



D I P L O M A R B E I T - V o r b e m e r k u n g

Nachfolgende Diplomarbeit wurde im Jahr 2005 veröffentlicht. In diese Arbeit sind neben den Forschungsergebnissen der Universität Erfahrungen eines Baumeisters aus eineinhalb Jahrzehnten Baupraxis eingeflossen.

Das Bauteilverhalten vorhandener und entworfener Konstruktionen wurde u. a. durch die Ausgabegrafiken bauphysikalischer Simulationssoftware dargestellt. Diese Software ist sehr gut zur Veranschaulichung möglichen Temperatur- und Feuchteverhaltens von Bauteilen geeignet - es kann jedoch nur das abgebildet werden, was der Verfasser aufgrund seiner Erfahrung als Ergebnis vermutet.

Weitere Informationen dazu sind am Ende der Arbeit zu finden (Seite 178 ff).

Verfasser: Alexander Ternes
Scharfenberg, März 2010

Technische Universität Dresden
Fakultät Architektur
Institut für Bauklimatik
Professur Klimagerechtes Bauen
und Technischer Ausbau
Prof. Dr. Ing. J. Roloff

DIPLOMARBEIT

Thema:

Bauklimatische Analysen zur behutsamen Wiedernutzbarmachung eines historischen Gebäudes

Verfasser:

Alexander Ternes

Maurermeister

Betreuung:

Prof. Dr. Ing. J. Roloff

Dr. Ing. R. Plagge

Dipl.-Ing. U. Meinhold

Dresden, Juli 2005

AUFGABENSTELLUNG

Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes hat die Siedlungs- und Verkehrsfläche in Deutschland im Jahr 2003 insgesamt um 341 km² zugenommen.

Das sind rund 93 ha pro Tag! [1]

Neben dieser Entwicklung ist ein Anstieg von Brachflächen zu verzeichnen. Besonders in ländlichen Regionen nimmt die Anzahl leer stehender historischer Gebäude zu. Betroffen sind einfache Bauernhäuser, große Gutshöfe, Klosteranlagen, Schlösser und andere, mitunter jahrhundertealte Bauwerke.

Leben und Arbeiten auf dem Land haben sich in der Vergangenheit stark gewandelt, so dass für viele Gebäude die ursprüngliche Nutzung weggefallen ist. Die alten Bauwerke stehen oft leer, bis sie zusammenbrechen und der Abriss unvermeidbar ist.

Historische Gebäude, die noch dazu denkmalgeschützt sind, gehören nicht zu den attraktivsten Bauwerken auf dem Immobilienmarkt. Sofern sie sich nicht in einem besonders guten Erhaltungszustand befinden und weder ihre Lage noch die baulichen Gegebenheiten eine gewinnversprechende Nutzung ermöglichen – werden die Sanierungsaufwendungen und die Betriebskosten meist als unverhältnismäßig hoch eingeschätzt. Ihre Bauweise entspricht in der Regel nicht dem heutigen Stand der Technik und nicht selten folgt nach einer Modernisierungsmaßnahme die Sanierung der Sanierung. Diese Schadensfälle werden zu einem großen Teil durch mangelnde Kenntnis bauklimatischer Zusammenhänge bei historischen Gebäuden verursacht.

Unsicherheiten im Umgang mit dieser Bausubstanz gibt es nicht nur bei Handwerkern und Bauherren sondern auch bei Architekten.

In der Diplomarbeit sollen die Zusammenhänge zwischen konstruktiven Gegebenheiten und bauklimatischen Problemen, die bei der Nutzung oder Umnutzung historischer Gebäude von Bedeutung sind, erläutert werden.

Am Beispiel einer Scheune mit Stallräumen, die in der Vergangenheit auch für Wohnzwecke genutzt wurde, sollen vorhandene Schäden aufgenommen und analysiert werden. Nach Untersuchung der Hauptschadensursachen und grundsätzlicher Möglichkeiten für deren Behebung soll ein Konzept für die Nutzung bzw. Umnutzung des Gebäudes gefunden werden.

Dieses Konzept sollte sowohl die Architekturplanung als auch die speziell notwendigen konstruktiven Maßnahmen enthalten. Diese sind durch nachvollziehbare bauphysikalische Berechnungen, die auch mögliche Varianten einschließen, zu begründen.

Viele Schäden an bereits sanierten Altbauten entstehen am Natursteinsockel dieser Häuser. Deshalb sollten Sie neben den Vorschlägen zur Sanierung der Außenwände, den Vorschlägen zur Herstellung eines geeigneten Raumklimas in den neu geschaffenen Räumen, besonders diesen Bereich genauer untersuchen und geeignete Detaillösungen vorschlagen.

INHALTSVERZEICHNIS

1	HISTORISCHE GEBÄUDE AUF DEM LAND	- 7 -
1.1	ERHALTUNG HISTORISCHER GEBÄUDE – EINE NOTWENDIGKEIT	- 7 -
1.2	NUTZUNGSMÖGLICHKEITEN FÜR HISTORISCHE GEBÄUDE AUF DEM LAND	- 9 -
1.2.1	BEWERTUNG DER NUTZUNGSMÖGLICHKEITEN	- 10 -
1.2.1.1	LANDWIRTSCHAFTLICHE NUTZUNG	- 10 -
1.2.1.2	LAGER-, ABSTELL-, GARAGEN- UND GEWERBERÄUME FÜR HANDWERKER	- 11 -
1.2.1.3	WOHNANLAGEN FÜR ÄLTERE MENSCHEN	- 11 -
1.2.1.4	MEDIZINISCHE EINRICHTUNGEN	- 11 -
1.2.1.5	GASTWIRTSCHAFTEN, PENSIONEN, ÖRTLICHE VERSORGUNGSEINRICHTUNGEN	- 12 -
1.2.1.6	PRIVATWOHNUNGEN	- 12 -
1.2.2	URSACHEN FÜR DEN LEERSTAND HISTORISCHER GEBÄUDE	- 20 -
2	NUTZUNG UND UMNUTZUNG HISTORISCHER GEBÄUDE	- 22 -
2.1	BESONDERHEITEN EINES HISTORISCHEN GEBÄUDES AUS BAUKLIMATISCHER SICHT	- 22 -
2.2	INSTANDSETZUNG, MODERNISIERUNG UND UMBAU HISTORISCHER GEBÄUDE	- 24 -
2.3	WÄRME- UND FEUCHTESCHUTZ AN HISTORISCHEN GEBÄUDEN	- 25 -
2.3.1	GRUNDBEZIEHUNGEN	- 25 -
2.3.2	KONDENSATION UND SCHIMMELPILZBILDUNG	- 25 -
2.3.2.1	TAUWASSERSCHUTZ	- 26 -
2.3.2.2	SCHIMMELPILZFREIHEIT	- 27 -
2.3.2.3	DER BAUHYGIENISCHE MINDESTWÄRMESCHUTZ	- 28 -
2.3.3	BEURTEILUNG DES WÄRME- UND FEUCHTEVERHALTENS VON BAUKONSTRUKTIONEN	- 29 -
2.4	HAUPTSCHADENSPUNKTE HISTORISCHER GEBÄUDE AUF DEM LAND	- 33 -
3	RITTERGUT PEGENAU – SÜDGEBÄUDE - BESTANDSAUFNAHME UND ZUSTANDSANALYSE	- 36 -
3.1	LAGE DES RITTERGUTES PEGENAU	- 36 -
3.2	LAGE DES BAUWERKES IM GELÄNDE	- 37 -
3.3	BEDEUTUNG DES BAUWERKES	- 39 -
3.4	GEBÄUDEBESCHREIBUNG	- 40 -
3.5	BAUKLIMATISCHE UND BAUKONSTRUKTIVE BESTANDSAUFNAHME	- 41 -
3.5.1	BESTANDSPÄNE	- 41 -
3.5.2	BESCHREIBUNG DER BAUKONSTRUKTION	- 49 -
3.5.3	ZUSTANDSANALYSE	- 51 -
3.5.3.1	BISHERIGE NUTZUNG, BEHEIZUNG, LÜFTUNG UND ENTWÄSSERUNG DES GEBÄUDES	- 51 -
3.5.3.2	WÄRME- UND FEUCHTIGKEITSSCHUTZ DER VORHANDENEN KONSTRUKTION	- 55 -
3.5.3.3	SCHÄDEN AM BAUWERK	- 58 -
4	RITTERGUT PEGENAU – UMNUTZUNG DES SÜDGEBÄUDES - ENTWURF	- 68 -
4.1	UMNUTZUNG DES SÜDGEBÄUDES ZUM WOHNHAUS	- 68 -
4.2	ENTWURFSKONZEPT	- 68 -
4.3	ENTWURFSPLÄNE	- 70 -
4.4	ENTWURFSKRITERIEN	- 77 -
4.5	RAUMGESTALTUNG - GRUNDRISS	- 78 -
4.6	DAS DACH	- 80 -
4.7	AUSSENWAND UND GESIMS	- 84 -
4.8	INNENWÄNDE	- 102 -
4.9	FUSSBODEN UND OBERSTE GESCHOSSDECKE	- 102 -
4.10	ENTWURFSDETAILS IM FASSADENSCHNITT	- 106 -

4.11	NATURSTEINSOCKEL AM HISTORISCHEN GEBÄUDE	- 107 -
4.11.1	PROBLEMBEREICHE UND SCHADENSURSACHEN	- 107 -
4.11.2	FEUCHTEBELASTUNG DES SOCKELMAUERWERKES	- 109 -
4.11.2.1	FEUCHTEVERTEILUNG IN EINER WAND UND DEREN URSACHEN	- 110 -
4.11.2.2	WASSERAUFNAHME DURCH REGEN	- 110 -
4.11.2.3	AUFSTIEGENDE FEUCHTIGKEIT	- 112 -
4.11.2.4	KONDENSATION VON WASSERDAMPF	- 116 -
4.11.2.5	HYGROSKOPISCHE FEUCHTIGKEITSAUFNAHME DURCH SALZE	- 117 -
4.11.3	FEUCHTE UND SALZE	- 118 -
4.11.3.1	KRISTALLISATIONSDRUCK BAUSCHÄDIGENDER SALZE	- 119 -
4.11.3.2	SCHADENSFORMEN DURCH SALZKRISTALLISATION	- 121 -
4.11.3.3	SALZBEHANDLUNG	- 122 -
4.11.4	IDEALE LÖSUNG	- 123 -
4.11.5	DETAILLÖSUNG SOCKEL	- 124 -
4.11.6	ENTWURFSKRITERIEN ZUM BAUWERKSSOCKEL	- 125 -
4.11.6.1	HISTORISCHES BAUMATERIAL - BAUSTOFFEIGENSCHAFTEN	- 125 -
4.11.6.2	VERITTERUNG VON NATURSTEINEN UND PUTZEN	- 126 -
4.11.6.3	GERINGE WASSERAUFNAHME = GERINGES SCHADENSPOTENTIAL?	- 128 -
4.11.6.4	ZWEI WICHTIGE EINFLUSSFAKTOREN AM BAUWERKSSOCKEL	- 130 -
4.12	FENSTER UND TÜREN	- 144 -
4.12.1	WÄRMEBRÜCKE - FENSTER- UND TÜRLEIBUNG	- 144 -
4.12.2	FUNKTION DES FENSTERS ALS LÜFTUNGS- UND ENTFEUCHTUNGSELEMENT	- 150 -
4.13	LÜFTUNG	- 151 -
4.14	HEIZUNG IM HISTORISCHEN GEBÄUDE	- 158 -
4.14.1	ANORDNUNG DER HEIZFLÄCHEN	- 158 -
4.14.2	HINWEISE FÜR DEN NUTZER	- 159 -
4.14.3	AUSWAHL DES HEIZSYSTEMS	- 160 -
4.14.4	HEIZENERGIEBEDARF NACH ENEC	- 161 -
4.14.4.1	BERECHNUNGSKENNWERTE	- 162 -
4.14.4.2	BERECHNUNG	- 164 -
4.14.4.3	AUSWERTUNG DER BERECHNUNGSERGEBNISSE	- 169 -
4.14.4.4	VERGLEICH DES HEIZWÄRMEBEDARFES	- 170 -
4.15	SOMMERLICHER WÄRMESCHUTZ	- 171 -
5	ABSCHLIESSENDE EINSCHÄTZUNG	- 173 -

1 HISTORISCHE GEBÄUDE AUF DEM LAND

1.1 ERHALTUNG HISTORISCHER GEBÄUDE – EINE NOTWENDIGKEIT

Die Zunahme von Siedlungs- und Verkehrsfläche ist auch in ländlichen Regionen zu verzeichnen. In direkter Nachbarschaft zur historischen Dorfbauung werden Gewerbegebiete und Wohnsiedlungen errichtet, während die Bauten langsam verfallen, die einst diesen Ortschaften ihre Struktur - ihr typisches, unverwechselbares Gesicht gaben.

Viele Dörfer haben eine jahrhundertalte Geschichte und strahlen Idylle und Behaglichkeit aus, sie sind entgegen dem hektischen Großstadtleben von einem eher langsam – bedächtigen Lebensstil geprägt.

Das Dorf ist „ein relativ geschlossener Siedlungstyp der ursprünglich meist bäuerlichen, heute in unterschiedlichen Wirtschaftszweigen tätigen Landbevölkerung. Je nach architektonischer Anordnung werden sie als Rundlinge, (unregelmäßige) Haufendörfer oder Straßendörfer bezeichnet. In Deutschland entstanden seit etwa 900 n. Chr. erste Haufen- und Straßendörfer. Die sozialen Schichten des mittelalterlichen (deutschen) Dorfes wurden in der Regel von Grundherren (Hof, Ritter, Kirche oder Kloster), einer Anzahl freier Bauern und dem unfreien Gesinde (Knechte, Mägde, Handwerker usw.) gebildet. Die Bauern schlossen sich zu selbstverwalteten Genossenschaften zusammen, die Regelungen für die gemeinsame Nutzung der Wälder und Wiesen trafen. Über deren Einhaltung wachte die Grundherrschaft, die auch Höhe und Art der fälligen Abgaben festsetzte. Des Weiteren oblagen ihr die dörfliche Gerichtsbarkeit und die Ernennung von Amtspersonen (Schultheiß). Die preußische Städteordnung von 1808 beendete rechtlich die dörfliche Eigenständigkeit. Die Gemeinden wurden zu staatlichen Verwaltungsbezirken.“ [2]

Durch staatlich geförderte Stilllegung landwirtschaftlich genutzter Flächen und die damit verbundene Aufgabe unrentabler Betriebe auf dem Land sowie durch den Zuzug städtisch orientierter Pendler in uniforme Wohnsiedlungen, geht der ursprüngliche Charakter des ländlichen Raumes zunehmend verloren.

Mag man für das Einzelgebäude mitunter keinen Grund sehen, es aus kultur- oder kunsthistorischem, wissenschaftlichem oder öffentlichem Interesse zu erhalten – so spielt es im Gesamtzusammenhang doch eine wichtige Rolle. Nicht jede alte Scheune muss

erhalten werden, aber der Erhalt vieler dieser Bauten trägt dazu bei, historische städtebauliche Strukturen zu bewahren. Unter diesem Gesichtspunkt ist zu verstehen, dass Denkmalschutz sich nicht nur auf einzelne, herausragende Bauwerke beschränken darf.

Der Erhalt historischer Bausubstanz ist eine Aufgabe unserer Zeit. Seit der Antike wurden „Baudenkmäler“ respektvoll genutzt bzw. umgenutzt und dadurch für nachfolgende Generationen bewahrt. Die Gründe dafür sind so verschieden wie die erhalten gebliebenen Bauwerke. Neben religiösen Aspekten, der Symbolwirkung eines Gebäudes, der Einmaligkeit und Schönheit eines Bauwerkes und dem Geschichtsbewusstsein sprechen auch wirtschaftliche und ökologische Gründe für die Erhaltung einzelner Gebäude sowie gesamter städtebaulicher Strukturen.

In der vorliegenden Diplomarbeit soll untersucht werden, wie eine zu einem sehr großen ehemaligen Rittergutshof in Scharfenberg gehörende Scheune mit Stallräumen unter Beachtung der baukonstruktiven und bauklimatischen Zusammenhänge behutsam wiedernutzbar gemacht werden kann.

1.2 NUTZUNGSMÖGLICHKEITEN FÜR HISTORISCHE GEBÄUDE AUF DEM LAND

In Deutschland nahm die Siedlungs- und Verkehrsfläche in den vergangenen zehn Jahren im Durchschnitt um mehr als 1 Million m² **pro Tag** zu. [1] Davon entfallen 380 000 m² pro Tag auf Gebäude- und Freiflächen. (Abb. 1 - 1)

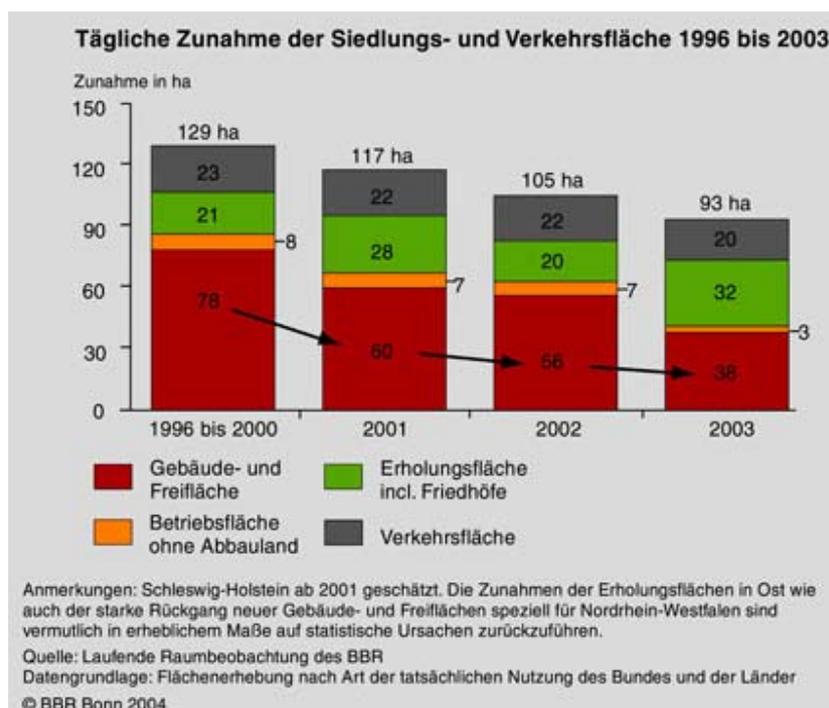


Abbildung 1—1, Tägliche Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsfläche

Vor diesem Hintergrund scheint es umso wichtiger für leer stehende, verfallende, denkmalgeschützte Gebäude nach Nutzungsalternativen zu suchen.

Folgende **Nutzungsvarianten** für ehemals landwirtschaftlich genutzte Gebäude wären denkbar:

- landwirtschaftliche Nutzung
- Lager-, Abstell-, Garagen- und Gewerberäume für Handwerker
- Altenwohnanlagen, betreutes Wohnen auf dem Land
- medizinische Einrichtungen, wie Rehabilitationseinrichtungen
- Gastwirtschaften, Pensionen
- Mehrgenerationenwohnen, Privatwohnungen

1.2.1 BEWERTUNG DER NUTZUNGSMÖGLICHKEITEN

1.2.1.1 LANDWIRTSCHAFTLICHE NUTZUNG

Für eine landwirtschaftliche Nutzung spricht der geringere Sanierungsaufwand bei Fortführung der bisherigen Nutzung gegenüber einer Umnutzung. Funktionierende Beispiele (Abb. 1 - 2, 1 - 3, 1 - 4) zeigen, dass vor Ort hergestellte, gesunde Nahrungsmittel, ohne Konservierungsstoffe, Pestizidrückstände usw. - trotz der höheren Erzeugerpreise Marktchancen haben.



Abbildung 1—3, Schweine- und Schafstall



Abbildung 1—2, landwirtschaftlich genutzter „Biohof“ in Mahlitzsch



Abbildung 1—4, Wohnhaus

1.2.1.2 LAGER-, ABSTELL-, GARAGEN- UND GEWERBERÄUME FÜR HANDWERKER

Lager-, Abstell-, Garagen- und Gewerberäume für Handwerker sind ebenfalls eine sinnvolle und preiswerte Möglichkeit für die Nutzung einer Scheune, jedoch verfügen die ortsansässigen Handwerker meist über genügend eigene Räumlichkeiten – so dass hier wenig Bedarf besteht.

1.2.1.3 WOHNANLAGEN FÜR ÄLTERE MENSCHEN

Wohnanlagen für pflegebedürftige ältere Menschen (Altenwohnheime, betreutes Wohnen) im Dorf haben den Vorteil, dass die Senioren nicht aus ihrem bisherigem Wohnumfeld herausgerissen werden, da dies meist mit dem Verlust sozialer Kontakte und in der Folge mit Isolation verbunden ist. Hauptnachteile sind die schlechte Infrastruktur auf dem Land, schlecht erreichbare medizinische Betreuung sowie wenige Einkaufsmöglichkeiten, Versorgungs- und Kultureinrichtungen – bei in zunehmendem Alter immer geringer werdender eigenständiger Mobilität pflegebedürftiger Menschen.

1.2.1.4 MEDIZINISCHE EINRICHTUNGEN

Die gleichen Nachteile, wie unter Punkt 1.2.1.3 genannt, sind beim Bau von medizinischen Einrichtungen auf dem Land, wie Rehabilitationskliniken, oder aus dem Krankenhausgroßbetrieb ausgelagerte Stationen langzeitkranker Patienten zu nennen.

Demgegenüber stehen aber auch bedeutende Vorteile:

Bei kleinen Kindern kann der Krankenhausaufenthalt 50 % oder mehr ihrer Gesamtlebenszeit betragen. Viele Patienten mit Systemerkrankungen sterben nach mehrjähriger Therapie in Räumlichkeiten - ohne Privatsphäre. Verbesserte Lebensbedingungen im Krankenhaus für Menschen mit bösartigen und chronischen Erkrankungen können zu einem Teil dadurch geschaffen werden, dass die Patienten und ihre Angehörigen in der Klinik wohnen können. WOHNEN – heißt in diesem Zusammenhang: Schutz der Privatsphäre von Patient und Angehörigen. Im Großbetrieb >Krankenhaus< in der Stadt sind die Bedingungen dafür kaum gegeben. Vorstellbar wäre der Ausbau eines großen Gutshofes zu einem Therapiezentrum, bei dem die Patienten

und ggf. ihre Angehörigen ebenerdig mit direkter Verbindung Wohnraum – Garten leben können. Doppelte Erschließung, d.h. separater Zugang von medizinischem Personal und Angehörigen sowie vom Patientenzimmer abteilbare Bereiche für ihre Angehörigen, Freibereiche, die auch mit einem Infusionsständer benutzt werden können, ebenfalls der Ausblick auf Grün, Natur, ländliches Leben - ... Alltagsleben (nicht eine Sicht auf den Krankenhausgroßbetrieb) würden erheblich die Lebensqualität schwer kranker Menschen verbessern.

1.2.1.5 GASTWIRTSCHAFTEN, PENSIONEN, ÖRTLICHE VERSORGUNGSEINRICHTUNGEN

Gastwirtschaften, Pensionen und örtliche Versorgungseinrichtungen wären aufgrund der steigenden Einwohnerzahlen Scharfenbergs denkbar, jedoch lassen verfallende vorhandene Einrichtungen dieser Art auf wenig Zuspruch schließen.

1.2.1.6 PRIVATWOHNUNGEN

Ehemals landwirtschaftlich genutzte Gebäude zu großzügigen Privatwohnungen umzunutzen, könnte eine sichere Investition in Umbaumaßnahmen für gut gelegene, großräumige historische Gebäude sein.

Im Umland von Großstädten werden trotz Wohnungsüberangebot Einfamilienhäuser gebaut. Außerhalb der Stadt gelegene Wohnungen scheinen gerade für Familien mit Kindern sehr attraktiv zu sein. Die schlechte Arbeitsmarktsituation auf dem Land und die ungünstige Erschließung mit öffentlichen Verkehrsmitteln werden in Kauf genommen – zugunsten individuell gestalteten Wohnens in einer geschützten Privatsphäre.

Individuell gestaltetes Wohnen und Schutz der Privatsphäre – sowohl im Haus wie auch im Garten – diese Vorzüge bieten gerade historische Gebäude auf dem Land, denn Grundstücksgröße und Gebäudeanordnung bieten oft mehr Sichtschutz und Rückzugsmöglichkeit als eng bebaute Neubausiedlungen, dennoch stehen diese Häuser nicht isoliert sondern in überschaubaren Häusergruppen und bieten Platz und Bewegungsraum für Kinder.

Die Verschiedenheit historischer Gebäude auf dem Land kann für unterschiedliche Nutzergruppen interessant sein. So wird Wohnen und Arbeiten unter einem Dach ermöglicht. Je nach Berufszweig bieten alte Gehöfte mit ihren großen Scheunen, Stallungen und Wohnhäusern genügend Raum für ein eigenes Büro, für Lagerräume, eine Werkstatt für Handwerker, separaten Raum für Angestellte oder Besucherverkehr.

Mischung von verschiedenen Wohnungstypen und unterschiedlichen Wohnungsgrößen bei einer Umnutzung leer stehender Gebäude in größeren Gehöften bringt soziale Vielfalt in das neu entstehende Wohnquartier – und kann in dieser Nachbarschaft zum Zusammenhalt von Alt und Jung in ungezwungener Weise beitragen.

Der Wohnungsleerstand in vielen Städten und auf dem Land kann nicht allein mit Bevölkerungsrückgang begründet werden.

In Deutschland soll nach Angaben des Statistischen Bundesamtes die Zahl der Einwohner von derzeit 82,5 Millionen bis zum Jahr 2050 auf rund 75 Millionen sinken. [5]

Bei einem gesättigten Wohnungsmarkt spielt die **Wohnqualität** für die Vermarktung die entscheidende Rolle. Gefragt sind nicht nur preiswerte Wohnungen, sondern auch Wohnraum in einer ruhigen Lage, in einem angenehmen Umfeld mit gefahrloseren Spielmöglichkeiten für Kinder sowie Natur und Freiraum in unmittelbarer Nähe.

Seit Jahren besteht in und um Scharfenberg ein anhaltender Bedarf an Einfamilienhäusern. In unmittelbarer Umgebung der verfallenden historischen Dorfbebauung werden neue – in ihrer ästhetischen Wirkung – mit der Altbausubstanz nicht vergleichbare Wohnsiedlungen gebaut. Eine Nutzung bzw. Umnutzung historischer Gebäude, wäre gegen diesen Trend eine positive Alternative.

Die Bilder auf den Folgeseiten zeigen in einer Gegenüberstellung ungenutzte historische Gebäude - und in den letzten Jahren neu gebaute Häuser und Wohnsiedlungen, **die in deren Sichtweite stehen.**

Alle fotografierten Häuser befinden sich innerhalb eines Radius von ca. 5 km um Scharfenberg.

Die Bilder belegen, dass es einerseits einen Bedarf an großen Wohnungen auf dem Land gibt und andererseits die vorhandene Bebauung dafür nicht genutzt wird.



Abbildung 1—5, Röhrsdorf



Abbildung 1—6, Röhrsdorf



Abbildung 1—7, Röhrsdorf



Abbildung 1—8, Röhrsdorf



Abbildung 1—9, Scharfenberg



Abbildung 1—10, Scharfenberg



Abbildung 1—11, Scharfenberg



Abbildung 1—12, Scharfenberg, danebenliegendes Gehöft



Abbildung 1—13, Scharfenberg



Abbildung 1—14, Scharfenberg



Abbildung 1—15, Scharfenberg



Abbildung 1—16, Scharfenberg



Abbildung 1—17, Gauernitz



Abbildung 1—18, Gauernitz



Abbildung 1—19, Gauernitz



Abbildung 1—20, Constappel (neben Gauernitz gelegen)



Abbildung 1—21, Gauernitz



Abbildung 1—22, Gauernitz



Abbildung 1—23, Constappel



Abbildung 1—24, Constappel



Abbildung 1—25, Polenz



Abbildung 1—26, Polenz, gegenüberliegendes Haus

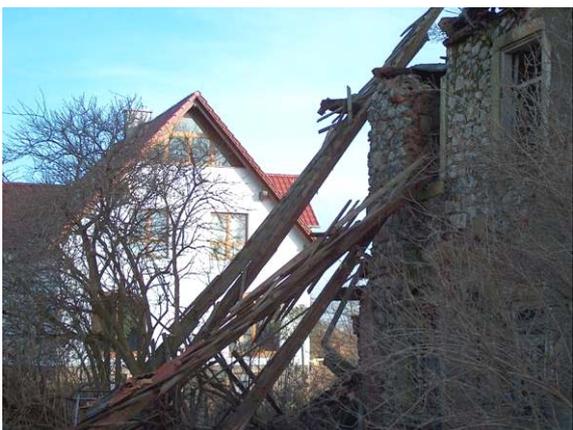


Abbildung 1—27, Polenz



Abbildung 1—28, Polenz, im gleichen Gehöft



Abbildung 1—29, Taubenheim



Abbildung 1—30, Taubenheim



Abbildung 1—31, Taubenheim



Abbildung 1—32, Taubenheim



Abbildung 1—33, Wildberg



Abbildung 1—34, Wildberg (der Ortsname)



Abbildung 1—35, Kleinschönberg



Abbildung 1—36, Kleinschönberg



Abbildung 1—37, Klipphausen



Abbildung 1—38, Klipphausen



Abbildung 1—39, Klipphausen



Abbildung 1—40, Sachsdorf (bei Klipphausen)

1.2.2 URSACHEN FÜR DEN LEERSTAND HISTORISCHER GEBÄUDE

Der Altbau birgt in der Regel viele Bauschäden, deren Ursachen vielschichtig sind. Zustand und Tragfähigkeit wichtiger Bauteile (wurmstichige oder verfaulte Holzbalken, verrostete Stahlträger, zerstörte Mauersteine usw.) werden oftmals nicht im Vorfeld durch das Hinzuziehen von Fachleuten geprüft, sondern sorgen nach bereits begonnenen Sanierungsmaßnahmen für „unerwartete“ Erhöhung der Baukosten.

Unkenntnis darüber, wie das Bauwerk unter bisherigen Nutzungsbedingungen funktioniert bzw. nicht funktioniert hat und welche Randbedingungen sich bei künftiger Nutzung ändern, sorgen nach wie vor für viele Bauschäden an historischen Gebäuden, die vermeidbar wären.

Der dritte Bauschadensbericht der Bundesregierung [6] (neue Bezeichnung: Qualitätsbericht) benennt Ursachen für die Schäden, die nach der Sanierung auftreten. Zu den Hauptursachen zählt die fehlende oder unzureichende Analyse des Bestandes. Voraussetzung für Entwurfsarbeiten an historischen Gebäuden ist immer eine Analyse des Gesamtbauwerkes unter Einbeziehung aller das Raumklima und somit auch die Baukonstruktion beeinflussender Faktoren. Erst danach ist es möglich sich für die angemessenste Sanierungsmethode einzelner Baudetails festzulegen!

Falsches Kostenbewusstsein oder Unkenntnis führen immer noch sehr häufig dazu, dass auf erforderliche Zusatzuntersuchungen verzichtet wird und der Altbau nach Standardverfahren saniert wird – der Verlust historischer Bausubstanz ist oftmals das Ergebnis dieser Herangehensweise.

Im dritten Bauschadensbericht kann man im Abschnitt 4.1.4 in den Schlussfolgerungen aus diesem Bericht lesen:

„4.1.4 Die Ausbildung zum Bauen im Bestand muss wesentlich verbessert werden!

Schadensträchtige, unwirtschaftliche und unterlassene Instandsetzungen und Modernisierungen haben zum großen Teil ihre Ursache in mangelhafter Ausbildung von Architekten und Ingenieuren sowie Handwerkern für die Aufgaben auf diesen Gebieten. Wenn auch seit den 80er Jahren die Ausbildung verbessert wurde, so besteht insgesamt doch weiterhin angesichts der Bedeutung des Problems und angesichts des hohen Anteils der Bauleistung am Bestand am gesamten Hochbauvolumen ein erhebliches Missverhältnis zwischen der Ausbildung zum Neubau und der Ausbildung zum Bauen im Bestand.

Kultusbehörden, Hochschulen, Architekten- und Ingenieurkammern, Handwerksorganisationen und das Baugewerbe sind aufgerufen, die Ausbildung in diesem Bereich erheblich zu intensivieren und Berufsbilder zu erweitern bzw. ggf. neu zu entwickeln:

- Umstrukturierung und Neuordnung der Lehrpläne unter stärkerer Berücksichtigung der Forschung und Ausbildung zu den theoretischen Grundlagen und den systematischen Vorgehensweisen beim >Planen und Bauen im Bestand<;
- Vermehrte Einrichtung von Vertiefungsstudiengängen, die Architekten und Bauingenieure zum >Planen und Bauen im Bestand< ausbilden; ...“ [6]

Missglückte Sanierungen tragen zu folgender Bewertung historischer Bauwerke bei:

- die Mauern eines solchen Gebäudes bleiben feucht und versalzen
- Farben und Putze halten nie lange
- in den Raumecken und Fensterleibungen schimmelt es
- das Innenraumklima ist unbehaglich
- Heizenergiekosten sind höher als bei einem Neubau
- Auflagen der Denkmalschutzbehörden kosten Zeit und Geld
- Sanierungsarbeiten sind nicht zuverlässig kalkulierbar

Die daraus resultierende, weit verbreitete Meinung, dass historische Gebäude ein „Fass ohne Boden“ sind, ist verständlich – aber nicht richtig.

Für Planer und Bauherren stellen sich jedoch die Fragen:

Wie zuverlässig lassen sich historische Gebäude sanieren und **schadensfrei** nutzen?

Welche Herangehensweise ist sinnvoll?

Welche Einflussfaktoren sind zu berücksichtigen?

An welchen Baudetails treffen besonders viele Wirkmechanismen zusammen?

Auf diese Fragen soll im folgenden Teil dieser Arbeit am Beispiel einer Scheune mit Stallräumen eingegangen werden.

2 NUTZUNG UND UMNUTZUNG HISTORISCHER GEBÄUDE

2.1 BESONDERHEITEN EINES HISTORISCHEN GEBÄUDES AUS BAUKLIMATISCHER SICHT

Die Baukonstruktion ist bei historischen Gebäuden vorhanden. Mit moderner Bauweise ist diese meist nicht zu vergleichen. Unter heutigen Nutzungsbedingungen und dem damit verbundenen höheren Anspruch an das Raumklima entstehen durch diese Vorgabe Abhängigkeiten von Grundrissgestaltung, Nutzungsintensität, Lüftungsplanung, Nutzerverhalten und Heizungsplanung bis hin zum Baudetail, welches neben dem ästhetischen Anspruch – wie der Gesamtentwurf - auch denkmalpflegerischen Aspekten Rechnung tragen muss.

In der **Bauphysik**, wird überwiegend das funktionierende einzelne Baudetail analysiert und optimiert. Sie trägt einen Teil zur Lösung bauklimatischer Probleme bei. Das bauklimatische Einzelproblem darf jedoch nicht unabhängig vom Gesamtzusammenhang betrachtet werden.

In der **Bauklimatik** wird das gesamte Gebäude im Jahresverlauf unter tatsächlichen Nutzungsbedingungen untersucht. Klimagerechtes Bauen umfasst den Gebäudeentwurf ebenso wie die konstruktive Durchbildung des Baudetails und berücksichtigt Einflüsse von Heizung, Lüftung und alle sich auf das Raumklima auswirkenden Maßnahmen und baulichen Gegebenheiten.

Aus bauklimatischer Sicht versteht man unter einem historischen Gebäude ein vorhandenes Bauwerk, bei dem die Baukonstruktion den Mindestwärmeschutz für die bisherige oder geplante Nutzung nicht erfüllt und bei dem eine Verbesserung des Wärmeschutzes aus bauklimatischen, konstruktiven oder denkmalpflegerischen Gründen nicht in ausreichendem Maß möglich ist. [3]

Neubauten können entsprechend ihrer Funktion so konzipiert werden, dass an der Baukonstruktion durch das nutzungsbedingte Raumklima keine Schäden entstehen. Hier gilt die Forderung nach klimagerechtem Bauen: Das Raumklima soll möglichst einen großen Teil des Jahres ohne den Einsatz von Heiz- und Kühlenergie in bestimmten Grenzen gehalten werden. Für den Zeitraum, in dem eine freie Klimatisierung nicht möglich ist, müssen die Energieverluste mit ökonomisch optimalem Aufwand begrenzt werden. Das ist primär als Aufgabe des Baukörpers anzusehen. [4]

Für historische Gebäude gilt diese Forderung nur bedingt. Die vorhandene Konstruktion ist mitunter weit entfernt von optimalen Bedingungen und erfordert deshalb oftmals eine bauwerksgerechte Klimatisierung, d.h. **Nutzung, Heizung und Lüftung müssen auf den vorhandenen baulichen Wärmeschutz abgestimmt sein**, damit Feuchteschäden durch Tauwasser verhindert werden. Dieser Zusammenhang kann als **Bauklimatische Grundforderung** für historische Gebäude verstanden werden. [3] Daraus ergibt sich, dass unter Umständen bestimmte Nutzungen mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand nicht möglich sind.

2.2 INSTANDSETZUNG, MODERNISIERUNG UND UMBAU HISTORISCHER GEBÄUDE

Instandsetzung, Modernisierung und Umbau historischer Gebäude erfordern planerisch ein anders Vorgehen als ein Neubau.

Grundlage für diese Arbeiten ist die systematische Bestandsaufnahme.

