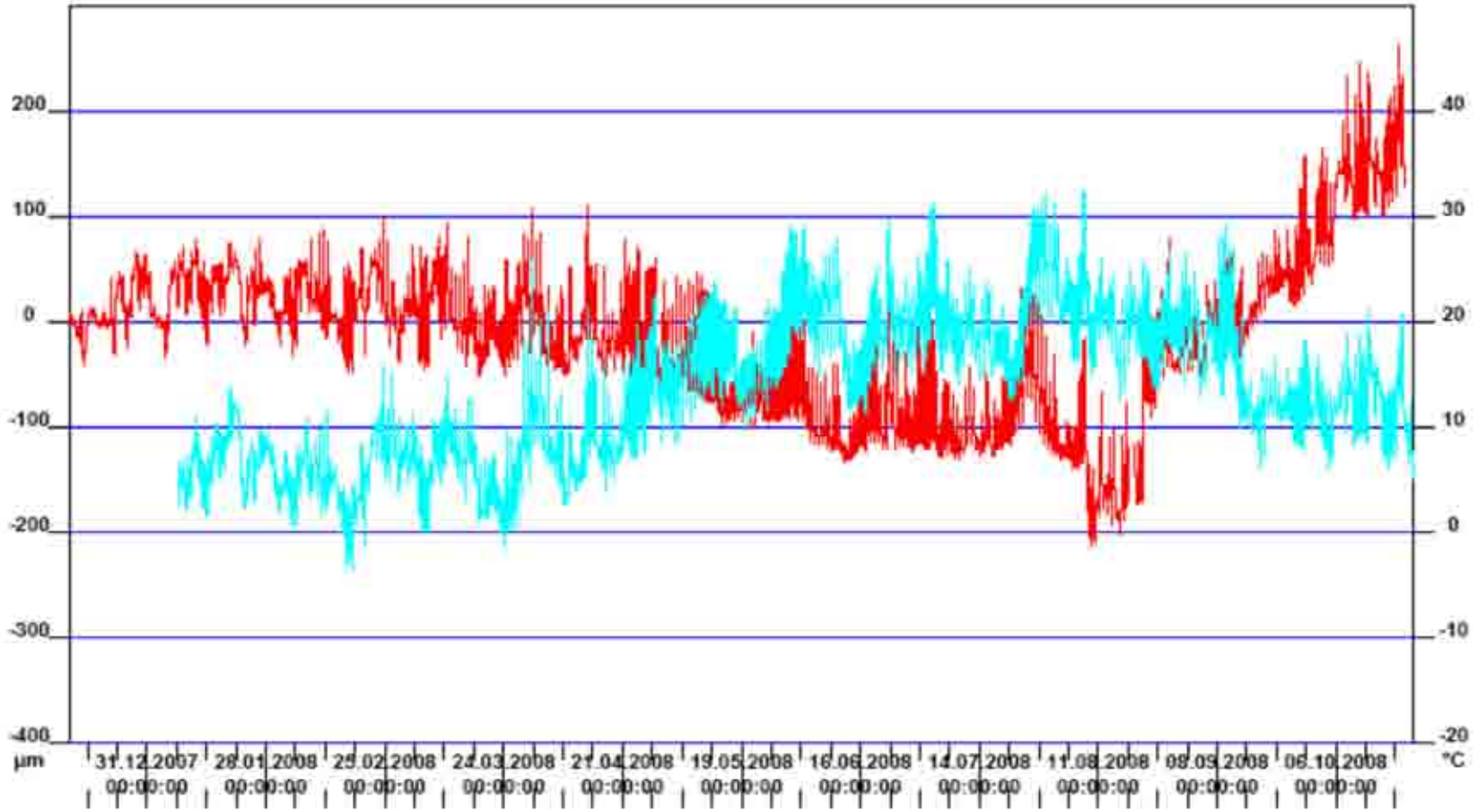


Institut für Diagnostik und Konservierung	Gerät	Seite 1/1		Min:	Max:	Mit:
Diagramm 1			K:3 [µm] µm	-213.77	109.28	-31.48
Wegaufnehmer F9 südliches Treppenhaus			K:3 [µm] µm	-173.06	263.75	45.95
positive Wertezunahme entsprechen einer Rissweitenzunahme						
negative Wertezunahme entsprechen einer Rissweitenabnahme						

