



Bundesverband
Feuchte & Altbausanierung e.V. [Hrsg.]

Schützen und Erhalten – mit Sachverstand und Handwerkskunst

Tagungsband

der 31. Hanseatischen Sanierungstage
4. bis 6. November 2021

Lübeck

Fraunhofer IRB  Verlag

BuFAS[®]



WEBAC – wenn's wirklich dicht sein muss.

Seit über 40 Jahren vertrauen unsere Kunden auf die Qualität unserer Produkte zur Bauwerksabdichtung.

Unsere Formel – Ihre Lösung.

WEBAC®

Bauchemische Produkte



www.webac.de

Triflex – mehr als Flüssigkunststoff. Durch Direktvertrieb ausschließlich an qualifizierte Handwerksbetriebe stellen wir sicher, dass unsere Triflex-Qualität auch vom verarbeitenden Unternehmen mitgetragen wird. Triflex-Fachberater stehen unseren Kunden jederzeit mit Know-how und technischem Support zur Seite. Durch die Unterstützung unserer Anwendungstechnik vor Ort wird auch ihr Projekt zum Erfolg.

Triflex
Gemeinsam gelöst.

TRIFLEX
FLÜSSIGKUNSTSTOFF-
ABDICHTUNGEN
FÜR BALKONE,
DÄCHER,
PARKDECKS.



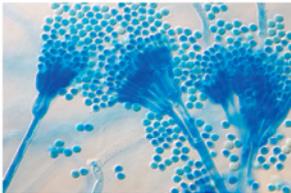
www.triflex.com



Ihr Laborpartner bei
Feuchteschäden in
Gebäuden

www.umweltmykologie.de

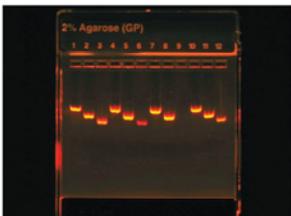
Wir unterstützen Ihre Arbeit durch Analysen auf Schimmelpilze, Hefen, Bakterien und holzerstörende Pilze



Mikroskopische Untersuchungen



Kultivierungsuntersuchungen



Molekularbiologische Methoden



Biochemische Methoden

Mehr als nur Laboranalytik ...

- Lieferung von Nährmedien
- Folien-Test-Streifen
- Geräteausleihe
- Berichte mit qualifizierter elektronischer Signatur per E-Mail
- zahlreiche Fortbildungsveranstaltungen
- kompetente Beratung u.v.m.

Umweltmykologie GmbH

Kelchstraße 21
12169 Berlin

T 030 391 05 335 oder 030 690 04 420

F 030 391 05 336

mail@umweltmykologie.de



Erhalten historischer Bauwerke e. V.

**Wir wollen zur Erhaltung und zur Pflege
unseres kulturellen Erbes
einen aktiven Beitrag leisten.**

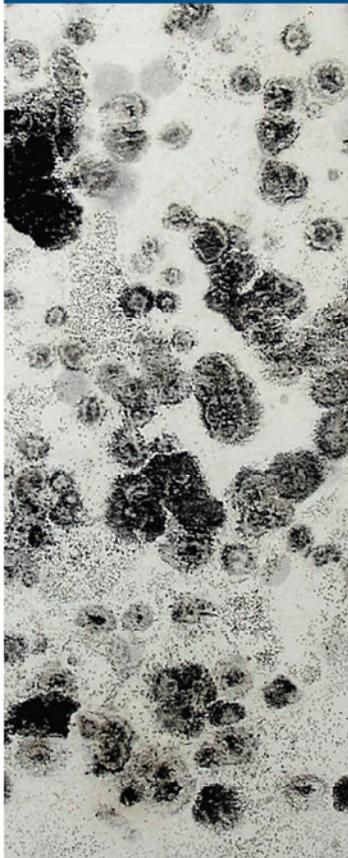
**Im Mittelpunkt unserer Aktivitäten
stehen die Denkmalpflege und die
Bewahrung historischer Bauwerke
sowie orts- und landschaftsprägender
Ensembles.**

**Wir veranstalten Praxisseminare
sowie Tagungen und sind
Herausgeber von Fachliteratur.**

**Der Verein verfolgt anerkannt ausschließlich
und unmittelbar gemeinnützige Zwecke.**

**www.erhalten-historischer-bauwerke.de
info@erhalten-historischer-bauwerke.de**

Schimmelpilze,
Feuchteschäden



Holzerstörende
Organismen



Gebäude-
schadstoffe



Beratung · Probenuntersuchung · Ursachenermittlung
Schadstoffkataster · Gutachten · Konzepte · Freimessungen



Institut für Schädlingsanalyse
Dr. Martin Strohmeyer

Schützen und Erhalten – mit Sachverstand und Handwerkskunst

Tagungsband der 31. Hanseatischen Sanierungstage

BuFAS e. V.

2021

BuFAS e. V.

Schützen und Erhalten – mit Sachverstand und Handwerkskunst

Tagungsband der 31. Hanseatischen Sanierungstage

2021

Fraunhofer IRB Verlag

Herausgeber: Bundesverband Feuchte & Altbausanierung e.V. (BuFAS)
Anschrift: Dorfstr. 5, 18246 Groß Belitz
Tel.: +49 (0) 38466 339816
Fax: +49 (0) 38466 339817
E-Mail: post@bufas-ev.de
Web: www.bufas-ev.de

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über www.dnb.de abrufbar.

ISBN (Print): 978-3-7388-0536-9

ISBN (E-Book): 978-3-7388-0537-6

Redaktion: Dipl.-Ing. (FH) Detlef Krause
Dorfstr. 5, 18246 Groß Belitz
Titelbild: Dipl.-Ing. (FH) Detlef Krause
Dorfstr. 5, 18246 Groß Belitz
Druck und Bindung: AZ Druck und Datentechnik GmbH, Kempten

Alle Rechte vorbehalten.

Dieses Werk ist einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung des Fraunhofer IRB Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Speicherung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen und Handelsnamen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass solche Bezeichnungen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und deshalb von jedermann benutzt werden dürften.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z. B. DIN, VDI, VDE) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert werden, kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

© by Fraunhofer IRB Verlag, 2021

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB

Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart

Telefon +49 7 11 9 70 -25 00

Telefax +49 7 11 9 70 -25 08

irb@irb.fraunhofer.de

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	9
<i>Constanze Messal</i>	
Grußwort	11
<i>Gero Hebeisen</i>	
Lübeck – die Stadt der Sieben Türme	15
<i>Deike Möller</i>	
Instandsetzungs- und Sanierungsmaßnahme der Kirche St. Marien Lübeck	27
<i>Dirk Behrens</i>	
Praxistest für die Denkmalpflege – Solardachsteine	39
<i>Harald Garrecht, David Oexle, Christian Sladakovic, Luka Lacković, Simone Reeb, Lena Teichmann, Christiane Ditzen, Christian Baumert</i>	
Statische Sanierungsmaßnahmen unter dem Gesichtspunkt des Gebäude-Lebenszyklus	61
<i>Andreas Kolbitsch</i>	
Schöner Schein? Zustandsbeurteilung von Natursteinmauerwerk	75
<i>Gabriele Patitz</i>	
Konzepte für Fugen- und Injektionsmörtel	95
<i>Petra Egloffstein</i>	
Belastungsversuche an gemauerten Bauwerken	111
<i>Marc Gutermann</i>	

Statische Sicherung der einsturzgefährdeten Nordmauer der Bertholdsburg in Schleusingen _____	127
<i>Ronald Betzold</i>	
Bauweisen, Schäden und Sanierung von Hänge- und Sprengwerken _____	143
<i>Ekkehard Flohr</i>	
Schäden an Pfahljochbrücken im Wasser – eine Bestandsanalyse _____	163
<i>Matthias Ruhnke, Claudia von Laar</i>	
Flachdächer in Holzbauweise – unbelüftet und doch schadensfrei _____	179
<i>Erik Preuß</i>	
Glas im konstruktiven Ingenieurbau – Instandsetzung, Restaurierung und technischer Umbau der Stahl-Glas-Fassaden der Neuen Nationalgalerie Berlin _____	193
<i>Martin Hurtienne</i>	
Sanierung von denkmalgeschützten Dachtragwerken am Beispiel des Pergamonmuseums Berlin _____	223
<i>Reyk Höhne</i>	
Schwingungsbasierte Bestimmung der Beanspruchung von Eisen- und Stahlfachwerkkonstruktionen _____	239
<i>Mai Häßler, Volkmar Zabel</i>	
Graffitienschutz auf Beton _____	253
<i>Sandra Jäntsich, Claudia von Laar, Henning Bombeck</i>	
U-Wert Messung am Objekt – wissenschaftliche Erkenntnisse aus dem Forschungsprojekt «Rapid-U» _____	271
<i>Christoph Sprengard, Marita Klempnow</i>	
Validierung von Simulationskomponenten mittels Messergebnissen für die Entwicklung von regenerativen Energiekonzepten in IDA ICE _____	295
<i>Veronika Schulz</i>	

Softwarebasierte Lösungsansätze vom Laserscanning zum BIM-fähigen CAD-Modell _____	309
<i>Benedikt Geier, Sylvia Stürmer</i>	
Digitalisierung von Bestandsbauten _____	331
<i>Sebastian Mattes, Sylvia Stürmer</i>	
Baugebundene Kunst in Cottbus – Umgang mit dem Erbe der DDR _____	347
<i>Nora Wiedemann</i>	
Automatisierte bildbasierte Erkennung des Gebäudealters _____	359
<i>Alexander Benz</i>	
Brettstapeldecken aus Dübelholz – die ökologische, aber auch die aussteifende Deckenvariante? _____	373
<i>Elisabeth Erbes, Thomas Bittermann</i>	
WTA-Merkblatt «Schimmel auf Holz» _____	395
<i>Judith Meider, Ulrich Arnold</i>	
Wie schimmelpilzfrei muss ein Dachstuhl sein? _____	407
<i>Jochen Kern</i>	
Monitoring – Qualitätssicherung für Gebäude _____	419
<i>Pia Haun</i>	
Raumklimamonitoring von Museen und Depots in historischer Bausubstanz _____	433
<i>Günther Fleischer</i>	
Monitoringbericht – Holzfeuchtemessungen an Balkenköpfen nach energetischer Sanierung mit Innendämmung _____	445
<i>Eva Anlauff</i>	
Wassereinwirkungen aus dem Baugrund und Dränung zum Schutz baulicher Anlagen _____	457
<i>Gerhard Klingelhöfer</i>	

Erfahrung bei der Sanierung von Mauerwerk mit lehmhaltigen Mörteln am Beispiel des Amtsgerichts Plauen _____	467
<i>Stefan Schwirtz, Christof Ziegert, Jens Koch</i>	
Autorenverzeichnis _____	483
BuFAS-Mitglieder empfehlen sich _____	487

Vorwort

Liebe Leserschaft,

heute blicken Sie in einen Tagungsband, der aus vielerlei Gründen zwei Jahre brauchte, um in den gedruckten Zustand zu gelangen. Und sicher fragen Sie sich, ob ein so in die Jahre gekommener Tagungsband nun an Reife gewonnen oder seinen Zenit überschritten hat. Ganz klar, das Erstere ist der Fall. Denn das Schöne am Bauen im Bestand ist seine Zeitlosigkeit. Bauen im Bestand bedeutet die Verantwortung für das (Bau)Werk der vorangegangenen Generationen zu übernehmen und es zukunftsfähig an die Nachkommenschaft zu übergeben.