Die Bestandsaufnahme beinhaltet:

- die allgemeine Baubeschreibung:
 - Grundstück, städtebauliche Einordnung, Lage im Gelände
 - kultur- oder kunsthistorische Bedeutung des Bauwerkes und daraus resultierende Vorgaben des Denkmalschutzes
 - Gebäudealter, geschichtliche Bauabschnitte
 - Baugeschichtliche Gestaltungsmerkmale, Baumaterialien, Tragwerk
 - Gebäudenutzung, Heizung, Lüftung und Verhalten der Baukonstruktion bei dem sich entsprechend einstellendem Raumklima (Temperatur, Luftfeuchtigkeit) – das schließt folgende Fragen ein:
Wie intensiv ist das Gebäude in der Vergangenheit genutzt worden?
Wie viele Menschen/ Tiere haben - bei welchem Nutzerverhalten (Wasserdampferzeugung/ Lüftung) das Gebäude genutzt?
Wurde das Gebäude ganzjährig genutzt – oder nur im Sommer?
Gab es konstruktive Eigenheiten, die das Entstehen von Bauschäden verhindert haben, obwohl diese unter Berücksichtigung aller Umstände hätten entstehen müssen?
- die Bestandsaufnahme des Gebäudezustandes;
Aufmaßpläne mit Eintragung von Schäden am Bauwerk:
 - Dach, Dachstuhl, (Schäden durch Fäulnis, Schwamm oder Insekten), Dachentwässerung, Gesimse, Dachtraufe, Dach- Wandanschlüsse
 - Kamine, Kaminköpfe, Treppenhäuser
 - Wand und Fassade – (Verwitterung, Risse, Salz- und Frostschäden)
 - Öffnungen und Einbauteile; Fenster, Türen
 - Geschossdecken, Deckenaufleger, Fußböden
 - vorhandene Haustechnik
- Bewertung des hygrothermischen Verhaltens der Konstruktion

2.3 WÄRME- UND FEUCHTESCHUTZ AN HISTORISCHEN GEBÄUDEN

2.3.1 GRUNDBEZIEHUNGEN

Bei Temperaturunterschieden – beispielsweise zwischen dem beheizten Innenraum eines Gebäudes und der kalten winterlichen Außenluft kommt es zur Wärmeübertragung durch die Umfassungsbauteile, die durch ausreichend

große *Wärmedurchlasswiderstände* R in $[\text{m}^2\text{K}/\text{W}]$ bzw.

kleine *Wärmedurchgangskoeffizienten* U in $[\text{W}/\text{m}^2\text{K}]$ begrenzt wird.

Ein guter Wärmeschutz ist die Voraussetzung für ausreichend hohe innere Oberflächentemperaturen der Außenbauteile.

Zur Vermeidung von Tauwasserbildung auf Bauteilinnenoberflächen darf die Temperatur der raumseitigen Oberfläche, welche vom Wärmedurchlasswiderstand und der Beheizung (Bauteile in nicht – oder nur kurz vor Nutzungsbeginn - beheizten Räumen haben auch niedrige Oberflächentemperaturen!) des Bauteils abhängt, die Taupunkttemperatur der Raumluft nicht unterschreiten.

Hierbei spricht man vom Mindestwärmeschutz.

2.3.2 KONDENSATION UND SCHIMMELPILZBILDUNG

Historische Gebäude beinhalten im Allgemeinen wesentlich mehr bauklimatische Probleme als übliche Neubauten. Die „normale“ Ausgangssituation ist, dass der vorhandene bauliche **Mindestwärmeschutz** nach DIN 4108 – 2; *Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden* [9] für die derzeitige oder beabsichtigte Nutzung nicht eingehalten wird und eine nachträgliche Verbesserung z.B. durch Aufbringen einer Wärmedämmung aus denkmalpflegerischen oder konstruktiven Gründen nicht möglich ist.

Bei diesen Gebäuden, ist mit Kondensation von Wasserdampf auf der Oberfläche von Raumumschließungskonstruktionen und mit einer größeren Ansammlung von Kondensat im Bauteil während der Tauperiode zu rechnen.

Der Mindestwärmeschutz ist der geringste mögliche Wärmedurchlasswiderstand R_{min} (2.3.2.1-1) von Bauteilen (Wände, Decken, Fußböden), der die Nutzbarkeit des von ihnen eingeschlossenen Raumes noch gewährleistet.

Die Nutzbarkeit wird in diesem Sinne durch drei Anforderungen an die innere Oberflächentemperatur der Bauteile charakterisiert.

Danach unterscheidet man den **Tauwasserschutz**, die **Schimmelpilzfreiheit** und den **bauhygienischen Wärmeschutz**. [4]

2.3.2.1 TAUWASSERSCHUTZ

$$R_{\min} \geq R_{\text{si}} \cdot \frac{(\theta_i - \theta_e)}{(\theta_i - \theta_{\text{si}})_{\text{zul}}} - (R_{\text{si}} + R_{\text{se}}) \quad (2.3.2.1-1)$$

$$\theta_{\text{si,zul}} > \theta_s = \text{Bedingung für Tauwasserfreiheit}$$

- mit:
- R_{si} = Wärmeübergangswiderstand an der raumseitigen Bauteiloberfläche
 - R_{se} = Wärmeübergangswiderstand an der äußeren Bauteiloberfläche
 - θ_i = Raumlufttemperatur in °C
 - θ_{si} = innere Oberflächentemperatur des Bauteils in °C
 - θ_s = Taupunkttemperatur
 - θ_e = Außenlufttemperatur
 - φ = relative Luftfeuchtigkeit

Unterschreitet die Oberflächentemperatur auf der Innenseite eines Außenbauteiles unter winterlichen Verhältnissen die Taupunkttemperatur der Innenraumlufte, dann fällt aus der an diese Oberfläche grenzenden Luftschicht Tauwasser aus. Das kann nur verhindert werden, wenn $\theta_{\text{si}} > \theta_s$ ist.

Bei saugfähigen Baustoffoberflächen setzt in den Poren bereits Kapillarkondensation ein, wenn die Luftfeuchtigkeit φ_{si} der Grenzschicht noch nicht gesättigt ist.

Lebensbedingungen für Schimmelpilze werden bereits geschaffen, wenn noch kein freisichtbares Tauwasser entsteht. Die Luftfeuchte an der Bauteiloberfläche sollte nicht längere Zeit oberhalb 80% liegen. Um dieses Kriterium einzuhalten, muss die Innenoberflächentemperatur des Bauteils über der Schimmeltemperatur liegen.

Beispielsweise liegt die Taupunkttemperatur θ_s bei 12°C, wenn die Raumlufte $\theta_i = 20^\circ\text{C}$ und die relative Luftfeuchtigkeit im Raum $\varphi_i = 60\%$ beträgt.

2.3.2.2 SCHIMMELPILZFREIHEIT

Damit Schimmelpilze sicher verhindert werden, muss für die Ermittlung von θ_s^1 (Taupunkttemperatur mit $\varphi_{si} = 100\%$) beim Ablesen aus Tabellenwerken die tatsächliche Luftfeuchtigkeit im Raum um den Faktor $1/0,8$ (wegen $\varphi_{Schimmel} = 80\%$) $= 1,25$ vergrößert werden. Die Schimmeltemperatur $\theta_{Schimmel}$ für die innere Bauteiloberfläche liegt danach für das genannte Beispiel ($\theta_i = 20^\circ\text{C}$, $\varphi_i = 60\%$): $\theta_{Schimmel} =$ bei $15,4^\circ\text{C}$. [8]

$$\theta_{si,zul} > \theta_{Schimmel} \quad = \text{Bedingung für Schimmelfreiheit}$$

θ_s wird wegen der Abhängigkeit von φ durch die Heizungs- und Lüftungskonzeption, die geplante Nutzung und nicht zuletzt vom Nutzerverhalten beeinflusst.

θ_{si} – dagegen wird hauptsächlich vom Wärmeschutz und der Beheizung des Bauteiles sowie vom Außenklima bestimmt.

Die klimatischen Verhältnisse außerhalb des Gebäudes lassen sich nicht ändern und anders als bei Neubauten, lässt sich der bei historischen Gebäuden vorhandene Wärmeschutz der Außenbauteile oft auch nicht in der gewünschten Weise verbessern. Die oben genannte Berechnung geht von stationären Bedingungen aus, und stellt eine Mindestforderung dar. Sie ist für historische Gebäude nicht in jedem Fall anwendbar, da diese meist eine sehr große Bauwerksmasse mit großflächigem Bodenkontakt der Natursteingrundmauern besitzen und dadurch ein extrem großes Wärmebeharrungsvermögen aufweisen. Auf Grund der guten Wärmeleitfähigkeit von Natursteinen ist in diesem Fall auch die Temperaturträgheit des Bodens in die Überlegungen und Berechnungen mit einzubeziehen. Deswegen darf sich der Tauwasserschutz/Schutz vor Schimmelpilzen nicht nach den Oberflächentemperaturen im „ungestörten Bereich“ (z.B. Wandmitte) richten – sondern für ihn sind die Oberflächentemperaturen an den Wärmebrücken maßgebend. [4]

¹ Ermittlung von θ_s aus Tabellenwerken, wie z.B. Schneider, K.-J., Bautabellen für Ingenieure [8]; Taupunkttemperatur in Abhängigkeit von Temperatur θ und relativer Luftfeuchte φ

2.3.2.3 DER BAUHYGIENISCHE MINDESTWÄRMESCHUTZ

Der bauhygienische Mindestwärmeschutz ergibt sich aus der Einhaltung eines optimalen oder erträglichen Raumklimas. Dazu dürfen die Differenzen zwischen Oberflächentemperatur der Raumumschließungsflächen $\bar{\theta}_U$ und der Raumlufttemperatur θ_i nicht zu groß werden.

mit: $\bar{\theta}_U$ = über alle Flächen gemittelte Umgebungstemperatur

Optimale Raumluftzustände	$ \theta_i - \bar{\theta}_U \leq 2 \text{ K}$	
Erträgliche Raumluftzustände	$ \theta_i - \bar{\theta}_U \leq 5 \text{ K}$	(2.3.2.3-1)

Die Nichteinhaltung dieser Forderung führt nicht zu Schäden am Bauwerk durch Kondensation – sie ist aber ein wichtiges Entwurfskriterium bei der Suche nach einer geeigneten Nutzung oder eines auf die beabsichtigte Nutzung abgestimmten Heizsystems.

An historischen Gebäuden spielen die oben genannten Kriterien oft eine wichtigere Rolle als die Optimierung der Bauteile aus energetischer Sicht.

Die Einsparung von Heizenergie durch die Planung sinnvoller und langlebiger Baudetails, durch ein effizientes Heizsystem, geschickte Grundrissplanung und Raumzonierung bis hin zu einem vernünftigen Nutzerverhalten müssen beim Neubau und bei der Sanierung von Altbauten eine Selbstverständlichkeit sein.

Es ist aber beim Altbau besonders sorgfältig zu prüfen, an welchen Bauteilen eine Verbesserung der Konstruktion hinsichtlich des Wärmeschutzes ohne spätere Schäden – aufgrund dieser Maßnahme – möglich ist.

Beispielsweise kann der Einbau moderner Fenster in einem historischen Gebäude eine Vielzahl „unerwarteter“ Schäden nach sich ziehen.

2.3.3 BEURTEILUNG DES WÄRME- UND FEUCHTEVERHALTENS VON BAUKONSTRUKTIONEN

HILFSMITTEL

Zur Beurteilung des Wärme- und Feuchteverhaltens einzelner Bauteile wurden am Institut für Bauklimatik der TU Dresden die beiden Computerprogramme *COND 2002* [11/12] und *DELPHIN 4* [13] entwickelt, die genauere Ergebnisse liefern, als Berechnungen auf der Grundlage der DIN 4108 – 3 [10] nach dem Glaserverfahren.

Während die einfache Bemessungssoftware *COND 2002* zur schnellen Abschätzung und Vorbemessung der Konstruktion geeignet ist, lassen sich mit dem Simulationsprogramm *DELPHIN 4* bauphysikalisch schwierige Baudetails berechnen.

COND 2002

ist ein Bewertungsprogramm zur hygrothermischen Beurteilung von Bauteilen und arbeitet auf der Grundlage eines **analytischen Berechnungsverfahrens** zum stationären Feuchte- und Wärmetransport in mehrschichtigen Umfassungskonstruktionen (z.B. Wänden und Decken). Das Verfahren beschränkt sich auf **konstante Klimabedingungen** und eine **eindimensionale Transportrichtung**.

Es berücksichtigt die **Hygroskopizität** und die **kapillare Saugfähigkeit** der Baustoffe – und liefert dadurch realitätsnähere Ergebnisse zur Kondensatmenge während der Tauperiode und zum Verdunstungszeitraum als das Wasserdampfdiffusionsmodell nach Glaser der DIN 4108 – 3. Mit Hilfe des Programms können verschiedenste Konstruktionen zusammengestellt und hinsichtlich des Wärme- und Feuchtetransports durch die Konstruktion eingeschätzt werden. Die Berechnung der Konstruktionen erfolgt mit vereinfachten Materialfunktionen und vereinfachten Transportgleichungen.

Prinzip des Verfahrens :

„Ausgehend von einer dampfdurchlässigen Konstruktion, die aus mehreren Schichten bestehen kann, wird der eindimensionale, stationäre Wärme- und Feuchtetransport betrachtet.

Zu beiden Seiten der Konstruktion soll ein konstantes Klima anliegen. Dieses Klima wird vereinfachend durch Temperatur und Luftfeuchte (jeweils für eine Seite der Konstruktion) beschrieben.

Infolge des Temperaturgefälles kommt es zu einem Wärmestrom durch die Konstruktion. Nach einer gewissen Zeit, die mitunter sehr lang dauern kann, stellt sich ein stationärer Wärmestrom ein. Das Dampfdruckgefälle bewirkt einen Dampfstrom durch die Konstruktion. Auch hier stellt sich nach einer gewissen Zeit ein stationärer Zustand ein.

COND berechnet den stationären Dampf- und Wärmestrom und die daraus resultierenden Dampfdruck- und Temperaturprofile.

Überschreitet der berechnete Dampfdruck an irgendeiner Stelle innerhalb der Konstruktion den (direkt von der Temperatur abhängenden) Sättigungsdampfdruck, kommt es zur Kondensation. Sobald sich in der Konstruktion Kondensat bildet, stellen sich zusätzlich zu den Dampfströmen nun auch vom Kondensationsbereich wegführende Flüssigwasserströme (kapillare Leitung) ein.

Zur Berechnung der Feuchteverteilung im stationären Zustand werden zwei Festlegungen getroffen:

1. Es herrscht ein globaler Gleichgewichtszustand, d.h. der in die Konstruktion eindiffundierende Dampfstrom ist genauso groß wie der an der anderen Seite herausdiffundierende Dampfstrom.
2. Im stationären Zustand gilt ein lokales Gleichgewicht, d.h. die sich überlagernden Flüssigwasser- und Dampfströme sind zusammen stets genauso groß wie der stationäre (globale) Dampfstrom.

Diese Gleichgewichtszustände lassen sich mittels Gleichungen beschreiben und das entstehende Gleichungssystem lösen.

Durch Berücksichtigung des zeitabhängigen Einstellvorganges wird dann die nach einer bestimmten Zeit erwartete Feuchteverteilung berechnet.“²

Das Nachweisverfahren der DIN 4108-3 vernachlässigt die kapillare Saugfähigkeit und die hygroskopischen Eigenschaften der Baustoffe. Bei der rechnerischen Berücksichtigung dieser Baustoffeigenschaften ergeben sich oftmals deutlich geringere Kondensatmengen als nach dem Glaserverfahren. Zudem stellen die zur Berechnung der Tauwassermenge bisher für Deutschland festgelegten Klimabedingungen von -10°C Außentemperatur über 2 Monate (Abbildung 2—1, Tabelle A.1, DIN 4108-3) eine scharfe Beanspruchung dar, ebenso werden Raumtemperaturen während der Trocknungsphase im Sommer von +12°C über 3 Monate auch in kalten Sommern überschritten.

Tabelle A.1 — Vereinfachte Klimabedingungen

Zeile	Klima	Temperatur θ °C	Relative Luftfeuchte ϕ %	Dauer	
				h	d
1	Tauperiode				
1.1	Außenklima ^a	-10	80	1 440	60
1.2	Innenklima	20	50		
2	Verdunstungsperiode				
2.1	Wandbauteile und Decken unter nicht ausgebauten Dachräumen				
2.1.1	Außenklima	12	70	2 160	90
2.1.2	Innenklima		100		
2.1.3	Klima im Tauwasserbereich		100		
2.2	Dächer, die Aufenthaltsräume gegen die Außenluft abschließen ^b				
2.2.1	Außenklima	12	70	2 160	90
2.2.2	Temperatur der Dachoberfläche	20	—		
2.2.3	Innenklima	12	70		

^a Gilt auch für nicht beheizte, belüftete Nebenräume, z. B. belüftete Dachräume, Garagen.
^b Vereinfachend können bei diesen Dächern auch die Klimabedingungen für Bauteile der Zeile 2.1 zu Grunde gelegt werden.

Abbildung 2—1, Tabelle A.1, DIN 4108-3

² COND 2002, Benutzerhandbuch [11]

Am Institut für Bauklimatik der TU Dresden wurden in den vergangenen Jahren viele Berechnungen zum Temperatur- und Feuchteverhalten von Baukonstruktionen an Testhäusern mit den Programmen *DELPHIN 4* und *COND 2002* durchgeführt. Die Rechenergebnisse wurden mit den Messwerten verglichen und zeigen eine gute Übereinstimmung. Für die Vorbemessung von Umfassungskonstruktionen mit dem Programm *COND 2002* führen folgende Randbedingungen zu realistischeren Ergebnissen:

- Die Länge der **Kondensationsperiode** wird auf die Wintermonate Dezember bis Februar festgelegt. (90 Tage)
- Die Außenlufttemperatur θ_e wird auf -5°C begrenzt.
Raum- und Außenklima stimmen jetzt mit den Daten für die Beurteilung der kritischen Feuchte an Bauteilinnenoberflächen (DIN 4108-2) überein.
- Die Länge der **Trocknungsperiode** erstreckt sich auf die Sommermonate Juni bis August. (90 Tage)
- Das Außenklima wird durch die Parameter $\theta_e = +15^\circ\text{C}$, $\varphi_e = 70\%$ beschrieben.
- Das Innenklima wird durch die Parameter $\theta_e = +18^\circ\text{C}$, $\varphi_e = 60\%$ beschrieben.
- Klima im Tauwasserbereich (Wand): $\theta_c = +15^\circ\text{C}$, $\varphi_c = 100\%$
- Klima im Tauwasserbereich (Warmdächer): $\theta_c = +18^\circ\text{C}$, $\varphi_c = 100\%$ [14]

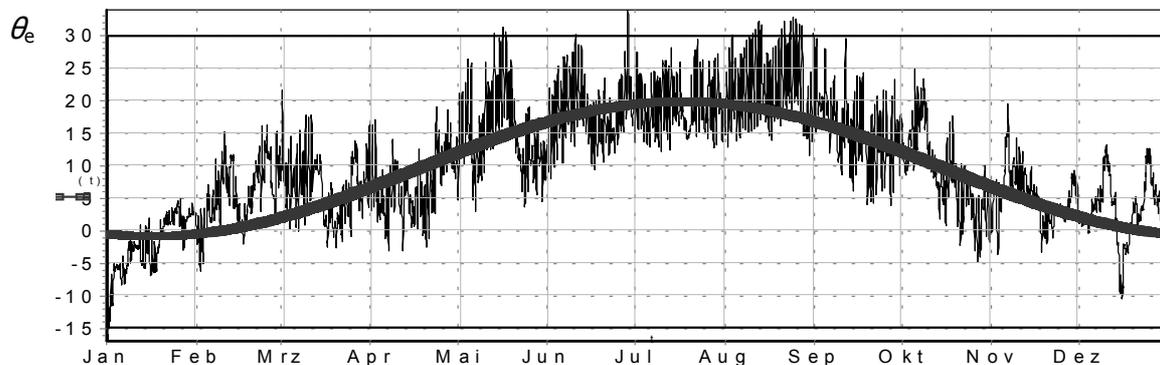


Abbildung 2—2, Außenlufttemperatur für Dresden, gemessen 1997 (ähnlich dem TRY Essen) [20]

Zur Bemessung und Beurteilung von Umfassungskonstruktionen mit dem Programm *COND 2002* werden in dieser Arbeit hauptsächlich obige Klimabedingungen verwendet. Als Klimarandbedingungen für numerische Simulationsrechnungen mit der Software *DELPHIN 4* werden die Messwerte des Testreferenzjahres (TRY) Essen oder Konstantklima analog der DIN 4108 mit obigen Korrekturwerten angewandt.

DELPHIN 4

Mit der Simulationssoftware *DELPHIN 4* lässt sich der gekoppelte Wärme-, Feuchte- und Lufttransport in kapillarporösen Baustoffen numerisch analysieren. Neben realistischen (gemessenen) Temperaturen und Luftfeuchten als Randbedingungen können kurz- und langwellige Strahlung, Regen, Wind oder Bodenfeuchte berücksichtigt werden.

„Die in dem Programm verwendete Theorie des Wärme- und Feuchtetransports geht weit über das derzeit in Deutschland als Standard geltende Glaser-Schema der DIN 4108, Teil 3 hinaus. Im Besonderen werden beim Feuchtetransport flüssiges und gasförmiges Wasser unterschieden. Das hat zum Beispiel zur Folge, dass in vielen Konstruktionen, für die nach dem Glaser-Schema eine zu hohe Feuchte berechnet wird, nach dem hier verwendeten (physikalisch realistischeren) Modell in Wirklichkeit eine deutlich geringere Feuchte vorliegt. Gerade die Notwendigkeit des Energiesparens bedingt heutzutage neue Konstruktionsformen, in denen eine genaue Kenntnis des Feuchtetransportes zur Vermeidung von Bauschäden unerlässlich ist. Daher ist modernen Berechnungsverfahren auch eine genauere theoretische Erfassung zugrunde zu legen. [...] Der Modellansatz geht über traditionelle analytische Berechnungsverfahren weit hinaus. Sind die Materialdaten der verwendeten Baustoffe in guter Qualität gegeben, so ist davon auszugehen, dass die Verhältnisse in realen Systemen sehr gut angenähert werden können.“³

Die gute Qualität der Simulationsergebnisse darf den Planer jedoch nicht dazu verleiten, Baudetails zu entwerfen, die sich so knapp an der Grenze des theoretisch Möglichen bewegen, dass die Konstruktionen - bei einer *kalkulierbaren Verschlechterung* der für die Rechnung angenommenen hygrothermischen Eigenschaften –versagen und im Extremfall abgerissen oder umfangreich saniert werden müssen.

Zu den *kalkulierbaren Verschlechterungen* zählen beispielsweise:

- die „normale“ handwerkliche Ausführungspraxis der Konstruktionen auf der Baustelle, die oft weit von der Theorie entfernt ist; z.B. Luftdichtungen/ Dampfbremsen im Dachbereich
- Beschädigungen von Bauteilen; z.B. Insektenfraß
- Beschädigungen durch Unwissenheit des Bauherren/ Nutzers / Mieters
- das Altern der Bauteile; wie verwitterte Farben, abgesandete Putze, die die Aufnahme von Flüssigwasser verhindern sollten
- Havarien, bei denen Bauteile durchfeuchtet werden

³ DELPHIN 4, Dokumentation [11]

2.4 HAUPTSCHADENSPUNKTE HISTORISCHER GEBÄUDE AUF DEM LAND



Abbildung 2—3, Scheune in Sachsdorf

Ausgewählte Schadenspunkte:

Fehlende Dacheindeckung hat besonders im Traufbereich verheerende Folgen für alle Holzbauteile.



Abbildung 2—4, Scheune - Rittergut Pegenau

Schwellhölzer, die großflächigen Kontakt zu weich gebrannten, feuchtespeichernden Ziegeln haben und Balkenköpfe, die auf diesen Hölzern aufliegen sind besonders betroffen.

Wände, die aus Granitbruchsteinen und Lehmfugenmörtel hergestellt sind, können allein durch das Herauswaschen des Fugenmörtels bei fehlendem Verputz bzw. nicht ausreichender Überdachung einstürzen. Hohlräume im Inneren der Wand fördern die Zerstörung durch Frosteinwirkung.

Schwächung von Holzquerschnitten durch Fäulnis und Insekten sowie absinkende Auflager infolge von Veränderungen im Baugrund (z.B. Unterspülungen) können zu Lastumlagerungen an tragenden Bauteilen führen. Holzverbindungen, die dieser Belastung nicht mehr standhalten, reißen auseinander, so dass die Horizontalkräfte der Dreiecksverbände historischer Dachstühle die Außenwände auseinander schieben und teilweise zum Einsturz bringen. Fehlt nun im darunter liegenden Geschoss die Auflast auf einer Gewölbetragenden Wand, ist auch diese einsturzgefährdet - aufgrund der nicht mehr bis in das Erdreich abgeleiteten resultierenden Kraft aus vertikaler Auflast und horizontalem Gewölbeschub.



Abbildung 2—5, Scheune - Rittergut Pegenau



Abbildung 2—6, Stall, Scheune mit Wohnbereich in Pegenau

Sockelmauerwerk aus Natursteinen stellt eine besondere Herausforderung für Sanierungsmaßnahmen dar.

Viele Wirkmechanismen treffen hier zusammen:

Fehlende Horizontalsperren haben über Jahrhunderte hinweg den Transport von leicht löslichen, bauschädigenden Salzen ermöglicht. Diese kristallisieren an der Oberfläche des Bauteils unter Volumenvergrößerung aus. Der dabei auftretende Kristallisationsdruck kann ein Vielfaches der Haftzugfestigkeit des Putzes, Ziegels oder Natursteines betragen. (Absatz 4.11.3)

Voraussetzung dafür ist ein Wechsel zwischen Befeuchtung und Trocknung des Bauteils.

Historische Bauten besitzen oftmals keine Dachrinnen, ebenso fehlen Abdichtungen gegen das angrenzende Erdreich.

Die schlechte Dämmwirkung von Natursteinmauerwerk begünstigt die Kondensation von Wasserdampf und Ansammlung von Wasser in der Wand, hinzu kommen die hygroskopische Feuchtigkeitsaufnahme durch Salze und die Kapillarkondensation.

Detaillierter wird auf diese Problematik im Kapitel 4 dieser Arbeit eingegangen.



Abbildung 2—7, Entnahme von Materialproben für das Labor des Institutes für Bauklimatik der TU Dresden



Abbildung 2—8, deutlich sichtbare Salzausblühungen an der Oberfläche des Probekörpers (Granit)

3 RITTERGUT PEGENAU – SÜDGEBÄUDE - BESTANDSAUFNAHME UND ZUSTANDSANALYSE

3.1 LAGE DES RITTERGUTES PEGENAU

Die Scheune mit Stallungen gehört zu einem denkmalgeschützten Gutshof in Scharfenberg, im Ortsteil Pegenau. Das Dorf mit seinen ca. 1.300 Einwohnern liegt zwischen Dresden und Meißen in der Elbtalzone – rund 120 m über dem Niveau der Elbe.

Richtung Südwesten steigt das Gelände weiter an. Scharfenberg und die beiden benachbarten Ortschaften wurden 1999 zur Gemeinde Klipphausen zusammengeschlossen.



Abbildung 3—2, Deutschland



Abbildung 3—3, Sachsen



Abbildung 3—1, Schloss Scharfenberg

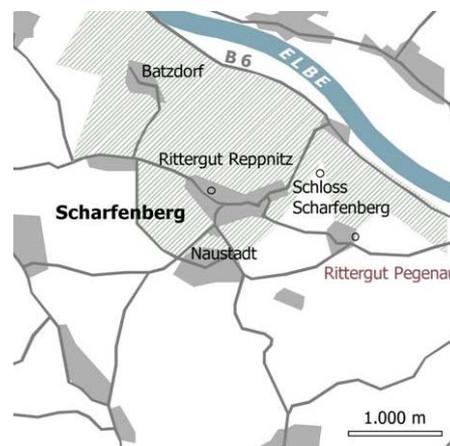


Abbildung 3—4, Scharfenberg

3.2 LAGE DES BAUWERKES IM GELÄNDE

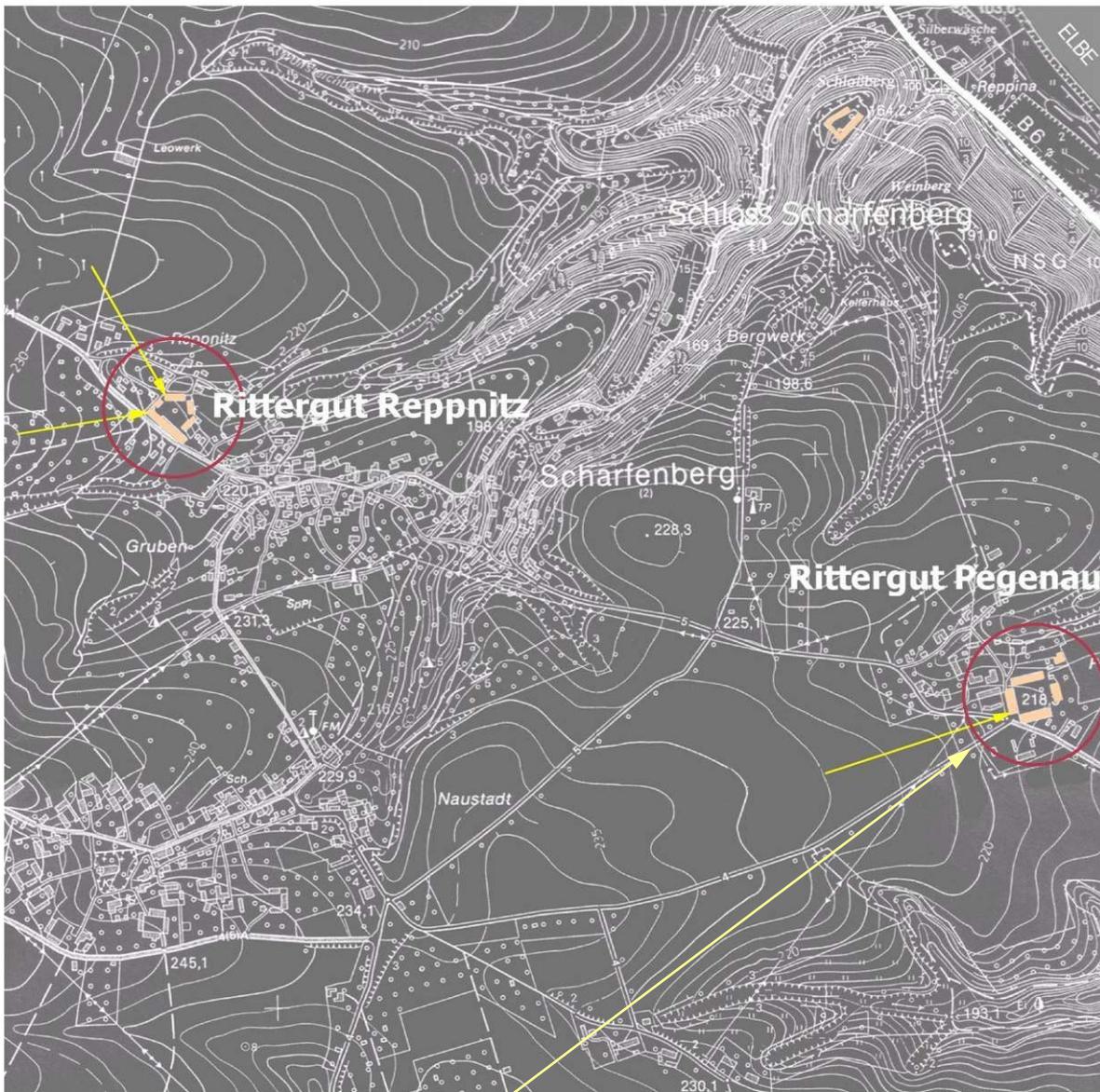


Abbildung 3—5, Höhenplan Scharfenberg



Mehrere Hektar landwirtschaftlich genutzte Fläche neigen sich zum Gehöft, so dass eine Salz- und Feuchtebelastung von Böden und Grundmauern der Gebäude sehr wahrscheinlich ist.

Abbildung 3—6, Rittergut Pegenau



RITTERGUT PEGENAU IN SCHARFENBERG

LAGEPLAN M 1 : 2000

Zeichnung 3-1

3.3 BEDEUTUNG DES BAUWERKES

Genauere Angaben über die ursprüngliche Entstehungszeit des Gehöftes sind nicht bekannt. Das Rittergut Pegenau soll zusammen mit einem zweiten Gutshof, dem Rittergut Reppnitz im benachbarten Ortsteil für das Schloss Scharfenberg errichtet worden sein.

Als eine der ältesten Burganlagen Sachsens, auf einem bewaldeten Felsvorsprung, zählt Scharfenberg zusammen mit Siebeneichen, Neuhirschstein und Strehla zu den bedeutenden Landmarken auf dem westlichen Hochufer der Elbe.

Seit der ersten urkundlichen Erwähnung im Jahre 1227, ist Scharfenberg im Besitz einer der führenden sächsischen Adelsfamilien, derer *von Miltitz*. [7]

Der Baubeginn für das Rittergut Pegenau, in seiner heutigen Gestalt, wird auf das Jahr 1857 datiert. Der alte Gutshof war in großen Teilen einem Brand zum Opfer gefallen, so dass sich der neue Besitzer *J. H. Oehmichen* für einen Neubau entschied.

Er ließ ein Herrenhaus in klassizistischem Stil, zwei Wohn- / Stallgebäude und eine Scheune in Form eines Vierseithofes errichten. Im Gutshof wurde ein großes Kastanienrondell angepflanzt.

Nach 1945 wurde das Rittergut an Neubauern aufgeteilt. Das ehemalige Herrenhaus diente von 1945 – 59 als Kreispartei- und SED-Schule, später als Außenstelle des Institutes für Lehrerbildung Nossen, als Mittelschule und heute als Wohnhaus. Die anderen Gebäude des Gehöftes wurden weiterhin landwirtschaftlich und für Wohnzwecke genutzt.



Abbildung 3—7,
Herrenhaus,
Westgebäude



Abbildung 3—8,
Rittergut Pegenau -
Südgebäude



Abbildung 3—9,
Scheune,
Ostgebäude



Abbildung 3—10,
Wohn-/Stallgebäude,
Nordgebäude

Wohn- / Stallgebäude und
Scheune

3.4 GEBÄUDEBESCHREIBUNG

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wird das Südgebäude des Rittergutes Pegenau in Scharfenberg genauer untersucht. Es handelt sich um ein Wohn- / Stallgebäude mit Scheune. (Abbildung 3—11, Rittergut Pegenau, Südgebäude)

Im Bereich der Wohn- und Stallräume ist das Bauwerk zweigeschossig. Es besitzt ein Satteldach, Unterkellerung ist nicht vorhanden.

Eine Scheune wurde vermutlich später angebaut. Diese hat die gleiche Außengeometrie wie das Haupthaus, besitzt aber keine Geschosdecken.

Die Abmessungen für das gesamte Gebäude betragen: 58,81 m x 14,12 m Seitenlänge, ca. 6,50 m Traufhöhe und ca. 12,20 m Firsthöhe.

Mit 830,40 m² Grundfläche und rund 7.800,00 m³ umbautem Raum gehört das Südgebäude zu einem vergleichsweise großen Gehöft in dieser Region.

Der Hof hat eine Fläche von ca. 3.900,00 m², hinzu kommen Garten und Freiflächen außerhalb des Gehöftes.