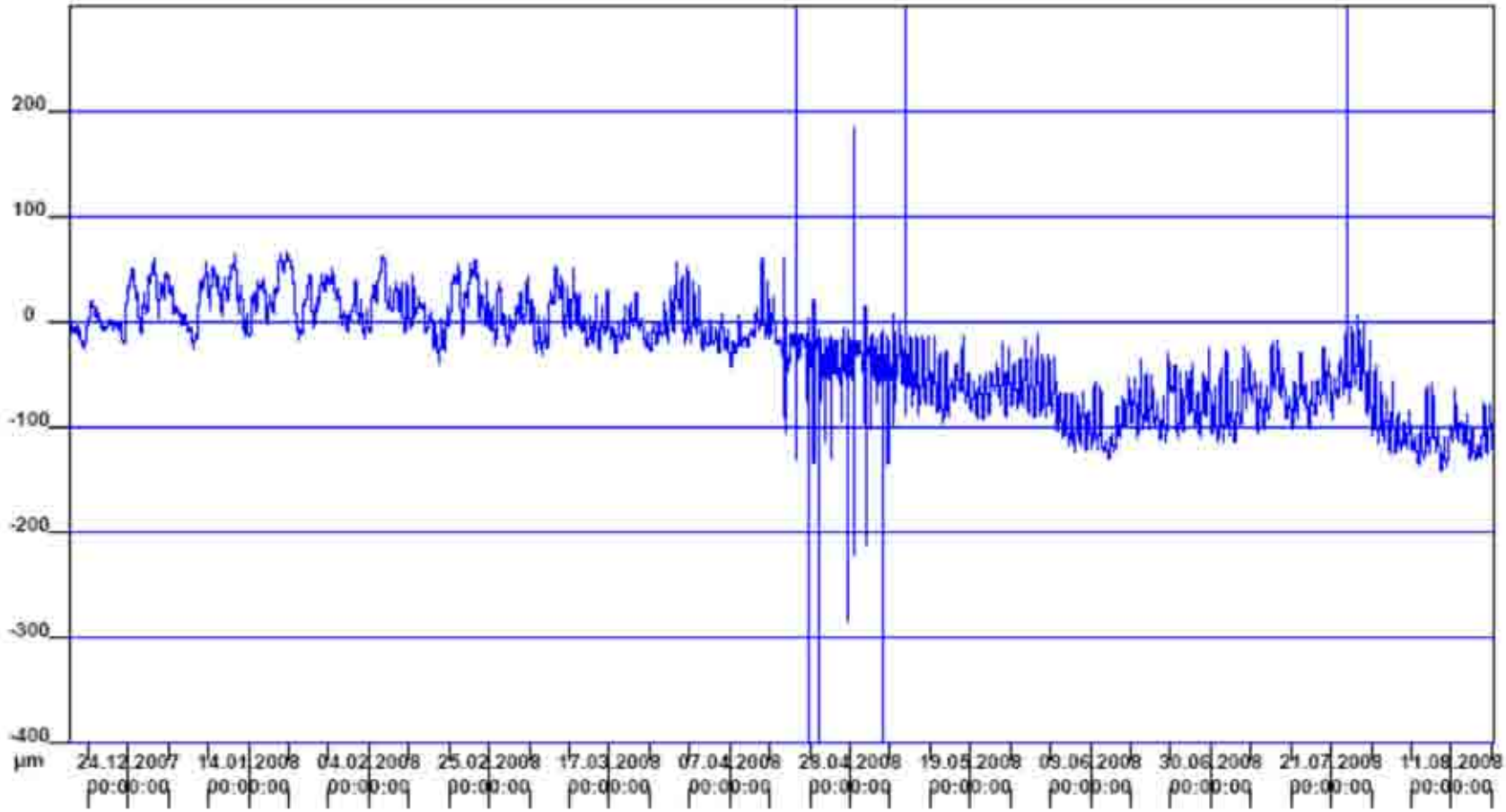


Institut für Diagnostik und Konservierung	Gerät	Seite 1/1
Diagramm 1.1		
Wegaufnehmer F9 südliches Treppenhaus [rot]		
Außenlufttemperatur [hellblau]		

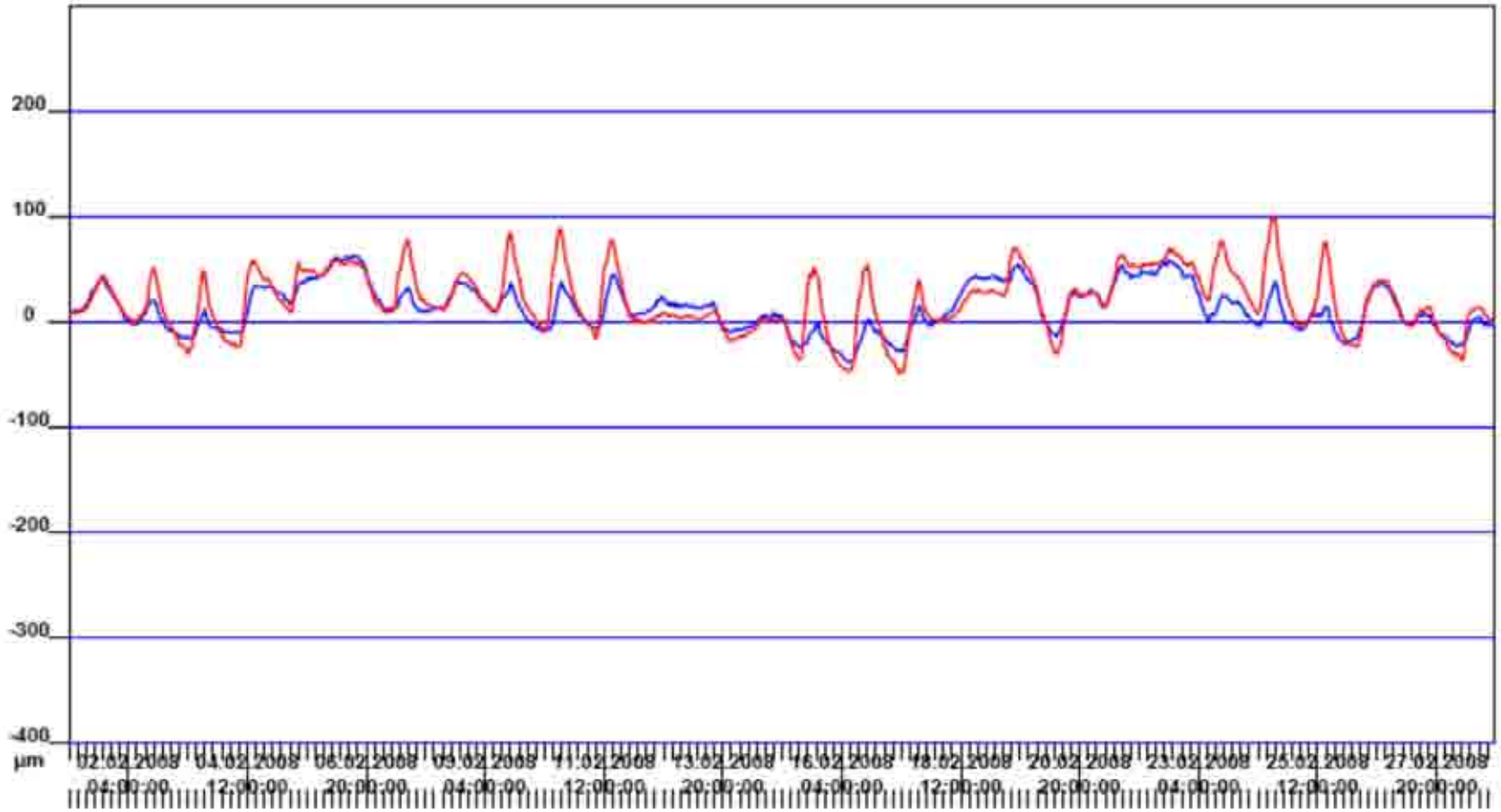
	Min:	Max:	Mit:
K:3 [µm] µm	-213.77	109.28	-31.48
K:3 [µm] µm	-173.06	263.75	45.95
K:2 [°C] Channel 2	-3.70	32.40	13.46



Institut für Diagnostik und Konservierung	Gerät	Seite 1/1		Min:	Max:	Mit:
Diagramm 2			K:3 [µm] µm	-4572276.50	619.96	-1139.76
Wegaufnehmer F7 Nordseite						
positive Wertezunahme entsprechen einer Rissweitenzunahme						
negative Wertezunahme entsprechen einer Rissweitenabnahme						