Deshalb widmen wir uns in diesem Tagungsband dem Bauen im Bestand, insbesondere mit Fokus auf Stahl, Stein und Holz. Sie werden lesen, wie anspruchsvolle Konzepte entwickelt und umgesetzt wurden, um z. B. die Neue Nationalgalerie oder das Pergamonmuseum sanieren zu können. Sie werden auch erfahren, wie historische Gebäude energetisch modernisiert werden können. Was zu beachten ist, wenn Stahlkonstruktionen zu schwingen beginnen. Oder wie Flachdächer schadensfrei konstruiert werden können.

Besonders umfangreich und vielfältig ist in diesem Jahr nachzulesen, was der Nachwuchs zum Thema Bauen im Bestand beiträgt. Nun bringt es die zweijährige Verzögerung mit sich, gleich fünf Preisträger vorstellen zu dürfen. Darunter erstmals ein Sonderpreis für die Auseinandersetzung mit dem aus den Augen verlorenen Baukunst der DDR.

Abschließen wird die Lektüre, und ich hoffe, Sie sind noch mit Eifer dabei, mit der Vorstellung eines neuen, interdisziplinär erarbeiteten Merkblatts über Schimmel auf Holz und was dessen Umsetzung aus juristischer Sicht für Konsequenzen haben kann.

Auf eine spannende und lehrreiche Unterhaltung!

Constanze Messal

Vorstandsmitglied des BuFAS

Grußwort

Sehr geehrte Teilnehmerinnen und Teilnehmer,
sehr geehrte Kolleginnen und Kollegen,

nach dem die Hanseatischen Sanierungstage nach einem Jahr des Aussetzens wegen der vorherrschenden Pandemie in diesem Jahr wieder stattfinden können, habe ich die große Freude, heute an Sie ein Grußwort zu richten. Die Hanseatischen Sanierungstage sind mit ihrer langjährigen Tradition zu einer renommierten und anerkannten Fachveranstaltung in der Branche Bauen im Bestand geworden.

Die 31. Hanseatischen Sanierungstage haben sich diesmal das sehr spannende und vielfältige Thema: «Schützen und Erhalten – mit Sachverstand und Handwerkskunst» ausgesucht. Auch in diesem Jahr dürfen wir uns auf ein hochinteressantes Programm freuen, das alle relevanten Themenkreise wie Bauen im Bestand, Bauen mit Stein, Bauen mit Holz, Bauen mit Stahl, aus der Forschung für die Praxis bis hin über das Monitoring, die Bauwerksabdichtung sowie Regelwerke und Recht abdeckt.

Hanseatische Sanierungstage, das ist gleichbedeutend mit: Einmal im Jahr trifft sich die Fachwelt der Sanierer im Norden Deutschlands zu einem Erfahrungsaustausch zu dem Thema Bauen im Bestand. Die renommierte und in der Branche sehr bekannte und geschätzte Fachveranstaltung ist ein Muss für Viele, die in diesem Bereich beruflich aktiv und tätig sind. Die jährliche Fachveranstaltung ist ein Diskurs zwischen Wissenschaft, Praxis und Lehre und damit ein Garant des so wichtigen fachlich kollegialen Austausches. Dies alles spiegelt sich in den Fachvorträgen wider, in denen neue Erkenntnisse auf langjährige Erfahrungen in den Bereichen der Sanierung aus der Praxis, der Bauphysik, der Bauchemie und der Baubiologie treffen.

Neben den jährlich sehr interessanten Fachvorträgen wird auch von den Teilnehmerinnen und Teilnehmern der persönliche Erfahrungsaustausch in vielen Fachgesprächen wertgeschätzt. Hierbei geht es hauptsächlich um Bauen im Bestand. Die regen Diskussionen auf der Grundlage der vorgetragenen Vorträge gepaart mit den eigenen Erfahrungen sind höchst interessant, anregend und führen zu einer besonderen Nachhaltigkeit, auch noch nach den Hanseatischen Sanierungstagen und erzeugen eine Vorfreude auf die nächsten 32. Hanseatischen Sanierungstage.

Entsprechend sind die Themen der jährlichen Veranstaltung zukunftsweisend und stets mit aktuellen Herausforderungen beinhaltet. Es geht dabei um Umwelt, Klimawandel, Natur, Denkmalschutz, Feuchteschutz, Ressourcen und die Energiewende rund um das Thema Bauwerkserhaltung und Instandsetzung. Allein schon diese Vielfältigkeit und die damit verbundenen Herausforderungen erfordern das Zusammenspiel zwischen der Wissenschaft mit ihren neuesten Erkenntnissen aus der Forschung und dem Wissen und den Erfahrungen der Bau-praxis, um realistisch beurteilen zu können, welche Möglichkeiten tatsächlich anwendbar und umsetzbar sind.

In dieser Vielfalt der Themen übernimmt der Bundesverband Feuchte & Altbausanierung e. V. mit den Hanseatischen Sanierungstagen eine Moderatorenrolle. Zu den Vorträgen hochkarätiger Fachexperten lädt der Verein alle interessierten Kreise und namhafte Hersteller ein und bietet damit der Fachwelt eine zukunftsorientierte Diskussionsplattform und ist damit auch mitbeteiligt an der zukunftsweisenden Entwicklung im Bereich Bauen im Bestand.

Besonders hervorzuheben ist auch die aktive Unterstützung von Innovationen in der Forschung und Lehre durch den Bundesverband. Der bereits sehr bekannte jährliche Workshop ermöglicht es Studenten und Auszubildende sich vorzustellen, untereinander zu diskutieren und Wünsche und Bedürfnisse zu formulieren. Diese Wünsche und Bedürfnisse werden dann inhaltlich aufgegriffen und in die nächste Veranstaltung integriert. In dem Zusammenspiel zwischen Bauherren, Architekten, Ingenieuren, Sachverständigen, Handwerkern, Herstellern und Forschern sind auch Studierende und Auszubildende wichtige Ideengeber, um eine aktuelle Anpassung an die bestehenden Bedürfnisse der Menschen, der Umwelt und der Gebäude zu formulieren. Als krönenden Abschluss und zur Bestätigung und Förderung der jungen Generation wird im Rahmen der Veranstaltung ein Nachwuchs-Innovationspreis verliehen.

Der Bundesverband Feuchte & Altbausanierung e.V. ist ein wertgeschätztes Mitglied in einer Verbändeoperation mit dem DHBV und der WTA, warum mir auch die Ehre zu Teil wurde, hier dieses Grußwort an Sie richten zu dürfen. Ich wünsche persönlich, aber auch im Namen der beiden anderen Verbände dem Vorstand des Bundesverbandes Feuchte & Altbausanierung e. V. sowie der Geschäftsführung ein gutes Gelingen, den Teilnehmerinnen und Teilnehmern sowie den Ausstellern einen erfolgreichen Kongress mit vielen neuen Erkenntnissen, lebhaften Diskussionen und nachhaltigen positiven Eindrücken.

Aus gegebenem Anlass möchte ich mich an dieser Stelle auch nochmal bei der aktiven Unterstützung aller Mitglieder der drei Verbände für die Hilfsaktionen für die Flutkatastrophenopfer bedanken. Es ist berührend und macht einen sehr stolz, einer solch ehrhaften Gemeinschaft anzugehören und ein Teil davon zu sein.

Zum Ende meines Grußwortes wünsche ich der Situation geschuldet, in der wir uns seit 2020 befinden, allen Leserinnen und Lesern alles Gute und bleiben Sie gesund.

Herzliche Grüße

Gero Hebeisen

Präsident des Deutschen Holz- und Bautenschutz Verbandes
und Vorstandsvorsitzender der WTA-Deutschland

Lübeck – Stadt der Sieben Türme

Eine Exkursion in ein Stadtbild

Deike Möller, Kiel

Zusammenfassung

Viele Städte haben ein Wahrzeichen oder ein Merkmal, das von den meisten Menschen sofort erkannt und mit dieser Stadt in Verbindung gebracht wird. Das Markenzeichen der alten Hansestadt Lübeck ist neben dem Holstentor ihre markante Stadtsilhouette aus sieben Türmen. Diese Silhouette hat sich 500 Jahre beinahe unverändert präsentiert und wurde, nachdem sie im zweiten Weltkrieg zerstört worden war, auch wieder aufgebaut, so, dass sie heute immer noch das Bild der Lübecker Altstadt prägt.

Dieser Beitrag stellt die Träger der sieben Türme, die fünf großen Lübecker Altstadtpfarrkirchen vor. Er umreißt die Geschichte der Stadtsilhouette und beleuchtet Aspekte, die zur Kontinuität dieser Stadtgestalt beigetragen haben. Er stellt die Frage nach Bedeutung der Silhouette für die Identität der Stadt und welche Folgen sich daraus ergeben haben.

1 Wer sind die Sieben Türme?

Man kann die Geschichte der sieben Türme bzw. der fünf Altstadtpfarrkirchen nicht losgelöst von der Geschichte der gesamten Stadt Lübeck betrachten, dennoch sollen die fünf großen Pfarrkirchen hier kurz vorgestellt werden, bevor wir sie im Kontext des Stadtbildes betrachten. Wir haben hier also, wenn wir auf der Altstadtinsel von Süden nach Norden gehen, den Dom, dann St. Petri, St. Marien, St. Jakobi und im Südosten St. Aegidien (Bild 1 und 2). Wenn man sich die Topographie der Altstadtinsel vergegenwärtigt, die ja einen Höhenrücken in Nord-

Südlicher Richtung aufweist, erkennt man, dass drei der Kirchen auf diesem Höhenrücken positioniert sind, St. Marien an prominentester Stelle, südlich daneben St. Petri, und der Dom am südlichen Abschluss, bevor das Gelände zum Wasser hin abfällt.