Abbildung 3—11, Rittergut Pegenau, Südgebäude, Hofansicht

3.5 BAUKLIMATISCHE UND BAUKONSTRUKTIVE BESTANDSAUFNAHME

3.5.1 BESTANDSPLÄNE

Das Südgebäude gliedert sich in drei Teile:

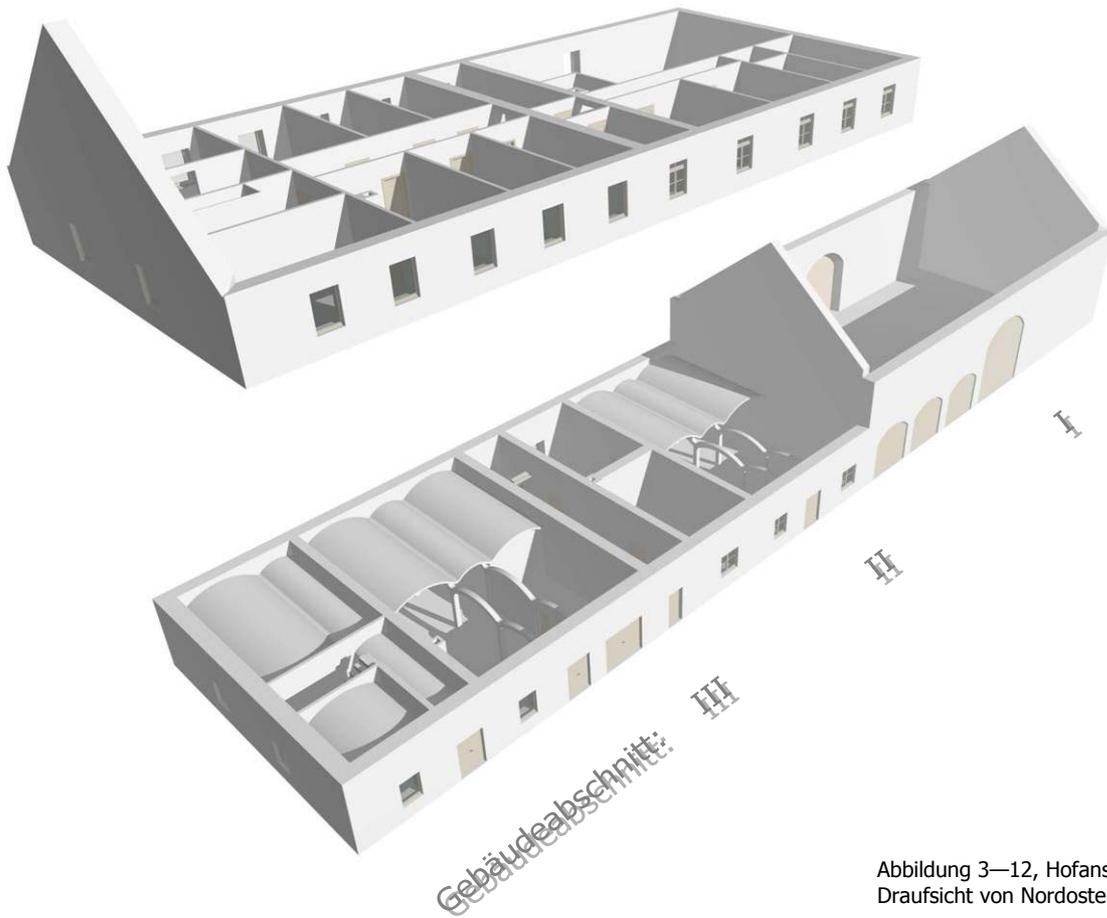


Abbildung 3—12, Hofansicht;
Draufsicht von Nordosten

BISHERIGE NUTZUNG

Gebäudeabschnitt I

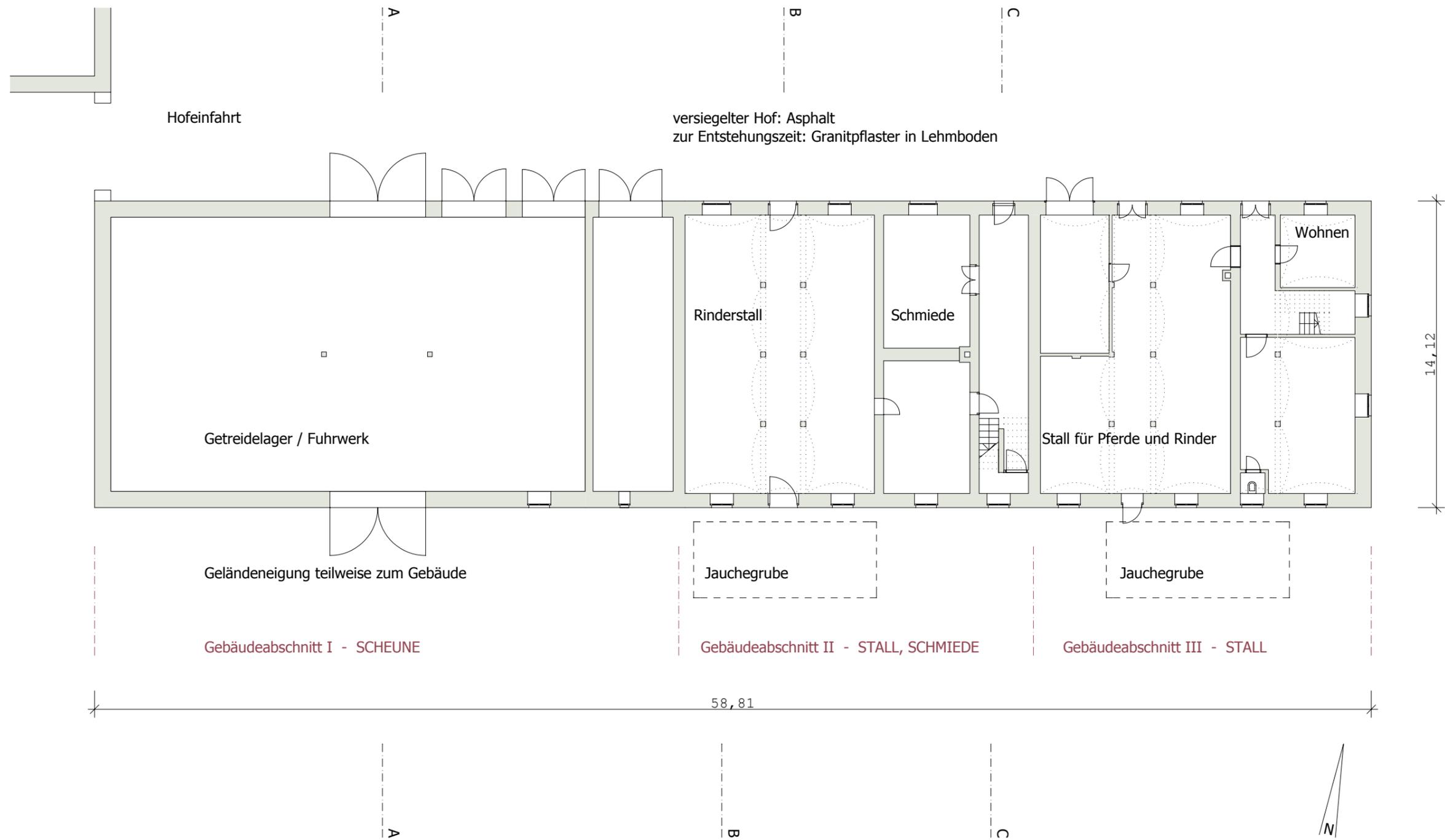
Scheune

Gebäudeabschnitt II

EG: Rinderstall und Schmiede, OG: Wohnbereich

Gebäudeabschnitt III

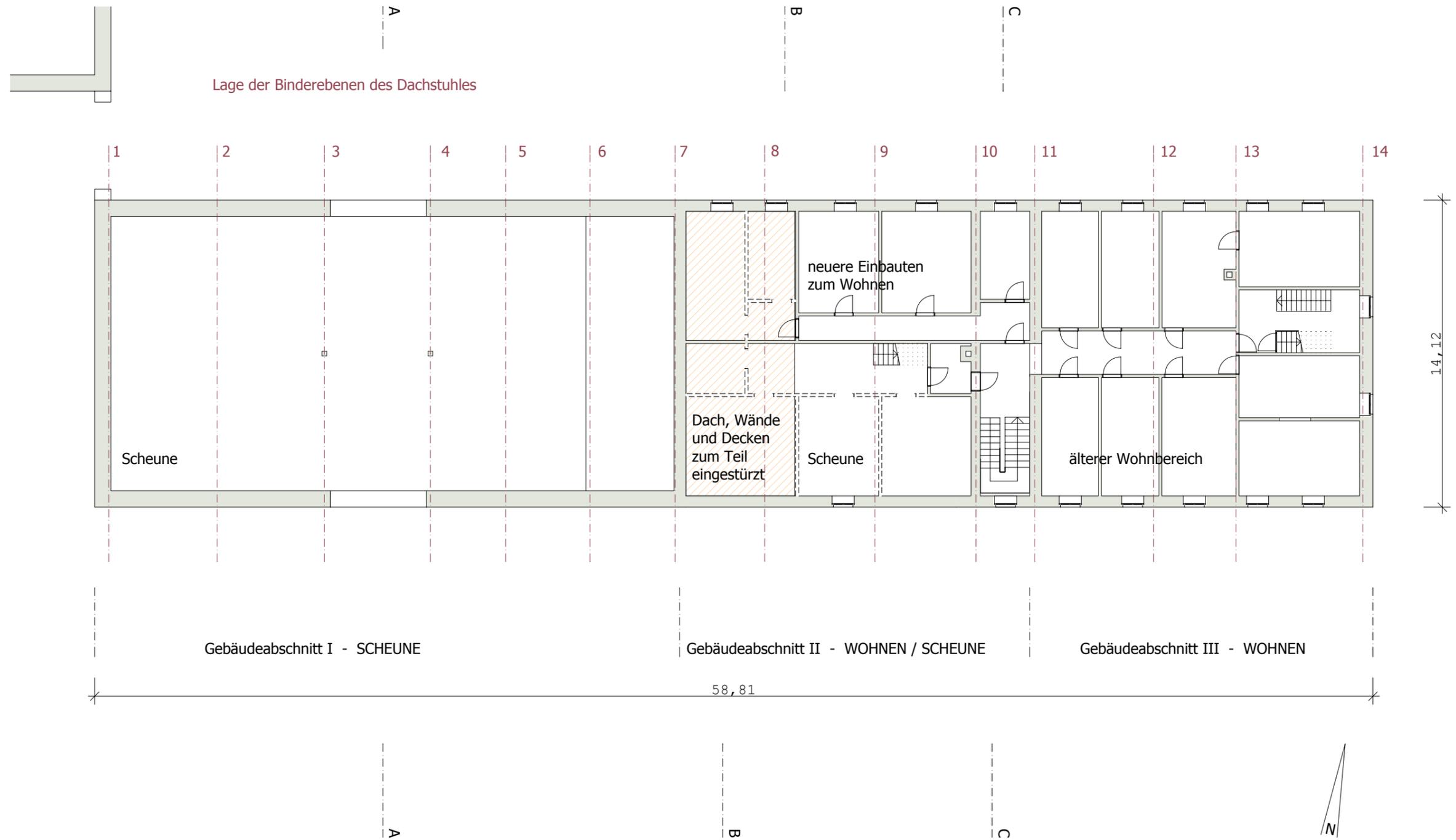
EG: Pferde- und Rinderstall, OG: Wohnbereich



BESTANDSPLAN DES SÜDGEBÄUDES VOM RITTERGUT PEGENAU

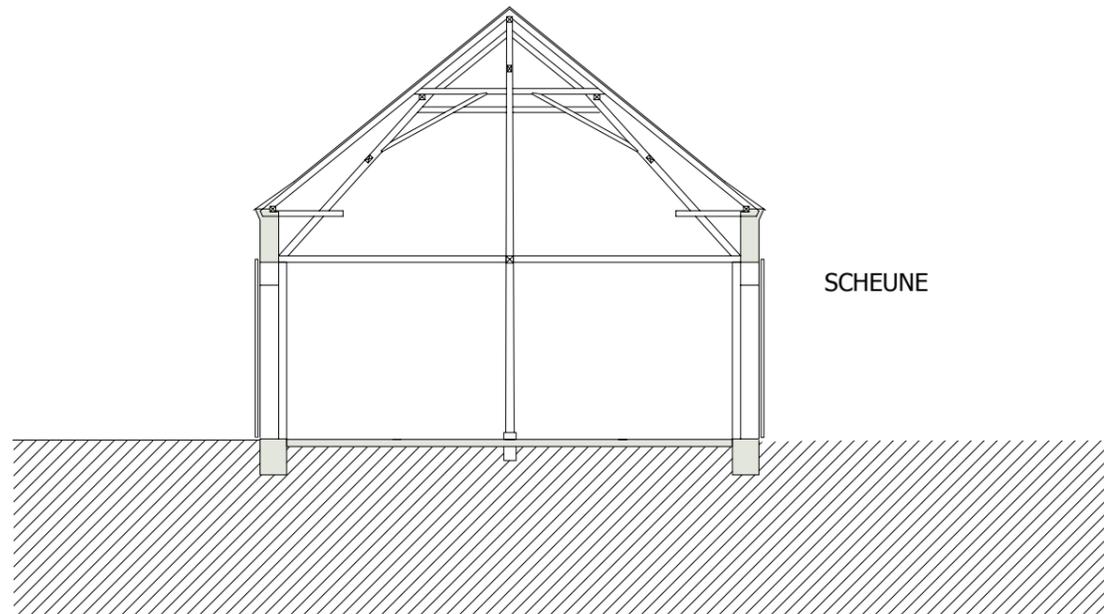
GRUNDRISS ERDGESCHOSS

M 1 : 200



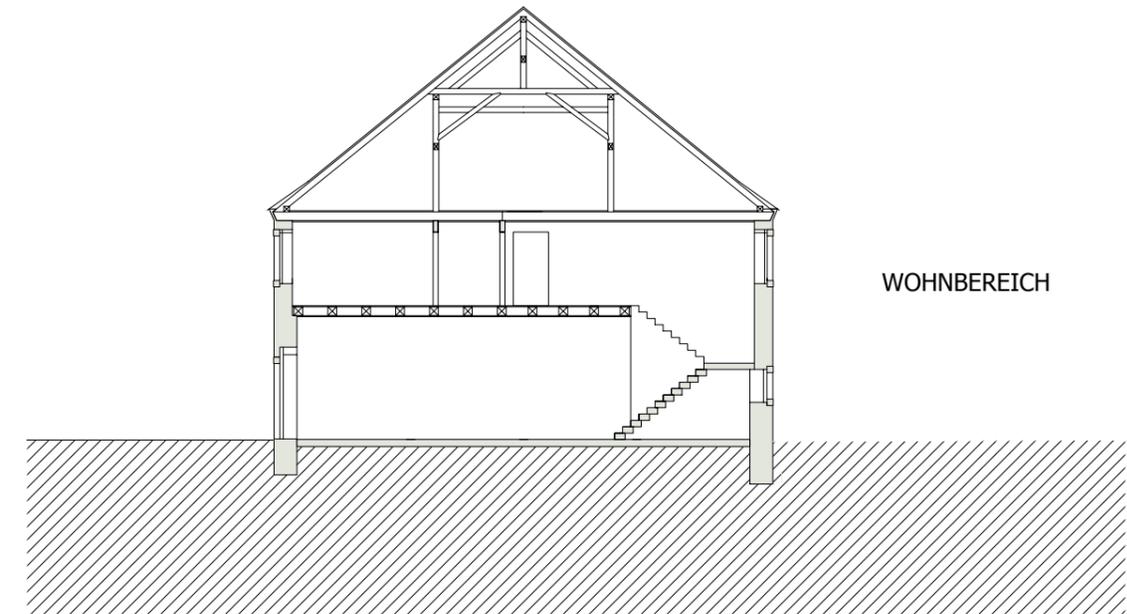
BESTANDSPLAN DES SÜDGEBÄUDES VOM RITTERGUT PEGENAU GRUNDRISS OBERGESCHOSS MIT LAGE DER DACHBINDEREbenen M 1 : 200

SCHNITT A - A



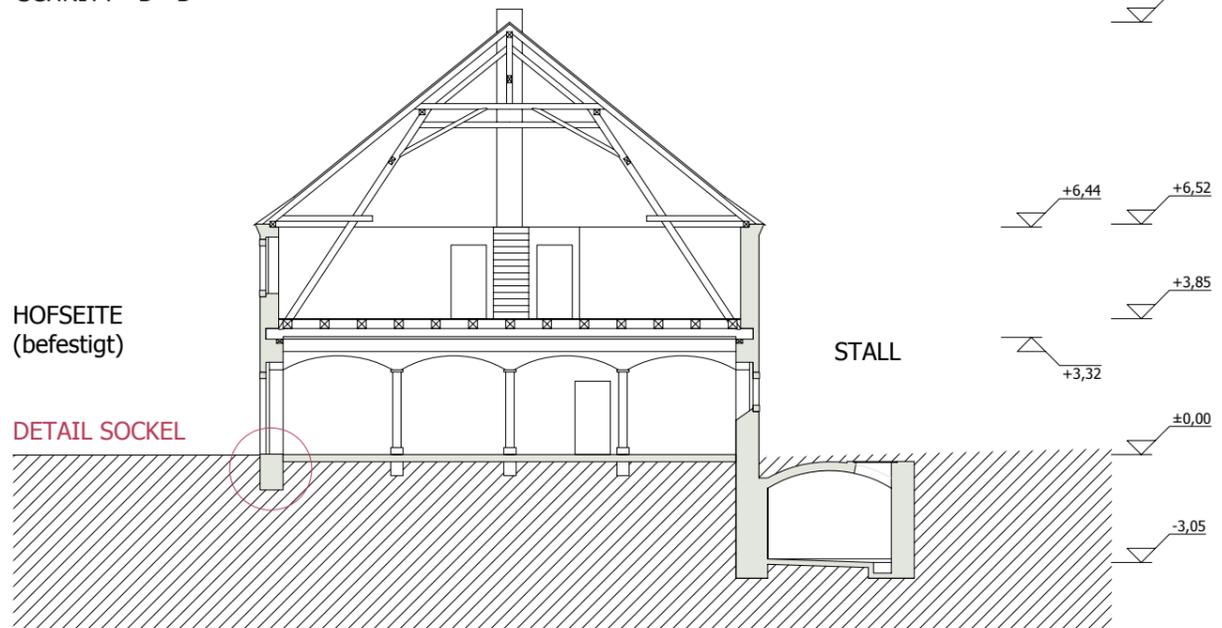
SCHEUNE

SCHNITT C - C



WOHNBEREICH

SCHNITT B - B



HOFSEITE
(befestigt)

STALL

DETAIL SOCKEL

FUSSBODENAUFBAU IM GEBÄUDE

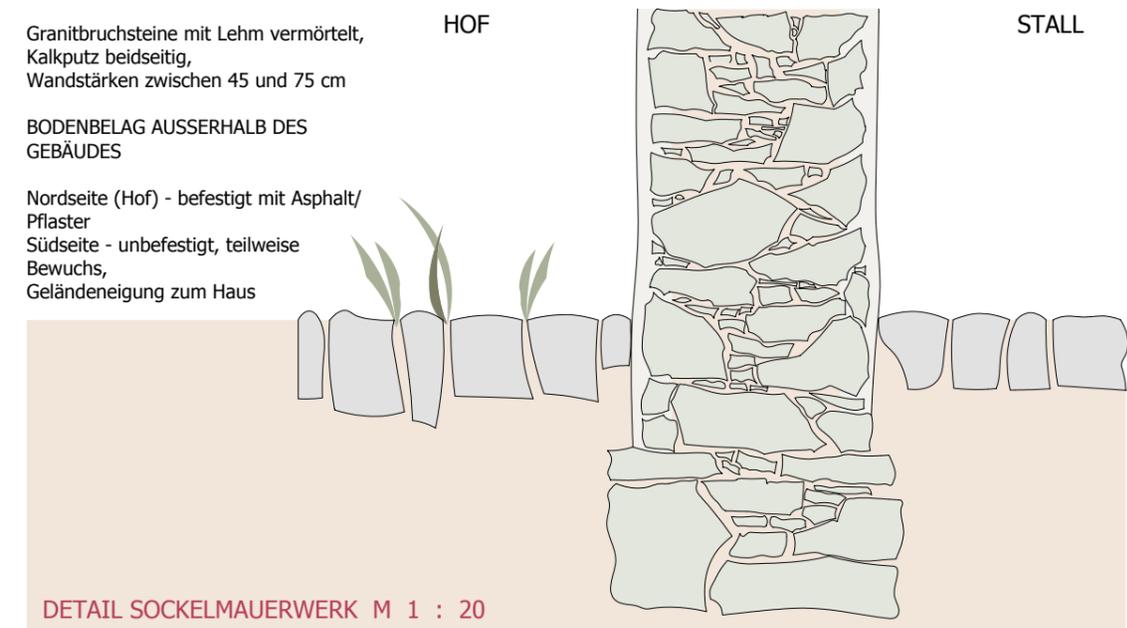
Granitpflaster in Lehm Boden,
Ziegelpflaster in Mörtel oder Lehm,
Sandsteinplatten in Kalkmörtel,
Holzdielen im Wohn- und Bodenbereich

WANDAUFBAU

Granitbruchsteine mit Lehm vermörtelt,
Kalkputz beidseitig,
Wandstärken zwischen 45 und 75 cm

BODENBELAG AUSSERHALB DES GEBÄUDES

Nordseite (Hof) - befestigt mit Asphalt/
Pflaster
Südseite - unbefestigt, teilweise
Bewuchs,
Geländeneigung zum Haus



DETAIL SOCKELMAUERWERK M 1 : 20

BESTANDSPLAN DES SÜDGEBÄUDES VOM RITTERGUT PEGENAU,

SCHNITTE SCHEUNE/ STALL/ WOHNBEREICH M 1 : 200

Dachaufbau:
Biberschwanzziegel auf Lattung;
luftdurchlässig

Wohnbereich

oberste Geschossdecke:
Dielung
Strohlehmfüllung auf
Einschubrettern
Kalkputz auf Rohrgeflecht und Holzlattung

Decke zwischen Stall und Wohnraum:
wie oben, jedoch querliegende
Deckenbalken
aufgelegt auf Spannbalken des Binders
Unterseite: Ziegelgewölbe (7,0 cm)
Kalkputz

Gesims im Traufbereich des Daches:
ein Ziegelstein, hochkant, schräg
geschlagen
Kalkputz
(erhöhter Bindemittelanteil - oder höher
gebrannter Kalk)

Aussenwand:
Granitbruchstein in Lehm vermauert
Kalkputz beidseitig

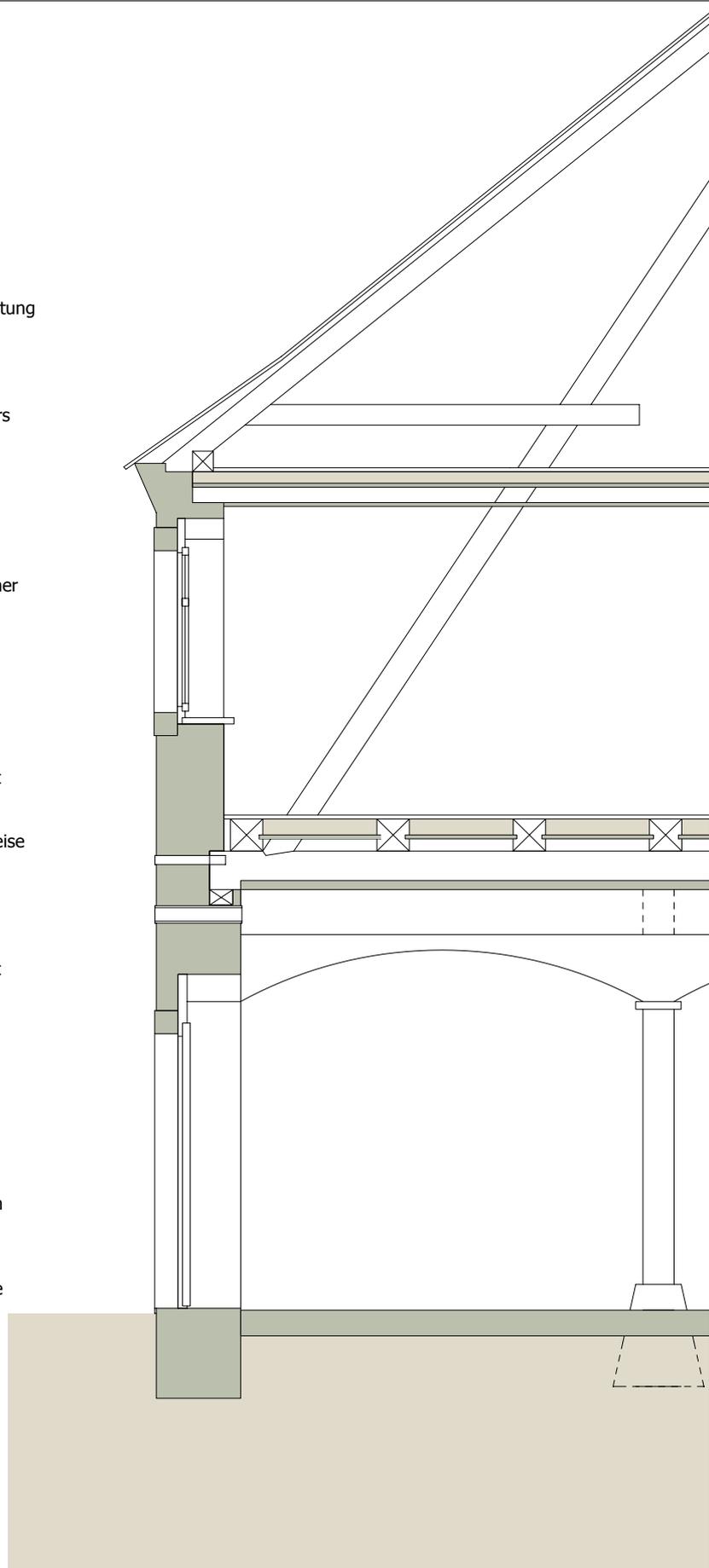
Wohnbereich - Fenster:
Sandsteingewände - außen
Holzfenster, Drehflügel (4 Flügel - mit
entsprechend vielen Fensterfugen),
Einfachverglasung
Innenfensterleibung und Bogen teilweise
Ziegelmauerwerk

Stall, Schmiede - Fenster + Türen:
Sandsteingewände - außen
zweiflügelige Holztüren
Holzfenster, Drehflügel (4 Flügel - mit
entsprechend vielen Fensterfugen),
Einfachverglasung (Schmiede)
Holzfenster, (1 Flügel) kippbar
Einfachverglasung (Stall)

Fußböden im Erdgeschoss - innen:
Natursteinpflaster / Ziegelsteine in
Lehmboden oder Kalkmörtel / Sand

Fußböden im Erdgeschoss - außen:
Asphalt auf Unterbau und Lehmboden
Mutterboden und Bewuchs auf
Lehmboden

keine Abdichtungen gegen Erdfeuchte



BESTAND - Fassadenschnitt
M 1 : 50

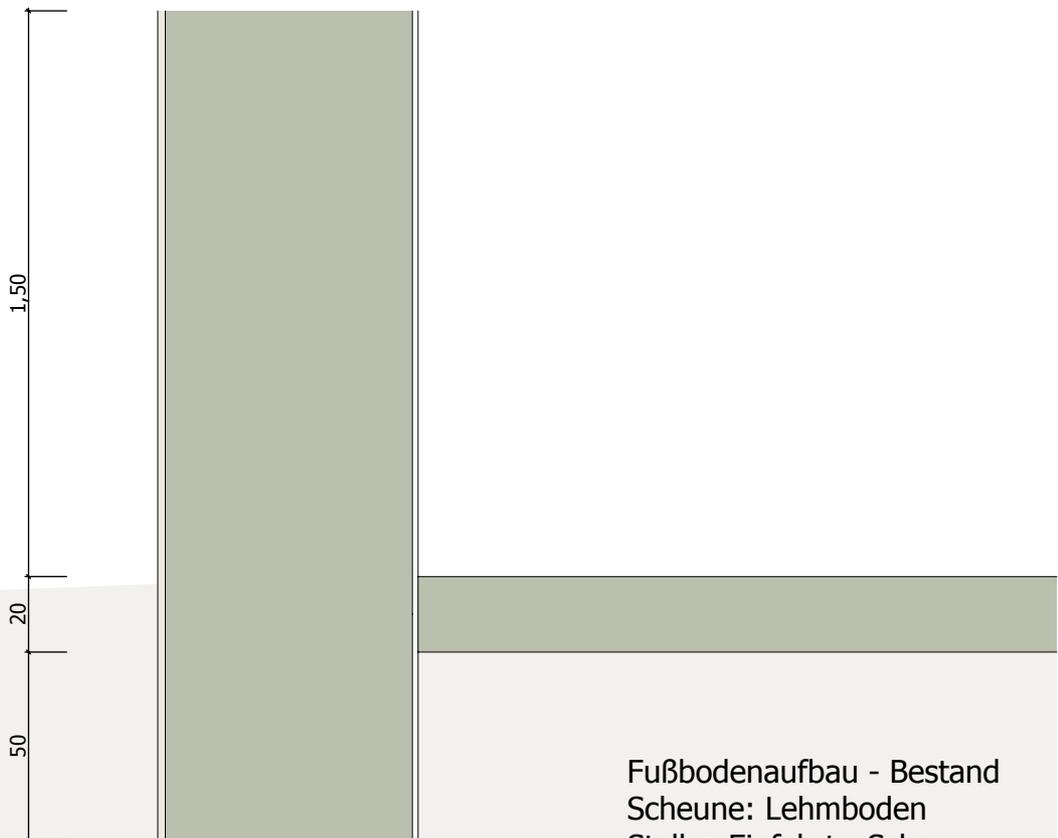
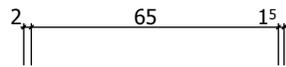
Zeichnung 3-5

Wandaufbau - Bestand:

Kalkputz - innen und außen
stark verwittert bzw. durch
Salze und Frost geschädigt
Granitbruchsteinmauerwerk
Mauermörtel: Lehm

Abdichtung gegen Erdreich -
keine
Boden: Lehm

übliche Wandstärken:
zwischen 45 und 90 cm

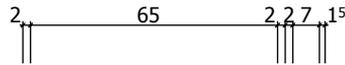


Fußbodenaufbau - Bestand
Scheune: Lehm Boden
Stall + Einfahrt - Scheune:
Ziegel-/Granitpflaster in Lehm
oder Kalkmörtel
Sandsteinplatten in Sand oder
Kalkmörtel

früher - teilweise Pflasterung
des Hofes
heute - großflächig asphaltiert

DETAIL - Sockel M 1 : 20

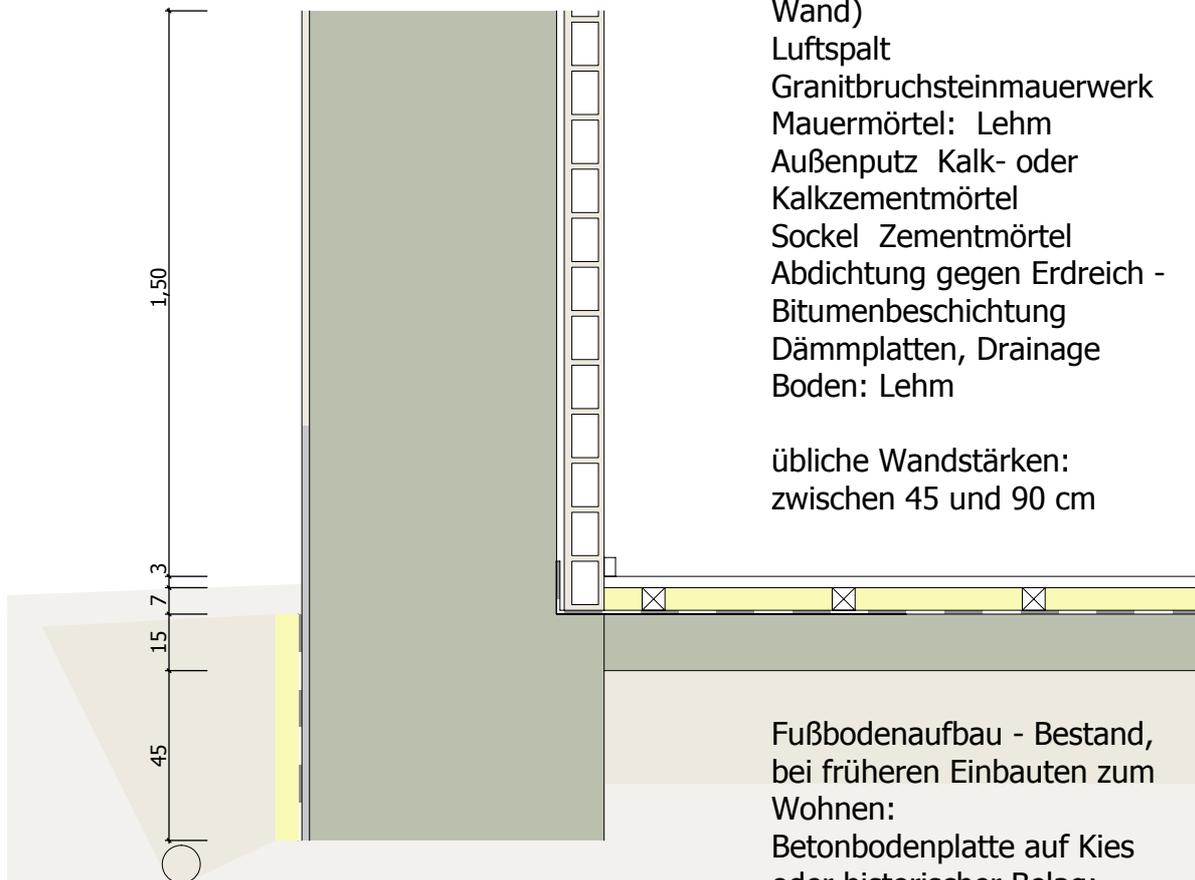
Wandaufbau - Bestand
mit innenliegender
Ziegelvormauerschale - eine
häufig anzutreffende thermische
Aufbesserung der Wand bei
früherer Umnutzung von
Viehställen und Scheunen zu
Wohnzwecken:



Kalkputz - innen
Ziegelvormauerschale
+ oftmals nachträglich von der
Natursteinwand abgelöster
Ansetzmörtel
(Unterbrechung der kapillaren
Flüssigwasserleitfähigkeit der
Wand)

Luftspalt
Granitbruchsteinmauerwerk
Mauermörtel: Lehm
Außenputz Kalk- oder
Kalkzementmörtel
Sockel Zementmörtel
Abdichtung gegen Erdreich -
Bitumenbeschichtung
Dämmplatten, Drainage
Boden: Lehm

übliche Wandstärken:
zwischen 45 und 90 cm



Fußbodenaufbau - Bestand,
bei früheren Einbauten zum
Wohnen:
Betonbodenplatte auf Kies
oder historischer Belag;
Ziegel-/Granitpflaster in Lehm
oder Kalkmörtel
evtl. Bitumenabdichtung
darauf Lattung und Dielung
teilweise Dämmung mit
Holzwolleleichtbauplatten
oder anderen Dämmstoffen

DETAIL - Sockel M 1 : 20

Gebäudeabschnitt I Scheune



Abbildung 3—13, Gebäudeabschnitt I; Scheune

Gebäudeabschnitt II Erdgeschoss:
Rinderstall und
Schmiede,
Obergeschoss:
Wohnbereich



Abbildung 3—14, Gebäudeabschnitt II; Rinderstall

Gebäudeabschnitt III Erdgeschoss:
Pferde- und
Rinderstall
und nachträgliche
Einbauten zum
Wohnen,
Obergeschoss:
Wohnbereich



Abbildung 3—15, Gebäudeabschnitt III; Wohnbereich

3.5.2 BESCHREIBUNG DER BAUKONSTRUKTION

Fundamente:	Granitbruchstein auf Lehmboden, mit Lehmörtel vermauert, teilweise nur 60 cm tief
Außenwände:	Granitbruchstein mit Lehmörtel vermauert, verschiedene Wandstärken: ca. 50 bis 75 cm
Außenputz:	Kalkputz, Teilflächen: Kalk- Zementputz
Öffnungen, Bögen, Bauteilabschlüsse, Wandbegrenzungen, Ausbesserungen, Ecken, Pfeilervorlagen:	behauener Sandstein oder gebrannte Ziegel in Kalkmörtel versetzt
Fenster- und Türöffnungen:	innere Leibung: Bruchstein und gebrannter Ziegel außen: Sandsteingewände
Türen:	Holz, teilweise zwei Drehflügel
Fenster:	Einfachfenster aus Nadelholz mit profiliertem Kämpfer, zwei Oberlichtdrehflügel und zwei Drehflügel mit je einer Quersprosse teilweise Fenstererneuerungen: Verbundfenster aus Nadelholz, ohne Teilungen
Innenwände:	
<i>im Erdgeschoss:</i>	Granitbruchsteinmauerwerk, <i>nachträglich eingezogene Wände:</i> gebrannte Ziegel
<i>im Obergeschoss:</i>	<i>Treppenhauswände + hausteilende Wände:</i> Granitbruchsteinmauerwerk in Lehmörtel, <i>nachträglich bis zum First aufgemauerte Brandwände:</i> Ziegel, <i>Wände im Wohnbereich:</i> Strohlehmwände auf Lattung und Holzständerwerk
Innenputz:	Kalkputz + Ausbesserungen: Kalk- Zementputz
Treppen:	eine Steintreppe, eine Holztreppe (nachträglich in Stallräume eingebaut)

Böden	- <i>im Bereich der Stallungen und der Schmiede:</i>
<i>im Erdgeschoss:</i>	Naturstein- oder Ziegelpflaster in Sand- oder Lehm Boden, teilweise Betonausbesserungen
	- <i>in der Scheune:</i> Sand-/ Lehm Boden
<i>im Obergeschoss:</i>	Holzdielung
Decken:	
<i>Stallungen:</i>	7 – 10 cm Tonnengewölbe aus gebrannten Ziegeln, aufgelagert auf Querwänden und 24 cm starken Mauerwerksbögen, diese ruhen auf Sandsteinstützen
<i>Wohnbereich:</i>	<i>Holzbalkendecken (über dem Gewölbe) zum Obergeschoß und zum Dachboden:</i> Dielung, Strohlehmfüllung auf Einschubbrettern, Kalkputz auf Rohrgeflecht und Holzlattung
Tragwerk des Daches:	Kehlbalkendach mit dreifach liegendem Stuhl und teilweise stehendem Stuhl, Abstand der Binderebenen zwischen 4,0 und 5,0 m
Schornsteine:	einzigig, Hartbranntziegel mit Kalkmörtel vermauert
Dachhaut:	Biberschwanzziegel, Dachreparaturen: teilweise Betondachsteine und Faserzement-Wellplatten



Abbildung 3—16, Dachtragwerk
(im Bereich des eingestürzten Gebäudeteiles)

3.5.3 ZUSTANDSANALYSE

3.5.3.1 BISHERIGE NUTZUNG, BEHEIZUNG, LÜFTUNG UND ENTWÄSSERUNG DES GEBÄUDES

NUTZUNG	FEUCHTEBELASTUNG DER KONSTRUKTION	HEIZUNG	LÜFTUNG
SCHEUNE/ LAGERGUT	RESTFEUCHTE DES LAGERGUTES, FLUGSCHNEE, EVTL. REGEN BEI DEFEKTER DACHEINDECKUNG, WASSERDAMPF AUS DEM WOHNBEREICH	KEINE HEIZUNG (DAS LAGERGUT WIRKT ALS DÄMMUNG ÜBER WOHNRÄUMEN - STROH/HEU AUF OBERSTER GESCHOSSDECKE)	GUTE DURCHLÜFTUNG DES DACHRAUMES DURCH LUFTDURCHLÄSSIGE DACHEINDECKUNG UND ENTLÜFTUNGSSTEINE AM FIRST
WOHNEN/ MENSCH	WASSERDAMPF AUS DER NUTZUNG DURCH DIE BEWOHNER, FLÜSSIGWASSERAUFNAHME DURCH DIE FASSADE	EINZELFEUERSTÄTTEN (TEILWEISE UNBEHEIZT)	LÜFTUNG ÜBER EINZELFEUERSTÄTTEN, FENSTERFUGEN UND SCHORNSTEIN SOWIE QUERLÜFTUNG
STALL/ TIERE	FEUCHTEABGABE DER TIERE – BIS 50 LITER/TAG+TIER (DAMPF+FLÜSSIGWASSER) BODENFEUCHTIGKEIT, NIEDERSCHLAGWASSER LUFTFEUCHTIGKEIT (KONDENSAT DURCH FEUCHTE, WARMER AUSSENLUFT IM FRÜHJAHR)	WÄRMEABGABE DER TIERE	QUERLÜFTUNG ÜBER FENSTER- UND TÜRFUGEN SOWIE LÜFTUNGSROHRE AM GEWÖLBESCHEITEL