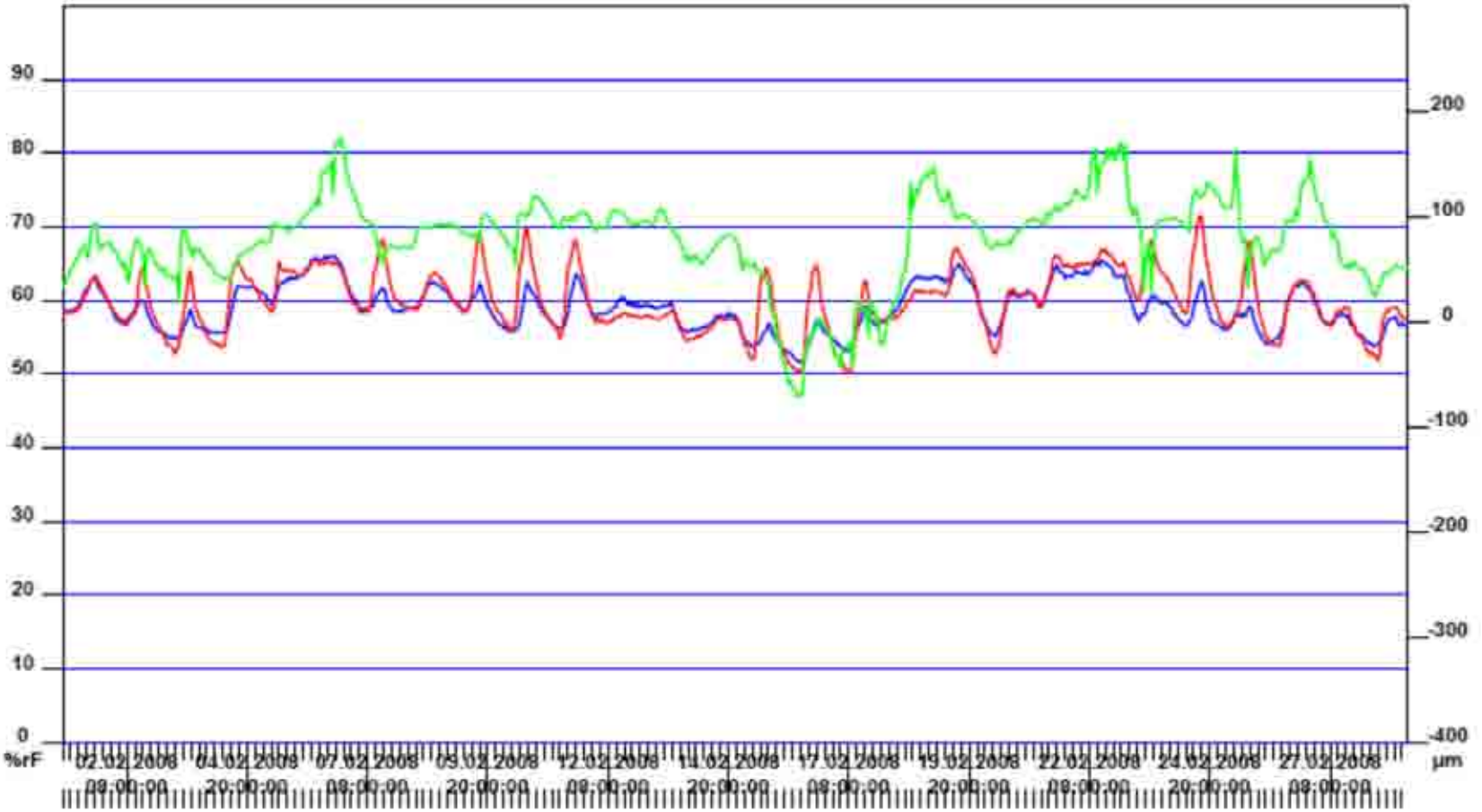


Institut für Diagnostik und Konservierung	Gerät	Seite 1/1		Min:	Max:	Mit:
Diagramm 3			K:3 [µm] µm	-38.53	63.04	13.25
Wegaufnehmer F9 südliches Treppenhaus [rot]			K:3 [µm] µm	-49.02	100.95	19.63
Wegaufnehmer F7 nördliches Treppenhaus [blau]						
positive Wertezunahme entsprechen einer Rissweitenzunahme						
negative Wertezunahme entsprechen einer Rissweitenabnahme						

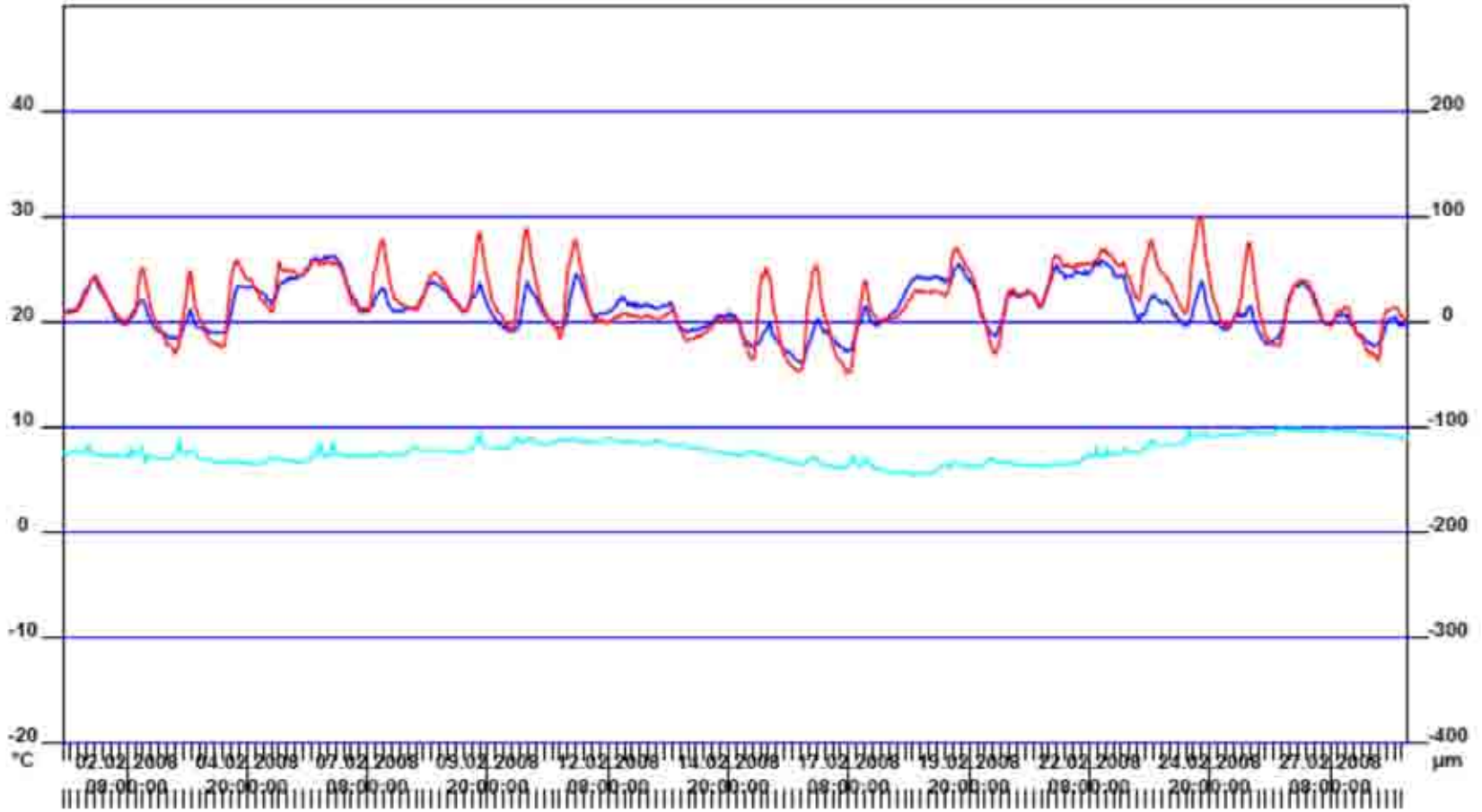


Institut für Diagnostik und Konservierung	Gerät	Seite 1/1
Diagramm 4		
Wegaufnehmer F9 südliches Treppenhaus [rot]		
Wegaufnehmer F7 nördliches Treppenhaus [blau]		
relative Raumluftfeuchte [grün]		