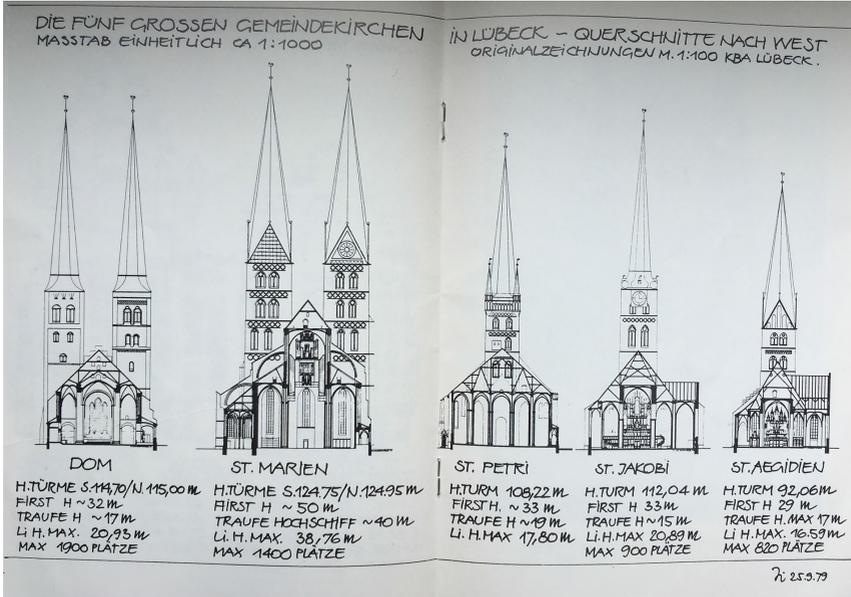


Bild 1 Die Querschnitte der fünf Stadtpfarrkirchen mit ihren Türmen im Vergleich

1.1 Dom

Der Dom ist die erste Lübecker Kirche, die nachweislich in Stein errichtet wurde. Auf Betreiben Heinrichs des Löwen war das Bistum Oldenburg in Holstein 1160 nach Lübeck verlegt worden. Hier wurde nun im Süden der Altstadtinsel ein erster Dom aus Holz errichtet und 1163 geweiht. Der Baubeginn des romanischen Backsteinbaus ist für 1173/74 nachgewiesen, die Weihe fand 1247 statt. Bereits für diese erste Bauphase ist die Doppelturmanlage nachgewiesen [1]. Neben dem Bischof residierte hier nun das Domkapitel, das geistliche Leitungsgremium. Während der Bischof seine Residenz kurz danach wieder nach Eutin verlegte, verblieb das Domkapitel in Lübeck und war, weil es sich teilweise aus den Söhnen der einflussreichen Familien der Stadt rekrutierte, eine Art geistlich-politische Machtinstanz in der Stadt. Eine Besonderheit des Domes ist, dass er auch Sitz

einer Pfarrgemeinde (St. Nikolai, im westlichen Bereich) war. Die Pfarrechte aller fünf Lübecker Innenstadtkirchengemeinden wurden vom Domkapitel verwaltet. Die Institution Domkapitel überstand sogar die Reformation – es wurde zwar protestantisch, hatte aber weiterhin vier katholische Domherren (von zwölf), und das Fürstbistum Lübeck war der einzige protestantische geistliche Reichsstand. Erst mit dem Reichsdeputationshauptschluss 1803 wurden Besitz und Einkünfte an andere übertragen und das Domkapitel quasi aufgelöst. [2]

1.2 St. Petri

St. Petri ist vermutlich mit dem Vorgängerbau des Domes der älteste Kirchenstandort Lübecks. Aus dem Nikolai-Kirchspiel ausgegliedert, ist der Bau der Petrikirche zwischen 1163–1170 belegt. Da in diese Zeit zudem auch die Erwähnung einer «ecclesia forensis» (Marktkirche) fällt, ist zu vermuten, dass das Marienkirchspiel als Neugründung Heinrichs des Löwen ab 1160 nördlich an das Petrikirchspiel angeschlossen wurde. [3]

Ihre Lage zwischen Dom und St. Marien mag vielleicht schon früher dazu beigetragen haben, dass die Kirche sich baulich nicht so herausstellen konnte – so verzichtete man Ende des 14. Jahrhunderts auf den Weiterbau der geplanten Doppelturmanlage und begnügte sich mit einem Turm. [4]

Dieser Turm mit den vier flankierenden Ecktürmchen ist jedoch auch ein charakteristisches Merkmal, das neben den Doppeltürmen von St. Marien die Mitte des Stadtpanoramas beherrscht.

Nach der Zerstörung im zweiten Weltkrieg hatte St. Petri gegenüber St. Marien und dem Dom das Nachsehen – die Kirchengemeinde wurde zwischen der Mariengemeinde und der Domgemeinde aufgeteilt. Der Wiederaufbau dauerte bis in die 1980er Jahre. Heute zeigt sich die fünfschiffige gotische Hallenkirche in aufgeräumter Schlichtheit. Sie ist Kultur- und Universitätskirche, hat keine Gemeinde mehr, aber ist auch nicht entwidmet.

1.3 St. Marien

Die Kirche St. Marien war im mittelalterlichen Lübeck die Rats- und Marktkirche, also die Kirche der vorwiegend in diesem Kirchspiel wohnenden bürgerlichen Elite. Sie wird gerne als «Mutter der Backsteingotik» bezeichnet, da ihre Baugestalt großen Einfluss auf die gotischen Backsteinkirchen des Ostseeraums hatte. Der erste Bau bestand 1163. Von der romanischen Backsteinbauphase um 1200 zeugt noch der Einturm, der im Westen des heutigen Baukörpers integriert ist. Die heutige Baugestalt als Basilika mit kathedralgotischem Umgangschor entspringt der Bauphase seit bzw. nach 1270. Die beiden Westtürme wurden ab 1304 gebaut. [5]

1.4 St. Jakobi

Der Namenspatron, der heilige Jakobus, kennzeichnet die Kirche als die der Seefahrer, die überwiegend in diesem Kirchspiel lebten. Sie wurde 1227 das erste Mal urkundlich erwähnt und ist vermutlich die jüngste der fünf Pfarrkirchen. Nach dem Stadtbrand von 1276 wurde die Jakobikirche ab 1300 als Stufenhallenkirche unter Einbezug des romanischen Vorgängerbaus errichtet. [6] Ursprünglich wurde in dieser Bauphase auch eine Doppelturmanlage angelegt, ausgeführt wurde letztendlich jedoch nur ein Frontturm. Der charakteristische achtseitige Turmhelm mit den vier Kugeln stammt aus der Mitte des 17. Jahrhunderts. [7]

1.5 St. Aegidien

St. Aegidien wurde 1227 das erste Mal urkundlich erwähnt, sie war die Kirche des Handwerkerviertels. Niederdeutsch wird sie auch Tilgenkark genannt. Der älteste Bau war eine kleine Basilika des 13. Jahrhunderts. Die heutige dreischiffige Hallenkirche wurde im 15. Jahrhundert erbaut und mit dem Chor komplettiert [8]. Ebenso wie die Jakobikirche wurde die Aegidienkirche im Krieg nicht zerstört, beide Kirchen haben noch ihre ursprüngliche historische Ausstattung.

2 Wie hat sich das Bild der Stadt entwickelt?

2.1 Bis 1276 – Besiedlung der Insel

Mit diesen Informationen über die fünf Stadtkirchen kann man nun noch einmal den Blick auf die Entwicklung der Gesamtstadt lenken.

Auf der Halbinsel zwischen Wakenitz und Trave wurde, vermutlich als Ausbau spätslawischer Vorbesiedlung das heutige Lübeck 1143 von Graf Adolf II. von Schauenburg gegründet. Um 1147 finden sich drei Siedlungsteile – die Burg (urbs/castrum) im Norden, das forum, die Marktsiedlung der deutschen Kaufleute mit Hafen, die vermutlich vom zuvor zerstörten Alt-Lübeck übergesiedelt waren, im Süden und die civitas, das heißt die neue Wohnstadt der deutschen Siedler, nördlich daran anschließend. [9]

Nach einem großen Brand 1157 wurde die Siedlung durch Heinrich den Löwen wieder auf- und ausgebaut, damit zusammen fällt auch die Verlegung des Bischofsitzes von Oldenburg nach Lübeck im Jahr 1160. Der Dombezirk im Süden der Stadt wurde festgeschrieben. Drei der Stadtkirchen, der Dom, die Petrikirche und vermutlich die Marienkirche, wurden in dieser Zeit aus Holz errichtet [10]. Die Besiedlung der Halbinsel wurde in nordöstliche Richtung, also auf die Burg

im Norden zu, ausgeweitet. Alle fünf Innenstadtkirchen wurden bis 1227 urkundlich erwähnt [11]. Auch wenn sie sich noch nicht in ihrer heutigen Form und Größe präsentierten, so sind sie seit dieser Zeit feste Punkte im Stadtgrundriss. Zu dieser Zeit sind mindestens vier der Kirchen (für St. Jakobi erst ab 1250 belegt) bereits aus Stein gebaut. [12]

Im Jahr 1226 wurde Lübeck reichsfreie Stadt, die Burg im Norden wurde geschleift und in das Stadtgefüge integriert. Das neue Machtzentrum war der Markt mit Rathaus und St. Marien.

Große Stadtbrände geschahen neben 1157 auch 1251 und 1276, danach wurden auf Verfügung des Rates nur noch Stein und nicht-brennbare Dachdeckung bei Neubauten verwendet. Nach 1276 blieb Lübeck über 600 Jahre von weiteren Großbränden verschont – bis zum Bombenangriff 1942. [13]

2.2 Ab 1276 – eine Stadt mit sieben Türmen

In die Zeit nach 1276 bis ca. 1350 fällt der große Um- und Ausbau der vier Pfarrkirchen [14]. Der Dom konnte als älteste Kirche schon Mitte des 13. Jahrhunderts mit zwei Türmen glänzen. An St. Marien zog man zu Beginn des 14. Jahrhunderts nach, interessanterweise, nachdem der Lübecker Bischof wegen gravierender Streitigkeiten mit der Bürgerschaft die Stadt zum zweiten Mal ins Exil nach Eutin verlassen hatte. Mitte des 14. Jahrhunderts hatte auch St. Marien eine Doppelturmanlage. An St. Jakobi wollte man Ende des 13. Jahrhunderts ebenfalls den romanischen Einturm zu einer Doppelturmanlage ausbauen, beließ es dann aber bei diesem einen Turm. Ähnlich lief es in St. Petri. Hier entschied man sich Mitte des 14. Jahrhunderts zum Neubau einer Doppelturmanlage, gab dieses Projekt aber auf und stockte Anfang des 15. Jahrhundert einen Turm auf die bis dahin errichteten Turmstümpfe auf. Lediglich an St. Aegidien begnügte man sich damit, den romanischen Turm in der ersten Hälfte des 14. Jahrhunderts zu erhöhen [15]. Also kann man annehmen, dass die Stadtsilhouette sich ab etwa 1450 mit den sieben Türmen der fünf großen Kirchen darstellt – zu einem Zeitpunkt, als die Stadt auf dem Zenit ihrer Macht und ihres Reichtums steht. Denn Lübeck war inzwischen «Haupt der Hanse» geworden. Seit 1356 (bis zuletzt 1669) fanden die Hansetage in Lübeck statt, die Geschäftsführung der Hanse oblag Lübeck zusammen mit den sogenannten wendischen Städten seit 1418 [16]. Ihre Macht demonstrierte die reiche Schicht der Stadtbevölkerung nicht nur durch den Ausbau ihrer Wohn-, Handels- und Verwaltungshäuser und natürlich ihrer Befestigungsanlagen, sondern auch durch den Ausbau ihrer Pfarrkirchen. Die Turmsilhouette machte diese reiche Stadt schon von weitem sichtbar und erkennbar.