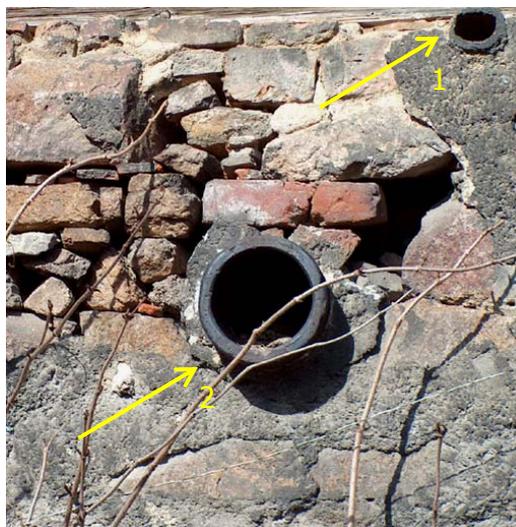
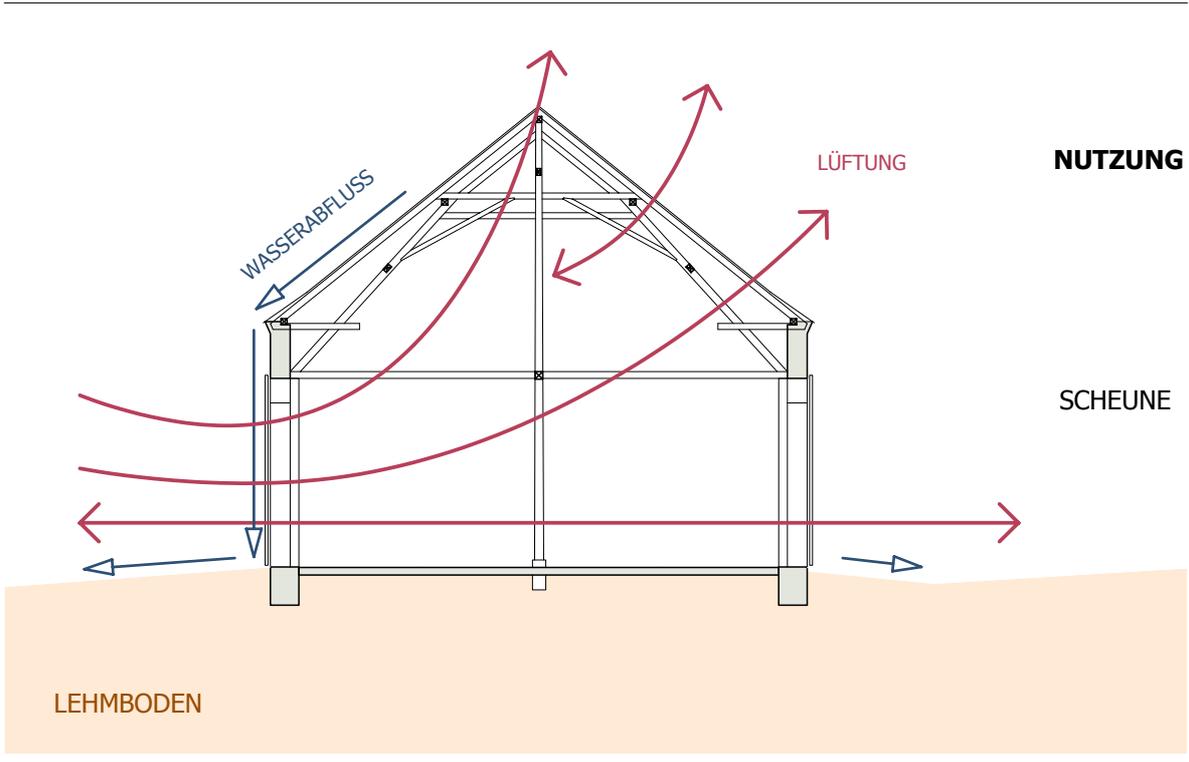
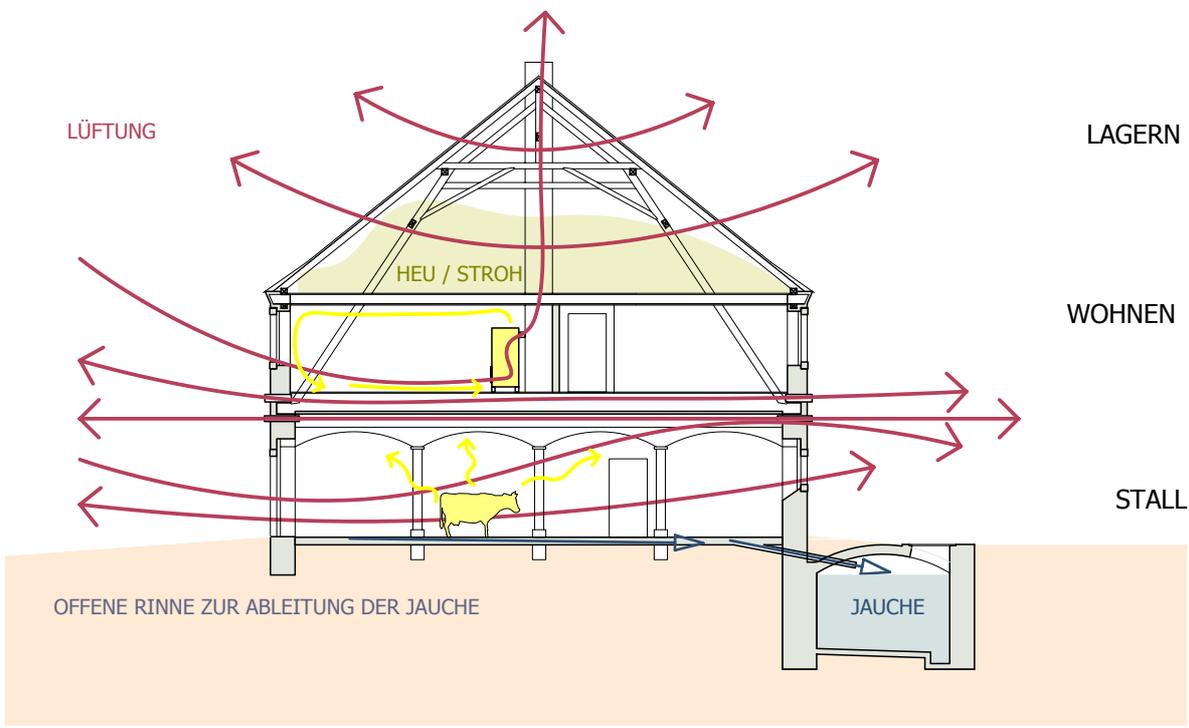


Abbildung 3—17, Lüftungsrohre in Deckenbalkenebene zwischen Gewölbe und darüber liegendem Holzfußboden (1) und unterhalb der Gewölbedecken im Stall (2)

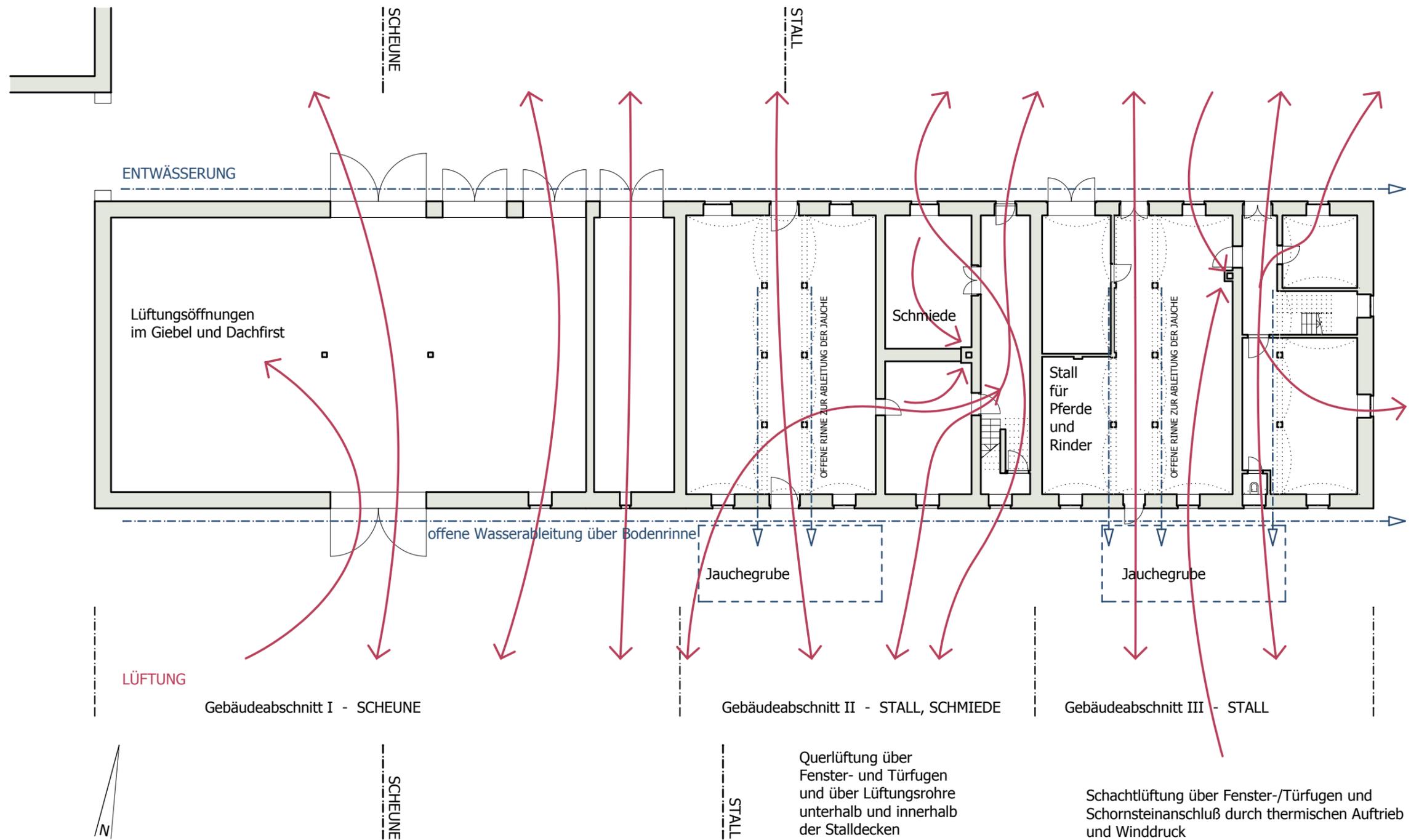


OFFENE WASSERABLEITUNG (OHNE DACHRINNE)

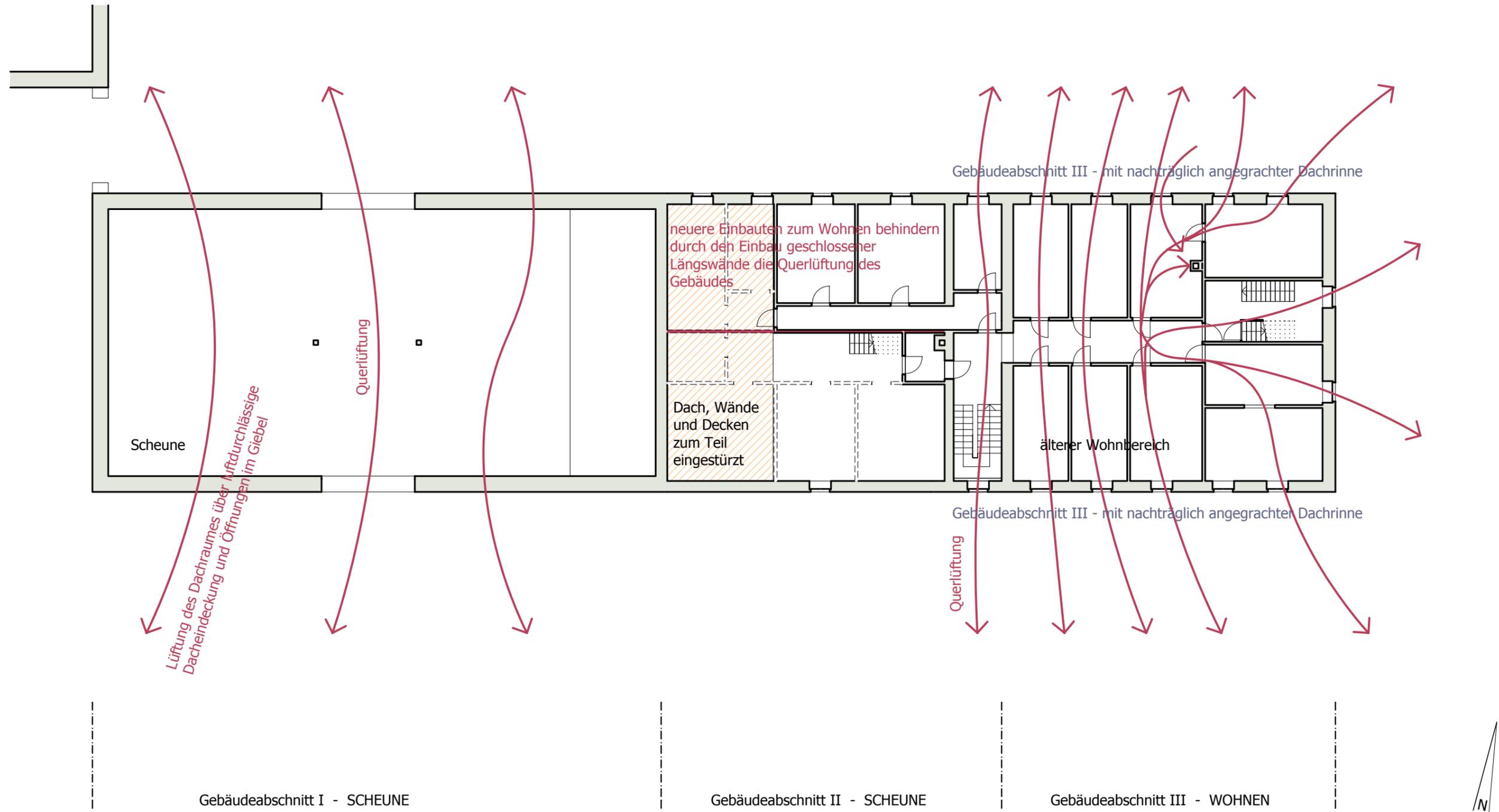


M 1 : 200

BISHERIGE NUTZUNG, BEHEIZUNG, LÜFTUNG UND ENTWÄSSERUNG



BESTANDSPAN DES SÜDGEBÄUDES VOM RITTERGUT PEGENAU - BISHERIGE LÜFTUNG UND ENTWÄSSERUNG - ERDGESCHOSS M 1 : 200



BESTANDSPPLAN DES SÜDGEBÄUDES VOM RITTERGUT PEGENAU - BISHERIGE LÜFTUNG UND ENTWÄSSERUNG - OBERGESCHOSS M 1 : 200

3.5.3.2 WÄRME- UND FEUCHTIGKEITSSCHUTZ DER VORHANDENEN KONSTRUKTION

Für die Planung von Sanierungsmaßnahmen ist es notwendig, das Temperatur- und Feuchteverhalten der vorhandenen Konstruktion zu kennen.

Wärmedurchgangskoeffizienten U der vorhandenen Konstruktion:

$U_{\text{Einscheibenfenster}}$	5,2 – 6,0 W/m ² K - je nach Rahmenart
$U_{\text{Kastenfenster}}$	2,2 – 2,5 W/m ² K Holzkastenfenster/ außen vorgehängtes zweites Fenster
$U_{\text{Verbundfenster}}$	2,7 W/m ² K
$U_{\text{Granitwand + Lehmfugen}}$	2,0 – 3,0 W/m ² K - je nach Wandstärke, Putz- und Fugenanteil
$U_{\text{Wand mit innerer Verblendung}}$	1,5 W/m ² K - Granitwand mit innerer Ziegelvormauerschale
$U_{\text{Decke zum Dachboden}}$	0,15 – 1,2 W/m ² K - oberste Geschossdecke; Holzbalkendecke mit verschiedenen Anteilen an Stroh und Lehm
$U_{\text{Fußboden Wohnraum zum Stall}}$	0,7 – 1,2 W/m ² K
$U_{\text{Fußboden in Scheune + Stall}}$	2,0 – 3,0 W/m ² K

Die Wände und die unmittelbar auf dem Erdreich aufliegenden Fußböden erfüllen die Anforderungen des Mindestwärmeschutzes nicht, d.h. durch eine Nutzung der Räume für Wohnzwecke - mit heutigen Ansprüchen an das Raumklima – ist mit Feuchteschäden an der Konstruktion und einem unbehaglichen Raumklima zu rechnen.

Die Wärmedurchgangskoeffizienten der vorhandenen Konstruktion sind zum Teil so groß, dass, bei heute üblichen Raumklimabedingungen, mit Tauwasser auf Bauteiloberflächen und Schimmelschäden zu rechnen ist.

Warum sind diese Schäden in der Vergangenheit nicht eingetreten?

Die mitunter sogar von Fachleuten geäußerte Meinung: „Historische Gebäude nehmen bei einer heutigen Nutzung am wenigsten Schaden, wenn ihre Substanz originalgetreu wiederhergestellt wird.“ – stimmt so nicht. Hierbei werden nur einzelne Bauteile betrachtet, der Raumluftzustand wird aber vernachlässigt.

Einscheibenverglasungen sorgten wegen der Kondensation von Wasserdampf für eine Entfeuchtung der Raumluft. Fenster- und Türfugen ermöglichten eine gute Durchlüftung

des Gebäudes und damit Absenkung der Luftfeuchtigkeit im Raum. Einzelfeuerstätten mit Schornsteinanschluss gewährleisteten einen guten Luftumsatz in den Räumen mit der größten Feuchteproduktion, so dass von geringeren Temperaturen und relativen Luftfeuchten im Innenraum auszugehen ist als heute üblich.

Der Einfluss des Raumluftzustandes (θ_i und φ) auf die Taupunkt- und Schimmeltemperatur ist in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Raumluftzustand in Wohnräumen					
Raumlufttemperatur θ_i in °C	relative Luftfeuchtigkeit φ_i in %	Taupunkttemperatur bei $\varphi_{si} = 100\%$ θ_{si} in °C	Schimmeltemperatur bei $\varphi_{si} = 80\%$ θ_{si} in °C	optimale Umgebungstemperatur ¹⁾ $\bar{\theta}_U$ in °C	erträgliche Umgebungstemperatur ¹⁾ $\bar{\theta}_U$ in °C
18	40	4,2	7,4	16	13
	50	7,4	10,7		
	60	10,1	13,5		
	70	12,5	15,8		
20	40	6,0	9,3	18	15
	50	9,3	12,6		
	60	12,0	15,4		
	70	14,4	17,8		
22	40	7,8	11,1	20	17
	50	11,1	14,5		
	60	13,9	17,4		
	70	16,3	19,8		
Raumluftzustand in Stallräumen im Winter					
15	50	4,7	7,9	-	-
	60	7,3	10,6		
	70	9,6	12,9		
	80	11,6	15,0		
Raumluftzustand in Stallräumen im Sommer					
25	50	13,9	17,3	-	-
	60	16,7	20,3		
	70	19,1	22,7		
	80	21,3	25,0		

Raumluftzustand nach DIN

Tabelle 3-1:
Taupunkt- und Schimmeltemperatur in Abhängigkeit vom Raumluftzustand

¹⁾ θ_U = über alle Flächen gemittelte Umgebungstemperatur

Die Tabelle macht deutlich, dass auch Bauteile mit schlechtem Wärmeschutz – und daraus resultierender niedriger Oberflächentemperatur des Bauteils – schadensfrei bleiben können, wenn Raumlufttemperatur und Luftfeuchtigkeit gering sind.

Hohe Temperaturen und Luftfeuchten im Sommer führen an massereichen, temperaturträgen Grundmauern der Stallräume zu Oberflächenkondensat.

Heutige Nutzung solcher Bausubstanz birgt folgendes Risiko: Da sich die Empfindungstemperatur des Menschen aus der Temperatur der Hüllfläche und der Raumluft gleichermaßen zusammensetzt und sich übermäßiger Strahlungswärmeentzug aufgrund kalter, schlecht gedämmter Bauteile durch eine Erhöhung der Raumlufttemperatur kompensieren lässt – wird man als Nutzer dazu verleitet, die Temperatur zu erhöhen - wodurch größere Mengen Wasserdampf von der Raumluft aufgenommen werden und an kalten Bauteiloberflächen kondensieren können.

Die Wärmedurchgangskoeffizienten der Bauteile und die winterlichen Tiefsttemperaturen der inneren Bauteiloberflächen beziehen sich auf den ungestörten Wandbereich nach DIN - Klimabedingungen, winterliche Stalltemperaturen wurden mit +5°C bis +15°C angenommen.

Im Bereich von Wärmebrücken (z.B. Gebäudewinkel, Fensterleibungen etc.) ist mit tieferen Oberflächentemperaturen zu rechnen.

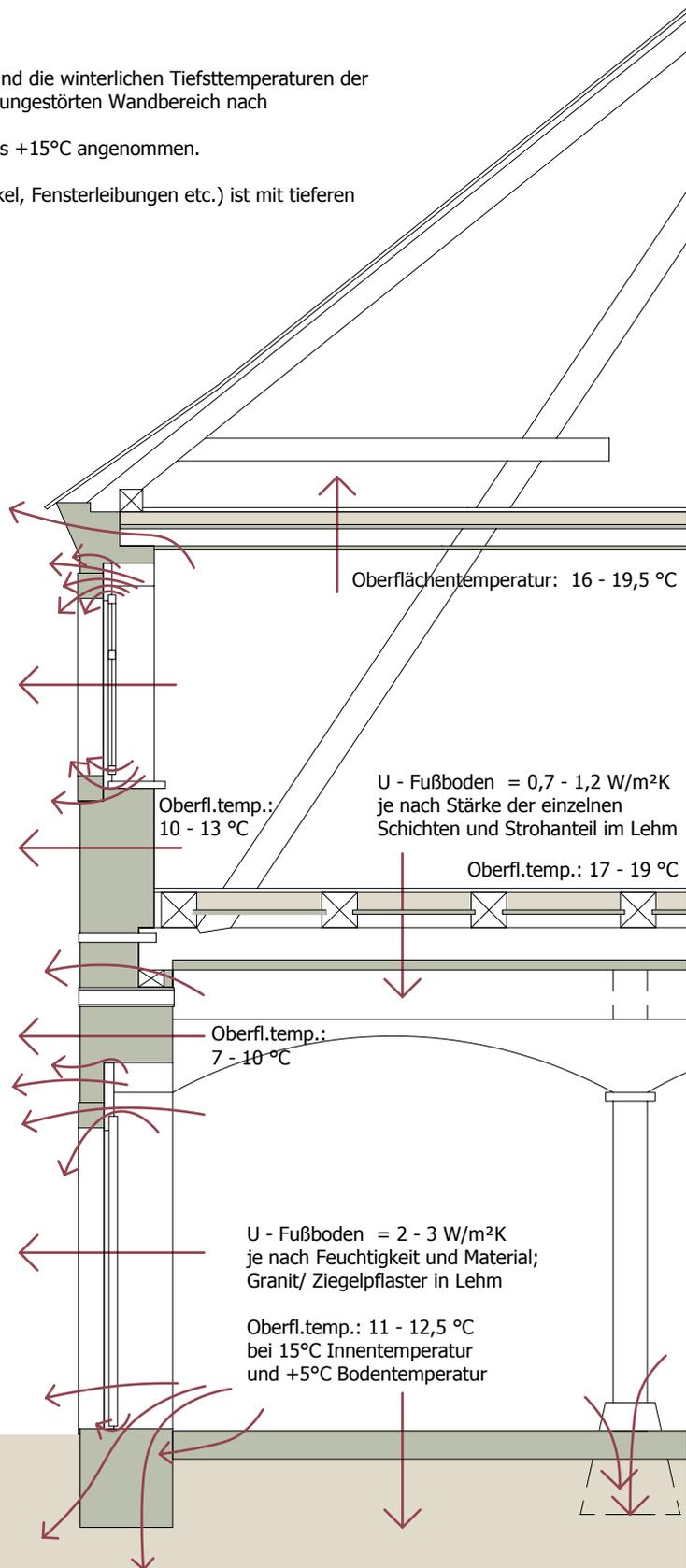
U - Decke = 0,7 - 1,2 W/m²K
je nach Stärke der einzelnen Schichten und Strohan teil im Lehm,
U - Wert = 0,15 - 0,7 W/m²K - bei Lagerung von 0,5 m Stroh/ Heu auf dem Dachboden)

U - Fenster = 5,2 W/m²K

U-Werte Wand:
je nach Wandstärke,
Wärmeleitfähigkeit des Granites,
Hohlräumen,
Durchfeuchtung sowie des Putz- und Fugenanteiles -

U = 2 bis 3 W/m²K
bei innerer Ziegelvorma uerschale
U = 1,5 W/m²K

U - Tür = 1,8 - 3,5 W/m²K
je nach Material und Materialstärke



Wärmedurchgangskoeffizienten und Oberflächentemperaturen der Bauteile

Bestand - Fassadenschnitt M 1 : 50

3.5.3.3 SCHÄDEN AM BAUWERK

Im folgenden Teil werden sichtbare Schäden am vorhandenen Gebäude beschrieben. Dabei ist es im Rahmen dieser Arbeit nur möglich, eine allgemeine Einschätzung der Bausubstanz vorzunehmen. Viele Untersuchungen erfordern Probenahmen und die technische Untersuchung am Objekt und im Labor, wie z.B. die Analyse des Salzgehaltes im Mauerwerk oder die Bestimmung der Salzart und deren bauschädigende Wirkung. Verzichtet wurde ebenfalls auf ein verformungsgetreues Aufmaß mit Eintragung aller Schäden am Bauwerk. Auf Seite 67 wurde für einen Ausschnitt des Gebäudes ein einfacher Schadensplan erstellt. Je genauer die Schäden lokalisiert und raumweise benannt und dokumentiert werden, desto zuverlässiger lassen sich Ursachen ermitteln und Sanierungskonzepte erarbeiten.

BAUTEIL

sichtbare Schäden + Mängel am Bauteil,
mögliche Schadensursachen,
Einfluss bisheriger Umstände auf das Bauteil

Fundamente:

Die Fundamente sind teilweise nicht frosttief gegründet. Es fehlen Abdichtungen gegen seitlich eindringendes und horizontal aufsteigendes Wasser, dadurch ergibt sich eine starke Durchfeuchtung und Salzbelastung der Fundamente. Die Salzbelastung ist in der bisherigen Nutzung sowie der Nutzung der umliegenden Felder begründet.

Frost- und Salzabsprengungen sind im oberflächennahen Bereich sichtbar.

Güllegrube:

Der Füllstand der Güllegrube ist sehr hoch. Eine Feuchtebelastung angrenzender Bauteile könnte darauf zurückzuführen sein. Ursachen



Abbildung 3—18, Beispiel einer leer gepumpten Grube,
Füllstand: bis über den Gewölbeansatz,
Fassungsvermögen: 70 m³

dafür sind mangelnde Entsorgung, defekte Überläufe und verschüttete Vorfluter. Die Gewölbeabdeckung der Grube neigt sich zum Haus – in diesem Bereich ist eine starke Durchfeuchtung zu verzeichnen - Gründe dafür können sein: eine falsche Ableitung des Oberflächenwassers – dieses läuft nicht auf einer dichten Lehmschicht vom Haus weg, sondern versickert in durchlässigem Boden und staut sich in einer Art „Wassersack“ zwischen Gewölbe und Grundmauern des Hauses. Weitere Ursachen sind: aufsteigende Feuchtigkeit, starke Hygroskopizität der Wand aufgrund eingelagerter Salze, Sommerkondensation durch die große Bauwerksmasse und die damit verbundene Temperaturträgheit der Konstruktion.

Außenwände:



Abbildung 3—19, Granitaußenwand, Sockelbereich
mit ausgewaschenen Lehmfugen, Höhe: bis 2,0 m

Die Außenwände sind im Sockelbereich stark durchfeuchtet. Frost und Salzschäden sind bis ca. 2 m Höhe zu verzeichnen. Horizontale Abdichtungen fehlen. Die starke Durchfeuchtung und Beschädigung des Spritzwasserbereiches ist begründet in aufsteigender Feuchtigkeit, Tauwasser, fehlendem oder zu stark wasser- aufnahmefähigem Außenputz, fehlender Dachrinne, hartem Bodenbelag, offener Regenwasserableitung, Hygroskopizität - insbesondere salzbelasteter Baustoffe und teilweiser Geländeneigung zum Haus. Unterhalb der defekten Dacheindeckung im



Abbildung 3—20, Fugen bis 30 cm tief ausgewaschen

Außenputz:

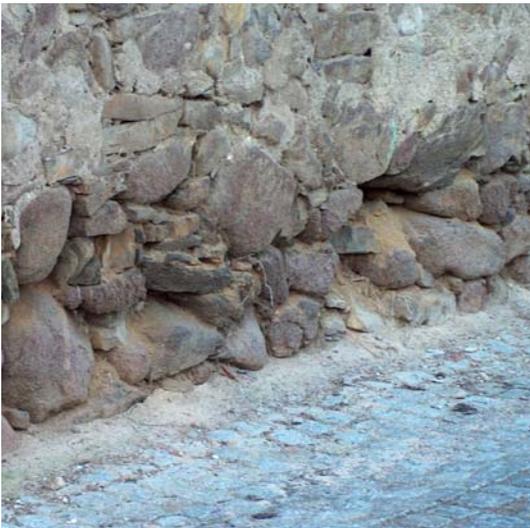


Abbildung 3—21, Sockelputz im Spritzwasserbereich;
Spritzwasserschäden begünstigt durch harten Boden-
belag entlang der Außenwand

Gebäudeabschnitt II sind die Außenwände aufgrund ausgewaschener Lehmfugen teilweise eingestürzt.

Im Bereich von Lastumlagerungen ist die Außenwand deformiert. Eingestürzte Teile des Daches belasten die darunter liegende Gewölbedecke. Die das Gewölbe tragenden Mauerwerksbögen wandeln die Vertikalkraft in eine Horizontalkraft um und schieben die Auflagerwand nach außen. Dieser fehlt jetzt außerdem die nötige Auflast des Daches, um die resultierende Kraft aus Horizontal- und Vertikalkraft in den Baugrund abzuleiten.

Der Außenputz ist zu 50 % völlig zerstört. Das gesamte Erdgeschoss, mit Ausnahme des Gebäudeabschnittes III, besitzt keine intakte Putzschicht mehr, die Mauerfugen sind an den Traufseiten des Hauses im Spritzwasserbereich besonders tief ausgewaschen. Dadurch fallen kleinere Granitsteine schon aus der Wand – das ist hauptsächlich auf die fehlenden Dachrinnen zurückzuführen. Die übrigen Wandflächen haben noch Putzschichten aus Kalkmörtel, die teilweise bis auf den Naturstein abgesandet sind.

Ursachen sind die normale Alterung, teilweise ungeeignete Bindemittel (zu starke Flüssigwasseraufnahme durch ungeschützten Kalkputz oder zu starke Sperrschicht durch Zementputz) und eine starke Regenbelastung im Bereich fehlender Dachrinnen.

Der Wandputz wurde in Teilen repariert, dabei kamen zu stark zementhaltige Mörtel zum Einsatz, wodurch die Trocknung über Kapillaren der Baustoffe und durch Wasserdampfdiffusion behindert wird. Die Folge ist ein immer höherer Anstieg des Feuchtigkeitspegels in der Wand.

Eisenteile:

Eisenteile für Türaufhängungen, Haken etc. in der Fassade oder in Sandsteingewänden sind mit Mörtel eingesetzt - statt in Blei eingegossen – und allmählich verrostet. Sie haben Mauerwerk und Sandstein sternförmig aufgesprengt. Der Grund dafür liegt im größeren Volumen von Rost gegenüber Eisen. Das Verhältnis beträgt 10 : 1.

Fenster und Türen:



Gesamteindruck: Die Bauteile besitzen normale Altersspuren, sie sind stark abgenutzt. In ungenutzten Räumen des Gebäudes sind die Rahmenhölzer durchfeuchtet und zugequollen, so dass kaum noch Fugenlüftung vorhanden ist.

In den Bereichen, in denen die Fensterleibungen mit einem Ölanstrich versehen wurden, sind diese kaum schadhaft. Auf den Fensterbänken sammelte sich das Kondensat – dadurch sind diese zum Teil völlig verfault.

In ungenutzten Gebäudebereichen sind Holzrahmentteile im Kontaktbereich *Stein / Holz* verfault.

Abbildung 3—22, Einscheibenfenster im Wohnbereich

Innenwände:



Abbildung 3—23, Innenwand im Stall

Im Erdgeschoss ist der Sockelbereich stark durchfeuchtet und durch Salzabsprengungen beschädigt. Horizontalsperren fehlen.

Der Feuchtepegel ist im Bereich geometrischer Wärmebrücken bzw. massereicher, schlecht trocknender Bauteile im Eckbereich zur Außenwand besonders hoch.

Im Obergeschoss sind – bis auf den eingestürzten Gebäudeabschnitt II - keine Feuchteschäden an Innenwänden vorhanden. Risse, die an Innen- und Außenwänden zu beobachten sind, können auf Unterspülungen der wasserdurchlässigen Fundamente, der daraus resultierenden Setzungen und auf das Fehlen von ausreichend bemessenen Ringankern bzw. Ringbalken zurückzuführen sein.

Innenputz:

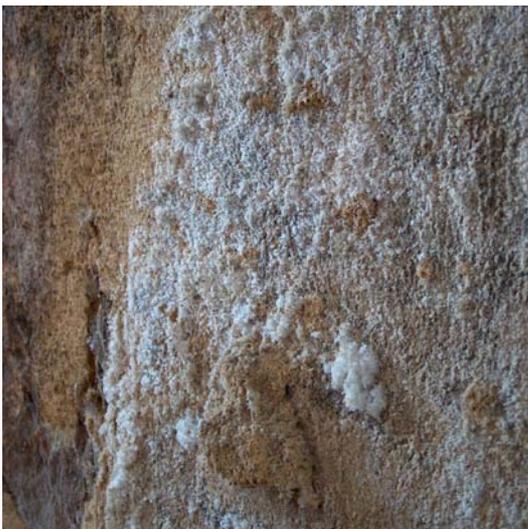


Abbildung 3—24, Salzschiäden am Innenputz

Großflächige Putzabsprengungen sind im Sockelbereich vorhanden.

Gründe dafür können Salzkristallisation und Frosteinwirkung sein. Besonders starke Putzschäden sind im Bereich der Stallungen – hier fehlen zum Teil die Fensterscheiben – dadurch entsteht eine bessere Lüftung, aber dies ermöglicht auch größere Frost- und Salzschiäden. Durchfeuchtung und Salzausblühungen sind bis 2,0 m Höhe sichtbar.

Feuchteschäden im Bereich der Fensterleibungen sind hauptsächlich an der Nordseite des Hauses zu verzeichnen.

Der Deckenputz in selten genutzten Wohnräumen ist einschließlich Rohrgeflecht abgefallen, die Drahtalterungen des Rohrgeflechtes sind verrostet.

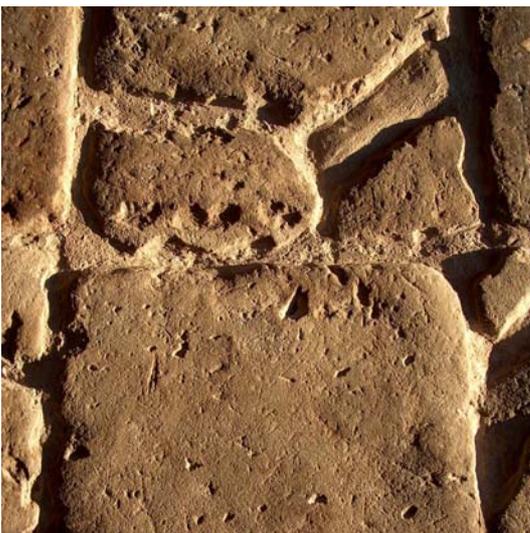
Ein Grund ist die nur gelegentliche Nutzung und schnelle Aufheizung der Räume - dadurch entstand eine starke Kondensatbelastung der noch kalten Umfassungskonstruktion.

Treppen:

Die Steintreppe weist normale Altersspuren auf.

Die Holztreppe an der Ostseite des Hauses (nachträglich vom Stall zum Wohnbereich eingebaut) ist am Fußpunkt der Treppenstütze, der untersten Setzstufe und Treppenwange sehr feucht und verfault. Gründe dafür sind aufsteigende Feuchtigkeit und Sommerkondensat auf dem Steinboden.

Böden im Erdgeschoss:



Der Bodenbelag im Bereich der Stallungen und der Schmiede ist normal abgenutzt – ohne nennenswerte Schäden, die Böden sind leicht feucht, so dass Salze in Lösung bleiben und nicht auskristallisieren.

Abbildung 3–25, Sandsteinbelag im Stall

Böden im Obergeschoss:



Abbildung 3—26, Holzdecke über dem Stallgewölbe

Der Holzdielenboden zeigt größtenteils normale Altersspuren. Im Bereich defekter Dacheindeckung ist die Dielung beschädigt und durchgebrochen (Gebäudeabschnitt II), die Deckenbalken sind hier in den Auflagerbereichen verfault.

Schornsteine:



Abbildung 3—27, Schornsteinkopf

Im Erdgeschoß ist der Putz teilweise von den Schornsteinen abgefallen oder hängt in losen Putzschalen am Schornstein. In den angrenzenden Wänden sind Horizontalrisse zu beobachten – diese sind vermutlich durch die Einbindung bzw. Verzahnung der Schornsteine mit den Wänden entstanden. Die höhere Temperatur der Schornsteinziegel und damit größere Wärmeausdehnung hat vermutlich die Wände in ihren Lagerfugen auseinander gerissen. Im Erdgeschoss ist im Schornsteininneren starker Ziegelabbrand zu erkennen. Das könnte auf eine nur gelegentliche Befuerung zurückzuführen sein, wobei völlig kalte Bauteile innerhalb kürzester Zeit auf hohe Temperaturen aufgeheizt wurden und dadurch große Temperaturspannungen innerhalb des Ziegels entstanden sind. Die Schornsteine stehen auf



Abbildung 3—28, Schornstein im Dachbereich

einem Ziegelsteinfundament. Horizontale Abdichtungen sind nicht vorhanden, so dass sie bis zur Reinigungsöffnung durchfeuchtet sind – ab hier setzt durch den Luftzug Trocknung und Salzauskristallisation ein. Im Bodenraum sind die Schornsteine intakt, der Kalkputz sandet gleichmäßig ab. Die Schornsteinköpfe sind verwittert, eine Abdeckung nicht vorhanden, die Fugen machen einen sehr weichen und sandigen Eindruck, die Ziegelsteine bewegen sich auseinander.

Die starke Verwitterung ist evtl. auf den Einsatz von Kalkmörtel zum Mauern und Verfugen zurückzuführen. Aus dem Abgas, das bei der Verbrennung von Kohle entsteht, kann sich Schwefel absetzen. In der Reaktion mit Wasser ergibt sich eine Säure und bewirkt in den Fugen durch chemische Reaktion eine Vergipsung des Kalkes. Gips ist nicht wetterbeständig

Tragwerk des Daches:



Schäden entstanden hauptsächlich dort, wo unterhalb des schadhaften Daches gute Feuchtespeicher vorhanden waren (z.B. Lagergut, saugfähiges Mauerwerk usw.).

Der Dachstuhl ist zwischen Binderebene 7 und 8 wegen schadhafter Dacheindeckung komplett eingestürzt, ansonsten ist der Dachstuhl in einem sehr guten Zustand.