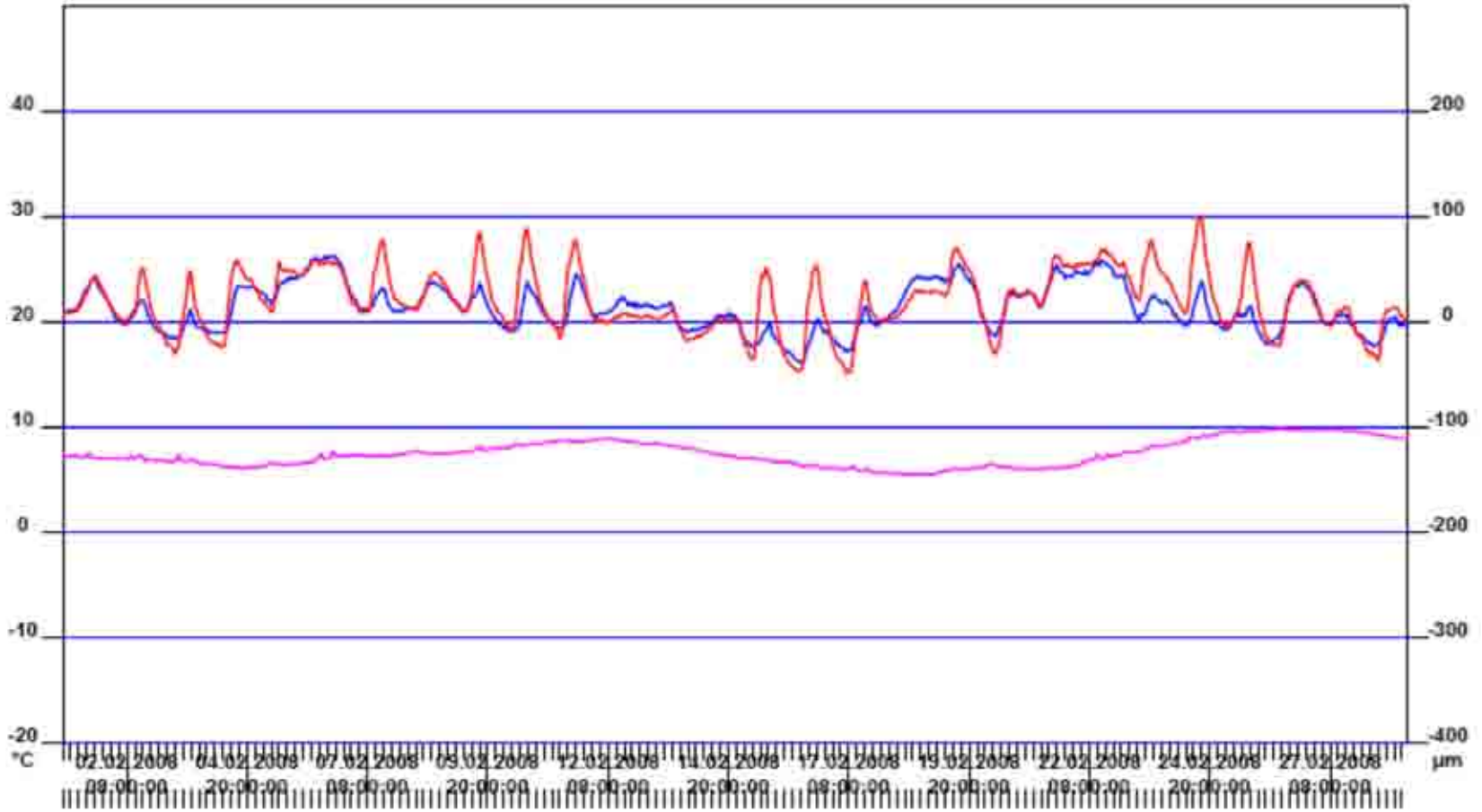
	Min:	Max:	Mit:
K:3 [µm] µm	-38.53	63.04	13.25
K:3 [µm] µm	-49.02	100.95	19.63
K:1 [%rF] Channe...	47.00	82.10	68.26



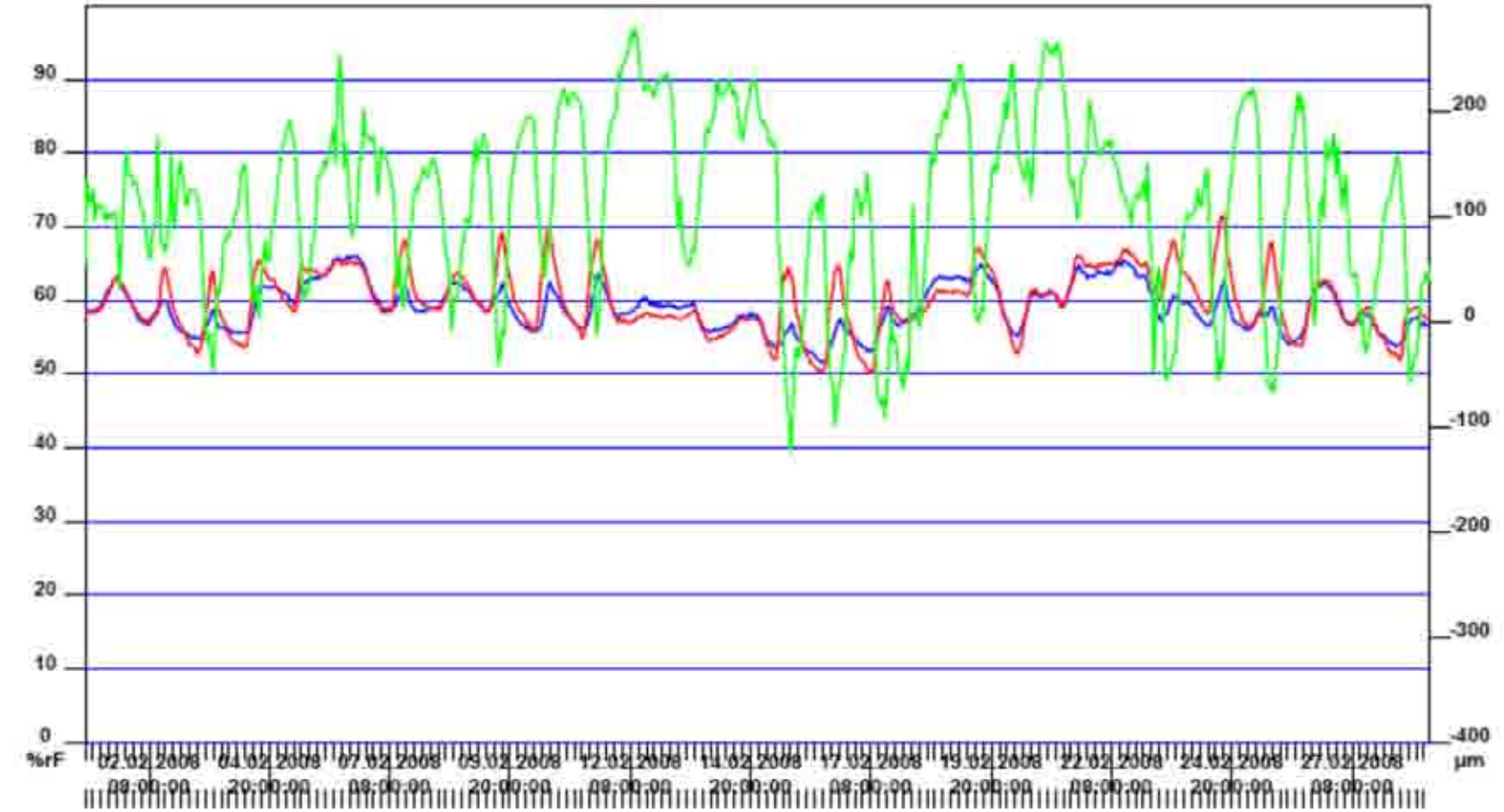
Institut für Diagnostik und Konservierung	Gerät	Seite 1/1		Min:	Max:	Mit:
Diagramm 5			K:3 [µm] µm	-38.53	63.04	13.25
Wegaufnehmer F9 südliches Treppenhaus [rot]			K:3 [µm] µm	-49.02	100.95	19.63
Wegaufnehmer F7 nördliches Treppenhaus [blau]			K:2 [°C] Channel 2	5.40	9.90	7.68
Raumlufttemperatur [hellblau]						