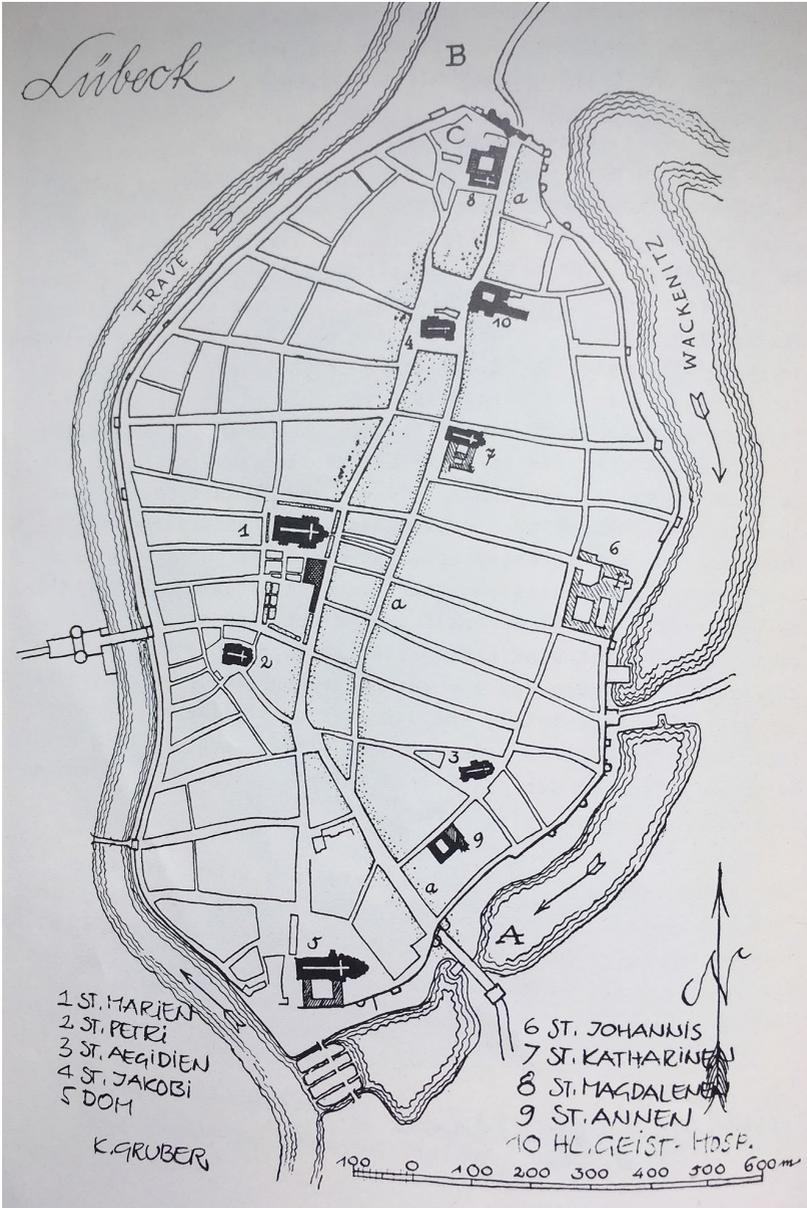


Bild 2 Grundriss der Stadt Lübeck mit dem Dom, den vier Pfarrkirchen und den fünf Stifts- und Klosterkirchen

2.3 Ab dem 15. Jahrhundert – ein konsolidiertes Stadtbild

Die Stadtansicht von Lübeck aus der Mitte des 18. Jahrhunderts von Johann Georg Mentzel (Bild 3) zeigt die Stadt eingefasst von ihren Verteidigungsanlagen. Hier sehen wir mehr als sieben Türme – neben den Türmen der fünf großen Stadtkirchen sehen wir im Norden den Turm der Dominikanerkirche des Burgklosters (St. Maria-Magdalena), die 1818/19 abgetragen wurde sowie den der Franziskanerkirche (St. Katharinen). [17]

Des Weiteren sind die Kirchen der Klöster bzw. Stifte zu erwähnen, deren bescheidenere Turmspitzen sich zwar aus dem Stadtbild herausheben, jedoch nicht ansatzweise so beherrschend sind wie die sieben Türme.

Die Ansicht von Johann Heinrich Bleuler (Bild 4) um 1820 zeigt das Panorama der Stadt Lübeck von Norden vom Pariner Berg aus. Das kompakte Stadtgefüge bestand in dieser Form bis ins 19. Jahrhundert, Lübeck bildete bis dahin keine Vorstädte aus. Die Aufnahme von zusätzlicher Bevölkerung erfolgte über die innerstädtische Verdichtung (z. B. Gängeviertel) [18]. Erst ab Mitte des 19. Jahrhunderts öffnete Lübeck sich schließlich der Industrialisierung. Später als in anderen deutschen Städten folgte die Expansion der Stadt. [19]

Zusammenfassend können wir sagen – die Stadtsilhouette Lübecks hat sich 500 Jahre lang nur geringfügig verändert.

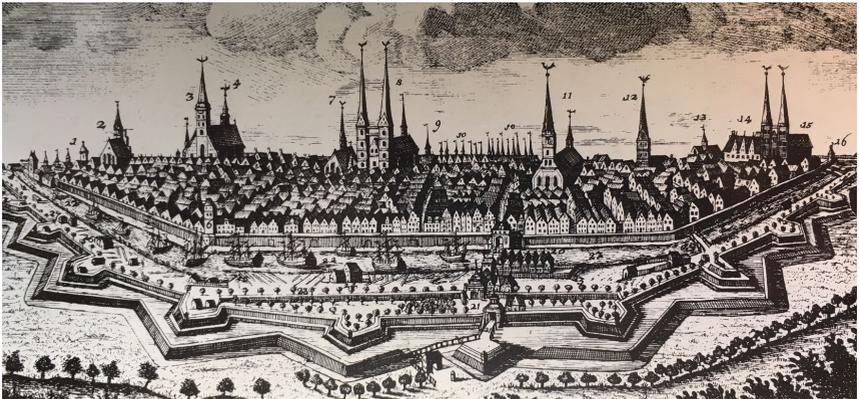


Bild 3 Die Stadtansicht von Lübeck aus der Mitte des 18. Jahrhunderts von Johann Georg Mentzel (1677 – 1743) zeigt die Stadt eingefasst von ihren Verteidigungsanlagen.

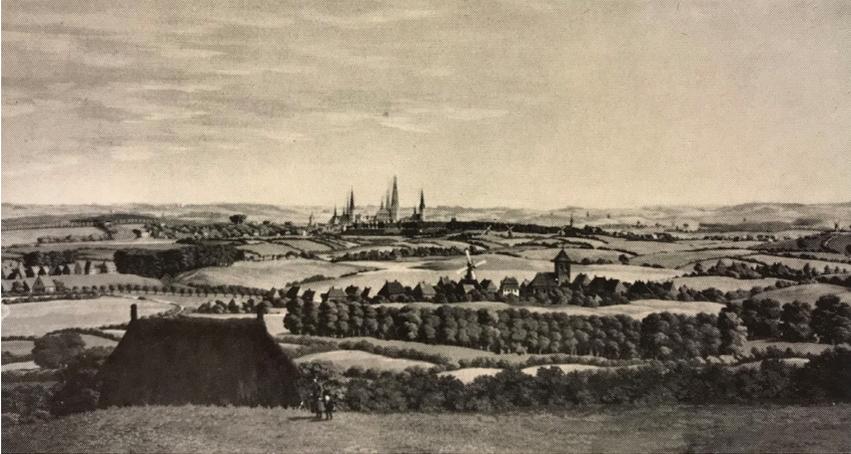


Bild 4 Die Ansicht von Johann Heinrich Bleuler (1758 – 1823) um 1820 zeigt das Panorama der Stadt Lübeck von Norden vom Pariner Berg aus.

2.4 Palmarum 1942 – eine Zäsur

So selbstverständlich dies heute anmuten mag, so gar nicht selbstverständlich zeigte sich dies am Palmsonntagmorgen des Jahres 1942, nachdem in der Nacht zuvor die Stadt Lübeck von der Britischen Luftwaffe angegriffen worden war. In der Nacht vom 28. auf den 29. März 1942 übte die Royal Air Force ihr erstes Flächenbombardement aus. Mit der Methodik des «area bombing» war der Luftkrieg in eine neue Phase getreten – der Angriff auf Lübeck war der erste in der Reihe der nachfolgenden Angriffe, die systematisch ganze Innenstädte zerstörten [20]. Die Bomben zerstörten die Gebäude der Altstadtinsel in einer Schneise von Nordwesten nach Südosten. Neben dem reichen historischen profanen Gebäudebestand wurden auch drei der beschriebenen fünf Kirchen stark zerstört, die Marienkirche, die Petrikerche und der Dom. Die Turmhelme der Kirchen brannten aus und fielen, die Dächer der Kirchen brannten lichterloh, Fenster zerbarsten, Gewölbe stürzten ein, die reiche Innenausstattung verbrannte. Auch der Turm der Aegidienkirche geriet in Brand, dieser konnte aber gelöscht werden [21]. So blieb diese Kirche ebenso wie die Jakobikirche unbeschädigt. Die Silhouette der Altstadtinsel hatte nun nur noch zwei Türme, und dies sollte bis Ende der 1950er Jahre so bleiben.

3 Warum hat dieses Bild der Stadt bis heute überdauert?

3.1 Anknüpfen an ein bekanntes Bild

Die Kontinuität des Stadtbildes war mit dieser Zäsur abgebrochen, sowohl in der Fläche, mit der Zerstörung großer Teile des Stadtgrundrisses, als auch in der Vertikalen, mit der Zerstörung der markanten Höhenpunkte. Wie ging man nun mit dem Resultat des vom eigenen Land angezettelten Krieges um?

In den Wiederaufbauprogrammen Nachkriegsdeutschlands wurde sowohl die Arrondierung von Stadtgrundrissen (z. B. Frankfurt/M., Dresden) als auch der Wiederaufbau auf den alten Parzellierungen (z. B. Münster) verfolgt.

In Lübeck wurden im Wiederaufbau die historischen Parzellen gerade im Bereich um die Marien- und Petrikirche verändert und überformt. Die prägenden Bauten jedoch, dazu gehörten auch die Kirchen, wurden notgesichert und harrten eines Wiederaufbaus. Und Hochhausbauten, also eine Maßstabsveränderung in der Vertikalen, wurden nicht vorgesehen. [22]

Die Leitmotive für das weitere städtebauliche Handeln nach dem Krieg waren die Elemente der Stadtkrone, des Wassers und des Grüns. Voraussetzung für das Bild der Stadtkrone war natürlich der Wiederaufbau der zerstörten Türme – dies sah man auch 1957, als der Aufbau der Turmhelme von St. Marien schon im vollen Gange war, ganz klar:

«Die Hoffnung, daß unsere sieben Türme in absehbarer Zeit wieder die Stadtsilhouette beherrschen werden, ist eine wesentliche Vorstellung bei unseren Planungen.» [23]

Der Wiederaufbau der fünf Türme der drei zerstörten Altstadtkirchen wurde mit als erstes in Angriff genommen:

«Priorität für die Lübecker Öffentlichkeit hatte auch die Wiedergewinnung der Stadtsilhouette mit den «sieben goldenen Türmen», und ein Bürgerkomitee besorgte die Finanzierung und sorgte damit für den Wiederaufbau der fünf vernichteten Turmhelme in ihrer alten Gestalt, zunächst, ab 1956, bei St. Marien, dann beim Dom [1958/59] und zuletzt, bis 1962, bei St. Petri.» [24]

Man musste zwar für eine Bevölkerung, die durch die Kriegsflüchtlinge von ca. 150.000 auf 240.000 Einwohner angewachsen war, akzeptable Wohnverhältnisse schaffen, aber der Blick auf die Turmsilhouette sollte nicht darunter leiden:

«Die uns vorschwebenden Nachbarschaften(...) werden nicht so groß, daß sie die Insel mit den Kirchen zur Nebensächlichkeit herabdrücken.» [25]

3.2 Die Macht eines Merkzeichens

Man hielt also an dem über Jahrhunderte konstanten Bild der Stadtsilhouette fest. Um zu verstehen, warum man die Wiederherstellung der Silhouette forcierte, kann vielleicht, neben der bereits geschilderten kontinuierlichen Tradition, auch ein kurzer Ausflug in die Theorie des Stadtbildes helfen. Demnach ist das «gute» Stadtbild einprägsam, bildhaft und ablesbar, wohlgeformt und bemerkenswert – es bietet gute Orientierung, ist für seine Bewohner leicht zu verstehen und bewusst wahrzunehmen. [26] Für die gute visuelle Gestaltung der Stadt sind bestimmte Elemente maßgeblich – so z. B. Wege, Grenzlinien, Merkzeichen und Bereiche. Die alte Stadt Lübeck brachte alle diese Elemente mit. Und die Stadtsilhouette von Lübeck erfüllt die Kriterien des Merkzeichens ideal:

«Einmaligkeit und Kontrast gegenüber Umgebung und Hintergrund.» [27]

Die Türme sind einprägsam – jeder der sieben hat sein eigenes Charakteristikum, zudem bietet die Silhouette Orientierung – je nachdem, wo man die Doppeltürme von St. Marien und Dom findet, wird man wissen, von welcher Seite man auf die Stadt blickt. Und nicht zuletzt:

«Die Bildhaftigkeit eines Merkzeichens wächst, wenn es gleichzeitig mit einer Konzentration von Erinnerungen verbunden ist.» [28]

Die in dem Bild der drei Kirchen mit ihren fünf Türmen gespeicherte «Erinnerungsenergie» war anscheinend so stark, dass man den Wiederaufbau des Bildes nicht in Frage stellte.