Abbildung 3—29, Dachstuhl der Scheune

Dachhaut:



Abbildung 3—30, Gebäudeabschnitt II

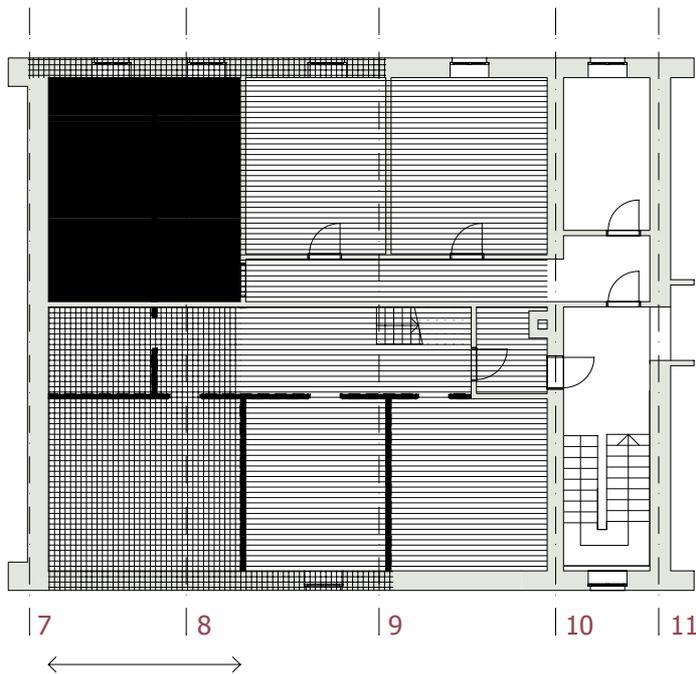
Im Gebäudeabschnitt II ist die Dacheindeckung stark beschädigt, im übrigen Bereich hat sie zwar Schadstellen – ist aber in einem funktionsfähigem Zustand. Offene Stellen im Dach haben nur im Traufbereich schwere Schäden verursacht, da sich hier das gesammelte Wasser von 7 m Dachfläche (auf den Grundriss bezogen) zusammenaddiert und im Drenpelmauerwerk auf speicherfähige Baumaterialien trifft (z.B. Lehmfugenmörtel und weich gebrannte Ziegel des Dachgesimses). Dachrinnen sind nur im Gebäudeabschnitt III vorhanden – hier sind auch geringere Schäden am Bauwerkssockel zu verzeichnen.

Umgebung:



Abbildung 3—31, Ausblick vom Südgebäude;
Tierhaltung im Rittergut Pegenau

Das Rittergut Pegenau liegt in einer leichten Senke. Das Gelände steigt nach Westen weiter an, so dass sich mehrere Hektar landwirtschaftlich genutzte Fläche zum Gehöft neigen. Man kann von einer Salz- und Feuchtebelastung der Böden und Grundmauern im Gehöft ausgehen, da die Ackerflächen seit vielen Jahren gedüngt werden. (siehe Abbildung 3-5, Höhenplan Scharfenberg und Abbildung 3-6, Rittergut Pegenau) Auf Grund der Lage im Gelände ist von einer überdurchschnittlichen Windbelastung der Gebäude nicht auszugehen.

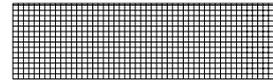


Dachstuhl zwischen Binderebene 7 und 8 - komplett eingestürzt,
 Dacheindeckung zwischen Binderebene 7 und 11 - stark beschädigt

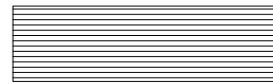
SCHÄDEN AM BAUWERK



Bauteile; Dach, Holzdecken,
 Wände, Tonnengewölbe -
 völlig zerstört



Wände, Decken, Fußböden,
 Fenster -
 stark beschädigt

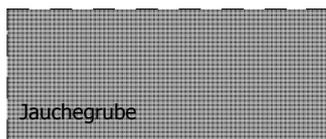
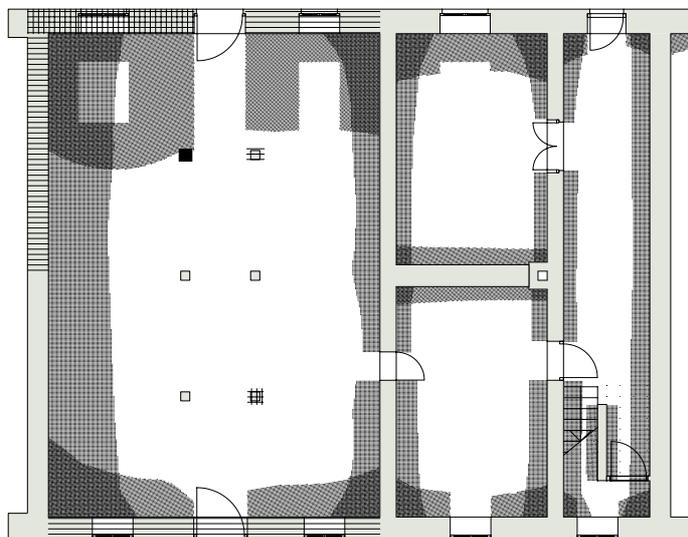


Bauteile -
 teilweise beschädigt

OBERGESSCHOSS



Feuchte- und Salzschäden
 (Feuchtehorizont in Grundriß
 geklappt);
 sichtbare Durchfeuchtung
 der Wände,
 Salzausblühungen,
 Putz- und
 Gesteinsabsprengungen



Gebäudeabschnitt II - EG: STALL, SCHMIEDE - OG: WOHNEN

ERDGESCHOSS



SCHÄDEN AM GEBÄUDEBESTAND - AUSSCHNITT

M 1 : 200

Zeichnung 3-12

4 RITTERGUT PEGENAU – UMNUTZUNG DES SÜDGEBÄUDES - ENTWURF

4.1 UMNUTZUNG DES SÜDGEBÄUDES ZUM WOHNHAUS

Die Analyse der Nutzungsmöglichkeiten im Abschnitt 1.2.1 dieser Arbeit lässt die Schlussfolgerung zu, dass die Wohnnutzung des untersuchten Gebäudes eine sinnvolle Alternative zum Bauen auf dem freien Feld darstellt. Aufgrund des anhaltenden Bedarfes an großzügigem Wohnraum im Umland großer Städte habe ich mich in meinem Entwurf für die Nutzung des Gebäudes zu Wohnzwecken entschieden.

Im folgenden Kapitel sollen der Gebäudeentwurf und die Entwurfskriterien vorgestellt werden, die bei der Umnutzung der Scheune mit Stallungen und Wohnräumen zu einem reinen Wohnhaus mit heutigen Anforderungen an das Raumklima eine besondere Rolle spielen. Die Umnutzung der Scheune zum Wohnhaus ist mit Änderungen an der Konstruktion und mit Vorgaben zur Beheizung und Lüftung des Gebäudes verbunden.

4.2 ENTWURFSKONZEPT

Vor dem Hintergrund, dass sich in den vergangenen Jahrzehnten die Arbeits- und Lebensbedingungen auf dem Land – und damit auch die Anforderungen an den Wohnraum – geändert haben, sollen Wohnungen konzipiert werden, die diesen Ansprüchen gerecht werden.

Der Entwurf sieht Wohnungen für Jung und Alt vor, von der Singlewohnung für Jugendliche, über großzügige Reihenhauswohnungen für Familien mit Kindern - bis hin zu barrierefreiem Wohnraum entsprechend der DIN 18 025 Teil 2. [15]

Eine Mischung unterschiedlicher Wohnungsgrößen und verschiedener Wohnformen in enger Nachbarschaft bringt soziale Vielfalt und eine Nutzungsmischung in das Wohnquartier. Das Zusammenleben mehrerer Generationen in einem Haus wird als vorteilhaft angesehen. Begegnung und Austausch sowie gegenseitige Hilfestellung, wie beispielsweise die Kinderbetreuung durch alte Menschen oder die Hilfe pflegebedürftiger durch jüngere Bewohner, wird dadurch einfacher. Der begrünte Hof bietet Platz und Bewegungsraum für Kinder sowie die Kontaktmöglichkeit zwischen Jung und Alt – wobei der private, sichtiggeschützte Garten auf der hofabgewandten Südseite des Hauses ausreichend private Rückzugsmöglichkeit schafft.

Ältere Dorfbewohner sind mitunter gezwungen, ihre großen Gehöfte - mangels wirtschaftlicher Rentabilität oder aus gesundheitlichen Gründen aufzugeben. Ein Umzug in die Stadt würde oftmals den Verlust der sozialen Kontakte nach sich ziehen.

Wohnraum, der auch im Pflegefall nutzbar ist, stellt auf dem Land eher eine Seltenheit dar.

In meinem Entwurf wird aus diesem Grund der Mehraufwand für vergrößerte Sanitärräume und Küchen, verbreiterte Türdurchgänge, andere Dichtungssysteme für fehlende untere Türanschlüsse, verbreiterte Flure etc. bewusst in Kauf genommen, um dieser Nutzergruppe gerecht zu werden.

Die Berücksichtigung von Wendemöglichkeiten für Rollstühle, von Abstellbereichen für den Wechselrollstuhl (im Hausflur oder der eigenen Wohnung), das Freihalten von Bewegungsflächen für Rollstuhlfahrer neben dem Bett, der Tür, dem WC etc. sowie die Möglichkeit eines problemlos, nachträglich einbaubaren Aufzuges erfordern nur wenig Mehrkosten in Planung und Bauausführung – sichern aber die Nutzbarkeit der Wohnung bei sich wandelnden Ansprüchen im Laufe eines Lebens.

Kennzahlen:

Der Entwurf sieht 9 Wohnungen unterschiedlicher Größe vor, von denen 4 barrierefrei geplant sind. Für die barrierefreie Erschließung der oberen Wohnungen kann im Treppenhaus ein Aufzug eingebaut werden. Die drei Wohnungen auf der Westseite des Gebäudes erstrecken sich über zwei Geschosse und sind nur durch den Einbau von Treppenliften für Rollstuhlfahrer benutzbar.

Für das Gebäude sind mindestens 13 PKW- Stellplätze nachzuweisen. PKW- Stellplätze für Rollstuhlbenutzer sind je nach Bedarf in der Nähe des Hauseinganges möglich.

Die Gesamtwohnfläche beträgt: 1.187,00 m²

Der umbaute Raum beträgt:

$6,5 \times 58,81 \times 14,12 + 5,5 \times 58,81 \times 14,12/2 =$ 7.681,17 m³

Die Baukosten für Umbau und Sanierung werden anhand vergleichbarer Bauobjekte überschlägig ermittelt:

Baukosten je m³ umbauten Raum: 125,00 €

Danach betragen die Baukosten insgesamt rund: 960.000,00€

4.3 ENTWURFSPLÄNE

Entwurf zur Umnutzung des Südgebäudes vom Rittergut Pegenau

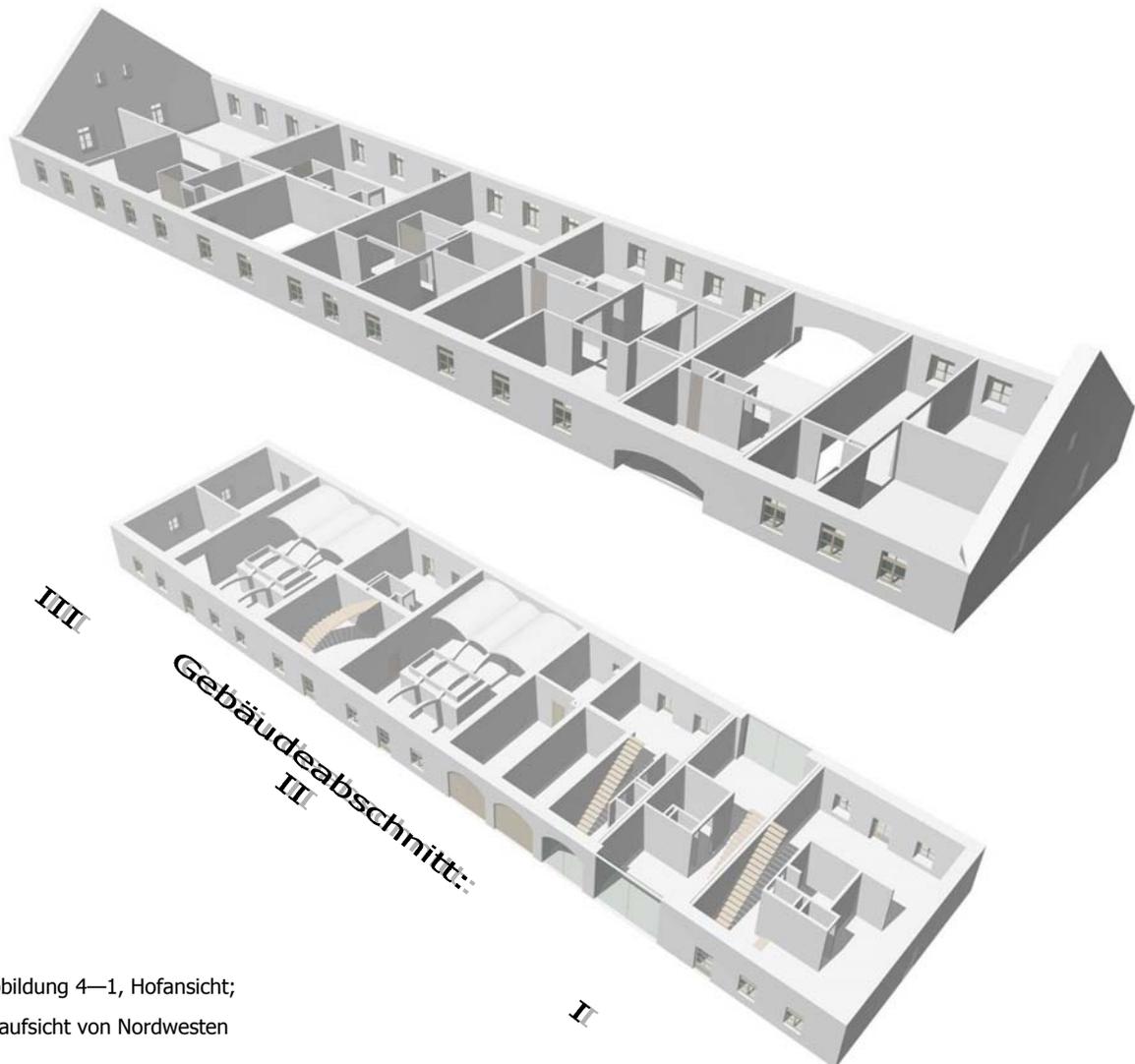


Abbildung 4—1, Hofansicht;
Draufsicht von Nordwesten

Die Kriterien, die bei Entwurfsarbeiten an einem historischen Gebäude dieser Art eine besondere Rolle spielen, werden in den nachfolgenden Abschnitten erläutert.

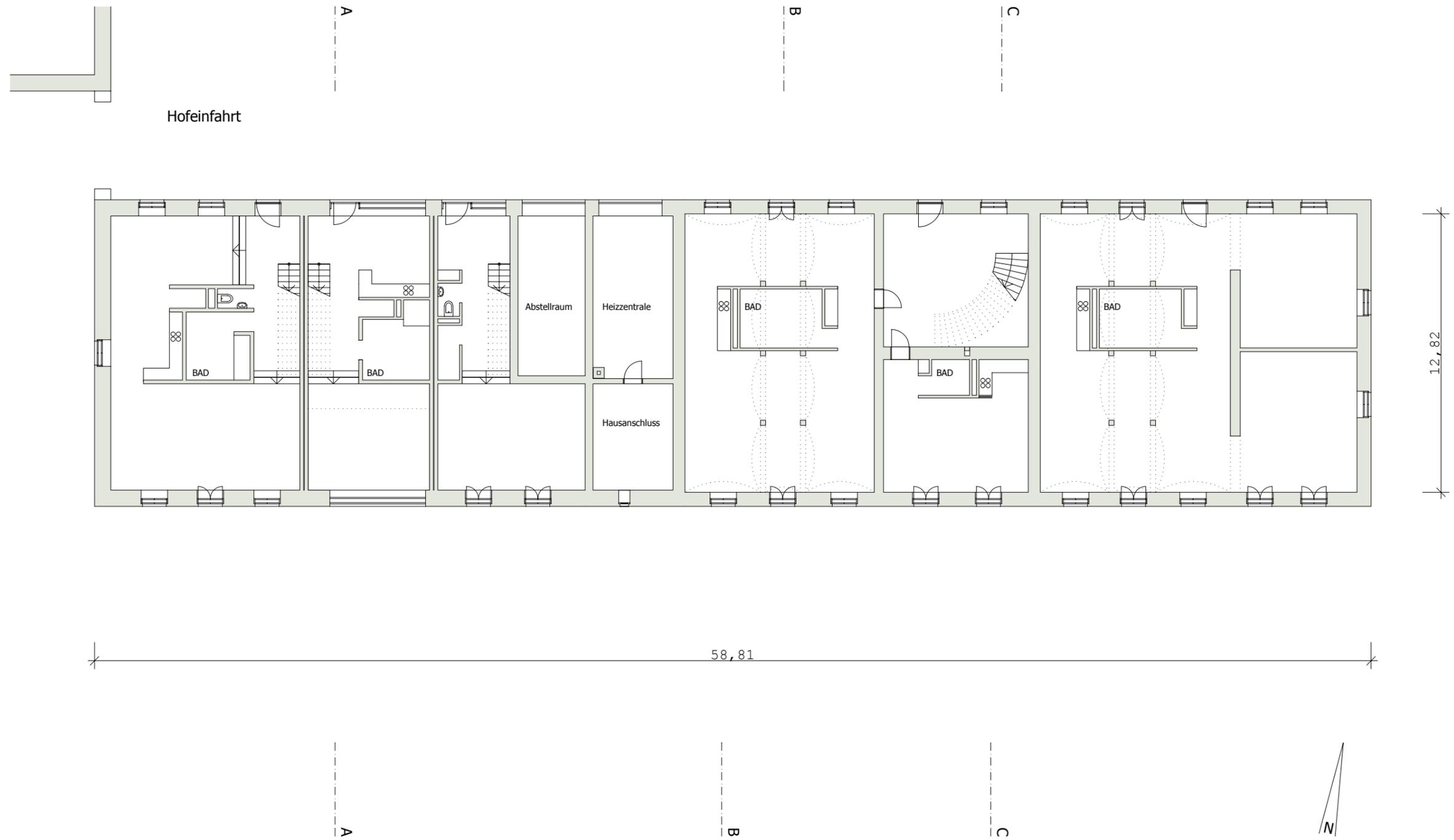


ENTWURF - WOHNUNGSATEILUNG DES SÜDGEBÄUDES VOM RITTERGUT PEGENAU



Abbildung 4—2, Rittergut Pegenau, Entwurf - Südgebäude

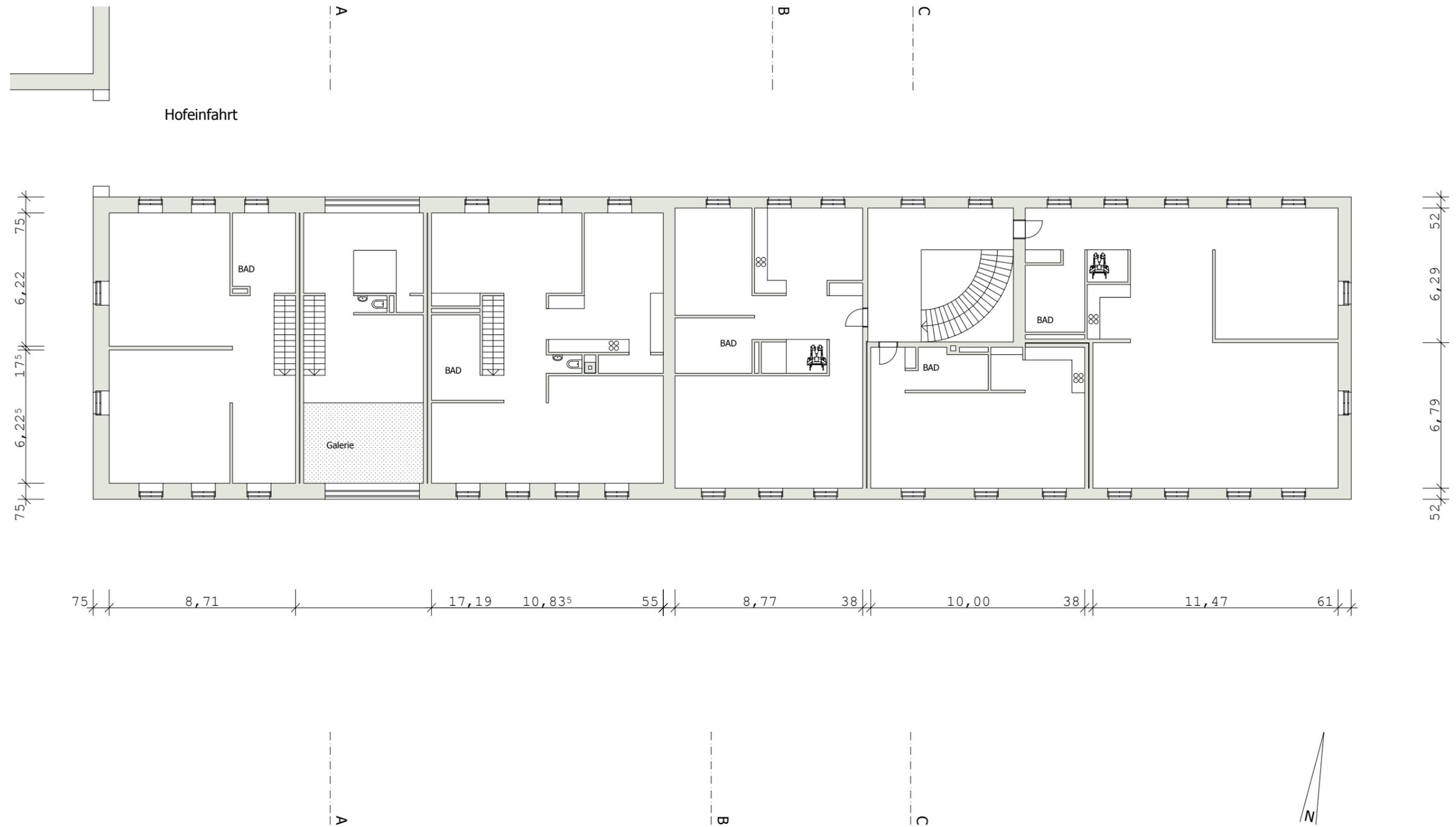
Perspektive von Südwesten



ENTWURFSPLAN DES SÜDGEBÄUDES VOM RITTERGUT PEGENAU

GRUNDRISS ERDGESCHOSS

M 1 : 200

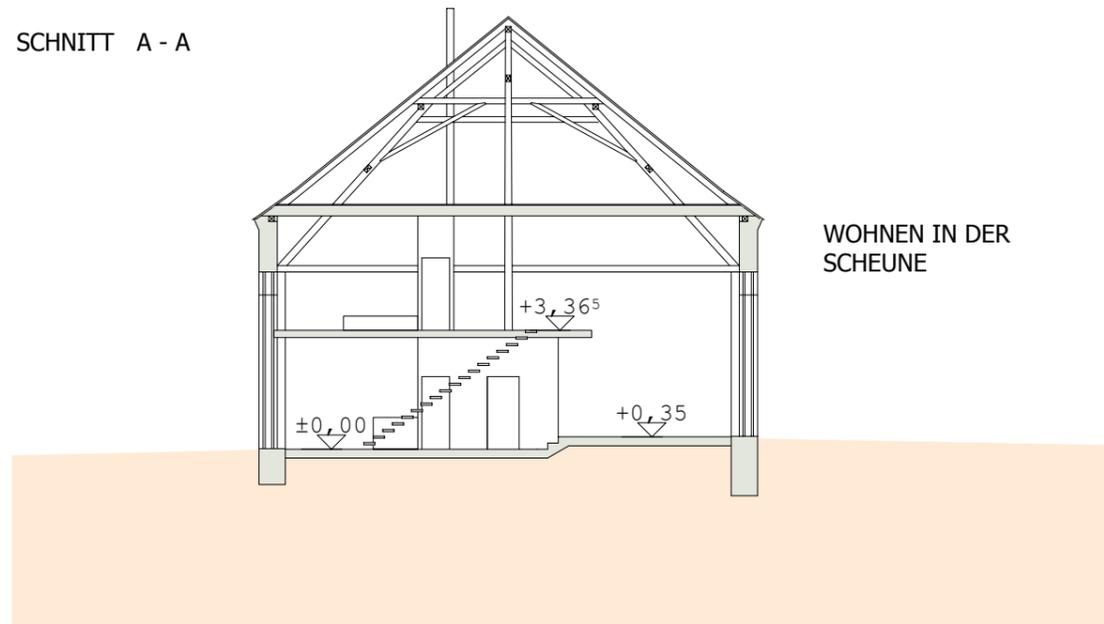


ENTWURFSPLAN DES SÜDGEBÄUDES VOM RITTERGUT PEGENAU

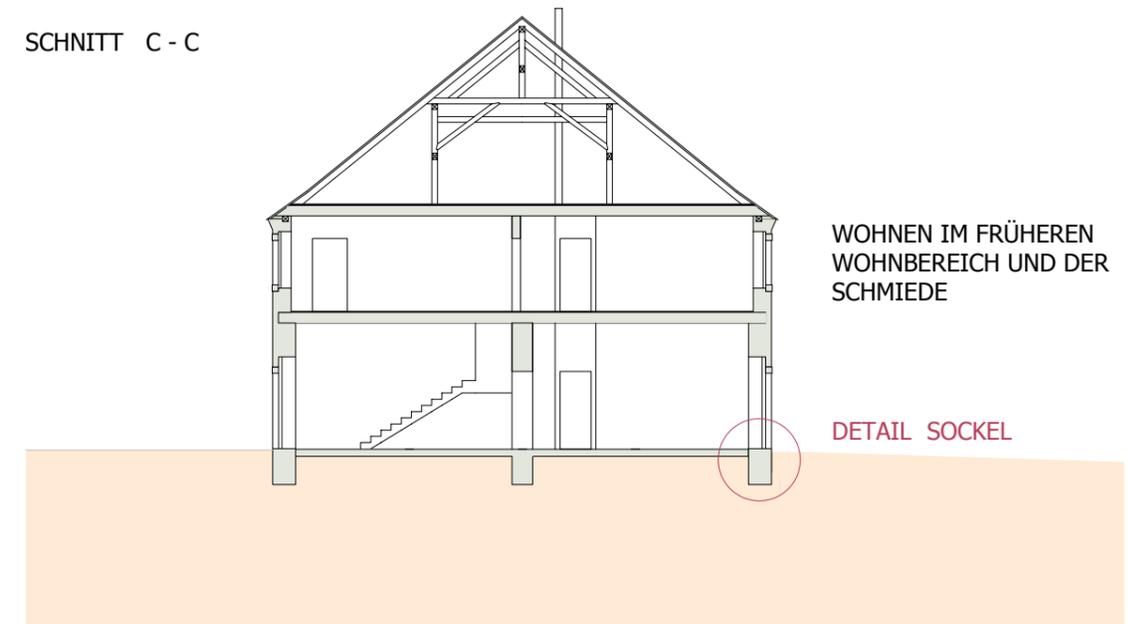
GRUNDRISS OBERGESCHOSS

M 1 : 200

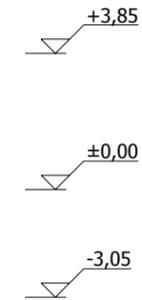
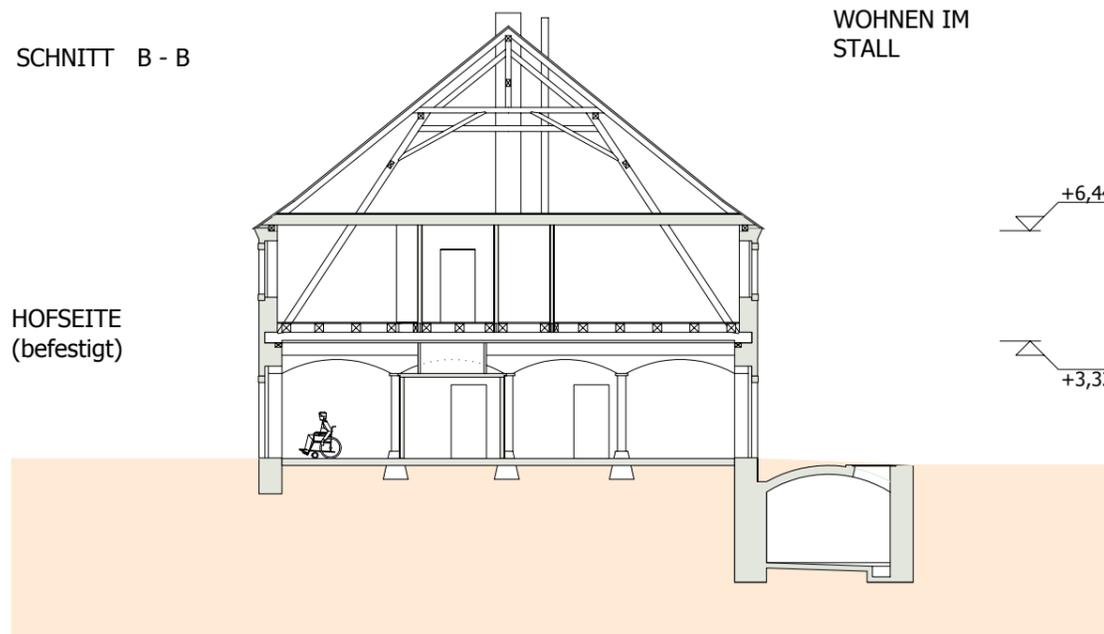
SCHNITT A - A



SCHNITT C - C



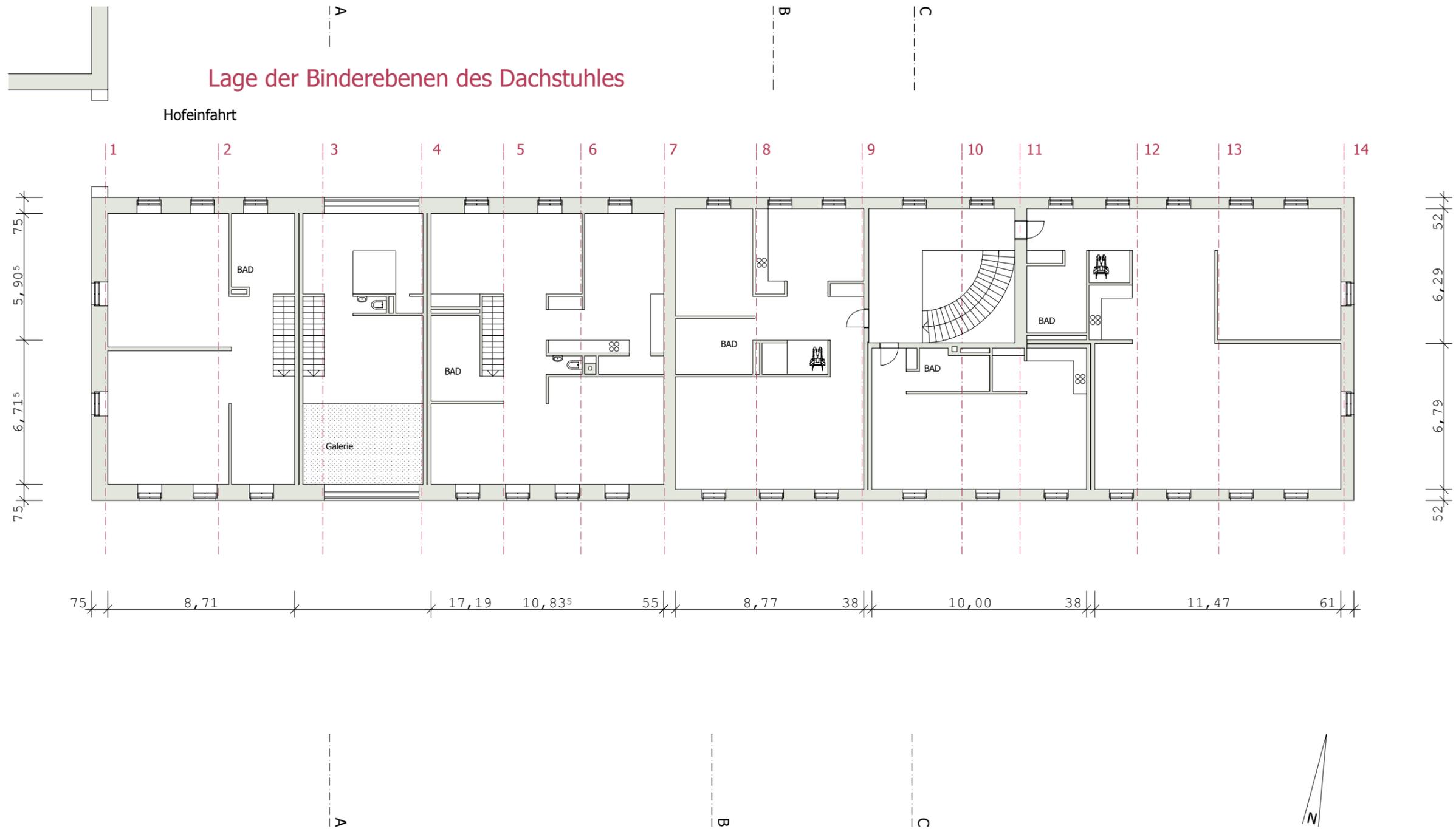
SCHNITT B - B



M 1 : 200

ENTWURFSPLAN DES SÜDGEBÄUDES VOM RITTERGUT PEGENAU

SCHNITTE A / B / C SCHEUNE/ STALL/ WOHNBEREICH



ENTWURFSPLAN DES SÜDGEBÄUDES VOM RITTERGUT PEGENAU LAGE DER BINDEREbenen DES DACHSTUHLES M 1 : 200

4.4 ENTWURFSKRITERIEN

Die folgenden Ausführungen beinhalten weniger die Beschreibung der gestalterischen Hintergründe - die beim Entwerfen immer eine wichtige Rolle spielen – sondern sie konzentrieren sich darauf, die wesentlichen Entwurfskriterien herauszustreichen, die für die Planung von Sanierungsmaßnahmen an einem solchen Gebäude zu beachten sind, um ***schadensfrei*** zu bauen.

Nicht alle nachfolgend genannten Kriterien müssen bei vergleichbaren Bauobjekten unbedingt eingehalten werden. Da aber bei historischen Gebäuden in den meisten Fällen wenige Reserven hinsichtlich der hygrothermischen Belastbarkeit der Konstruktion vorhanden sind, liegt der Planer auf der „sicheren Seite“, wenn viele der Kriterien in der Bauausführung umgesetzt werden.

Der *NUTZER* historischer Gebäude stellt ein großes „Schadensrisiko“ für diese Bauwerke dar und zwingt den Architekten, diesen „Unsicherheitsfaktor“ planbar zu machen.

Viele Entwurfsdetails zielen darauf ab, den Einfluss des Nutzerverhaltens in bestimmten Grenzen zu halten, um die klimatische Belastung der Baukonstruktion besser abschätzen zu können.

So kann die nur zeitweise Nutzung und Beheizung historischer Gebäude im Zusammenspiel mit sehr leistungsfähigen Heizanlagen Schäden am Bauwerk provozieren, die allein dadurch vermeidbar gewesen wären, wenn der Architekt in seiner Planung Vorgaben zur Heizanlage gemacht hätte.

Lüftet ein Nutzer viel oder wenig - lässt sich vom Architekten nach Fertigstellung des Bauwerkes auch nicht mehr beeinflussen – er kann jedoch Sicherheiten einplanen, die eine Grundlüftung unabhängig vom Nutzerverhalten garantieren oder durch andere geschickte Baudetails für eine Entfeuchtung der Raumluft sorgen, so dass Schäden am Bauwerk nicht entstehen.

Wo liegen die Schwerpunkte bei dem untersuchten Gebäude?

Wie in Kapitel 3.5.3.2 beschrieben, erfüllen die Wände und die unmittelbar auf dem Erdreich aufliegenden Fußböden die Anforderungen an den Mindestwärmeschutz nicht. Während der Fußboden und die oberste Geschossdecke des Entwurfsgebäudes

hinsichtlich des Wärme- und Feuchtigkeitsschutzes problemlos nach heutigen Standards modernisiert werden kann – geht das bei den Außenwänden nicht. Die ästhetische Wirkung und der Denkmalschutz verbieten die Verbesserung des Wärmeschutzes in Form von außen aufgetragenen Wärmedämmschichten. Doch selbst wenn sie statthaft wären, könnte man Schäden auf inneren Bauteiloberflächen im Sockelbereich durch Feuchtigkeit und Schimmel – ohne zusätzliche Maßnahmen nicht mit Sicherheit ausschließen. Es ist also das Zusammenspiel vieler verschiedener Maßnahmen, die die Sanierung dieses historischen Gebäudes erst zuverlässig ermöglichen.

Entwurfsarbeiten an einem solchen Gebäude müssen deshalb folgende Kriterien beinhalten: eine auf das Bauwerk und den vorhandenen baulichen Wärmeschutz abgestimmte Nutzung, die Planung von Lüftungs- und Entfeuchtungsmechanismen, in bauklimatischer und baukonstruktiver Hinsicht aufeinander abgestimmte Baudetails und Vorgaben zur Heizungsanlage, der Leitungsführung sowie Größe und Anordnung der Heizflächen. Diese Angaben sind nicht aus gestalterischer Sicht notwendig, sondern um Schäden am Bauwerk durch die geplante Nutzung zu vermeiden.

4.5 RAUMGESTALTUNG - GRUNDRISS

Das Gebäude bietet mit 6,50 m Traufhöhe genügend Raum für zwei Vollgeschosse. Ein Dachausbau ist nicht notwendig – und ist bei historischen Gebäuden ohnehin sehr kritisch zu prüfen (siehe Absatz: 4.6, DAS DACH). Die Haustiefe ist mit 12,60 m Innenmaß relativ groß.

Die beiden ehemaligen Stallräume sollten in ihrem Raumeindruck erhalten bleiben – sie wurden als Loftwohnungen mit eingestellten, nicht bis zur Gewölbedecke reichenden Sanitärräumen konzipiert, diese teilen und zonieren die Räume - ohne die Feuchträume mit der Außenwand in Kontakt zu bringen. Auch in allen anderen Wohnungen des Erdgeschosses wurden die Sanitärräume im Kern des Hauses geplant.

Leichte Trennwände zur Raumteilung - aus Glas oder Holz mit darin enthaltenen Türöffnungen sind im Entwurf nicht eingezeichnet – sie erhöhen die Variabilität in der Raumnutzung und sind aus bauklimatischer Sicht denkbar - solange die Türöffnungen nicht so gut abgedichtet sind, dass diese die Querlüftung im Gebäude behindern.

Unkenntnis über die bauklimatischen und baukonstruktiven Zusammenhänge insbesondere über die Problemzonen, wie die Sockelbereiche sowie die daraus resultierende Schadenshäufigkeit haben dazu geführt – wenn diese Gebäude überhaupt genutzt werden – auf die Erdgeschosszone zu verzichten bzw. diese nur minderwertig zu nutzen.

Dadurch wird der edelste Bereich des Hauses verschenkt!