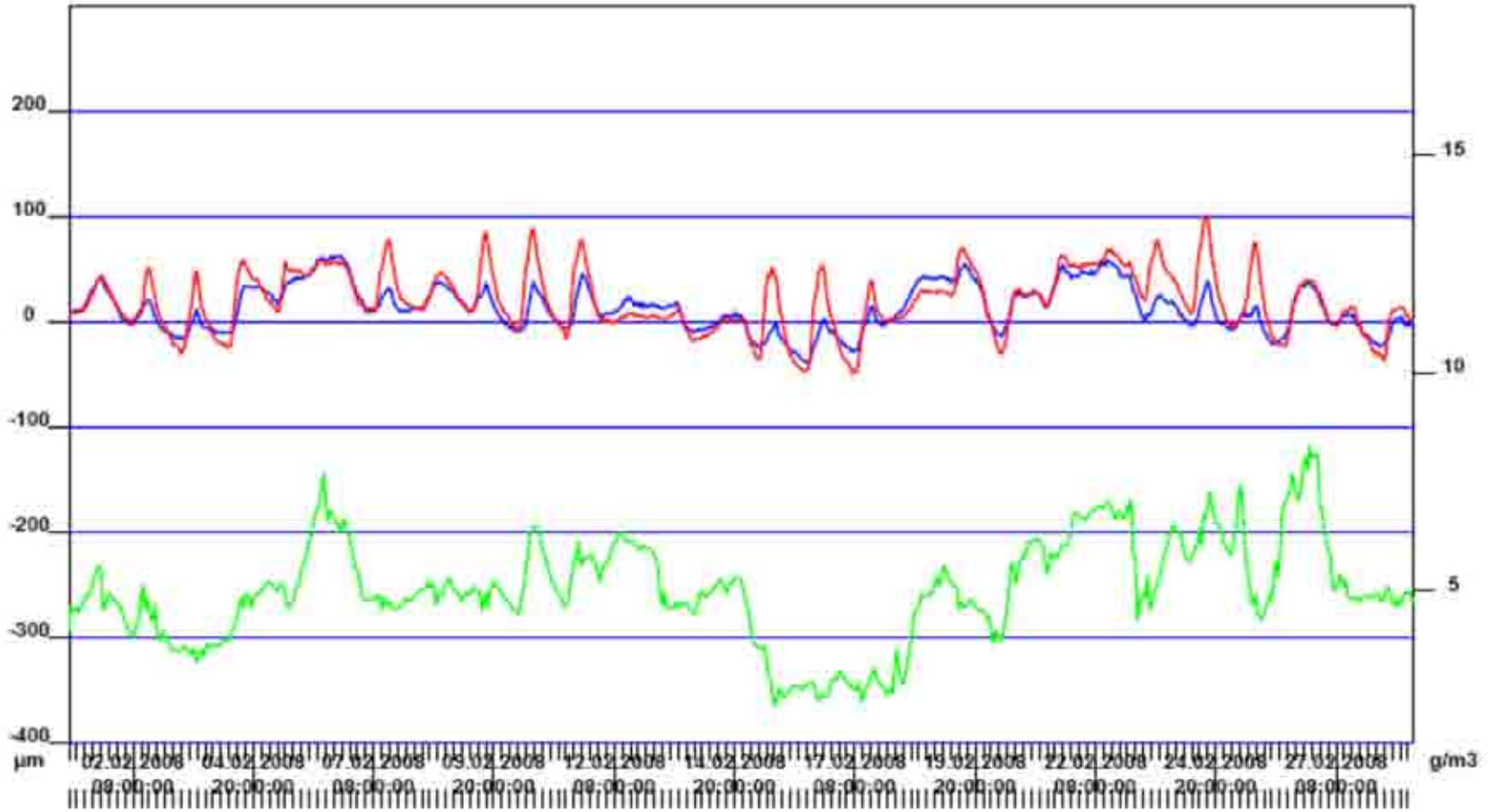
Institut für Diagnostik und Konservierung	Gerät	Seite 1/1		Min:	Max:	Mit:
Diagramm 6			K:3 [µm] µm	-38.53	63.04	13.25
Wegaufnehmer F9 südliches Treppenhaus [rot]			K:3 [µm] µm	-49.02	100.95	19.63
Wegaufnehmer F7 nördliches Treppenhaus [blau]			K:3 [°C] Channel 4	5.40	9.90	7.47
Wandoberflächentemperatur [lila]						