3.3 Bild und Substanz

Die Turmhelme wurden zwar zuerst wieder aufgebaut, und zwar im Trautsch-Pieper-Verfahren, aber auch die Kirchenschiffe der drei zerstörten Kirchen wurden nacheinander wieder hergestellt. [29] Zunächst wurde St. Marien saniert, dann der Dom in den 1960er/1970er-Jahren, zuletzt wurde in den 1980er-Jahren St. Petri fertiggestellt.

Die Wiederaufbauarbeiten wurden von der Kirchenbauhütte (gegründet 1951) ausgeführt. Diese ist auch heute bei den Sanierungsarbeiten an den Kirchen von Lübeck tätig und beim Evangelisch-Lutherischen Kirchenkreis Lübeck-Lauenburg angesiedelt. Die Institution der Kirchenbauhütte wurde in das Register guter Praxisbeispiele der Erhaltung Immateriellen Weltkulturerbes der UNESCO aufgenommen. [30]

Die Altstadt von Lübeck wurde 1987 als erstes Stadtgefüge überhaupt zum UNESCO-Welterbe erklärt. Hier sind die Kirchen die Ankerpunkte in der Markierung der drei Welterbebereiche. [31] Die Obhut über die kirchlichen Denkmale liegt durch Staatskirchenvertrag seit 1957 bei der landeskirchlichen Verwaltung, also

heute beim Landeskirchenamt der Nordkirche. Diese Verantwortung wird im Be-
nehmen mit der städtischen Denkmalpflege der Hansestadt Lübeck getragen.
Ohne Substanz kann auch ein Bild nicht bestehen. In diesem Sinne arbeitet man
weiter gemeinsam an dem Erhalt der sieben Türme und der anderen kirchlichen
Denkmale.

Literatur

- [1] Vgl. A. Graßmann (Hg.), Lübeck-Lexikon, Schmidt-Römhild, Lübeck 2006, S. 85f
- [2] Vgl. a.a.O., S. 86f und 191f
- [3] Vgl. G.P. Fehring, R. Hammel: Die Topographie der Stadt Lübeck bis zum 14. Jahrhundert, in: C. Meckseper (Hrsg.), Stadt im Wandel, Kunst und Kultur des Bürgertums in Norddeutschland 1150–1650, Landesausstellung Niedersachsen 1985, Ausstellungskatalog, Band 3, Edition Cantz, Stuttgart-Bad Cannstadt 1985, S. 170f
- [4] Vgl. D.-J. Mehlhorn, Architektur in Schleswig-Holstein – Vom Mittelalter bis zur Gegenwart, Wachholtz Verlag – Murmann Publishers, Kiel/Hamburg 2016, S.239f
- [5] Vgl. a.a.O. S.237f
- [6] Vgl. A. Graßmann a.a.O., S. 167
- [7] Vgl. D.-J. Mehlhorn a.a.O., S. 244f
- [8] Vgl. A. Graßmann a.a.O., S.22
- [9] Vgl. G.P. Fehring, R. Hammel a.a.O., S. 170f
- [10] Vgl. a.a.O. S.171ff
- [11] Vgl. a.a.O. S.173f
- [12] Vgl. D.-J. Mehlhorn a.a.O., S. 244
- [13] Vgl. Graßmann a.a.O., S. 321
- [14] Vgl. G.P. Fehring, R. Hammel a.a.O., S.174ff
- [15] D.-J. Mehlhorn a.a.O., S. 254, 237f, 244f, 240f, 250
- [15] Vgl. Graßmann a.a.O., S. 143ff
- [16] Vgl. L. Wilde in: R. Nikolov (Hrsg.), Das Burgkloster zu Lübeck, Charles Colemann Verlag GmbH, Lübeck 1992, S. 24ff
- [17] Vgl. A. Graßmann a.a.O., S. 322
- [18] Vgl. M. Brix, Nürnberg und Lübeck im 19. Jahrhundert, Denkmalpflege Stadtbildpflege Stadtbau, Prestel-Verlag München 1981, S. 175–185
- [19] Vgl. L. Wilde, Bomber gegen Lübeck, Eine Dokumentation der Zerstörungen in Lübecks Altstadt beim Luftangriff im März 1942, Schmidt-Römhild, Lübeck 1999, S. 12
- [20] Vgl. a.a.O., S. 17–23

- [21] Vgl. a.a.O., S. 142f
- [22] S. Kremmer, Lübecks städtebauliche Planung, in: Der Wagen – Ein lübeckisches Jahrbuch, Verlag H.G. Rahtgens, Lübeck und Franz Westphal Verlag Wolfshagen-Scharbeuz, 1957, S. 107
- [23] F. Zimmermann, St. Petri zu Lübeck, Ein Ort für gesamtstädtische kirchliche und kulturelle Nutzungen, in: Schriften zur Deutschen Kunst und Denkmalpflege, 48. Jg. 1990, über <http://www.st-petri-luebeck.de/index.php/home/historie>
- [24] S. Kremmer a.a.O., S. 113
- [25] K. Lynch – Das Bild der Stadt, Birkhäuser Basel/Bertelsmann Fachzeitschriften GmbH Berlin 2001 (1965, 1989), S. 21
- [26] a.a.O., S. 120
- [27] a.a.O., S. 121
- [28] Vgl. F. Zimmermann, St. Petri 35 Jahre nach der Zerstörung, Ein Rechenschaftsbericht der Bauleute, in: Vaterstädtische Blätter, Lübeck – 28. Jahrgang, Nr. 4 Juli/August 1977, S. 96f
- [29] Vgl. <https://www.sieben-tuerme-luebeck.de/sanierungen/kirchenbauhueette.html>
- [30] Welterbe Sonderausgabe – Welterbe in Deutschland – Nr. 76, 2015, S. 64

Abbildungsnachweis:

- Bild 1 - aus: Tagungsheft Dombaumeister, Münsterbaumeister, Hüttenbaumeister in Lübeck 1980
- Bild 2 - aus: Tagungsheft Dombaumeister, Münsterbaumeister, Hüttenbaumeister in Lübeck 1980
- Bild 3 - aus: Gründliche Nachricht, von der Kayserlichen, Freyen, und des H. Römisch. Reichs Stadt Lübeck. J. v. Melle, Lübeck, gedruckt von Georg Christian Green., 1787 (3. Auflage)
- Bild 4 - aus: G. Lindtke, Zu einem alten Landschaftspanorama, in: Der Wagen. 1960, S. 60–65, Bild im Besitz des St.-Annen-Museums Lübeck

Instandsetzungs- und Sanierungsmaßnahme der Kirche St. Marien Lübeck

Hier: Westtürme

Dirk Behrens, Kiel

Zusammenfassung

Die Mauerwerkssanierungsmaßnahmen an den Westtürmen der Kirche St. Marien Lübeck zeigen sehr deutlich auf, dass eine Materialunverträglichkeit Generationen von Baufachleuten beschäftigen kann. Bereits Mitte des 18. Jahrhunderts sind erste Reparaturmaßnahmen am Nordturm-Mauerwerk ausgeführt worden. Größere Sanierungsmaßnahmen fanden in den 30er Jahren des 19. Jahrhunderts und durch die Bombardierung an Palmarum 1942 von 1956 bis 1965/66 statt. Nach einer Schadensbeurteilung 1995 ist eine dritte große Sanierungsphase von 2003 bis 2005 durchgeführt worden, eine vierte läuft ab 2018. Zu beklagen sind Verluste von Teilen des Denkmals.



Bild 1 St. Marien Lübeck 2009

1 Aufgabenstellung

Aus den Archivunterlagen ist bekannt, dass erstmals 1999 Mörteluntersuchungen an der Kirche St. Marien Lübeck durchgeführt wurden; ausgelöst durch gravierende Schäden am Turmmauerwerk. In der damaligen Analyse der TU Karlsruhe wurden Kalk-Gips- und Gipsmörtel nachgewiesen. In Kenntnis dessen wurde 2003 bis 2006 die Verwendung von Trasskalk weiterempfohlen. Aber immerhin mit dem Hinweis, dass dies zu Treibmineralbildung führen könnte. Bereits sechs Jahre nach diesen durchgeführten Mauerwerkssanierungsarbeiten an den Türmen von St. Marien Lübeck traten erneut deutliche Rissbildungen auf, so dass im Dezember 2012 Maßnahmen zur Verkehrssicherung getroffen werden mussten. Ab 2013 wurde ein Rissmonitoring erarbeitet und installiert. Die Aufgabe war es, ein neues Sanierungskonzept aufzustellen und der Ursache für die neuerlichen Rissbildungen auf den Grund zu gehen.

2 Aktenrecherche

Es wurde allen Beteiligten sehr schnell deutlich, dass nicht nur die letzte Mauerwerkssanierung von 2003 bis 2006 zu bewerten sei, sondern auch die Maßnahmen davor. So wurde eine Aktenrecherche beauftragt [1]. Festgestellt wurde,

dass in der Vergangenheit beeindruckend viel injiziert worden war und es nicht möglich sein würde, alles Injektionsgut zu entfernen. Insgesamt sind drei Sanierungsphasen besonders zu betrachten.

2.1 Schadensbilder und ausgeführte Maßnahmen im Überblick [aus 1]:

2.1.1 1865

Reparaturmaßnahmen am Nordturm, Ausbesserung am Mauerwerk, Zusetzen einer alten Wendeltreppe

2.1.2 1932 – 1. große Sanierungsphase

Große Schäden am Nordturm, hier: Süd-West-Ecke.