Die Erdgeschosszone bietet im Sommerhalbjahr gerade bei Wohnungen auf dem Land eine ebenerdige Erweiterung des Wohnraumes in den angrenzenden Garten und wird im vorliegenden Entwurf zum Wohnen genutzt. Es sollten großzügige Wohnungen entstehen, denn Raum ist auf dem Land vorhanden – und wer auf dem Land wohnen möchte, schätzt wohl auch gerade diesen Vorzug. Große, offene – „luftige“ Wohnungen haben den Vorteil, dass sie weniger intensiv genutzt werden, als Wohnungen, die im Grundriss optimiert, klein, eng und mit Luftströmung- behindernden Einbauten versehen sind. In einem großen Luftvolumen verringert sich die Wasserdampfkonzentration der Raumluft mit der Folge; einer verringerten Feuchtigkeitsbelastung der Konstruktion.

Die massiven Granitaußenwände beinhalten einen ganzen Wirkkomplex von Problemen (Absätze: 4.7 AUSSENWAND UND GESIMS UND 4.11 NATURSTEINSOCKEL AM HISTORISCHEN GEBÄUDE) und sollten daher in Bezug auf vermeidbare Wärmebrücken untersucht werden.

Die Einbindung massiver Innenwände in die Außenwand wird in diesem Entwurf reduziert - wo sie unvermeidbar ist, wird mit Hilfe der Heizungsanlage die Oberflächentemperatur über Schimmeltemperatur einreguliert (Absatz: 4.14 HEIZUNG IM HISTORISCHEN GEBÄUDE). Die für Neubauten günstige Temperaturzonierung in Form von wenig bzw. nicht beheizten Räumen an der Nordseite des Hauses (z.B. Abstellkammern) werden in diesem Gebäude als Risiko für die Außenwände angesehen – und deshalb im Kern des Hauses geplant.

In dem Entwurf wird großer Wert auf die Erhaltung aller 14 Binderebenen des Dachtragwerkes gelegt (Zeichnungen 4-4 und 4-5). Da die Stuhlstreben zum Teil im Obergeschoss in der Außenwand oder im Fußboden enden, musste in der Grundriss- und Fassadengestaltung darauf eingegangen werden.

4.6 DAS DACH

Das Dachwerk besteht aus einem Sparrendach bzw. Kehlbalkendach. In halber Sparrenlänge befindet sich eine Kehlbalkenlage, welche von einem doppelt liegenden Stuhl unterstützt wird. Zwischen Sparren- und Pfettendach unterscheidet man bei historischen Dachtragwerken danach, ob die Kehlbalkenebene entlastet werden soll oder direkt die Sparren von den Pfetten des Dachstuhles unterstützt werden⁴. In beiden Fällen ist ein Dachstuhl eingebaut. Der liegende Stuhl dient zur Aufnahme von Lasten aus der Kehlbalkenebene und ermöglicht im Zusammenwirken von Stuhlstrebe, Rähm (Mittelpfette) und Kopfband eine Längsaussteifung des Dachstuhles.

Die Queraussteifung, die beim Sparrendach durch jedes Sparren-/Kehlbalkenpaar sowie Sparren-/Deckenbalkenpaar realisiert wird, erhält durch die 14 Binderebenen dieses Dachstuhles eine zusätzliche Unterstützung. Da eine Deckenbalkenebene am Fußpunkt der Sparren nicht im gesamten Gebäude vorhanden ist, werden die Horizontalkräfte teilweise über durchgehende Zugbalken in der Binderebene gesammelt abgeleitet. Die Lastabtragung des Horizontalschubes der Leergespärre erfolgt vom Wechselbalken (Fußpfette) über den Stichbalken zur Stuhlstrebe und von dieser in den Zug- bzw. Ankerbalken. Holzzapfenverbindungen übertragen die Kräfte an den Knotenpunkten dieses Dachstuhles.

Es bedarf nicht der Auflagen einer Denkmalschutzbehörde, um den Erhaltungswert dieser Baukunst zu erkennen. [17]

Bei meinem Entwurf wurde aus mehreren Gründen auf den Ausbau des Daches verzichtet. Das äußere Erscheinungsbild und der Erhalt des Dachstuhles in der vorhandenen Form sind die wichtigsten Gründe.

Es sprechen aber noch andere Faktoren gegen die vollständige Ausnutzung der vorhandenen Gebäudehülle:

- Dächer besitzen im Ausbaurzustand nur eine geringe Masse und haben, auch wenn sie sehr gut gedämmt sind, nur einen geringen sommerlichen Wärmeschutz.
- Städtische Bebauungsdichte ist auf dem Land nicht wünschenswert; Weiträumigkeit, Großzügigkeit und eine geschützte Privatsphäre im Innen- wie im

⁴ Binding (1991)

Außenraum erfordern nicht den Ausbau jeder Ecke des Gebäudes – noch dazu, wenn als Resultat der Bemühungen nur ein „Barackenklima“ erreicht werden kann.

- Genügend Raum, in dem ganzjährig ein besseres Raumklima erzeugt werden kann, ist unterhalb des Daches vorhanden.
- An Dächer, die ausgebaut werden, muss ein anderer Anspruch an Dichtheit und Qualität der Dacheindeckung gestellt werden. Das erzeugt enorme Kosten gegenüber der einfachen Reparatur nicht ausgebauter, gut durchlüfteter Dächer. Die Eindeckung nicht ausgebauter Dächer kann dadurch fast doppelt so lange mit sehr geringen Reparaturkosten erhalten werden.

Bauunterhaltungskosten der Bauteile innerhalb von 80 Jahren für ein Einfamilienhaus in Prozent der Herstellungskosten:

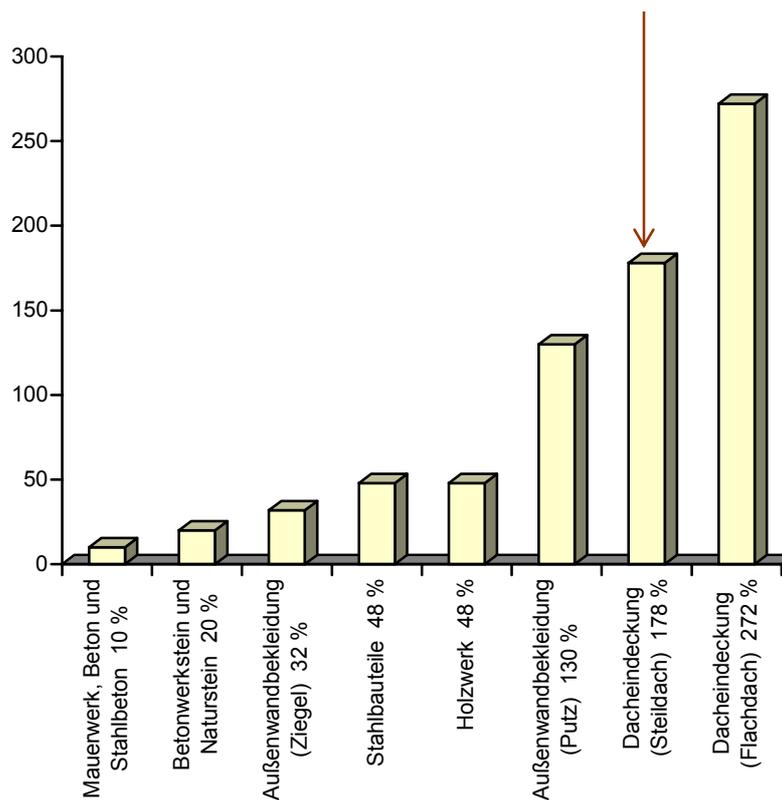


Abbildung 4—3, Instandhaltungskosten

Das Diagramm zeigt den hohen Anteil an Unterhaltungskosten für die Dacheindeckung ausgebauter Dächer. [18]

- Theoretisch lassen sich auch historische Dächer ausbauen. Die übliche Ausführungspraxis auf der Baustelle führt jedoch an kritischen Stellen, wie beispielsweise den Anschlüssen von Dampfbremsen/Luftdichtungen an verstaubten und aufgerissenen Kehlbalken – oft zu Schäden durch konzentrierten Feuchteintrag an diesen Stellen.

Als Beispiel für die Schwierigkeit, eine richtige Planung für den Dachausbau handwerklich auch korrekt umzusetzen, dienen die folgenden beiden Bilder. Von einem neu ausgebauten Dachraum wurde nach kurzzeitigem Unterdruck im Raum eine Thermographie erstellt. Sie zeigt deutlich die undichten Stellen im Eckbereich und im Bereich der Elektroinstallation.



Abbildung 4—4, Dachausbau

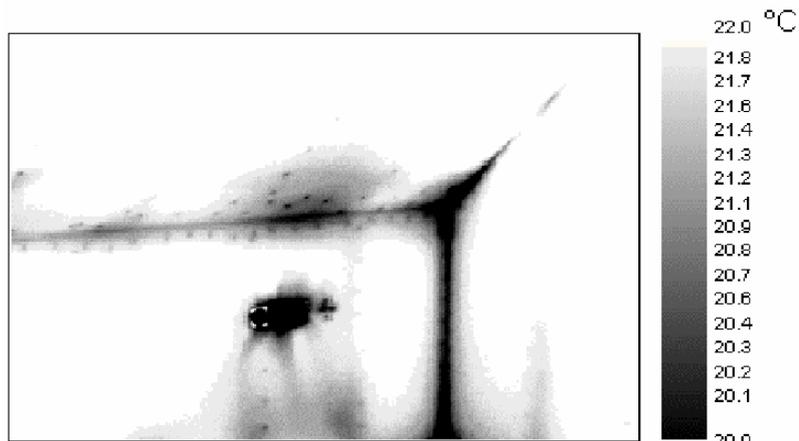


Abbildung 4—5, Thermographie

Für die Dachhaut werden Biberschwanzziegel vorgeschlagen. Sie sind abschnittsweise auf den Gebäuden des Gehöftes noch als ältester Dachbelag vorhanden und stellen vermutlich die originale - Ziegelmaterial sparende - einfache Dacheindeckung dar, bei der sich unter jeder Längsfuge ein Holzspließ befindet.

Heutige Ziegelformate sind in größeren Längen erhältlich als die in früheren Zeiten üblichen Handformziegel, so dass sich mit einem etwas längeren Dachziegel – bei vorhandenem Lattenabstand und dadurch auch gleichem äußeren Erscheinungsbild - eine Doppeldeckung herstellen lässt⁵.

Da der Dachraum nicht ausgebaut wird, ist der Einbau einer Unterspannbahn nicht erforderlich. Die vorhandene Dachkonstruktion kann somit einfach repariert und intakte Dachlatten weiter genutzt werden. Die Änderung von der Spließdeckung zur Doppeldeckung ist dann von außen nur am etwas größeren Dachüberstand des Kronengebundes im Traufbereich zu erkennen.

Dieser Überstand - in Verbindung mit einer neu angebrachten Dachrinne - wirkt sich positiv auf die Feuchtigkeitsaufnahme und damit Langlebigkeit der darunter liegenden Fassadenteile aus. (siehe Absatz 4.11 NATURSTEINSOCKEL AM HISTORISCHEN GEBÄUDE)



Abbildung 4—6, Dacheindeckung;
Biberschwanzziegel/
Handformziegel, einfach gedeckt,
mit Holzspließ unter jeder
Längsfuge

⁵ Schmitt (1996), S.612 [19]

4.7 AUSSENWAND UND GESIMS

Gesims

Die Außenwand im Obergeschoss beginnt mit einem Ziegelsteingesims direkt unter der Dachhaut, welches aus weich gebrannten Ziegeln besteht, die in Lehm und teilweise Kalkmörtel versetzt sind. Dieses Gesims kann als „Enfeuchtungsbauteil“ angesehen werden. Hinter ihm liegen Holzpfetten und Deckenbalken auf der Außenwand auf. Für die Holzkonstruktion stellt das Gesims eine Wärmedämmung bei gleichzeitiger kapillarer Trocknung, der in Lehm gebetteten Holzteile dar. Da alle verwendeten Materialien sehr gute Kapillarwasserleitung besitzen, werden Kondensatbelastungen der Holzteile schnell entspannt. Mit einem Feuchteeintrag von außen ist direkt unter dem Dachüberstand bei intakter Dachhaut nicht zu rechnen. Das Gesims sollte mit weich gebrannten Vollziegeln in Kalkmörtel wiederhergestellt werden.

Außenwände

Die Außenwände werden in dieser Arbeit in Außenwände_{Obergeschoss} (AW_{OG}) und Sockelmauerwerk unterteilt. Aufgrund der Vielzahl von Wirkmechanismen, die im Erdgeschoss die Außenwand beeinflussen, wird diese gesondert im Absatz: 4.11 NATURSTEINSOCKEL AM HISTORISCHEN GEBÄUDE untersucht.

Ausgangssituation im Obergeschoss:

Wandstärken $d_{\text{vorhanden}}$	$d = 52 \text{ cm bis } 75 \text{ cm}$
Wärmedurchgangskoeffizienten $U_{\text{vorhanden}}$	$U = 2,0 \text{ bis } 2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$
Wärmedurchlasswiderstände $R_{\text{vorhanden}}$	$R = 0,33 \text{ bis } 0,23 \text{ m}^2\text{K/W}$
Mindestwärmeschutz nach DIN 4108-2:	$R > 1,2 \text{ m}^2\text{K/W}$ - nicht erfüllt!
Oberflächentemperaturen $\theta_{\text{si,AW, OG}}$	$\theta_{\text{si,AW, OG}} = 10 \text{ bis } 13 \text{ }^\circ\text{C}$

(gerechnet mit Konstantklima nach DIN 4108-2; außen: -5°C und 80% Luftfeuchte, innen: 20°C und 50% Luftfeuchte)

Nach DIN -Klimabedingungen liegt die Schimmeltemperatur bei $12,6 \text{ }^\circ\text{C}$.

Eine höhere Raumlufteuchte von $\varphi = 60 \text{ \%}$ ergibt eine Schimmeltemperatur von $15,4 \text{ }^\circ\text{C}$.

(siehe Tabelle 3 – 1: Taupunkt- und Schimmeltemperatur in Abhängigkeit vom Raumlufteuchte unter Absatz: 3.5.3.2 Wärme- und Feuchtigkeitsschutz der vorhandenen Konstruktion)

Im Eckbereich, im Bereich von Fensterleibungen und anderen Wärmebrücken ist mit noch niedrigeren Temperaturen zu rechnen, als im ungestörten Wandbereich.

Folgende Fragen sind zu klären:

Wie kann Tauwasser auf Innenoberflächen der Außenbauteile vermieden werden?

Stellt sich eine zu große Tauwassermenge im Wandquerschnitt ein?

Wie können die Oberflächentemperaturen angehoben werden, so dass behagliche Umgebungstemperaturen (über alle Umfassungsflächen gemittelte Temp.) von 17 bis 18 °C erreicht werden?

Die Materialparameter der historischen Baustoffe: **GRANIT** und **LEHM**, die zu den folgenden Berechnungen notwendige Voraussetzung sind, wurden von mir im Labor ermittelt⁶. Das erklärt Abweichungen von in den Berechnungen verwendeten Materialwerten gegenüber Literaturangaben, wie z.B. die zehnfache Wasseraufnahme von verwitterten Granitsteinen gegenüber weniger verwittertem Gestein.

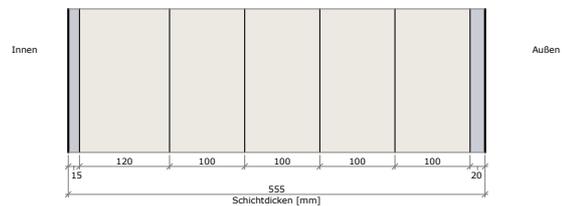
Tauwasserbildung, Oberflächentemperatur, Temperatur- und Feuchteverteilung in der vorhandenen Wand unter Wohnraumklimabedingungen werden als Ausgangssituation zuerst berechnet⁷.

Bestand: Kalkputz (innen), durchgehender Granitstein (d = 52 cm) PII (außen)

Konstruktionsaufbau und Materialparameter

	Material	d [mm]	λ [W/mK]	μ [---]	w_{60} [m ³ /m ³]	w_{sat} [m ³ /m ³]	A_w [kg/m ² ·a ^{0,5}]
1	Kalkputz	15	0,7080	15,0	0,015	0,361	0,0450
2	Granit	120	2,8000	53,8	0,007	0,052	0,0860
3	Granit	100	2,8000	53,8	0,007	0,052	0,0860
4	Granit	100	2,8000	53,8	0,007	0,052	0,0860
5	Granit	100	2,8000	53,8	0,007	0,052	0,0860
6	Granit	100	2,8000	53,8	0,007	0,052	0,0860
7	Kalk-Zementputz	20	0,8900	21,0	0,020	0,250	0,0260

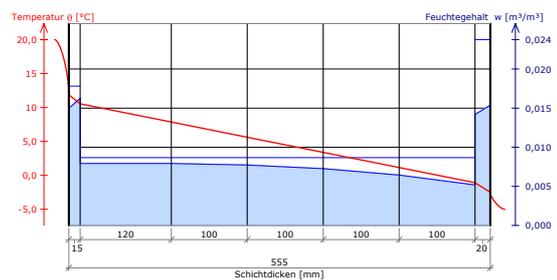
Konstruktionsskizze



Temperaturen, Dampfdrücke und Feuchtegehalte

Schicht/Material	θ [°C]	P_{sat} [Pa]	P [Pa]	w [m ³ /m ³]	d_c [mm]	M_c [kg/m ²]
Luftschrift (links)	20,0	2338	1169			
	11,9	1391	1169			
1 Kalkputz						
	10,5	1274	1162			
2 Granit						
	7,9	1063	971			
3 Granit						
	5,6	912	812			
4 Granit						
	3,4	779	653			
5 Granit						
	1,1	664	493			
6 Granit						
	-1,1	559	334			
7 Kalk-Zementputz						
	-2,5	497	321			
Luftschrift (rechts)	-5,0	402	321			

Temperatur und Feuchteprofil



Zusammenfassung der Berechnungsergebnisse

Wärmedurchgangskoeffizient der Konstruktion (feuchteabhängig) = 2,504 W/(m²K)
 Wärmedurchgangskoeffizient der Konstruktion (trocken) U = 2,504 W/(m²K)
 Es entsteht kein Kondensat!

COND 2002 - Rechnung 4-1

⁶ Ich danke den Mitarbeitern vom Labor des Institutes für Bauklimatik der TU Dresden für die zur Verfügung gestellte Technik und die gute Zusammenarbeit während den fünfmonatigen Messreihen.

⁷ gerechnet mit *COND 2002* nach den Festlegungen des Absatzes 2.3.3 BEURTEILUNG DES WÄRME- UND FEUCHTEVERHALTENS VON BAUKONSTRUKTIONEN

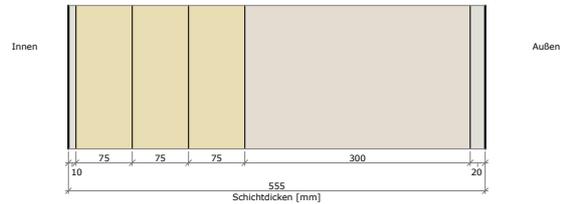
Bestand - Extremfall: $\varphi_i = 65\% +$ innen liegende „Dämmschicht“->LEHM

(Lehm besitzt gegenüber Granit eine 4 – 5 fach kleinere Wärmeleitfähigkeit λ - bei nur einem 1/4 des Wasserdampfdiffusionswiderstandes μ) **Granitstein (außen); Klima: $\varphi_e = 80\%$; $\theta_e = -10^\circ\text{C}$**

Konstruktionsaufbau und Materialparameter

	Material	d [mm]	λ [W/mK]	μ [---]	w_{gg} [m ³ /m ³]	w_{sat} [m ³ /m ³]	A_w [kg/m ² q ^{0,9}]
1	Kalkputz	10	0,7080	15,0	0,015	0,361	0,0450
2	Lehm	75	0,7000	10,6	0,039	0,390	0,1757
3	Lehm	75	0,7000	10,6	0,039	0,390	0,1757
4	Lehm	75	0,7000	10,6	0,039	0,390	0,1757
5	Granit	300	3,5000	60,0	0,007	0,052	0,0860
6	Kalkputz	20	0,7080	15,0	0,015	0,361	0,0450

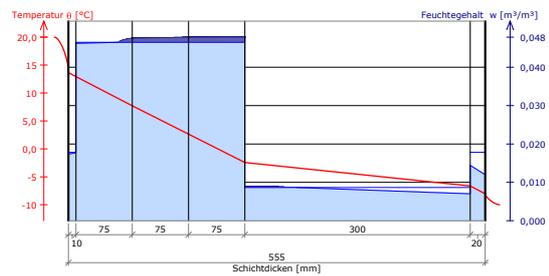
Konstruktionsskizze



Temperaturen, Dampfdrücke und Feuchtegehalte

Schicht/Material	θ [°C]	P_{sat} [Pa]	P [Pa]	w [m ³ /m ³]	d_c [mm]	M_c [kg/m ²]
Luftschicht (links)	20,0	2338	1520			
	13,6	1560	1520			
1 Kalkputz				0,017		
	12,9	1491	1483	0,018		
2 Lehm				0,046	16,9	0,01
	7,7	1052	1052	0,048		
3 Lehm				0,048	75,0	0,09
	2,6	739	739	0,048		
4 Lehm				0,048	75,0	0,10
	-2,4	499	499	0,009	69,2	0,01
5 Granit				0,007		
	-6,6	349	282	0,014		
6 Kalkputz				0,012		
	-8,0	309	208			
Luftschicht (rechts)	-10	260	208			

Temperatur und Feuchteprofil



Zusammenfassung der Berechnungsergebnisse

Wärmedurchgangskoeffizient der Konstruktion (feuchteabhängig) =	1,637	W/(m ² K)
Wärmedurchgangskoeffizient der Konstruktion (trocken) U =	1,614	W/(m ² K)
Kondensatmasse am Ende der Kondensationsperiode (nach COND) =	0,208	kg/m ²

Klimadaten

Winterklima			
Klima an der linken Seite		Klima an der rechten Seite	
Temperatur	20,0 °C	Temperatur	-10 °C
Relative Luftfeuchte	65,0 %	Relative Luftfeuchte	80,0 %
Dauer der Kondensationsperiode (Winter): 60 Tage			

COND 2002 - Rechnung 4-2

Die vorhandene Außenwand wurde in den verschiedensten Zusammensetzungen und Schichtstärken (Lehm fugen außen/innen; durchgehender Granitstein; viel oder wenig Fugenanteil), verschiedenen Wanddicken, ungünstigen λ - und μ - Werten sowie den extremen Klimabedingungen von -10°C im Außenbereich über einen Zeitraum von 60 Tagen und einer inneren Feuchtebelastung von $\varphi_i = 65\%$ gerechnet. Für den Fall, dass bei Sanierungsmaßnahmen nicht alle Bauteile thermisch aufgebessert werden können, ist die Kenntnis über das Temperatur- und Feuchteverhalten der vorhandenen Konstruktion wichtig.

Die beiden vorangestellten COND 2002 – Rechnungen sind repräsentativ für die Berechnungsergebnisse:

Kondensat fällt während der Tauperiode nur in zulässigen Mengen an. Die sich einstellenden Oberflächentemperaturen sind zu niedrig in Bezug auf Behaglichkeit und Vermeidung von Schimmel.

Entwurfskriterien:

Zur Vermeidung von Tauwasser und zur Anhebung der inneren Oberflächentemperatur der Außenwand sowie zur Verbesserung des Temperaturempfindens beim Aufenthalt in der Nähe der Außenwand sind folgende Maßnahmen möglich:

- Verbesserung des Wärmeschutzes der Außenwand
- Planung von Entfeuchtungsbauteilen als gezielte „Sollbruchstelle“ in hygrothermischer Hinsicht (siehe Absatz: 4.12 FENSTER UND TÜREN)
- Planung einer **nutzerunabhängigen** Grundlüftung (siehe Absatz: 4.13 LÜFTUNG)
- Planung von Heizflächen an kritischen Bereichen (Gebäudewinkel etc.) und in der Form, dass das Empfinden der Umgebungstemperatur verbessert wird (siehe Absatz: 4.14 HEIZUNG IM HISTORISCHEN GEBÄUDE)

Verbesserung des Wärmeschutzes der Außenwand

Die Verbesserung des Wärmeschutzes der Außenwand kann zum überwiegenden Teil nur durch eine Innendämmung realisiert werden. Vorhandene Sandsteingewände an Türen und Fenstern verbieten auf der Außenseite größere Dämmstoffstärken, so dass hier nur ein Dämmputz/porosierter Putz bis 3 cm Dicke in Frage kommt.

Innendämmung heißt aber auch Feuchtebelastung der Wand durch Kondensat.

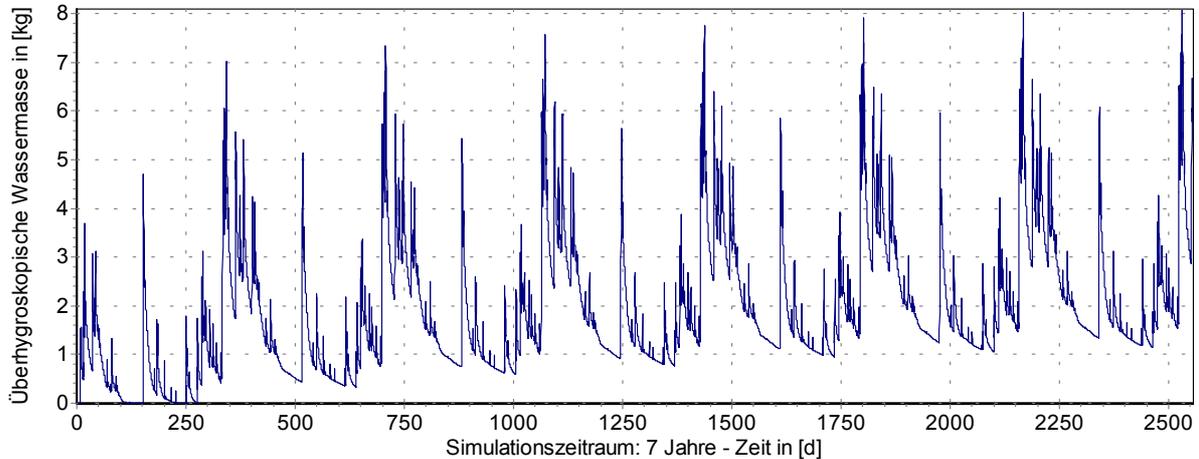
Moderne Konstruktionen mit innen liegender Dampfbremse oder Dampfsperre sind beim Altbau weniger geeignet. Sie behindern die Austrocknung von Feuchtigkeit, die die Wand auch über die Fassade aufnehmen kann. Da in den Wänden auch Holzbauteile, wie Deckenbalken, Schwellhölzer und Stützen des Dachtragwerkes vorhanden sind – ist die Möglichkeit der Austrocknung von Wänden nach außen und nach innen besonders wichtig.

Wie sich allein eine vermehrte Feuchtaufnahme über die Fassade auf eine vergleichbare Wand; 60 cm Granitstein, beidseitig Kalkputz – also ein üblicher Wandaufbau historischer Gebäude – auswirken kann, zeigt die folgende Grafik.

Mit dem Programm Delphin⁸ wurde die überhygroskopische Feuchte einer Westwand über einen Zeitraum von 7 Jahren berechnet. Dabei wurde auf der Innenseite Konstantklima nach DIN und auf der Außenseite Realklima (TRY Essen) angenommen.

⁸ siehe Absatz 2.3.3 Beurteilung des Wärme- und Feuchteverhaltens von Baukonstruktionen, *DELPHIN 4*

Um die verstärkte Feuchtebelastung einer verwitterten Wand durch Schlagregen zu simulieren, wurden Wasser abweisende Beschichtungen bei der Berechnung bewusst weggelassen.



DELPHIN 4 - Simulation 4-1, Überhygroskopische Wassermasse in kg/m² Wand

Die obige Grafik macht den Einfluss des Regens auf das Feuchtegleichgewicht einer nicht ausreichend Wasser abweisenden Wand deutlich. Die Wand wird von Jahr zu Jahr feuchter und trocknet nicht mehr aus.

Dampfsperren auf einer Seite der Wand würden diesen Effekt verstärken. Sie verhindern zwar den Kondensateintrag im Winter durch die Raumluft – sie behindern aber auch ganzjährig die Trocknung der Wand nach einer Seite. Konstruktionen dieser Art werden deshalb für die Verbesserung des Wärmeschutzes der Wand nicht in Betracht gezogen, denn auch wenn die angenommenen Randbedingungen für obige Simulation eine extreme Belastung darstellen, sind sie nicht gänzlich unrealistisch.

Varianten für eine Innendämmung:

Das Institut für Bauklimatik betreute bereits mehrfach Baumaßnahmen an Testhäusern bei denen Innendämmungen praktiziert und die Messergebnisse mit den Berechnungen verglichen wurden. Die Halbierung des Wärmedurchgangskoeffizienten U kann danach als vernünftiger Richtwert für die energetische Verbesserung von Wänden historischer Gebäude angesehen werden – dabei wird vorausgesetzt, dass die innere Dämmung **kapillaraktiv** ist, d.h. auf der kalten Seite der Dämmschicht kondensierendes Wasser muss wieder zur inneren Oberfläche zurück transportiert werden.

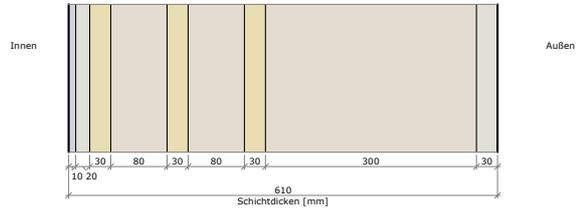
Anzustreben sind also U – Werte zwischen 1,0 und 1,3 W/m²K.

Variante 1: Calciumsilikatplatte (innen), Hydroment Transputz LP (außen)

Konstruktionsaufbau und Materialparameter

Material	d [mm]	λ [W/mK]	μ [---]	w _{gg} [m ³ /m ³]	w _{sat} [m ³ /m ³]	A _w [kg/m ² g ^{0,5}]
1 Gipsplatten	10	0,3550	6,0	0,018	0,400	0,4000
2 Calciumsilikatplatte	20	0,0600	6,2	0,008	0,850	0,7760
3 Lehm	30	0,7000	10,6	0,039	0,390	0,1757
4 Granit	80	2,8000	53,8	0,008	0,050	0,0860
5 Lehm	30	0,8000	10,6	0,043	0,375	0,1757
6 Granit	80	2,8000	53,8	0,008	0,050	0,0860
7 Lehm	30	0,8000	10,6	0,043	0,375	0,1757
8 Granit	300	2,8000	53,8	0,008	0,050	0,0860
9 Hydroment Transputz LP	30	0,1500	11,6	0,027	0,101	0,0024

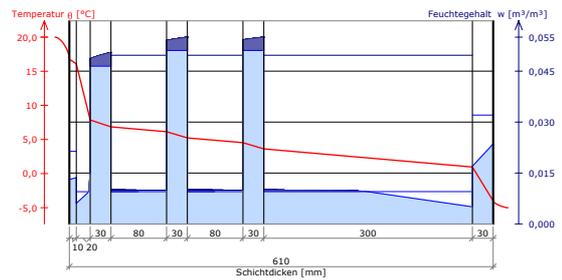
Konstruktionsskizze



Temperaturen, Dampfdrücke und Feuchtegehalte

Schicht/Material	θ [°C]	P _{sat} [Pa]	P [Pa]	w [m ³ /m ³]	d _e [mm]	M _e [kg/m ²]
Luftschicht (links)	20,0	2338	1169			
	16,8	1910	1169	0,013		
1 Gipsplatten				0,014		
	16,1	1827	1165	0,006		
2 Calciumsilikatplatte				0,015	1,7	0,01
	7,9	1064	1064	0,049		
3 Lehm				0,051	30,0	0,10
	6,8	992	992	0,010		
4 Granit				0,010	80,0	0,03
	6,1	944	944	0,054		
5 Lehm				0,055	30,0	0,10
	5,2	887	887	0,010		
6 Granit				0,010	80,0	0,04
	4,5	844	844	0,054		
7 Lehm				0,055	30,0	0,11
	3,6	793	793	0,010		
8 Granit				0,005	148,5	0,05
	1,0	655	347	0,017		
9 Hydroment Transputz LP				0,024		
	-4,0	437	321			
Luftschicht (rechts)	-5,0	402	321			

Temperatur und Feuchteprofil



COND 2002 - Rechnung 4-3

Zusammenfassung der Berechnungsergebnisse

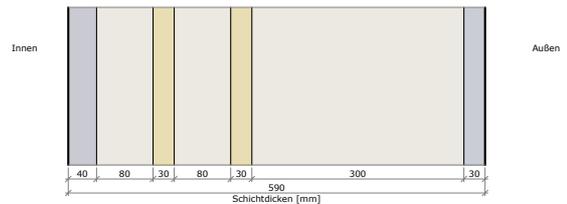
Wärmedurchgangskoeffizient der Konstruktion (feuchteabhängig) = 0,994 W/(m²K)
 Wärmedurchgangskoeffizient der Konstruktion (trocken) U = 0,987 W/(m²K)
 Kondensatmasse am Ende der Kondensationsperiode (nach COND) = 0,430 kg/m²

Variante 2: Hydroment Dämmputz (innen), Hydroment Transputz LP (außen)

Konstruktionsaufbau und Materialparameter

Material	d [mm]	λ [W/mK]	μ [---]	w _{gg} [m ³ /m ³]	w _{sat} [m ³ /m ³]	A _w [kg/m ² g ^{0,5}]
1 Hydroment Transputz WD	40	0,1000	8,0	0,027	0,101	0,0244
2 Granit	80	2,8000	53,8	0,007	0,052	0,0860
3 Lehm	30	0,7000	10,6	0,039	0,390	0,1757
4 Granit	80	2,8000	53,8	0,007	0,052	0,0860
5 Lehm	30	0,7000	10,6	0,039	0,390	0,1757
6 Granit	300	2,8000	53,8	0,007	0,052	0,0860
7 Hydroment Transputz LP	30	0,1510	10,0	0,027	0,101	0,0244

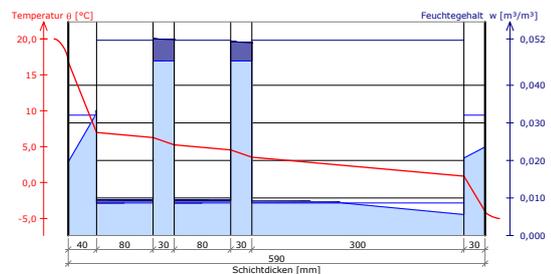
Konstruktionsskizze



Temperaturen, Dampfdrücke und Feuchtegehalte

Schicht/Material	θ [°C]	P _{sat} [Pa]	P [Pa]	w [m ³ /m ³]	d _e [mm]	M _e [kg/m ²]
Luftschicht (links)	20,0	2338	1169			
	16,8	1913	1169	0,020		
1 Hydroment Transputz WD				0,033	1,4	0,00
	7,0	1001	1001	0,009		
2 Granit				0,009	80,0	0,06
	6,3	954	954	0,052		
3 Lehm				0,052	30,0	0,17
	5,3	889	889	0,009		
4 Granit				0,009	80,0	0,05
	4,5	846	846	0,052		
5 Lehm				0,051	30,0	0,15
	3,5	788	788	0,009		
6 Granit				0,006	127,9	0,05
	0,9	652	419	0,021		
7 Hydroment Transputz LP				0,024		
	-4,0	437	321			
Luftschicht (rechts)	-5,0	402	321			

Temperatur und Feuchteprofil



COND 2002 - Rechnung 4-4

Zusammenfassung der Berechnungsergebnisse

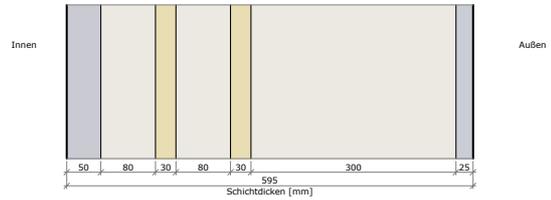
Wärmedurchgangskoeffizient der Konstruktion (feuchteabhängig) = 0,987 W/(m²K)
 Wärmedurchgangskoeffizient der Konstruktion (trocken) U = 0,982 W/(m²K)
 Kondensatmasse am Ende der Kondensationsperiode (nach COND) = 0,494 kg/m²

Variante 3: Kalkputz porosiert (innen), Hydroment Transputz LP (außen)

Konstruktionsaufbau und Materialparameter

	Material	d [mm]	λ [W/mK]	μ [---]	w ₉₀ [m ³ /m ³]	w _{sat} [m ³ /m ³]	A _w [kg/m ² s ^{0,5}]
1	Kalkputz porosiert	50	0,1500	15,0	0,015	0,361	0,0450
2	Granit	80	2,8000	53,8	0,007	0,052	0,0860
3	Lehm	30	0,7000	10,6	0,039	0,390	0,1757
4	Granit	80	2,8000	53,8	0,007	0,052	0,0860
5	Lehm	30	0,7000	10,6	0,039	0,390	0,1757
6	Granit	300	2,8000	53,8	0,007	0,052	0,0860
7	Hydroment Transputz LP	25	0,1510	10,0	0,027	0,101	0,0244

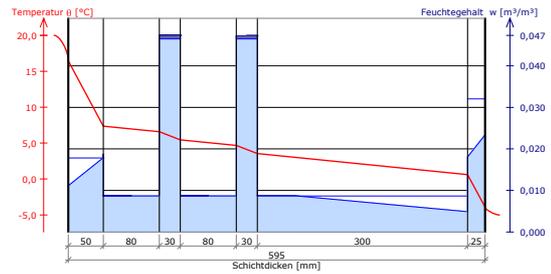
Konstruktionsskizze



Temperaturen, Dampfdrücke und Feuchtegehalte

Schicht/Material	θ [°C]	P _{sat} [Pa]	P [Pa]	w [m ³ /m ³]	d _e [mm]	M _c [kg/m ²]
Luftschicht (links)	20,0	2338	1169			
	16,5	1872	1169	0,011		
1 Kalkputz porosiert	7,4	1028	1028	0,019	0,4	0,00
				0,009	80,0	0,01
2 Granit	6,6	974	974	0,047		
				0,009	80,0	0,01
3 Lehm	5,4	901	901	0,047	30,0	0,03
				0,009	80,0	0,01
4 Granit	4,7	853	853	0,047		
				0,009	80,0	0,01
5 Lehm	3,5	788	788	0,047	30,0	0,02
				0,018	57,0	0,00
6 Granit	0,6	639	360	0,005		
				0,023		
7 Hydroment Transputz LP	-3,9	441	321			
Luftschicht (rechts)	-5,0	402	321			