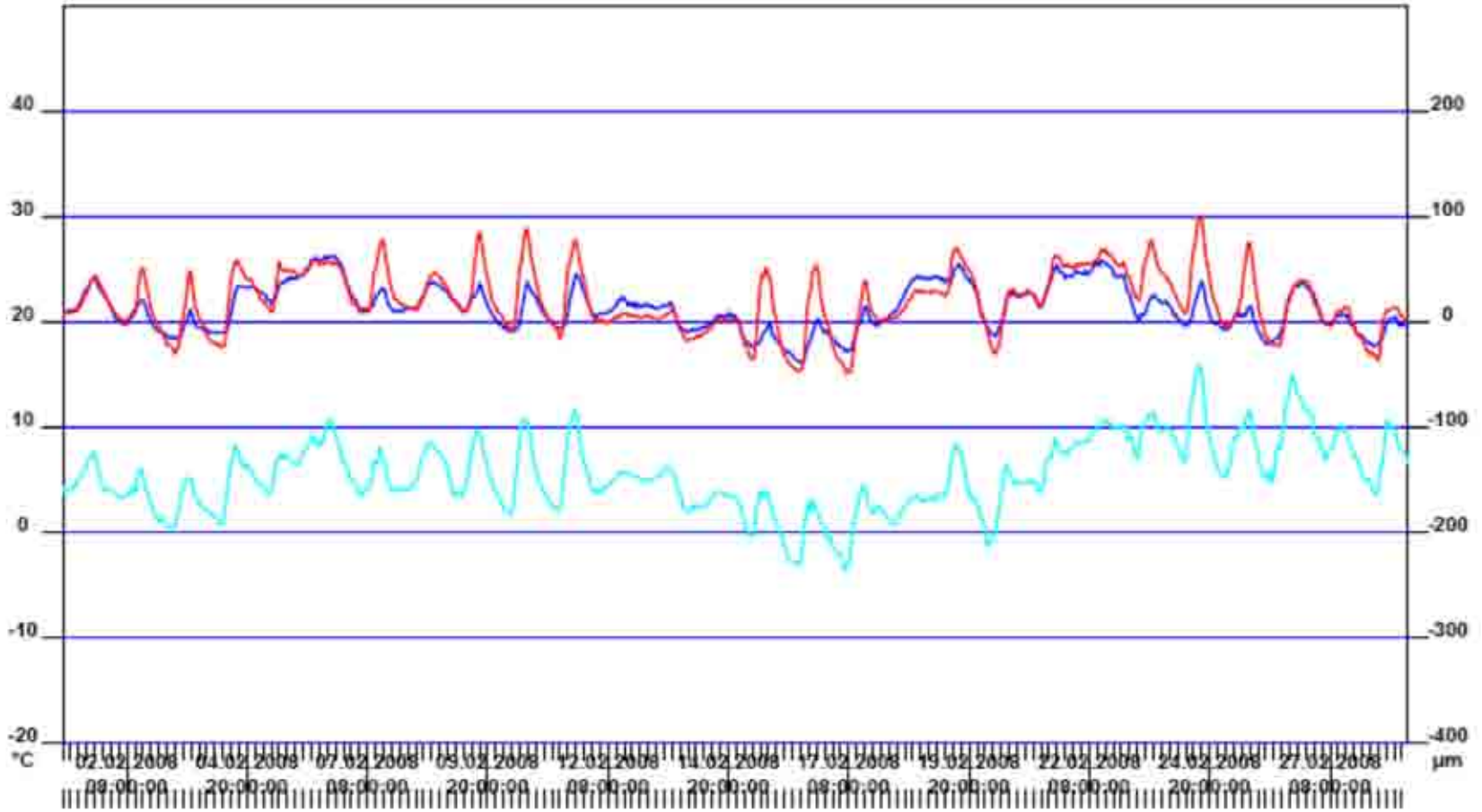
Institut für Diagnostik und Konservierung	Gerät	Seite 1/1		Min:	Max:	Mit:
Diagramm 7			K:3 [µm] µm	-38.53	63.04	13.25
Wegaufnehmer F9 südliches Treppenhaus [rot]			K:3 [µm] µm	-49.02	100.95	19.63
Wegaufnehmer F7 nördliches Treppenhaus [blau]			K:1 [%rF] Channe...	39.20	97.00	73.09
relative Außenluftfeuchte [grün]						



Institut für Diagnostik und Konservierung	Gerät	Seite 1/1		Min:	Max:	Mit:
Diagramm 8			K:3 [µm] µm	-38.53	63.04	13.25
Wegaufnehmer F9 südliches Treppenhaus [rot]			K:3 [µm] µm	-49.02	100.95	19.63
Wegaufnehmer F7 nördliches Treppenhaus [blau]			K:3 [g/m3] g/m3	2.34	8.34	5.03
absolute Außenluftfeuchte [grün]						

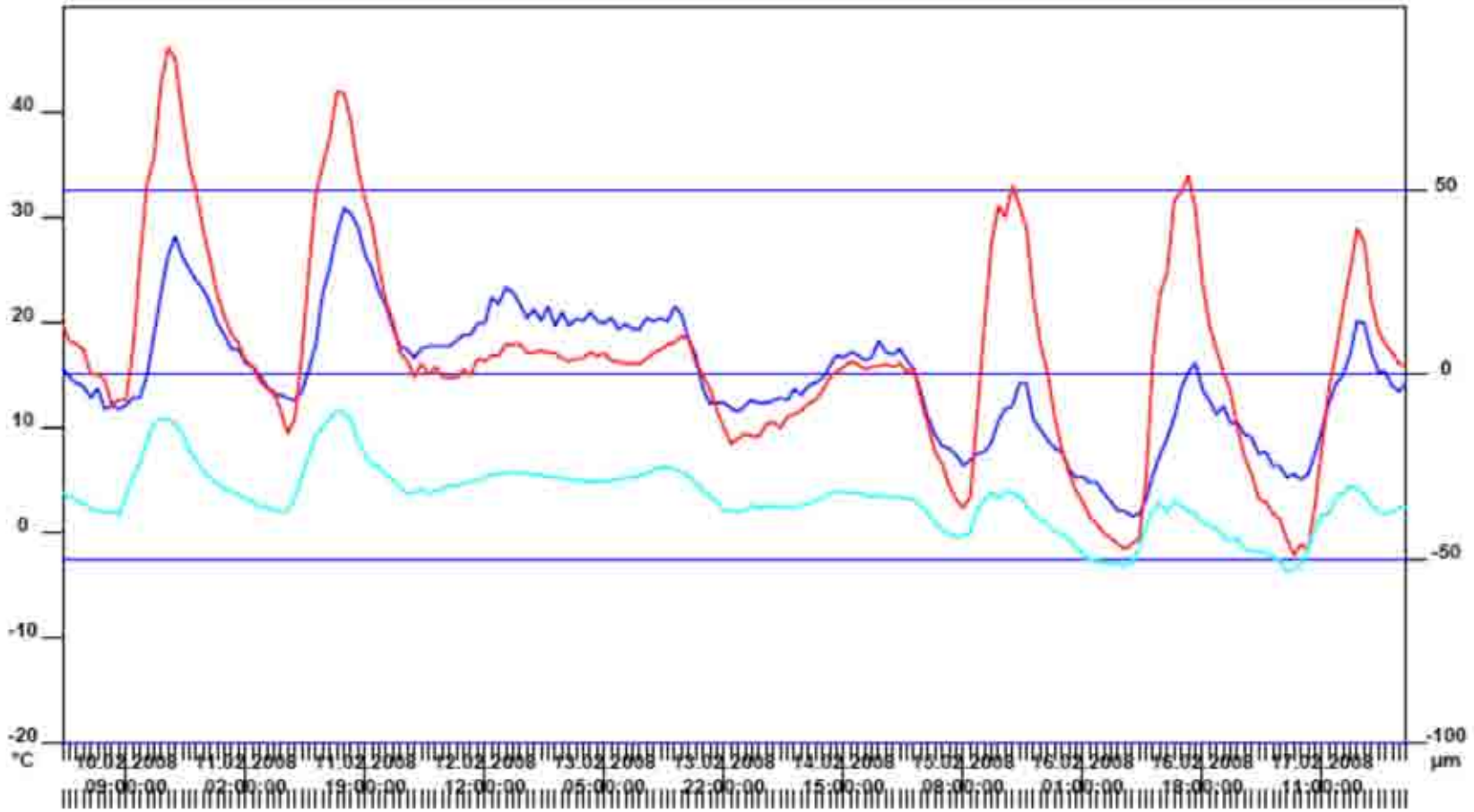


Institut für Diagnostik und Konservierung	Gerät	Seite 1/1		Min:	Max:	Mit:
Diagramm 9			K:3 [µm] µm	-38.53	63.04	13.25
Wegaufnehmer F9 südliches Treppenhaus [rot]			K:3 [µm] µm	-49.02	100.95	19.63
Wegaufnehmer F7 nördliches Treppenhaus [blau]			K:2 [°C] Channel 2	-3.70	15.90	5.44
Außenlufttemperatur [hellblau]						