Verblendung vom Kernmauerwerk gelöst. Ausbauchungen und Hohlräume zu groß, so dass die Gefahr eines Absturzes nahe liegt. Einbau von Ankern und Verpressung mit 22.000 Liter Erzzementmörtel. *»Wir wussten aber noch nicht, daß unsere Kirche nicht mit Kalkmörtel, sondern mit Segeberger Gips-Kalk gemauert war.« [2]*

Instandsetzung der Westfassade

«So haben sich Risse gebildet, die man auch von unten sehen konnte. Außerdem hat der Ziegelmantel der Westfront sich ausgebeult, beträchtliche Hohlräume haben sich hinter ihm gebildet, in die das von den Türmen niederfließende Regenwasser gedrungen ist, das die größte Gefahr für den Bestand des Bauwerks bildet. In den achtziger Jahren des vorletzten Jahrhunderts hat man schon einmal versucht, die Schäden zu beheben. Aber man hat nur die Symptome beseitigt oder vielmehr zeitweilig unsichtbar gemacht, nicht aber das Übel an der Wurzel bekämpft. Man hat nämlich lediglich eine Wand von neuen Ziegelsteinen vor die älteren geborstenen gesetzt. Jetzt geht man mit den Mitteln neuer Technik ganz anders vor. Und doch beruhen diese Mittel auf demselben Prinzip, das schon die alten ursprünglichen Baumeister erkannt und beherzigt haben. Die alten Baumeister haben nämlich in die Turmkanten und auch gelegentlich in die Mauerwand gewaltige Granitblöcke eingelassen. Diese dienen der Befestigung der großen Eisenanker, die ihrerseits wieder mit großen kreuzweise gefügten Klammern die Ziegelwand halten. Diese Eisenkreuze sind eine charakteristische Eigenart der gotischen Backsteinkirchen, sie bilden zugleich einen urwüchsigen ornamentalen Schmuck. Diese Eisenanker dienen auch den jetzigen Baumeistern dazu, das Mauerwerk des Turms zu befestigen. Um ein Abrostern zu vermeiden, wie es vorgekommen ist [...] werden die langen mit Widerhaken versehenen

Stahlanker, die durch die Ziegelmauern gebohrt werden, in Beton gebettet, der sie ganz einschließt. Beton wird in die Aushöhlungen und Lücken des Mauerwerks gespritzt, sodass eine Verbindung entsteht, die auf absehbare Zeit hält.»

Diese Arbeiten wurden dokumentiert. Diese Dokumentation ist aber (wohl) durch Kriegsverluste verloren.

«Bei Vornahme dieser Arbeiten hat sich herausgestellt, wie wichtig dieselben waren, welche geheimen Mängel unter der abgesprengten Schale des Mauerwerks bestanden. Der vorgefundene Zustand läßt darauf schließen, daß fast die ganzen Außenflächen bereits einmal, überwiegend sogar mehrfach, erneuert worden sind und von dem ursprünglichen Außenmauerwerk nur noch ganz geringe Teile vorhanden sind. Dies dürfte in wechselnden glasierten und unglasierten Schichten, an Gesimsen, Friesen, Leibungen der Fenster und Nischen aus schön profilierten und glasierten Steinen hergestellt gewesen sein. Solche Reste sind noch an der Ost- und Nordseite der Dreiecksgiebel der Türme sowie an einzelnen Stellen des Gemäuers der Treese und Bürgermeister-Kapelle vorhanden und gut zu erkennen. [...] Bei früheren Ausbesserungsarbeiten wurde zunächst auf die Verwendung glasierter Ziegel verzichtet, – man fand Brocken glasierter Ziegel in den aufgedeckten Hohlräumen, wo sie das Abbinden verhinderten – immerhin aber wurden noch, wenn auch unglasierte, so doch profilierte Steine verwendet. Später hat man dann auch auf die Profilierung verzichtet und an solchen Stellen nur Steine mit abgeschrägten Ecken verwendet. Das Ziegel- und Mörtelmaterial entsprach immer weniger der Struktur des ursprünglichen, schließlich wurden an Stelle der schönen Handstrich-Steine im Klosterformat Maschinen-Steine aller Größen, vielfach im Normalformat verwendet. Gleichzeitig aber, und das ist vielleicht das Schlimmste, wurden die Ausbesserungsarbeiten immer oberflächlicher ausgeführt, schließlich nur die Fugen verstrichen und damit die geheimen inneren Mängel verdeckt. [...] Lichtbilder [...] zeigen das zur Auspressung vorbereitete Mauerwerk, das Verfahren selbst und die bei Beseitigung der schadhafte äußeren Schale zutage tretenden Mängel und Ausbesserungen. Man sieht auch die Bandagen und Vorverankerungen, welche das lose Mauerwerk stützen und hergestellt werden mußten, bevor man an die eigentliche Bohr- und Auspreßarbeit herangehen konnte. Ein mächtiger Anker mit einem Querschnitt von 200/100 mm und einer Höhe von 1,50 m faßt mächtige Granitblöcke zusammen, um das Auseinanderstreben des Mauerwerks zu verhindern. Aber daneben ist dasselbe herausgedrückt durch die Treibwirkung des Segeberger Kalks. Alle Risse sind mit Gips gedichtet, vor

den größtenteils mit Bohrankern versehenen Bohrlöchern Düsen eingesetzt, durch welche die Füllmasse eingepresst werden soll; man sieht den Injektionsapparat nebst Schlauchleitungen während der Einpressung von Zementmörtel und das gefestigte Kernmauerwerk mit den, von Zementmörtel umgebenen Bohrankern. Man sieht aber auch die größeren und kleineren Hohlräume, welche die äußere abgesprengte Schale noch aufweist. Die weißen Flächen auf den Bildern zeigen den Segeberger Kalkmörtel oder zum Abdichten verwendeten Gips, die dunkleren Flächen den Auspressmörtel und die tiefschwarzen Stellen die Risse und Hohlräume. Dieses bröckelige, innen und außen angewitterte Mauerwerk klingt hohl, wird beseitigt und erneuert, d.h. gut eingebunden in den gefestigten Kern, es wird außerdem durch die, im Bild gut sichtbaren, eisernen Anker mit diesem innig verbunden. So wurde Stück für Stück ausgebessert. [...] Weitere große Risse wurden im Mittelteil der Westfront aufgedeckt und ebenfalls mit Zementmörtel verpresst.»

Diese Instandsetzungsarbeiten plante Prof. Dr. Georg Rüth.

2.1.3 1942

In der Nacht vom 28. auf den 29.03.1942 wurde Lübeck bombardiert und die Kirche St. Marien zerstört: Die Holzanker und Dächer durch Brand, der Ostgiebel des Nordturmes und Gewölbe im Chor durch Einsturz und weitere Gewölbe von Mittelschiff und südlichem Seitenschiff durch Herabstürzen des Dachreiters. Die Ruine stand zwanzig Monate offen und infolgedessen entstanden neben den Brand- auch Feuchtigkeitsschäden. Das Dach zwischen den Türmen wurde bereits im Mai 1943 neu gerichtet und mit Pfannen eingedeckt, im Oktober 1943 ist das Notdach des Südturmes und im Mai 1944 das des Nordturmes fertiggestellt. Diese Maßnahmen waren natürlich nicht ausreichend und Prof. Dr.-Ing. Klaus Pieper, hauptberuflich damals Leiter der Prüfstelle für Statik in Lübeck und mit Lehrtätigkeit an der Architekturabteilung der TU Braunschweig, berichtete 1946 dem damaligem Bürgermeister Passarge von den Rissen in den Hochschiffgewölben, die sich *«mit der enormen Geschwindigkeit von 1 cm im Jahr weiter öffneten»*.

Pieper rechnete mit dem baldigen Einsturz und sollte von nun an gemeinsam mit Kirchenbaumeister Dr.-Ing. Bruno Fendrich den Wiederaufbau von St. Marien planen.

2.1.4 1956 – 2. große Sanierungsphase bis 1965/66

Die Notdächer wurden entfernt und mit dem Aufbetonieren der Auflagerbalken auf den Turmgiebeldreiecken begannen die Arbeiten zur Er-

richtung der massiven Turmhelme. Pieper bemängelte, dass die Wiederaufmauerung des zerstörten östlichen Turmgiebels am Nordturm ohne Zeichnung erfolgte. *«Man hat dem Polier eine Fotografie in die Hand gedrückt, nach der er den Giebel mauern soll. Das ist nicht möglich. Für ein Bauwerk dieser Größe muss mir eine Zeichnung zur Genehmigung vorgelegt werden.»* Ca. 42.000 l Injektionsmörtel Hochofenzement wurden für den Einbau der Anker im Südturm und ca. 33.000 l für die im Nordturm samt Verpressung verbaut.

2.1.5 1961

- 128 m Anker eingebaut, 13 m³ Pressmörtel injiziert

2.1.6 1965

- Mauerwerksinstandsetzung, hier: Nordturm

2.1.7 1966

- Mauerwerksinstandsetzung, hier: Südturm

2.1.8 1995

Schadensgutachten von Brüggemann zeigt gravierende Schäden am Mauerwerk

2.1.9 2003 bis 2006 3. große Sanierungsphase

Mauerwerksinstandsetzung, hier: Nord- und Südturm, Mörtel aus Trasskalk und Trasszement

In dieser dritten Verpressphase wurden 6,92 t Märker Trasskalk und 2,8 t Portlandzement Sulfadur verwendet. Die Verblendschale wurde in Teilen 1 bis 1 1/2 Steine tief ausgestemmt und neu aufgemauert, eine Verzahnung mit dem Kernmauerwerk wurde kaum hergestellt, die Verblendschale wurde mit Edelstahlankern gesichert und weitere Verpressarbeiten durchgeführt. Bereits kurze Zeit nach der letzten Instandsetzung waren Risse beginnend an der Süd-West-Ecke vom Nordturm in der neu aufgemauerten Verblendschale zu sehen, die sich immer weiter öffnen sollten, Risse am Südturm folgten. Gleichzeitig bauchte das Mauerwerk aus. Das Rissbild verlief vertikal meist in der Nähe der Naturstein-Ecken. In diesem Zusammenhang ist anzumerken, dass bereits Mitte des 18. Jahrhunderts das Mauerwerk an den Ecken immer wieder Risse zeigte und dass die Errichtung der Doppelturmanlage eine Umplanung ist: Zuerst war ein Mittelturm begonnen, auf dessen Turmstumpf dann die zwei seitlichen Türme errichtet wurden, die sich auf Grund von unterschiedlichen Setzungen bereits im Mittelalter nach außen geneigt hatten.



Bis 1942



1942



1942



1974

Bild 2 St. Marien 1942 bis 1974 aus Tagungsheft Dombaumeister, Münsterbaumeister, Hüttenmeister in Lübeck 1980

3 Voruntersuchungen zum Sanierungsgutachten 2018

Bohrkerne wurden teilweise über die gesamte Wandtiefe von ca. 4 m gezogen. Die Feuchtemessungen im Mauerwerk des Nordturms ergaben eine starke Durchfeuchtung des mittelalterlichen Kerns, fast bis zur Sättigung. Der Feuchtegehalt der Verblendung und auch das Kernmauerwerk des Südturmes wurden dagegen als unkritisch bewertet [3]. Vorbereitend für alle weiteren Untersuchungen wurden entzernte Messbilder gefertigt, auf dieser Grundlage wurden Baualterskartierungen vorgenommen [4]. Eine Mörtelanalyse durch die MPA Bremen [Schlütter 2012, 2015, 2017 und 2018] bestätigte, dass das Turmmauerwerk mit Gipsmörtel und Gips-Kalkmörtel errichtet wurde und mit den Verpressarbeiten von 1932 mit Erz-Zement, von 1956 bis 1961 mit Sulfat-Hochofenzement und von 2003 bis 2006 mit Trass-Kalkmörtel in Verbindung mit Wasser zu Treibmineralienbildung und zur Volumenvergrößerung geführt hatte. Die materialkundliche Untersuchung wies folgerichtig Thumasit und Ettringit nach. Der verpresste Trass-Kalk der letzten Instandsetzung war fast komplett in Thumasit umgewandelt.