Temperatur und Feuchteprofil



Zusammenfassung der Berechnungsergebnisse

Wärmedurchgangskoeffizient der Konstruktion (feuchteabhängig) = 1,092 W/(m²K)
 Wärmedurchgangskoeffizient der Konstruktion (trocken) U = 1,088 W/(m²K)
 Kondensatmenge am Ende der Kondensationsperiode (nach COMB) = 0,069 kg/m²

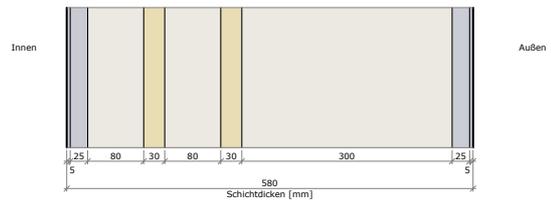
COND 2002 - Rechnung 4-5

Variante 4: PI+ Hydromentputz WD (innen), Hydromentputz WD +PII (außen)

Konstruktionsaufbau und Materialparameter

	Material	d [mm]	λ [W/mK]	μ [---]	w ₉₀ [m ³ /m ³]	w _{sat} [m ³ /m ³]	A _w [kg/m ² s ^{0,5}]
1	Kalkputz	5	0,7080	15,0	0,015	0,361	0,0450
2	Hydroment Transputz WD	25	0,1000	8,0	0,027	0,101	0,0244
3	Granit	80	2,8000	53,8	0,007	0,052	0,0860
4	Lehm	30	0,7000	10,6	0,039	0,390	0,1757
5	Granit	80	2,8000	53,8	0,007	0,052	0,0860
6	Lehm	30	0,7000	10,6	0,039	0,390	0,1757
7	Granit	300	2,8000	53,8	0,007	0,052	0,0860
8	Hydroment Transputz WD	25	0,1000	8,0	0,027	0,101	0,0244
9	Kalk-Zementputz	5	0,8900	21,0	0,020	0,250	0,0260

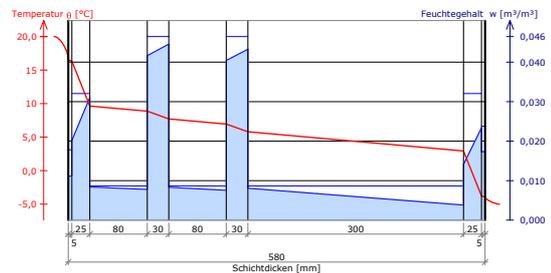
Konstruktionsskizze



Temperaturen, Dampfdrücke und Feuchtegehalte

Schicht/Material	θ [°C]	P _{sat} [Pa]	P [Pa]	w [m ³ /m ³]	d _e [mm]	M _c [kg/m ²]
Luftschicht (links)	20,0	2338	1169			
	16,5	1880	1169			
1 Kalkputz	16,3	1857	1167			
2 Hydroment Transputz WD	9,6	1199	1160			
3 Granit	8,9	1138	1020			
4 Lehm	7,7	1053	1009			
5 Granit	6,9	999	869			
6 Lehm	5,8	923	858			
7 Granit	2,9	754	331			
8 Hydroment Transputz WD	-3,8	446	325			
9 Kalk-Zementputz	-3,9	440	321			
Luftschicht (rechts)	-5,0	402	321			

Temperatur und Feuchteprofil



Zusammenfassung der Berechnungsergebnisse

Wärmedurchgangskoeffizient der Konstruktion (feuchteabhängig) = 1,072 W/(m²K)
 Wärmedurchgangskoeffizient der Konstruktion (trocken) U = 1,072 W/(m²K)
 Es entsteht kein Kondensat

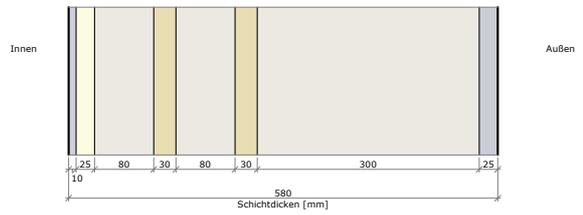
COND 2002 - Rechnung 4-6

Variante 5: Gipskarton, Mineralwolle (innen), Hydromentputz SG (außen)

Konstruktionsaufbau und Materialparameter

	Material	d [mm]	λ [W/mK]	μ [---]	w _{gg} [m³/m³]	w _{sat} [m³/m³]	A _w [kg/m²s ^{0,5}]
1	Gipsplatten	10	0,3550	6,0	0,018	0,400	0,4000
2	Mineralfällplatte	25	0,0450	6,0	0,009	0,148	0,0170
3	Granit	80	2,8000	53,8	0,007	0,052	0,0860
4	Lehm	30	0,7000	10,6	0,039	0,390	0,1757
5	Granit	80	2,8000	53,8	0,007	0,052	0,0860
6	Lehm	30	0,7000	10,6	0,039	0,390	0,1757
7	Granit	300	2,8000	53,8	0,007	0,052	0,0860
8	Hydroment Transputz SG	25	0,4300	11,6	0,027	0,101	0,0244

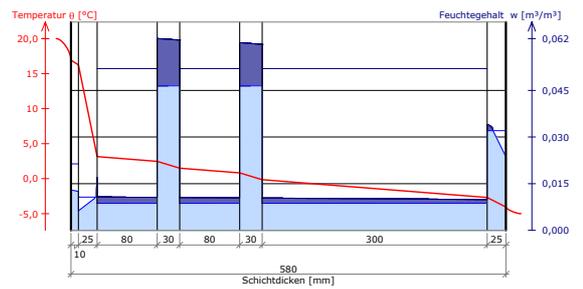
Konstruktionsskizze



Temperaturen, Dampfdrücke und Feuchtegehalte

Schicht/Material	θ [°C]	P _{sat} [Pa]	P [Pa]	w [m³/m³]	d _c [mm]	M _c [kg/m²]
Luftschicht (links)	20,0	2338	1169			
	16,9	1928	1169	0,013		
1 Gipsplatten	16,2	1848	1081	0,013		
	3,1	766	766	0,006		
2 Mineralfällplatte	3,1	766	766	0,017	1,2	0,01
	2,5	730	730	0,011	80,0	0,16
3 Granit	2,5	730	730	0,022	30,0	0,45
	1,5	681	681	0,061		
4 Lehm	1,5	681	681	0,011	80,0	0,14
	0,8	649	649	0,062		
5 Granit	0,8	649	649	0,061	30,0	0,41
	-0,1	605	605	0,010	80,0	0,14
6 Lehm	-0,1	605	605	0,060		
	-2,7	489	489	0,060	30,0	0,41
7 Granit	-2,7	489	489	0,010	300,0	0,43
	-4,1	436	321	0,010		
8 Hydroment Transputz SG	-4,1	436	321	0,034	7,7	0,01
	-5,0	402	321	0,024		
Luftschicht (rechts)	-5,0	402	321			

Temperatur und Feuchteprofil



Ergebnisse nach DIN 4108 (Glaser-Verfahren)

Tauperiode (Winter)

Dauer 90 Tage
 Innenklima (links) 20°C / 50%
 Außenklima (rechts) -5°C / 80%

Kondensatmenge (nach Glaser) w_t = 2,718 kg/m²

COND 2002 - Rechnung 4-7

Zusammenfassung der Berechnungsergebnisse

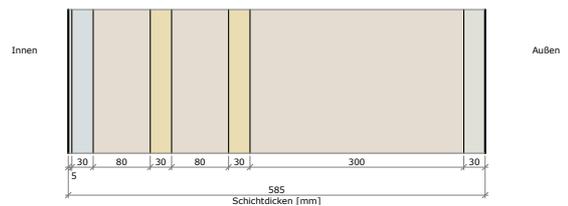
Wärmedurchgangskoeffizient der Konstruktion (feuchteabhängig) = 0,950 W/(m²K)
 Wärmedurchgangskoeffizient der Konstruktion (trocken) U = 0,942 W/(m²K)
 Kondensatmenge am Ende der Kondensationsperiode (nach COND) = 1,601 kg/m²

Variante 6: PII, Wärmedämmputz (innen), Hydromentputz LP (außen)

Konstruktionsaufbau und Materialparameter

	Material	d [mm]	λ [W/mK]	μ [---]	w _{gg} [m³/m³]	w _{sat} [m³/m³]	A _w [kg/m²s ^{0,5}]
1	Kalk-Zementputz	5	0,8900	21,0	0,020	0,250	0,0260
2	Wärmedämmputz	30	0,0710	26,0	0,007	0,082	0,0122
3	Granit	80	2,8000	53,8	0,008	0,050	0,0860
4	Lehm	30	0,8000	10,6	0,043	0,375	0,1757
5	Granit	80	2,8000	53,8	0,008	0,050	0,0860
6	Lehm	30	0,8000	10,6	0,043	0,375	0,1757
7	Granit	300	2,8000	53,8	0,008	0,050	0,0860
8	Hydroment Transputz	30	0,1520	8,0	0,027	0,293	0,5000

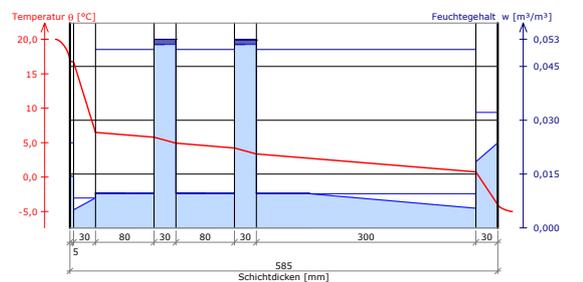
Konstruktionsskizze



Temperaturen, Dampfdrücke und Feuchtegehalte

Schicht/Material	θ [°C]	P _{sat} [Pa]	P [Pa]	w [m³/m³]	d _c [mm]	M _c [kg/m²]
Luftschicht (links)	20,0	2338	1169			
	16,9	1920	1169	0,014		
1 Kalk-Zementputz	16,7	1904	1148	0,014		
	6,5	968	968	0,005		
2 Wärmedämmputz	6,5	968	968	0,009	0,3	0,00
	5,8	923	923	0,010	80,0	0,01
3 Granit	5,8	923	923	0,053	30,0	0,04
	4,9	868	868	0,010	80,0	0,01
4 Lehm	4,9	868	868	0,053		
	4,2	827	827	0,010	80,0	0,01
5 Granit	4,2	827	827	0,052	30,0	0,04
	3,3	777	777	0,010	72,1	0,01
6 Lehm	3,3	777	777	0,005		
	0,8	645	369	0,018		
7 Granit	0,8	645	369	0,024		
8 Hydroment Transputz	-4,0	437	321			
	-5,0	402	321			
Luftschicht (rechts)	-5,0	402	321			

Temperatur und Feuchteprofil



Zusammenfassung der Berechnungsergebnisse

Wärmedurchgangskoeffizient der Konstruktion (feuchteabhängig) = 0,969 W/(m²K)
 Wärmedurchgangskoeffizient der Konstruktion (trocken) U = 0,966 W/(m²K)
 Kondensatmenge am Ende der Kondensationsperiode (nach COND) = 0,115 kg/m²

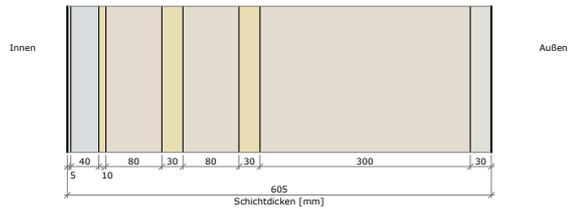
COND 2002 - Rechnung 4-8

Variante 7: Lehm, Strohhexelplatte (innen), Hydromentputz LP (außen)

Konstruktionsaufbau und Materialparameter

	Material	d [mm]	λ [W/mK]	μ [---]	w ₈₀ [m³/m³]	w _{sat} [m³/m³]	A _w [kg/m²s ^{0,5}]
1	Lehm	5	0,7000	10,6	0,039	0,390	0,1757
2	Riestrohhexelplatte	40	0,0950	3,0	0,036	0,878	0,0830
3	Lehm	10	0,7000	10,6	0,039	0,390	0,1757
4	Granit	80	2,8000	53,8	0,008	0,050	0,0860
5	Lehm	30	0,8000	10,6	0,043	0,375	0,1757
6	Granit	80	2,8000	53,8	0,008	0,050	0,0860
7	Lehm	30	0,8000	10,6	0,043	0,375	0,1757
8	Granit	300	2,8000	53,8	0,008	0,050	0,0860
9	Hydroment Transputz	30	0,1520	8,0	0,027	0,293	0,5000

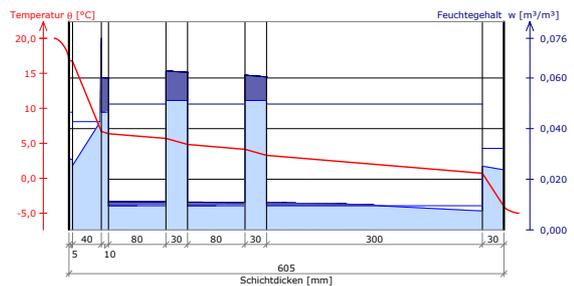
Konstruktionskizze



Temperaturen, Dampfdrücke und Feuchtegehalte

Schicht/Material	θ [°C]	P _{stat} [Pa]	P [Pa]	w [m³/m³]	d _e [mm]	M _e [kg/m²]
Luftschrift (links)	20,0	2338	1169			
	16,9	1924	1169			
1 Lehm	16,7	1903	1129	0,028		
	6,7	982	982	0,076	1,4	0,03
2 Riestrohhexelplatte	6,4	960	960	0,060	10,0	0,13
3 Lehm	5,7	916	916	0,011	80,0	0,12
4 Granit	5,7	916	916	0,011	80,0	0,12
5 Lehm	4,8	862	862	0,063	30,0	0,34
6 Granit	4,8	862	862	0,011	80,0	0,10
7 Lehm	4,1	822	822	0,061	30,0	0,29
8 Granit	3,3	773	773	0,060	154,1	0,12
9 Hydroment Transputz	0,7	643	503	0,007		
	-4,0	436	321	0,025		
Luftschrift (rechts)	-5,0	402	321	0,024		

Temperatur und Feuchteprofil



Zusammenfassung der Berechnungsergebnisse

Wärmedurchgangskoeffizient der Konstruktion (feuchteabhängig) = 0,960 W/(m²K)
 Wärmedurchgangskoeffizient der Konstruktion (trocken) U = 0,953 W/(m²K)
 Kondensatmenge am Ende der Kondensationsperiode (nach COND) = 1,136 kg/m²

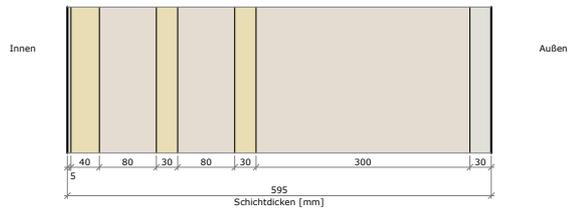
COND 2002 - Rechnung 4-9

Variante 8: PI, Wärmedämmlehm (innen), Hydromentputz LP (außen)

Konstruktionsaufbau und Materialparameter

	Material	d [mm]	λ [W/mK]	μ [---]	w ₈₀ [m³/m³]	w _{sat} [m³/m³]	A _w [kg/m²s ^{0,5}]
1	Kalkputz	5	0,7080	15,0	0,015	0,361	0,0450
2	Wärmedämmlehm	40	0,0900	10,0	0,011	0,270	0,0952
3	Granit	80	2,8000	53,8	0,008	0,050	0,0860
4	Lehm	30	0,8000	10,6	0,043	0,375	0,1757
5	Granit	80	2,8000	53,8	0,008	0,050	0,0860
6	Lehm	30	0,8000	10,6	0,043	0,375	0,1757
7	Granit	300	2,8000	53,8	0,008	0,050	0,0860
8	Hydroment Transputz	30	0,1520	8,0	0,027	0,293	0,5000

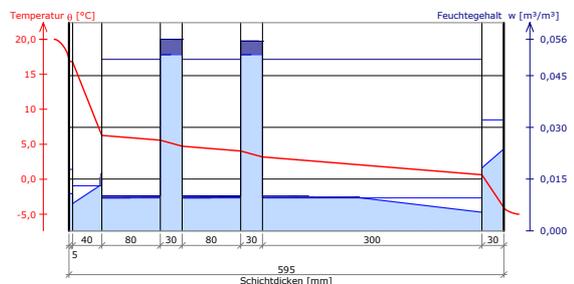
Konstruktionskizze



Temperaturen, Dampfdrücke und Feuchtegehalte

Schicht/Material	θ [°C]	P _{stat} [Pa]	P [Pa]	w [m³/m³]	d _e [mm]	M _e [kg/m²]
Luftschrift (links)	20,0	2338	1169			
	16,9	1928	1169	0,011		
1 Kalkputz	16,7	1907	1156	0,011		
	6,3	953	953	0,008		
2 Wärmedämmlehm	6,3	953	953	0,017	3,1	0,01
3 Granit	5,6	909	909	0,010	80,0	0,05
4 Lehm	4,7	856	856	0,056	30,0	0,13
5 Granit	4,7	856	856	0,010	80,0	0,04
6 Lehm	4,0	816	816	0,010	80,0	0,04
	4,0	816	816	0,055	30,0	0,12
7 Granit	3,2	768	768	0,055	134,4	0,04
	0,6	640	362	0,010		
8 Hydroment Transputz	0,6	640	362	0,005		
	-4,0	436	321	0,018		
Luftschrift (rechts)	-5,0	402	321	0,024		

Temperatur und Feuchteprofil



Zusammenfassung der Berechnungsergebnisse

Wärmedurchgangskoeffizient der Konstruktion (feuchteabhängig) = 0,950 W/(m²K)
 Wärmedurchgangskoeffizient der Konstruktion (trocken) U = 0,945 W/(m²K)
 Kondensatmenge am Ende der Kondensationsperiode (nach COND) = 0,387 kg/m²

COND 2002 - Rechnung 4-10

Vergleich der Berechnungsergebnisse

Variante	Konstruktionsaufbau innere Beschichtung äußere Beschichtung	Konstruktionsdicke Gesamtstärke der Wand in mm	U-Wert (feuchteabhängig) in W/m ² K	Kondensatmenge (T = 90 d) in kg/m ²
1	Gipskartonplatten Calciumsilikatplatten Lehmansetzmörtel + Lehmputz Hydromentputz LP	610	0,99	0,43
2	Hydromentputz WD Hydromentputz LP	590	0,99	0,49
3	Kalkputz, porosiert Hydromentputz LP	595	1,09	0,07
4	Kalkputz Hydromentputz WD Hydromentputz WD Kalk-Zementputz	580	1,07	---
5	Gipskartonplatten Mineralwolle Hydromentputz SG	580	0,95	1,60
6	Kalk-Zementputz Wärmedämmputz Hydromentputz LP	585	0,97	0,12
7	Lehm Rietstrohexelplatte Lehmansetzmörtel Lehmputz Hydromentputz LP	605	0,96	1,14
8	Kalkputz Wärmedämmlehm Hydromentputz LP	595	0,95	0,39

Auswertung der Berechnungsergebnisse

Die 8 vorangestellten Konstruktionsvarianten erreichen U-Werte von rund $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$, wobei sich an den Bauteilinnenseiten behagliche Oberflächentemperaturen von ca. $16,5$ bis $17,0^\circ\text{C}$ einstellen. Die Konstruktionsdicke variiert zwischen $58,0 \text{ cm}$ und 61 cm . Unzulässig viel Kondensat fällt während der Tauperiode nur bei den Varianten 5 + 7 an.

Es wurde Wert auf die kapillare Leitfähigkeit der verwendeten Materialien gelegt.

Variante 5 ($1,6 \text{ kg/m}^2$ Kondensat): - Verkleidung aus Gipskartonplatten mit **nicht kapillaraktiver** Mineralwolldämmung auf der Innenseite des vorhandenen Gemäuers - zeigt die Wichtigkeit dieser Forderung.

Die zulässige Tauwassermasse [$m_{w,T}$] nach DIN 4108-3 beträgt $m_{w,T} = 0,5 \text{ kg/m}^2$ an Berührungsflächen kapillar nicht aufnahmefähiger Schichten (Holzbauteile), ansonsten sind $m_{w,T} = 1,0 \text{ kg/m}^2$ zulässig. Da in die Außenwand Holzstützen des Dachtragwerkes und Deckenbalken einbinden, ist die strengere Forderung für den Kontaktbereich maßgebend.

PVC-Platten auf der Innenseite; z.B. als Fliesenuntergrund, wurden nicht berechnet, da eine Trocknung der Wand nach innen dadurch stark behindert wird.

Damit innen liegende Holzbauteile wenigstens einseitig zum Innenraum luftumspült bleiben und nicht durch Dämmschichten abgedeckt werden – sind den Dämmstärken auch aus diesem Grund nach innen Grenzen gesetzt.

Geringere Wandstärken ermöglichen außerdem eine bessere Belichtung der Räume.

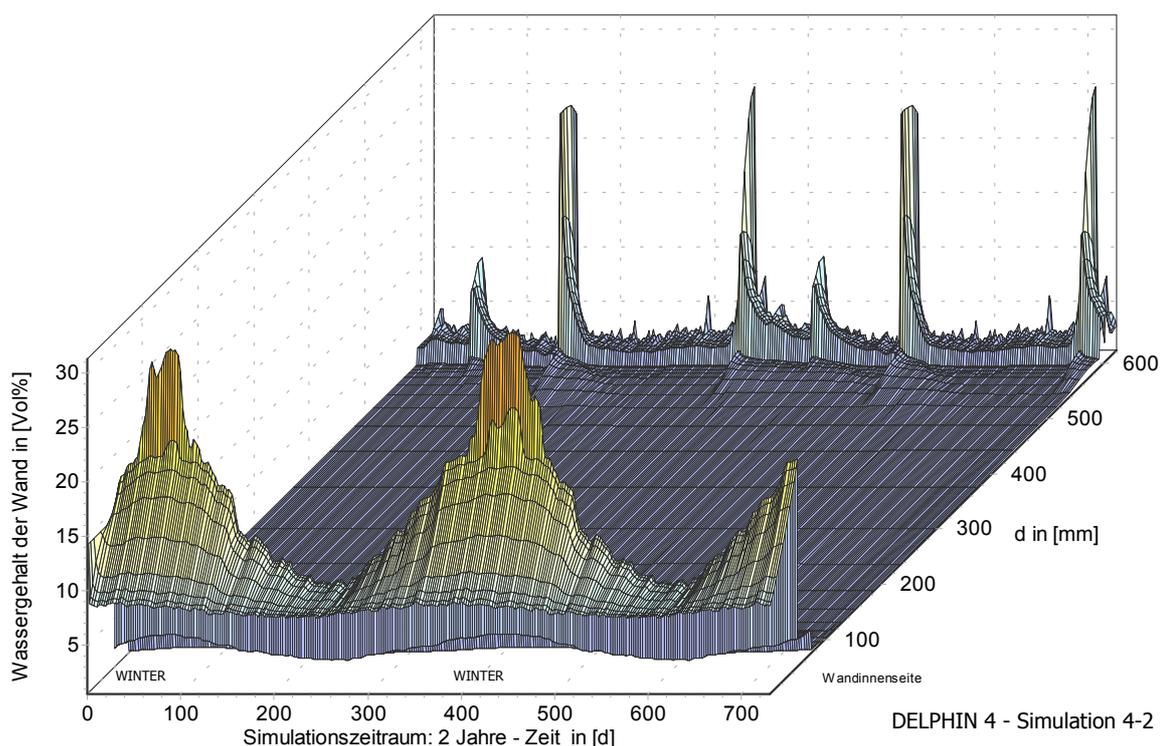
Varianten mit folgenden Eigenschaften werden positiv bewertet:

- preiswerter, einfacher - auf der Baustelle möglichst fehlerfrei ausführbarer Schichtenaufbau
- große Homogenität der Konstruktion, d.h. diese funktioniert auch mit Beschädigungen im Schichtenaufbau
- die Konstruktion besitzt genügend Reserven, um auch an kritischen Stellen (z.B. Holzbalken, Wärmebrücken) sicher zu funktionieren
- der Schichtenaufbau sollte feuchtigkeitsunempfindlich und möglichst havariebeständig sein (organische Beschichtungen sind anfälliger für Schimmel)

Die Varianten 5 + 7 erfüllen diese Forderungen nicht. Alle anderen Konstruktionsvarianten sind geeignet, um die Wände im Obergeschoss sicher zu sanieren.

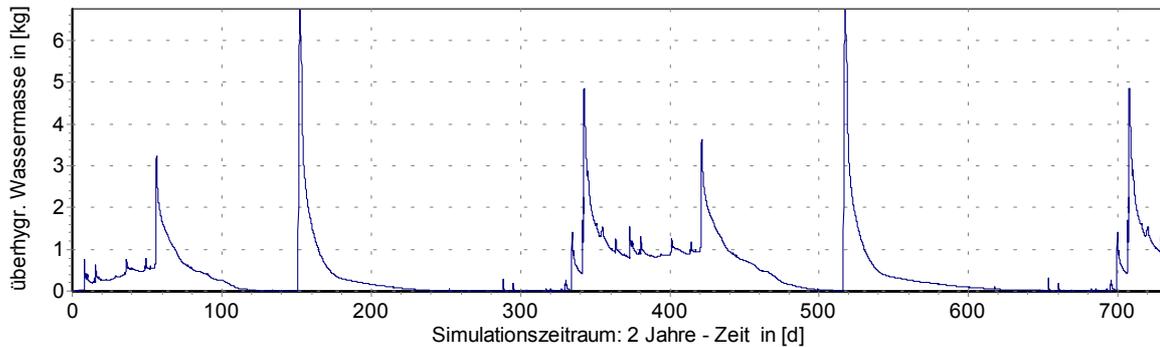
Auch wenn nicht alle oben genannten Kriterien auf Variante 1 zutreffen, soll im Folgenden dieser Konstruktionsaufbau genauer untersucht werden. Der Einsatz von Calciumsilikatplatten auf der Innenseite der Konstruktion stellt die konsequenteste Umsetzung der kapillaren Entfeuchtung bei gleichzeitig sehr guter Dämmwirkung des Materials dar. Wünschenswert wäre die Weiterentwicklung dieses Materials in der Form eines porosierten Putzes, der tief in ausgewaschene Mauerwerksfugen eingebracht werden kann und verhindert, dass eine – im historischen Original – gekrümmte Wand nach der Sanierung spiegelglatt ist.

Da die *COND 2002* Rechnungen nur eine Abschätzung der Konstruktion erlauben, wurden Temperatur- und Feuchteverhalten der Konstruktion aus **Variante 1** – jedoch mit 5cm Calciumsilikatinnendämmung - mit dem Simulationsprogramm *DELPHIN 4* über einen Zeitraum von 2 Jahren berechnet.

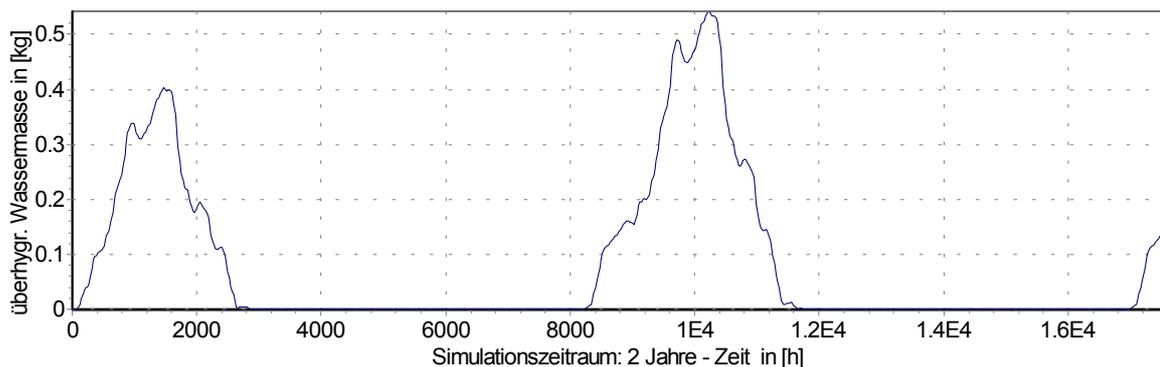


Die Grafik zeigt deutlich den Anstieg des Wassergehaltes in der Dämmebene in den Wintermonaten. Die kapillare Wasserleitung des Calciumsilikats lässt die Wand im Sommer trocknen. Die Feuchtebelastung durch Regen auf der Außenseite ist akzeptabel, könnte jedoch noch verringert werden.

Die überhygroskopische Wassermasse im nächsten Diagramm macht dies deutlich. Es zeigt die Wasseransammlung oberhalb der Gleichgewichtsfeuchte der Wandbaustoffe als Überlagerung von Kondensat und Regen.



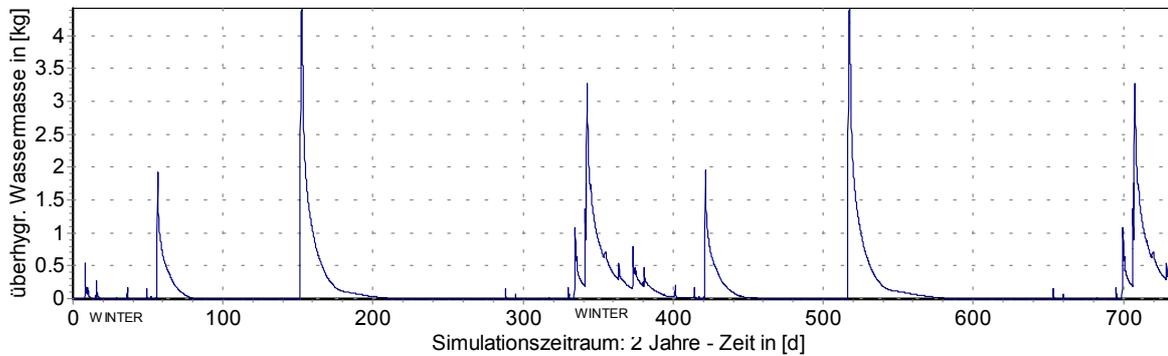
DELPHIN 4 - Simulation 4-3



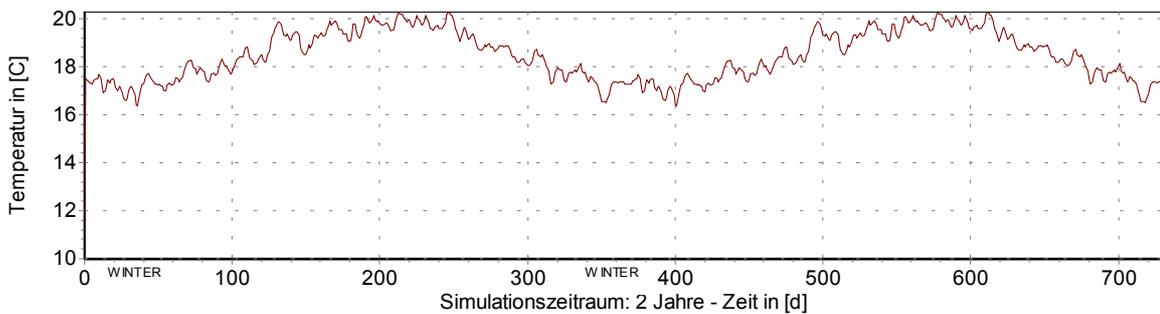
DELPHIN 4 - Simulation 4-4

Die DELPHIN 4 - Simulation 4-4 zeigt die Wassermasse im Dämmstoff. Da das Wasser in dieser Ebene hauptsächlich aus Kondensat herrührt, können diese Werte zum Vergleich mit den DIN –Vorgaben herangezogen werden. Im Winter wird die Vorgabe von 0,5 kg/m² für empfindliche Konstruktionen nur geringfügig überschritten. Da die in die Wand einbindenden Holzbauteile aber eine zweidimensionale Simulation erfordern, sind kritische Bereiche mit dieser Rechnung nicht erfasst. Hinzu kommen Wärmebrücken in der Wand, für die in diesem Fall zu wenige Reserven hinsichtlich der maximal zulässigen Feuchtigkeitsaufnahme vorhanden sind.

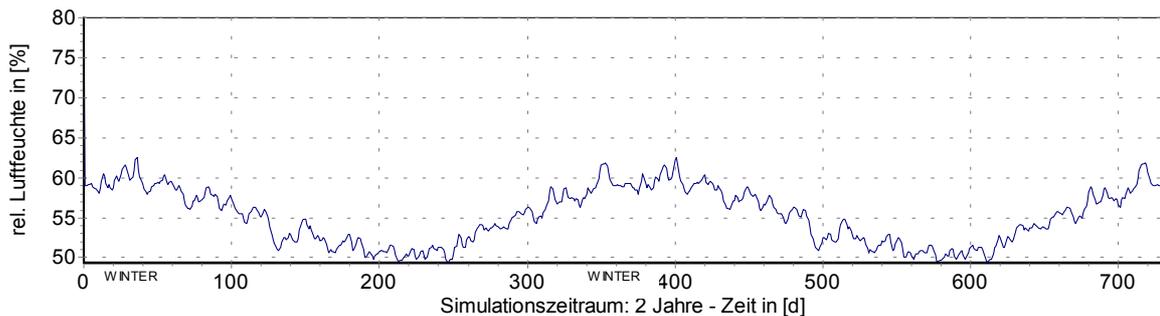
Die Verringerung der Dämmstärke auf 2cm – wie im Konstruktionsaufbau der Variante 1 angegeben – bringt eine hygrische Entlastung der Konstruktion. In der Dämmschicht wird keine überhygroskopische Feuchtigkeit mehr angesammelt:



DELPHIN 4 - Simulation 4-5, Variante 1: überhygroskopische Wassermasse im gesamten Wandquerschnitt



DELPHIN 4 - Simulation 4-6; Oberflächentemperatur auf der Innenseite der Wand



DELPHIN 4 - Simulation 4-7; relative Luftfeuchtigkeit an der inneren Bauteiloberfläche

Die relative Luftfeuchtigkeit an der inneren Bauteiloberfläche liegt zu keinem Zeitpunkt im kritischen Bereich von 80 bis 100%. Die Oberflächentemperatur erreicht Tiefstwerte von 16,5°C. Überhygroskopische Wasseransammlungen in der Wand gibt es nur kurzzeitig in geringen Mengen.

Die **Konstruktionsvariante 1** stellt eine sichere Sanierung der Wände im Obergeschoss für den ungestörten Wandbereich dar.

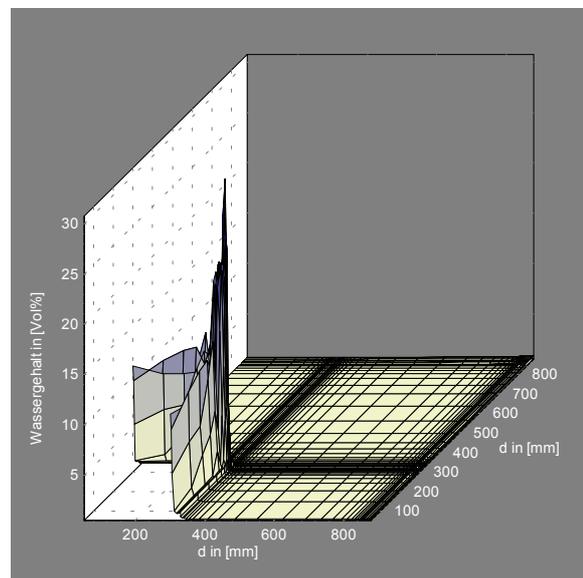
Für die Bemessung der Konstruktion und die Planung begleitender Maßnahmen müssen jedoch auch die kritischen Bereiche beleuchtet werden. Dazu gehören Wärmebrücken, Ansammlungen großer, temperaturträger Bauwerksmassen und thermisch angekoppelte Räume.

Wärmebrücken sind durch zweidimensionale Simulationen zu untersuchen. Da jedes kompliziertere Baudetail genügend Stoff für eine eigene Diplomarbeit liefert, kann im Rahmen dieser Arbeit nicht umfassend darauf eingegangen werden.

Wärmebrücken sind unter anderem:

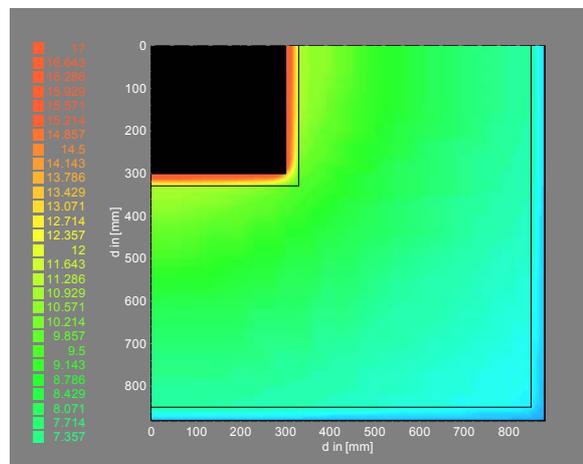
- Gebäudewinkel
- Fenster- und Türöffnungen
- in die Außenwand einbindende massive Innenwände
- Bauteilanschlüsse aus unterschiedlich Wärme leitenden Materialien

Die rechte Abbildung zeigt die Wasseransammlung im **Gebäudewinkel** einer gering gedämmten Granitaußenwand.



DELPHIN 4 - Simulation 4-8, Feuchtfeld im Januar
 Kondensat im Eckbereich; Innenklima: $\theta_i = 20^\circ\text{C}$,
 $\varphi_i = 60\%$, Außenklima: TRY Essen

Die Oberflächentemperatur im Eckbereich sinkt unter die Schimmeltemperatur – und je nach Innenraumklima – auch unter die Taupunkttemperatur. Kondensat dringt von der Innenoberfläche in die Konstruktion ein.

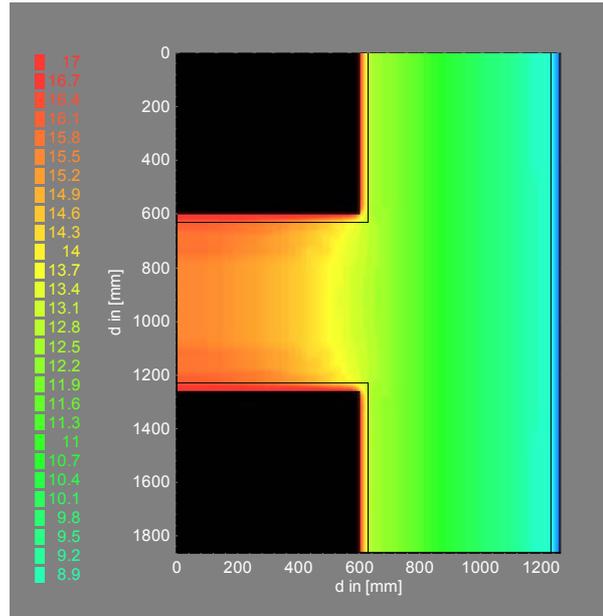


DELPHIN 4 - Simulation 4-9, Temperaturfeld im Januar

In die Außenwand

einbindende massive Innenwände

gehören ebenfalls zu den kritischen Bereichen an historischen Gebäuden. Besonders im Sockelbereich muss hier nach geeigneten Lösungen gesucht werden. Beispielsweise lassen sich großzügige Innenwandöffnungen direkt an der Außenwand planen und mit leichteren Materialien schließen. Eine Heizleitung vor oder in Problemzonen kann auch Schäden durch Kondensat verhindern.