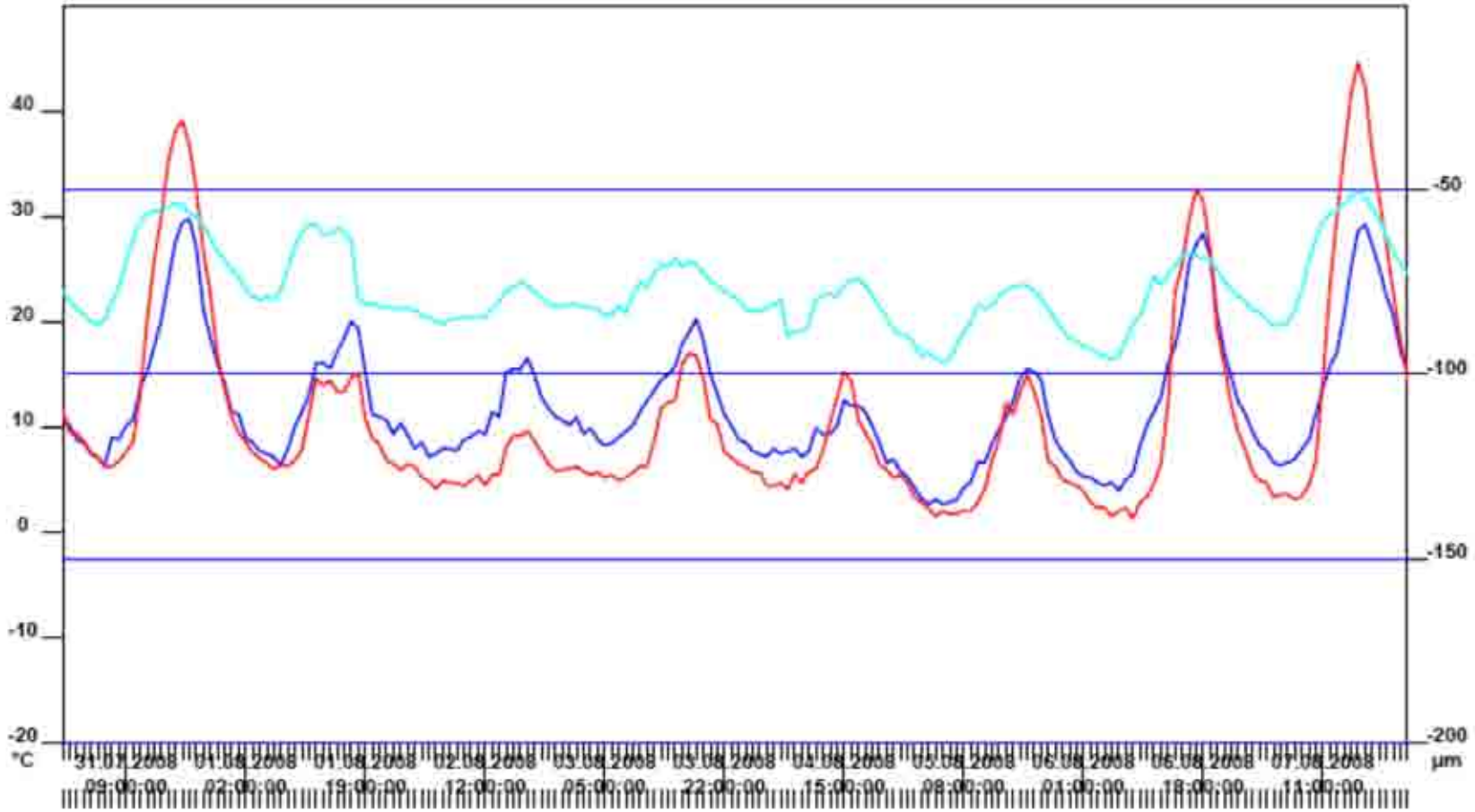


Institut für Diagnostik und Konservierung	Gerät	Seite 1/1
Diagramm 10		
Wegaufnehmer F9 südliches Treppenhaus [rot]		
Wegaufnehmer F7 nördliches Treppenhaus [blau]		
Außenlufttemperatur [hellblau]		
Zeitraum 10. bis 17.02.2008		

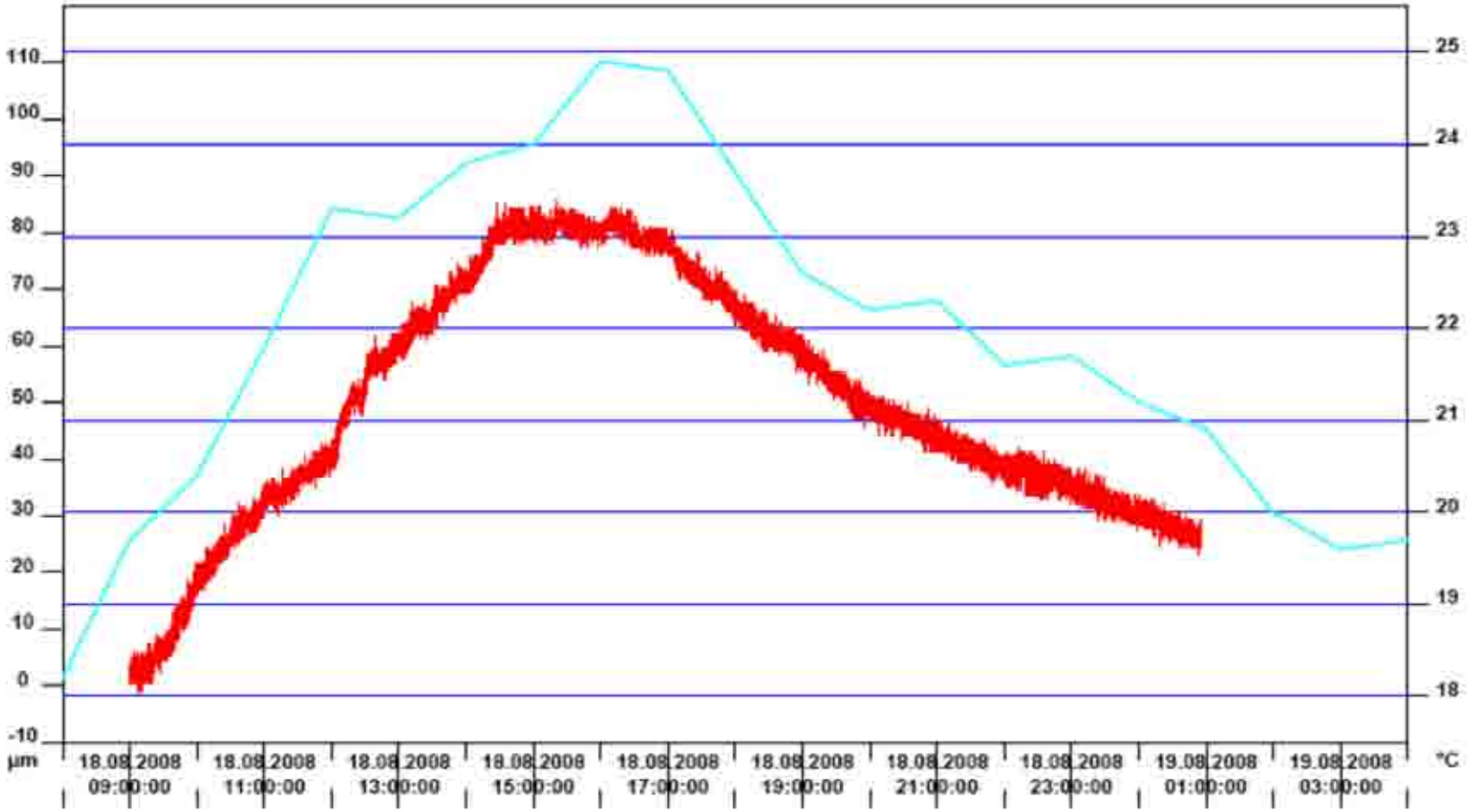
	Min:	Max:	Mit:
K:3 [µm] µm	-38.53	45.42	-0.15
K:3 [µm] µm	-49.02	88.90	4.90
K:2 [°C] Channel 2	-3.70	11.60	3.26