Ein Rissmonitoring durch den Tragwerksplaner wurde 2013 installiert und durch händische Messungen an definierten Punkten ergänzt. Die Rissverbreiterungen haben sich im Messzeitraum bis 2017 von 0,46 mm auf 0,11 mm zwar verlangsamt, aber stellten natürlich keine Beruhigung dar. Das beauftragte Ingenieurbüro hat in die Messbilder die Rissverläufe eingetragen und das Rissmonitoring bewertet. Zusammenfassend wird festgehalten, dass «an den außen angebrachten Rissmonitoren [...] keine eindeutige Tendenz zur Risserweiterung mehr messbar [ist]». [5]



Bild 3 Exemplarisches Rissbild im MW



Bild 4 ... und in den Natursteinecken

zum nicht denkmalgerechten Material auf Grund der Verkehrssicherheit zugestimmt [7]. Weitere Bewegungen sollen über diese Sollrissfuge aufgenommen werden. In Musterflächen, September und Oktober 2017 angelegt, wurden noch Fugenmörtel und Fugenschluss mit unterschiedlichen Materialien hergestellt. Alternativ zum Fugenmörtel Gips wurde auch ein Muschelkalk verwendet. Eine Musterfläche wurde ohne Sollrissfuge in Gips neu aufgemauert. Risse haben auch die Granit-Quader der Ecken geschädigt und da diese nur an den Sichtseiten behauen sind, sonst rund sind, sind sie in ihrer Lage auch verrutscht. Diese Ecksteine werden nur in ihrer Position gehalten und durch Anker (100 cm lange Gewindestangen mit einem Durchmesser von 10 mm) gesichert. Schwerlastanker, die vorher in die sauberen Bohrlöcher eingebracht wurden, sichern die Anker. Außenliegende quadratische Ankerplatten mit Hutmutter definieren ihre Lage. Es sind nur Trockenbohrungen geplant. Danach ist geplant die gesamte Natursteinmauerwerkverfugung zu überarbeiten, um zu verhindern das Feuchtigkeit eindringt. Historische Anker werden ein Stein tief freigestemmt und erhalten einen Schutzanstrich gegen Rost [8].

Da der nicht sulfatbeständige Verpressmörtel in Verbindung mit Wasser reagiert, wurde die komplette Dachentwässerung kontrolliert, möglicher Feuchteintrag ins Mauerwerk konnte ausgeschlossen werden. Alle Gesimse, die noch nicht abgedeckt sind, sollten verblecht werden.

Auf dieser Basis wurde die Sanierungsmaßnahme am Turmmauerwerk Nord- und Südturm der St.-Marien-Kirche Lübeck am 16.10.2018 denkmalrechtlich genehmigt. Die Kirchengemeinde Lübeck hat die Genehmigung am 13.05.2019.



Bild 7 Beispiel für abgebrochenes Mauerwerk

Literatur

- [1] Bernd Adam, Archivrecherche zu Instandsetzungsmaßnahmen und Wiederaufbau 1932–1956, Garbsen-Berenborstel, August 2012
- [2] Klaus Pieper, Sicherung historischer Bauten, Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin, München, 1983
- [3] MPA Bremen, Ziegelmauerwerk, Untersuchungsbericht zu Feuchtebestimmung und mikroskopische Charakterisierung der Injektionsmaterialien, Bremen, 01.11.2016
- [4] Dr. Holger Reimers, Bestandserfassung und Baualterbewertung Nordturm, Wendeltreppe zur Orgel in der Süd-West-Ecke und Glockenstube, SW-Ecke, Schallöffnung Süd (westlich), Hohenfelde, 07. und 09.11.2018
- [5] GS-Ingenieure Kay Gladigau, Instandsetzung des Mauerwerks, St.-Marien-Kirche in Lübeck, hier: Ablesung Rissmonitoring , Bad Oldesloe, 07.08.2017
- [6] Architekten Johannsen und Partner, St. Marien Lübeck, Sanierung Turmschaftmauerwerk Nord- und Südturm, Sanierungskonzept, Hamburg, Juni 2018
- [7] Architekten Johannsen und Partner, Protokoll der Besprechung Sanierung Turmschaftmauerwerk Nord- und Südturm, Hamburg, 05.06.2018
- [8] MPA Bremen, Lichtmikroskopische Untersuchungen der Proben aus der Wandöffnung N-Turm, S-Seite vom 23.02.2015

Praxistest für die Denkmalpflege – Solardachsteine

*Harald Garrecht, David Oexle, Christian Sladakovic, Luka Lacković, Simone Reeb,
Lena Teichmann, Christiane Ditzen, Christian Baumert, Stuttgart*

Zusammenfassung

Im Rahmen eines BMWI-Verbundforschungsvorhaben [1] wurde seitens des Instituts Werkstoffe im Bauwesen (IWB) der Universität Stuttgart gemeinsam mit der Margarethe Krupp Stiftung für Wohnungsfürsorge (MKS) in Essen sowie dem Forschungspartner der RWTH-Aachen, dem Lehrstuhl für Integrierte Analogschaltungen (IAS) in enger Zusammenarbeit mit den Unternehmenspartnern Eckpack und Noventec ein hybrider Solardachstein aus einem Hochleistungsfeinkornbeton entwickelt, prototypisch hergestellt und im Labor erprobt, der nach einer Bemusterung durch die Eigentümerin der denkmalgeschützten Gebäude der historischen Gartenstadt Margarethenhöhe in Essen (vgl. Foto in Bild 1) und die zugeordneten Denkmalbehörden freigegeben wurde, um die Dächer von fünf historischen Quartiersgebäuden mit diesem neuartigen solarhybriden Dachstein (SHDS) einzudecken.



Bild 1 Foto aus der Margarethenhöhe Essen – Kleiner Markt
(Quelle: Christiane Ditzen, Universität Stuttgart)

Mit den SHDS soll die auf den Dachflächen der Gebäude im Tages- und Jahresgang anfallende Solarenergie aufgenommen, d. h. gewonnen werden. Der solare Energieertrag soll so effizient und nutzbringend als möglich zur Deckung des eigenen Gebäudeenergiebedarfs Verwendung finden. Im Kontext der energetischen Ertüchtigung und Modernisierung der Anlagentechnik zur Wärmeversorgung und Warmwasserbereitung werden zudem weitere innovative Maßnahmen und Konzepte entwickelt, um in Verbindung mit neuen oder weiterentwickelten LowEx-Komponenten zur Erzeugung, Übergabe und Speicherung von Wärme mit den solaren Energiegewinnen die historischen Gebäude der Margarethenhöhe [2] einer Klimaneutralität zuzuführen.

Im Vorhaben wird daher ein ganzheitlicher Gebäude- und Quartiersansatz entwickelt und in Zusammenwirken der Einzelkomponenten im Gesamtsystem anhand von fünf Demonstrationsgebäuden erprobt, um den historischen Gebäudebestand unter Wahrung der Anforderungen und Vorgaben des Denkmalschutzes weitestgehend auf Basis der erneuerbaren Energien zu versorgen. Dabei können die Gebäude für sich als aktive Energiebausteine verstanden werden, die nicht nur Energie von außen erhalten, sondern große Teile des eigenen Wärmebedarfs decken und überschüssige vom Gebäude selbst nicht nutzbare Energie quartiers- und netzdienlich abgeben können.

Voraussetzung ist eine energetische und digitale Vernetzung der Gebäude untereinander, um eine Energieflussoptimierung und Energieumverteilung abhängig der gebäudespezifischen Bedarfe und Angebote und des Füllgrads der ge-

bäude- und quartiersintegrierten Speicher realisieren zu können. Dabei ist es weniger das Ziel des Vorhabens, eine weitestgehende Autarkie im Quartier zu erzielen, sondern es soll vielmehr ein Beitrag zur Entlastung des außen am Quartier anstehenden elektrischen Versorgungsnetzes im Sinne der Netzdienlichkeit geschaffen werden.

1 Kurzvorstellung des Verbundvorhabens

Im Verbundvorhaben «Energieeffiziente Wohnsiedlungen durch zukunftsfähige Konzepte für den denkmalgeschützten Bestand – Energieoptimiertes Quartier Margarethenhöhe Essen (EnQM)» [1] soll gezeigt werden, wie mit einer denkmalgerechten energetischen Sanierung in Verbindung mit innovativer Gebäudetechnik und intelligenter elektrischer, thermischer und digitaler Vernetzung aller Gebäude untereinander die Energieeffizienz eines denkmalgeschütztes Quartiers deutlich gesteigert werden kann und sich eine nahezu klimaneutrale Versorgung erreichen lässt (vgl. Bild 2). Als innovative Komponenten kommen im Vorhaben neben einer dachsteinintegrierten Photovoltaik und Solarthermie Erdwärmesonden zur geothermischen Wärmegewinnung zum Einsatz [3, 4]. Die Erdwärmesonden dienen dabei auch der thermischen Energiespeicherung, indem die solaren Wärmegewinne der SHDS in den heizfreien Zeiten auch zur Regeneration des Erdreichs genutzt werden. Die Solarwärmegewinne der SHDS wird aber auch für die Trinkwassererwärmung genutzt.

Um die Erdwärme und die Wärmegewinne der SHDS auch in den Übergangsphasen in bestmöglicher Weise mittels Wärmepumpen für die Wärmeversorgung der Gebäude verwenden zu können, ist es erstrebenswert, die Wärmeübergabe bei möglichst niedrigem Temperaturniveau zu realisieren. Hier bietet sich der Einsatz von Flächenheizsystemen an, die bei ausreichend verlegten Heizflächen mit einer Vorlauftemperatur von etwa 35°C bis 45°C die erforderliche Raumwärme bereitstellen können. Bei solchen Übergabetemperaturen können hoch-effiziente Wärmepumpen mit besonders hohen Leistungszahlen ($COP > 5,0$) betrieben werden. Systemansätze auf einem derart niedrigen Temperaturniveau arbeiten mit sogenannten LowEx-Komponenten. Hierzu zählen die Wärmepumpe, Systeme zur Wärmegewinnung aus erneuerbaren Energien wie Erdwärme und Solarwärme, Flächenheizsysteme, Niedertemperaturspeicher, kalte Nahwärmenetze etc. Um aber in Denkmalquartieren mit solchen Ansätzen eine klimaneutrale Wärmeversorgung realisieren zu können, bedarf es denkmalgerechter Maßnahmen zur Begrenzung der Wärmeverluste über die Gebäudehüllflächen und verträglicher Konzepte zur Integration von Flächenheizsystemen zur

Wärmeübergabe. Im Vorhaben werden in den Demonstrationsgebäuden Flächenheizsysteme zum Einsatz gebracht, die eine geringe Systemhöhe von unter 50 mm Aufbau aufweisen und sich damit oftmals denkmalverträglich in den historischen Gebäuden integrieren lassen. In Bereichen, in denen die Denkmalpflege keiner Veränderung der Boden- oder Wandsituation zustimmen kann, müssen alternative Konzepte entwickelt und umgesetzt werden.

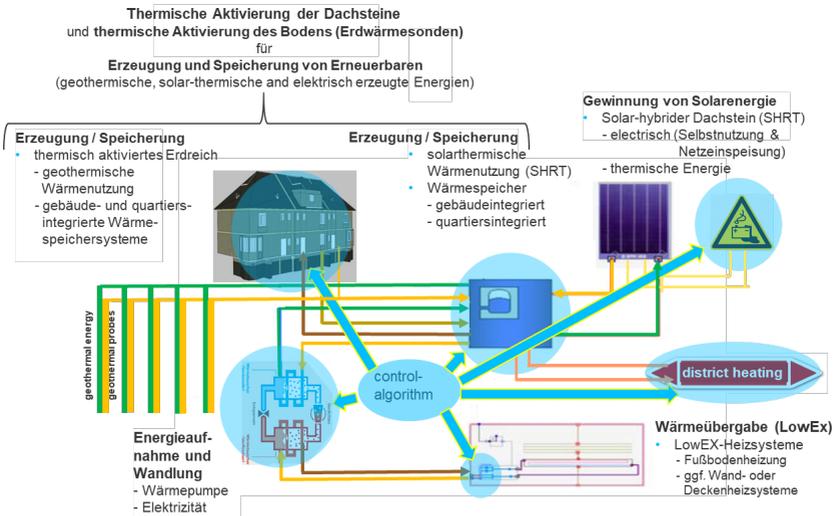


Bild 2 Schlüsseltechnologien der Energieversorgung: Erzeugen, Speichern, Nutzen und Teilen von lokal verfügbaren erneuerbaren Energien

Um den Wärmewiderstand der Außenwände zu erhöhen, wurden mit dem Unternehmenspartner Cerabran drei Zentimeter dicke hochwirksame Aerogel-Wärmedämmputzen zur Verringerung der Transmissionswärmeverluste zum Einsatz gebracht. Üblicherweise wird im Zuge einer Gebäudesanierung die Dachendeckung erneuert und in diesem Zuge auch eine wärmetechnische Verbesserung des Dachgeschosses in Abstimmung mit der Denkmalpflege vorgenommen. Auch die Böden der unterkellerten EG-Bereiche erhalten soweit möglich eine wärmetechnische Verbesserung. Dank dieser Maßnahmen gelingt es, die Raumbereiche der denkmalgeschützten Gebäude auch während kalter Witterungsperioden auf einem LowEx-Temperaturniveau zu betreiben. Entsprechend kann die Wärmepumpe bei einer Vorlauftemperatur der Fußbodenheizung von 35°C bis 45°C eine hohe Leistungszahl erreichen. Dank der Regeneration des Erdreichs

im Sommer mit der über die SHDS gewonnenen Solarwärme lässt sich die Wärmepumpe bei einer Vorlauftemperatur von 35°C sogar mit einer durchgehend hohen Leistungszahl von über 5,0 betreiben.

Erfreulicherweise erlaubt die elektrische Aktivierung der SHDS mittels der dachsteinintegrierten Solarmodule große Mengen an elektrischer Energie zu gewinnen. Selbst unter konservativen Betrachtungen reicht ein zu erwartender Solarstromertrag von 100 kWh_{el}/(m²a) mit den zu belegenden Dachflächen der fünf Demonstrationsgebäude jeweils aus, zumindest bilanziell den Strombedarf der gebäudeintegrierten Wärmepumpe zu decken. Da der Heizwärmebedarf während der kalten und weniger sonnenreichen Monate von der Wärmepumpe erbracht werden muss, ist ein Strombezug aus dem anstehenden Stromnetz unvermeidlich. Abhilfe könnten einzig große elektrische Speicher von mehreren hundert bis tausend Kilowattstunden leisten, die derzeit aber wirtschaftlich nicht darstellbar sind. Kleinere elektrische Speicher sind im Systemansatz aber unverzichtbar, um an sonnenreichen Tagen die über die SHDS gewonnene Energie zumindest netzdienlich in das anstehende Versorgungsnetz einspeisen zu können. Hierzu werden gebäude- und quartiersintegrierte elektrische Speicher im Vorhaben zum Einsatz gebracht. Gleichermaßen werden gebäudeintegrierte thermische Energiespeicher auf Basis von Phasenwechselmaterial (PCM) im Wärmeversorgungskonzept berücksichtigt, um Überschüsse des außen anstehenden Stromnetzes zur Netzentlastung in der Heizperiode einbeziehen zu können und die im Erdreich und in den SHDS anstehende Wärme auf das Vorlauftemperaturniveau zu führen. PCM-Speicher eignen sich in hervorragender Weise, verlustarm Wärme zu bevorraten.

In der Summe lässt sich so ein nahezu klimaneutrales Wärmeversorgungskonzept in den denkmalgeschützten Gebäuden realisieren. Unter Annahme realitätsnaher Randbedingungen führen die bislang mittels dynamischer Gebäudesimulation durchgeführten Analysen zu mehr als erfolversprechenden Ergebnissen. Bis zum Jahresende 2021 sollen die Maßnahmen und Konzepte in den fünf Demonstrationsgebäuden umgesetzt sein, so dass mit der energetischen Analyse der in umfassender Weise erfassten Monitoringdaten eine aussagekräftige Bewertung der Gebäude bereits nach der Heizperiode 2022/23 möglich sein wird. Die folgenden Jahre werden offenlegen, ob der systemische Versorgungsansatz den hohen Erwartungen des Vorhabens entspricht.

Wie dem Abschnitt zu entnehmen ist, kommt den SHDS eine zentrale Bedeutung im systemischen Gebäudeansatz zu. Entsprechend des Entwicklungsstands beim Abfassen dieses Beitrags für die 31. Hanseatischen Sanierungstage konnte bereits ein nahezu (Vor-)Serientaugliches Herstellungskonzept entwickelt und in

den einzelnen Prozessschritten erprobt werden. Bis zur Präsentation des Vorhabens Anfang November 2021 werden zumindest die ersten 3.000 SHDS der insgesamt 13.000 in 2021 herzustellenden SHDS produziert und auf den Dächern verlegt worden sein.

2 Solarhybrider Dachstein (SHDS)

Neben den üblichen Dachsteinfunktionen bietet der neuartige solarhybride Dachstein, der aus einem Hochleistungsfeinkornbeton gefertigt wird, die Möglichkeit, die auf den Dachflächen anfallende solarelektrische und solarthermische Energie zu gewinnen. Über die Solarwärme kann der SHDS aber auch die an sonnenarmen Tagen anstehende Umweltwärme aufnehmen, so dass diese mit Hilfe der Wärmepumpe während der Übergangsmomente zur Deckung des Wärmebedarfs eingebunden werden können. Auch wenn mit Hilfe der thermischen Gebäudesimulation diese Gewinne theoretisch aufgezeigt werden können, werden erst die Messungen unter realen Umweltbedingungen an den fünf Demonstrationsgebäuden verlässliche Aussagen erlauben, welchen Beitrag die Umweltwärme an sonnenfreien Tagen die SHDS zur Wärmedeckung leisten können.

Die große Herausforderung von der Entwicklung bis zur aktuellen Vorbereitung der (Vor-) Serienfertigung des Dachsteines besteht darin, die SHDS in ihrer Geometrie und Optik so den üblicherweise in der Margarethenhöhe zum Einsatz kommenden Dachziegeln anzugleichen, dass sowohl die MKS als auch die Denkmalpflege einer Verlegung der nachgebildeten aber nunmehr um weitere Funktionen erweiterte Dachsteine auf den Dachflächen der denkmalgeschützten Gebäude in der Gartenstadt zustimmen können. Das größte Problem musste für den die PV-Seite verantwortlichen Unternehmenspartner, Fa. Eckpack, gelöst werden. So weist der Standarddachstein, der in Bild 3 aufgezeigt ist, eine Wellenform (S-Welle) auf. Bekanntlich werden in PV-Laminaten ebene monokristalline Solarzellen zum Einsatz gebracht, die aus Wavern gefertigt werden und zur Fertigung des PV-Moduls zu Strings zu verschalten sind. Mehrere parallel verlaufende Strings werden auf einem Laminat zusammengeführt, das dann in die S-Welle zu führen ist. Enorme Entwicklungsarbeiten mussten vom Unternehmenspartner mit seinem Partnerumfeld geleistet werden, um ein nahezu S-förmiges Laminat bereitstellen zu können. Als problematisch erweist sich die Formgebung der PV-Module von einer ebenen hin zu einer gewellten Form. Hierzu werden die Lamine mit einer spezifisch ausgebildeten Formgebungseinheit durch Biegung in die gewünschte Wellenform gebracht. Allerdings werden mit der Biegung hohe Biegebeanspruchungen auf die Solarzellen aufgebracht, die als spröde Siliziumwaver beim Überschreiten der Zugfestigkeit brechen und so aus-

fallen. Dank innovativer Verschaltungstechniken gelingt es dem Unternehmenspartner, dass auch beim Ausfall einzelner Solarzellen keine starken Leistungseinfälle durch Zellbruch zu verzeichnen sind. Die Leistungsvermessung der gewellten SHDS wird vom Forschungspartner IAS vorgenommen. Hier zeigten erste Versuchsreihen an einem Cluster von SHDS, dass im Vergleich zu ebenen Modulen der elektrische Solarertrag der gewellten SHDS weniger stark abfällt als ursprünglich erwartet. Vielmehr bietet die S-Welle Vorteile bzgl. des Ertrags diffuser Strahlung.

Entwicklung solar-hybrider Dachsteine (SHDS)

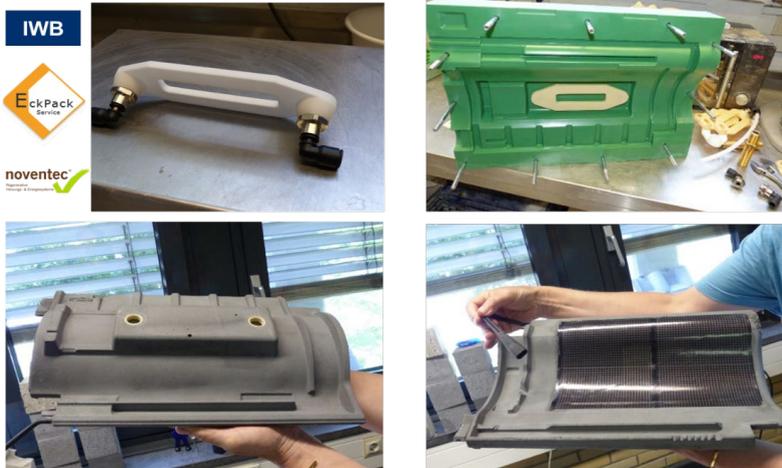


Bild 3 Solarhybrider Dachstein – Entwicklungsschritte und Teilkomponenten Wärmetauscher, PV-Laminat (hier CIGS) und 3D-Schalung

Neben der elektrischen Aktivierung wurde gemeinsam mit dem Unternehmenspartner Noventec auch ein Konzept zur thermischen Aktivierung des SHDS entwickelt, prototypisch umgesetzt und erprobt, so dass in der Kombination mit der solarelektrischen Aktivierung ein multifunktionaler Dachstein herausgearbeitet wurde, der in seiner Geometrie den auf der Margarethenhöhe zu verlegenden Dachziegeln entspricht. Um auch die optische Erscheinung des Dachziegels nachzubilden, wurde zunächst eine farblich angepasste Beschichtung auf der Feinkornbetonoberfläche aufgebracht. In weiteren Entwicklungsschritten wurde aber ein mit geeigneten Pigmentgemischen durchgefärbter Feinkornbeton realisiert.