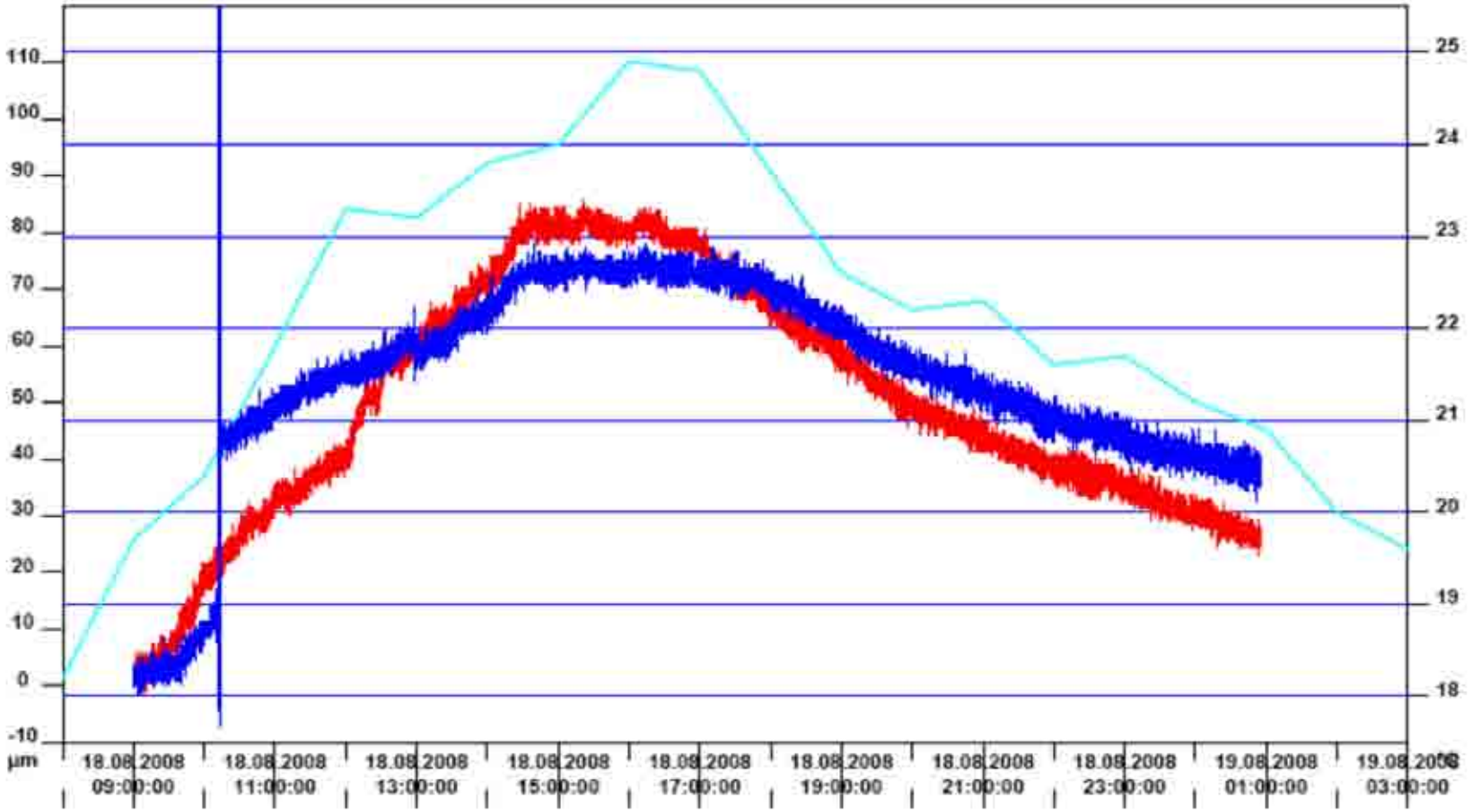


Institut für Diagnostik und Konservierung	Gerät	Seite 1/1		Min:	Max:	Mit:
Diagramm 11			K:3 [µm] µm	-135.38	-57.78	-108.60
Wegaufnehmer F9 südliches Treppenhaus [rot]			K:3 [µm] µm	-139.31	-15.30	-112.05
Wegaufnehmer F7 nördliches Treppenhaus [blau]			K:2 [°C] Channel 2	16.20	32.40	23.11
Außenlufttemperatur [hellblau]						
Zeitraum: 31.07. bis 07.08.2008						



Institut für Diagnostik und Konservierung	Gerät	Seite 1/1		Min:	Max:	Mit:
Diagramm 12			K:3 [µm] µm	-0.83	85.58	50.26
Untersuchung der Rissbewegung im Südlichen Treppenhaus [rot] mit einem Messtakt von zwei Sekunden auf Einflüsse durch verkehrsbedingte Schwingungen am Tag und in der Nacht im Vergleich mit dem Außentemperaturverlauf [hellblau].			K:2 [°C] Channel 2	18.20	24.90	21.89



Institut für Diagnostik und Konservierung	Gerät	Seite 1/1
Diagramm 13		
Untersuchung der Rissbewegung im Südlichen Treppenhaus [rot] und im nördlichen Teil [blau]mit einem Messtakt von zwei Sekunden auf Einflüsse durch verkehrsbedingte Schwingungen am Tag und in der Nacht im Vergleich mit dem Außentemperaturverlauf [hellblau].		

	Min:	Max:	Mit:
K:3 [µm] µm	-0.83	85.58	50.26
K:2 [°C] Channel 2	18.20	24.90	22.00
K:3 [µm] µm	-11894.21	119.48	53.46