DELPHIN 4 - Simulation 4-10, Temperaturfeld im Januar; Horizontalschnitt - in Außenwand einbindende Innenwand

Als **thermisch angekoppelter Raum** muss der Bereich zwischen Fußboden des Obergeschosses und Tonnengewölbe der Stalldecke angesehen werden. Der maximale Abstand dieser beiden Ebenen beträgt 1,0 m. In diesem Bereich stellt sich ein anderer Luftzustand ein, als in den angrenzenden Räumen;

$$\theta_{i\text{-Wohnraum}} > \theta_{\text{Zwischenraum}}$$

$$\varphi_{i\text{-Wohnraum}} < \varphi_{\text{Zwischenraum}}$$

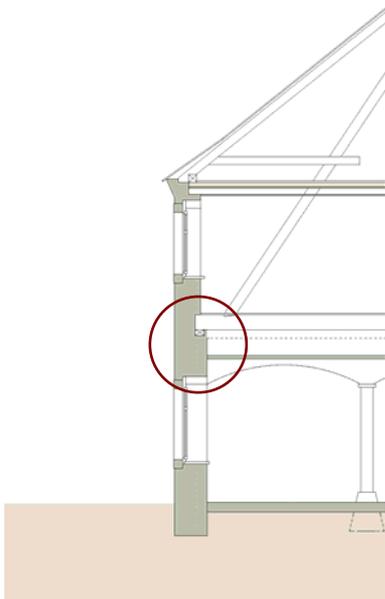
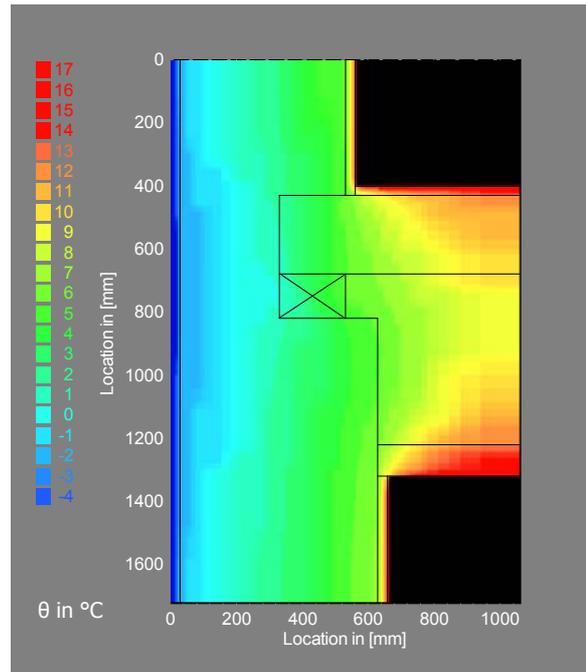


Abbildung 4—7, Bestand - Schnitt



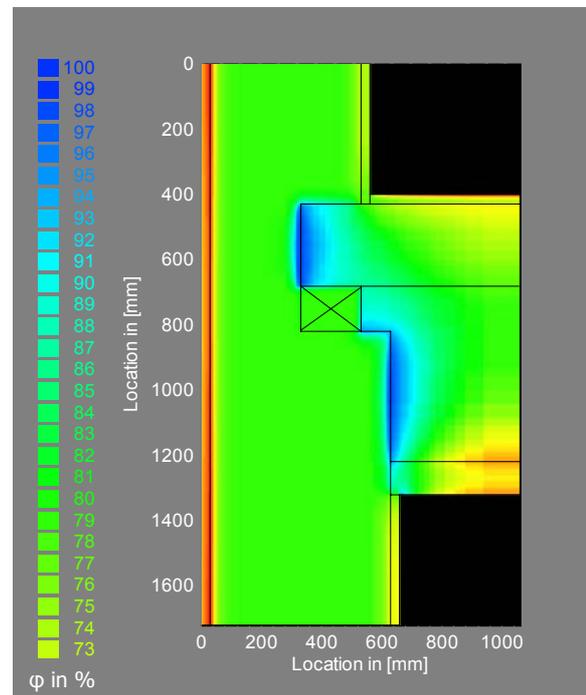
Abbildung 4—8, Modell: Stall/Scheune, Reppnitzer Rittergut in Scharfenberg

Die Abkühlung der Luft im Zwischenraum ist deutlich in der rechten Abbildung zu erkennen. Dies führt bei annähernd gleichem absoluten Feuchtegehalt von Raumlufte und der Luft im Zwischenraum zu einer Erhöhung der relativen Luftfeuchtigkeit – mit der Folge, dass an der Oberfläche der Holzbauteile eine relative Luftfeuchtigkeit von bis zu 100% vorhanden ist. Die Abkühlung der Luft im Zwischenraum führt ebenfalls zur Absenkung der Oberflächentemperatur im Eckbereich. (Wand/Gewölbe)



DELPHIN 4 - Simulation 4-11; Anschluss des Fußbodens im Obergeschoss und der Gewölbedecke im Erdgeschoss an die Außenwand; gedämmt nach Konstruktionsvariante 1, **Temperaturfeld** - Tag 10 unter Konstantklima nach DIN

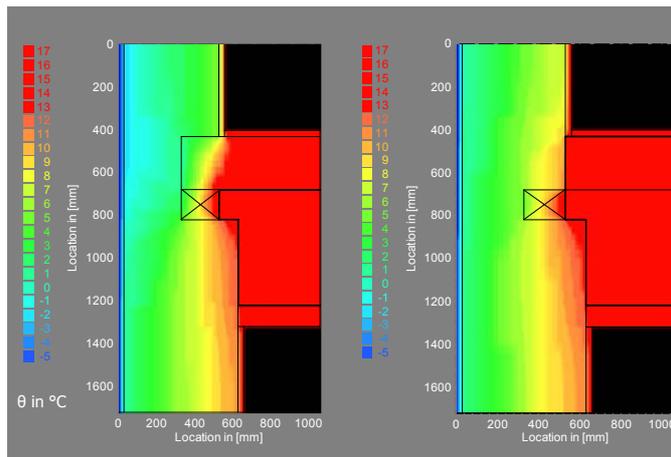
Ohne begleitende Maßnahmen sind Schäden an Holzbauteilen sowie Tauwasser- und Schimmelschäden im Eckbereich möglich. Auch wenn die vorhandene Luftzirkulation im Zwischenraum bei der Simulation nur eingeschränkt im modifizierten λ -Wert Berücksichtigung findet – und somit von einer verminderten Feuchtigkeitsbelastung durch Raumlufte Kondensat auszugehen ist, muss in dieser Rechnung eine Feuchtebelastung durch Schlagregen hinzugerechnet werden. Die Simulationen wurden mit Konstantklima nach DIN



DELPHIN 4 - Simulation 4-12, Relative Luftfeuchtigkeit

gerechnet. Die Abbildungen zeigen Tag 10 der Rechnung – ab diesem Zeitpunkt verändern sich das Temperaturfeld und die relative Luftfeuchtigkeit im Zwischenraum nur noch geringfügig.

Im Entwurf wird die Beheizung des Zwischenraumes vorgeschlagen. Dabei soll die Temperatur mittels Thermostat entsprechend der Raumluft der angrenzenden Räume einreguliert werden. In der Simulation wurde als Klima für den Zwischenraum $\theta_{\text{Zwischenraum}} = 20^{\circ}\text{C}$ und $\varphi_{\text{Zwischenraum}} = 40\%$ angenommen.



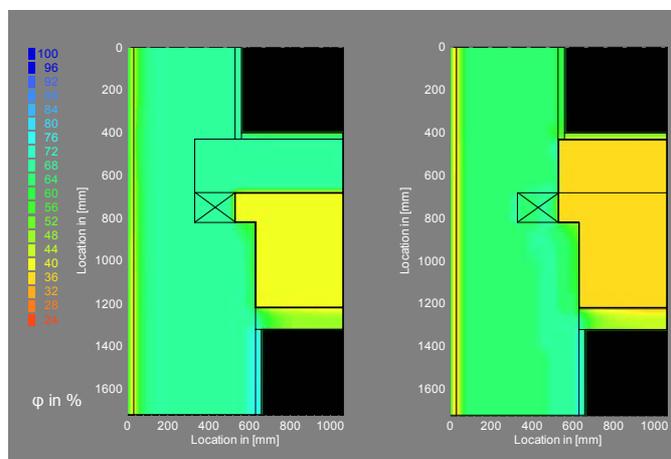
DELPHIN 4 - Simulation 4-13, a) im Bereich des Deckenbalkens
 DELPHIN 4 - Simulation 4-14 b) neben dem Deckenbalken
Temperaturfeld - Tag 10 unter Konstantklima nach DIN 4108-3 des beheizten Raumes zwischen Gewölbe und Holzbalkendecke

In den Abbildungen zum Feuchtefeld ist deutlich zu erkennen, dass die hohe Luftfeuchtigkeitskonzentration an Holzbauteilen und im Eckbereich stark abnimmt. Abweichend von Simulation 4-12 wurde in Simulation 4-14 im ehemaligen Rinderstall ein Innenputz eingesetzt, der sehr gute Eigenschaften in Bezug auf Salzbeständigkeit besitzt.

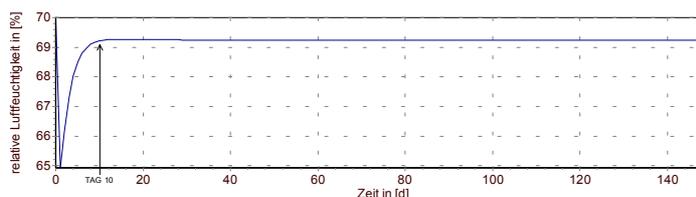
Der Wasserdampfdiffusionswiderstand des Innenputzes im Erdgeschoss entspricht dem eines Kalkputzes. Die kapillare Saugwirkung ist jedoch reduziert. (siehe auch Absatz: 4.11 NATURSTEINSOCKEL AM HISTORISCHEN GEBÄUDE)

Die fehlende kapillare Entspannung ist an der erhöhten Luftfeuchtigkeit hinter dem Putz im Erdgeschoss zu erkennen.

Der Deckenbalken sollte im Auflagerbereich zum Innenraum mit kapillaraktivem Material (z.B. Lehm) umhüllt sein.



DELPHIN 4 - Simulation 4-15
 DELPHIN 4 - Simulation 4-16
Relative Luftfeuchtigkeit - Tag 10 unter Konstantklima nach DIN



DELPHIN 4 - Simulation 4-17, relative Luftfeuchtigkeit im Eckbereich zwischen Gewölbe und Außenwand unter Konstantklima

4.8 INNENWÄNDE

Alle neu eingezogenen Innenwände werden aus gebrannten Vollziegeln der Steinrohddichte $\rho = 1.800 \text{ kg/m}^3$ in Stärken von 115 bis 175 mm – je nach statischem Erfordernis geplant. Das Material sichert ein geringes Schwindverhalten nach der Verarbeitung, guten sommerlichen Wärmeschutz (siehe Absatz 4.15) sowie guten Schall- und Brandschutz bei entsprechender Dimensionierung.

Wohnungstrennwände werden zweischalig, d.h. 2 x 175 mm mit 30 mm dazwischenliegender Schallschutztrennschicht aus mineralischen Faserdämmplatten nach DIN 18 165-2 ausgeführt.

Als Innenputz ist reiner Kalkputz ausreichend.

4.9 FUSSBODEN UND OBERSTE GESCHOSSDECKE

Im Gebäudeabschnitt I (ehemalige Scheune) werden zwischen Erd- und Obergeschoss Betondecken eingezogen, die auch auf den Innenwänden aufliegen. Die oberste Geschossdecke zum unbeheizten Dachraum wird im gesamten Gebäude als Holzdecke geplant. Über den Stallungen werden die Ziegelgewölbedecken mit Schallschutzmatten abgedeckt und die darüber liegenden Holzfußböden einschließlich Lehmfüllung (aus Schallschutzgründen) wieder instand gesetzt.

Oberste Geschossdecke

Schichtaufbau:

- Holzdielung 2,5 cm
- Luftschicht 3,0 cm
- Mineralwolldämmung 22,0 cm
- vorgetrocknetes Holz 2,5 cm, glatt aneinander gesetzt
- Farbanstrich: Pigment in Bierlasur (auch sehr helle Töne sind hier möglich⁹)

Holz als Innenverkleidung wurde aus verschiedenen Gründen gewählt. Die Konstruktion ist robust, langlebig, ästhetisch ansprechend und der sommerliche Wärmeschutz ist sehr gut - alternativ sind Gipskartonplatten auf Lattung möglich.

⁹ Ziesemann (1996), S. 48 [21]

Oberste Geschossdecke

Konstruktionsaufbau und Materialparameter

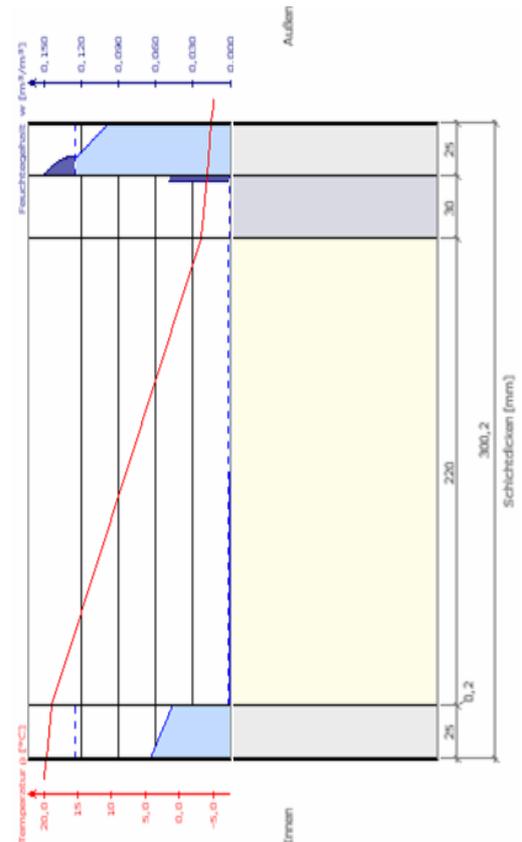
	Material	d [mm]	λ [W/mK]	μ [---]	w ₈₀ [m³/m³]	w _{sat} [m³/m³]	A _v [kg/m²s ^{0,5}]
1	Kiefernholz	25	0,1690	70,0	0,105	0,634	0,0380
2	PE-Folie >= 0.1 mm Dicke	0,2	0,0400	7500	0,000	0,000	0,0000
3	Mineralwolle	220	0,0410	1,5	0,001	0,947	0,0000
4	Luftschicht 25mm (horizontal)	30	0,1560	0,8	0,000	1,000	0,0000
5	Kiefernholz	25	0,1690	70,0	0,105	0,634	0,0380

Temperaturen, Dampfdrücke und Feuchtegehalte

Schicht/Material	θ [°C]	P _{sat} [Pa]	P [Pa]	w [m³/m³]	d _c [mm]	M _c [kg/m²]
Luftschicht (links)	20,0	2338	1169			
	19,5	2262	1169			
1 Kiefernholz				0,064		
	18,9	2177	812	0,046		
2 PE-Folie >= 0.1 mm Dicke				0,000		
	18,8	2175	505	0,000		
3 Mineralwolle				0,000		
	-3,3	463	438	0,001		
4 Luftschicht 25mm (horizontal)				0,000		
	-4,1	433	433	0,049	0,0	0,00
5 Kiefernholz				0,150	8,7	0,15
	-4,7	413	321	0,097		
Luftschicht (rechts)	-5,0	402	321			

Zusammenfassung der Berechnungsergebnisse

Wärmedurchgangskoeffizient der Konstruktion (feuchteabhängig) =	0,165	W/(m²K)
Wärmedurchgangskoeffizient der Konstruktion (trocken) U =	0,165	W/(m²K)
Kondensatmasse am Ende der Kondensationsperiode (nach COND) =	0,145	kg/m²
Hygroskopische Einstellzeit	t _{hyg} =	16,50 d
Überhygroskopische Einstellzeit	t _c =	2,32 a
Trocknungszeit	t _{...} =	13,04 d



COND 2002 - Rechnung 4-11

Als innere Luftdichtung bzw. Dampfbremse wurde eine PE-Folie der Stärke $d = 0,2$ mm mit einem Wasserdampfdiffusionswiderstand $\mu = 7.500$ ausgewählt. Aus diesen Parametern ergibt sich eine wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_d :

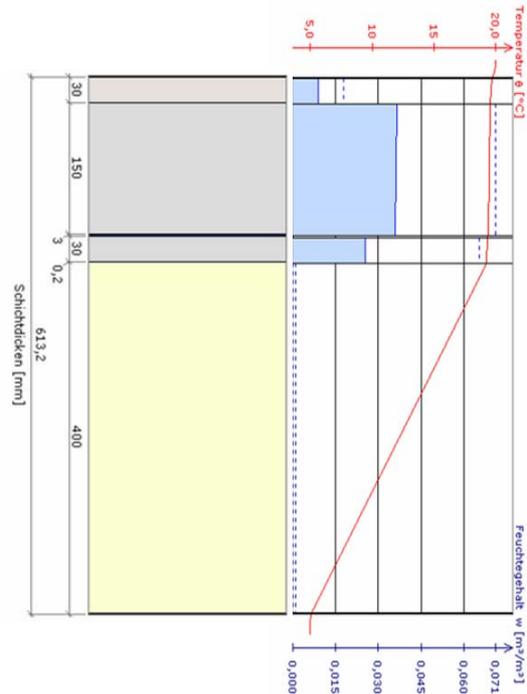
$$s_d = \mu * d = 0,0002 \text{ m} * 7.500 = 1,5 \text{ m} \quad (4.9-1)$$

Bei diesem Dampfwiderstand fällt in der Tauperiode nur eine geringe Menge Kondensat an. Der s_d –Wert sollte nicht unnötig vergrößert werden, um das Abtrocknen von Tauwasser, der Holzeinbaufeuchte, hygroskopisch gespeicherter Feuchte und Wasser aus eventuellen Regenschäden in beide Richtungen der Deckenkonstruktion zu gewährleisten.



Fußbodenaufbau im Erdgeschoß:

Handformplatten / Natursteinplatten
 Betonbodenplatte; 15 cm bewehrt:
 Abdichtung auf Sauberkeitsschicht 3 cm
 PE-Folie auf Glasschaumgranulat 40 cm
 Geotextil auf Lehmboden, Flächendrainage



Temperaturen, Dampfdrücke und Feuchtegehalte

Schicht/Material	θ [°C]	P_{sat} [Pa]	P [Pa]	w [m³/m³]	d_v [mm]	M_v [kg/m²]
Luftschicht (links)	20,0	2338	1169			
1 Handformziegel	19,7	2288	1169			
2 Beton	19,6	2275	1169			
3 Bitumendachbahnen	19,3	2246	1130			
4 Beton Sauberkeitsschicht	19,3	2243	872			
5 PVC-Folie >= 0.1 mm Dicke	19,3	2235	868			
6 Schaumglas	19,3	2232	865			
Luftschicht (rechts)	5,0	873	865			
	5,0	873	865			

Zusammenfassung der Berechnungsergebnisse

Wärmedurchgangskoeffizient der Konstruktion (feuchteabhängig) = 0,178 W/(m²K)
 Wärmedurchgangskoeffizient der Konstruktion (trocken) U = 0,178 W/(m²K)
 Es entsteht kein Kondensat!

Abbildung 4—9

Konstruktionsaufbau und Materialparameter

Material	d [mm]	λ [W/mK]	μ [---]	w_{g0} [m³/m³]	w_{sat} [m³/m³]	A_w [kg/m²s ^{0.5}]
1 Handformziegel	30	0,8420	9,0	0,015	0,340	0,2450
2 Beton	150	1,9170	118,5	0,060	0,107	0,0070
3 Bitumendachbahnen	3	0,4100	4E4	0,000	0,000	0,0000
4 Beton Sauberkeitsschicht	30	1,3200	61,5	0,055	0,193	0,0380
5 PVC-Folie >= 0.1 mm Dicke	0,2	0,0350	5500	0,000	0,000	0,0000
6 Schaumglas	400	0,0750	1,0	0,000	0,001	0,0000

COND 2002 - Rechnung 4-12

Handformplatten oder Natursteinbeläge in ebenerdigen Wohnbereichen mit Zugang zum Garten eignen sich hier besonders aufgrund ihrer Langlebigkeit und Nutzerfreundlichkeit. Der Architekt sollte den Bauherrn darüber informieren, dass trotz eines sehr guten Wärmeschutzes bei diesem Fußbodenaufbau die Wärmeableitung eines gering bekleideten Fußes recht groß ist. Parkettfußböden oder Fußbodenheizung wären Alternativen.

Bei dem gewählten Fußbodenaufbau ist keine Fußbodenheizung vorgesehen, um nicht kurzlebige mit langlebigen Bauteilen zu kombinieren. Der Aufbau des Erdgeschossfußbodens hat besondere Vorzüge:

- der Fußboden besitzt keine wasserempfindlichen Materialien, d.h. er ist havariebeständig und dadurch sehr langlebig
- > bei Wasserschäden ist kein teurer Fußbodenaustausch notwendig
- > aufwendige Trocknungsverfahren entfallen
- die Konstruktion ist einfach – und birgt daher weniger Ausführungsfehler
- Glasschaumgranulat unterhalb der Bodenplatte ist druckfest, wirkt dämmend und gleichzeitig kapillar brechend – in Verbindung mit einer Flächendrainage wirkt sich das positiv auf das Temperatur- und Feuchteverhalten flankierender Bauteile aus (z.B. Fundamente der Stallsäulen und Grundmauern)
- die speicherwirksame Bauwerksmasse ist dem Raum zugewandt – und sorgt dadurch auch in den Sommermonaten für ein behagliches Raumklima

Der Hersteller des Glasschaumgranulates schlägt vor, die Fußbodenabdichtung gegen aufsteigendes Wasser wegzulassen. Diese Dichtung erfüllt nicht nur den Zweck des Feuchtigkeitsschutzes sondern auch der Luftdichtung – sie ist deshalb unbedingt erforderlich. (oder die Bodenplatte muss im Randbereich entsprechend elastisch gedichtet werden)

Gesteine und Böden enthalten natürlicherweise Uran und Radium. Durch radioaktiven Zerfall entsteht aus Uran unter anderem Radium und daraus wiederum Radon. Radon ist ein radioaktives Edelgas, das aufgrund seiner Mobilität durch Spalten, Risse und durchlässigen Untergrund ins Freie oder über Undichtigkeiten in Bodenplatten und im Fundamentbereich in Häuser gelangt. [22]

In Deutschland werden ca. 10% der Lungenkrebserkrankungen der Bevölkerung auf die Strahlenexposition durch Radon und seine Zerfallsprodukte in Gebäuden zurückgeführt. Die Radonkonzentration beträgt in Wohnungen in Deutschland durchschnittlich 50 Bq/m^3 - in Einzelfällen wurden $100\ 000 \text{ Bq/m}^3$ festgestellt.

Im Freien liegt die Radonkonzentration ein bis zwei Meter über dem Boden bei ca. 10 bis 30 Bq/m^3 . Auf Schadstoffkonzentrationen in Gebäuden muss nicht nur konstruktiv – sondern auch mit entsprechender Lüftung reagiert werden. (siehe Absatz: 4.13 LÜFTUNG)

4.10 ENTWURFSDETAILS IM FASSADENSCHNITT

Biberschwanzziegel auf Lattung ohne
Unterspannbahn

Wohnbereich - oberste Geschossdecke:
Dielung, 3 cm Luftschicht,
Mineralwolldämmung 22 cm auf
Luftdichtung/Dampfbremse
Holzverschalung 2,5 cm - alternativ:
Gipskartonplatten auf Holzlattung

Gesims: Reparatur mit gleichem Material
wie vorhanden,
Außenwand: Reparatur: Granitbruchstein
in Lehm vermauert, Lehmverputz (innen)
Calciumsilikatplatten + Lehmansetzmörtel
Gipskartonplatte - alternativ:
Kalkmörtel, porosiert + kapillaraktiv
Außenputz: Kalk-Zementputz, porosiert;
im Erdgeschoss: Hydromentputz bis 60 cm
über Salzsadenschizont (auch innen)

Decke zwischen OG und EG:
Dielung 3 cm auf quer liegenden
Deckenbalken
dazwischen: Strohlehmfüllung auf
Einschubbrettern
Oberseite des Tonnengewölbes sowie
Randdeckenbalken zur Außenwand mit
Schalldämmmatten belegt/ hinterfüllt

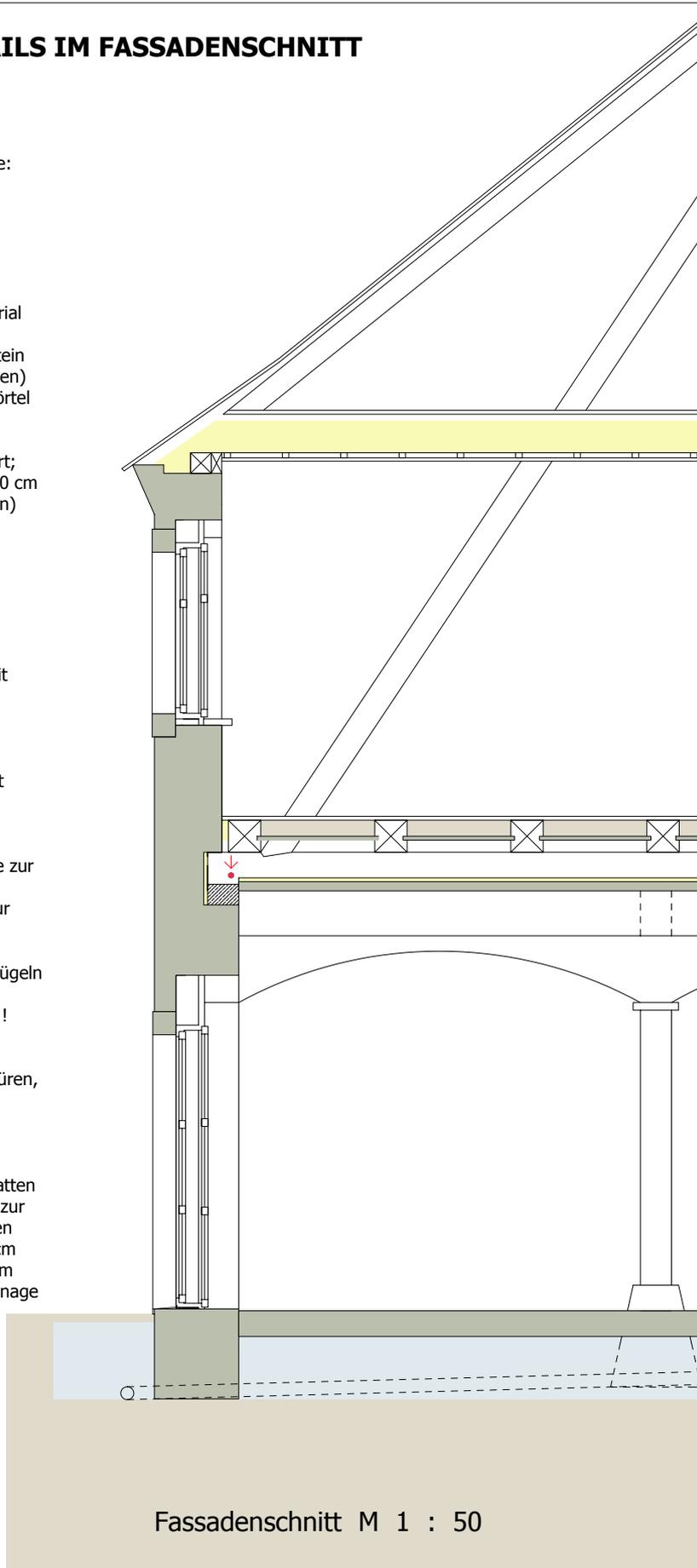
Ausbau des Schwellholzes unter den
Spannbalken der Binder
Einbau eines Stahlbetonringankers mit
außenseitiger Dämmung

Verlegung einer Heizleitung zwischen
Tonnengewölbe und oberer Holzdecke zur
Anhebung der Temperatur in diesem
Zwischenraum auf Raumlufttemperatur

Fenster, Fenstertüren, Türen:
Holz- Kastenfenster mit je zwei Drehflügeln
und oberem Kippflügel, Einscheiben-
verglasung; U-Wert - höher als Wand !
Fenstertüren: Kastenfenster, zwei
Drehflügel
Eingangstüren: Holz oder Holz - Glastüren,
mit 8 cm Rahmenholzstärke, ohne
Dichtungsgummi

Fußbodenaufbau im Erdgeschoss:
Belag: Handformplatten, Natursteinplatten
auf Betonbodenplatte 15 cm bewehrt zur
Aufnahme von Wand und Deckenlasten
Abdichtung auf Sauberkeitsschicht 3 cm
PE-Folie auf Glasschaumgranulat 40 cm
Geotextil auf Lehmboden, Flächendrainage

Fundament: PIII-Glattputz, beidseitig
(Bitumenbeschichtung beidseitig)
Drainage
Perimeterdämmung -
Glasschaumgranulat in Geotextil 60 x
60 cm als Frostriegel (geringe
Fundamenttiefe) Überdeckung mit
Lehm/Mutterboden 10 cm, leichter
Bewuchs zur Ableitung des
Spritz-/Oberflächenwassers



Fassadenschnitt M 1 : 50

4.11 NATURSTEINSOCKEL AM HISTORISCHEN GEBÄUDE

4.11.1 PROBLEMBEREICHE UND SCHADENSURSACHEN

Am Natursteinsockel historischer Gebäude treffen viele Wirkmechanismen zusammen. Häufigste Folge missglückter Sanierungen sind Bauwerksschäden durch Feuchtigkeitseinwirkung. Viele Schäden an diesen Gebäuden entstehen durch ungeeignete Sanierungskonzepte. Nicht selten werden Gebäude, die viele Jahrhunderte überdauert haben, in kurzer Zeit kaputtsaniert.



Abbildung 4—10, Reppnitzer Rittergut, durchfeuchteter Bauwerkssockel nach der Sanierung

Während die Hauptschadensursachen am Bestand (Absatz 2.4 Hauptschadenspunkte historischer Gebäude) überwiegend in Materialermüdung und mangelnder Instandsetzung zu sehen sind, entstehen Schäden nach Sanierungen aus anderen Gründen. Unter der Zielsetzung, möglichst wenig Heiz- und Lüftungsenergie zu verbrauchen, wird die alte Bausubstanz ergänzt mit inneren Wärmedämmungen, zu dichten Fenstern, zu stark diffusionsbehindernden Putzen und Außenanstrichen, neuen Heizanlagen und dergleichen, ohne auf die bisherigen bauklimatischen Wirkmechanismen Rücksicht zu nehmen. Eine der häufigsten Folgen ist, dass Schäden aufgrund eines zu hohen Feuchtigkeitsgehaltes im Mauerwerk auftreten.



Abbildung 4—11, Reppnitzer Rittergut, in Scharfenberg, Natursteinsockel

Feuchtigkeit im Mauerwerk kann viele Ursachen haben: Bewitterung der Bauteiloberflächen (Schlagregen, Spritzwasser, Oberflächenwasser), baukonstruktive Mängel (undichte Dächer, fehlende Dachrinnen), defekte Installations- und Grundleitungen, Kondenswasserbildung an den Oberflächen und im Bauteil sowie Kapillarkondensation durch Sorption und Hygroskopizität. Ein wesentlicher Feuchtelieferant ist das Erdreich (Bodenfeuchte, Grundwasser, Hangwasser, Sickerwasser), wenn keine entsprechende Oberflächenmodellation vorgenommen wurde und wenn Drainagen, Abdichtungen oder Horizontalsperren fehlen, nicht eingebaut werden können oder schadhaft sind. Das Wasser wird über Fundamente und Sockel in die aufgehenden Bauteile transportiert, wo es unter Zurücklassung mitgeführter Salze verdunstet. [23]

Feuchte und Salze führen zu veränderten bauphysikalischen Verhältnissen, etwa zu größerem Wärmeverlust und erhöhter Raumlufffeuchtigkeit.

Außerdem sind sie die Ursachen von Materialabsprengungen, Gefügelockerung, Ausblühungen, Verfärbungen und Befall mit Organismen.



Abbildung 4—12, defekte Dachrinne

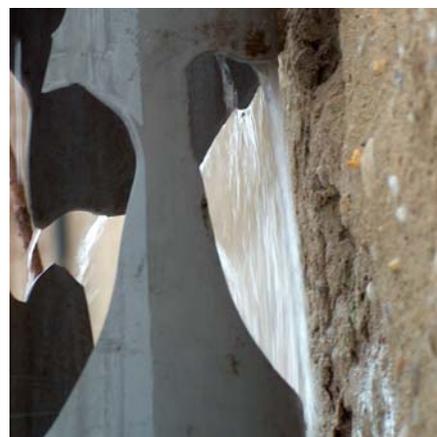


Abbildung 4—13, beschädigte Abwasserleitung

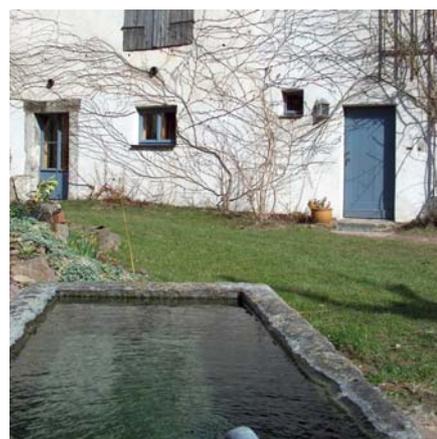
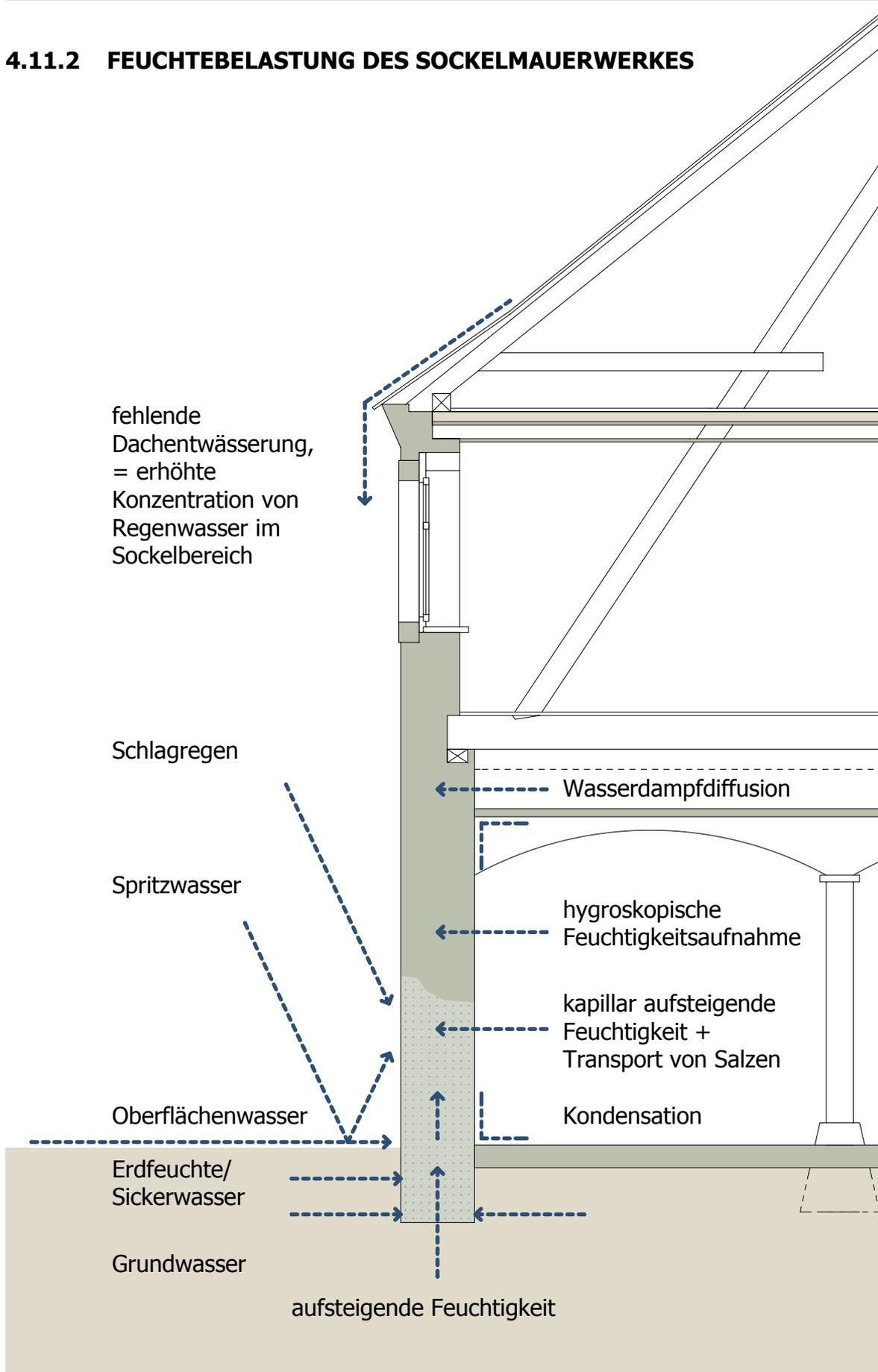


Abbildung 4—14, Historische Wasserläufe sind oft verschüttet und durchfeuchten den Boden + Bauwerkssockel. Das Bild zeigt die Viehtränke des Reppnitzer Rittergutes, in die seit mehr als 500 Jahren Wasser aus einer Holzleitung läuft. (im Hintergrund: der ehemalige Stall)

4.11.2 FEUCHTEBELASTUNG DES SOCKELMAUERWERKES



Zeichnung 4-7

4.11.2.1 FEUCHTEVERTEILUNG IN EINER WAND UND DEREN URSACHEN

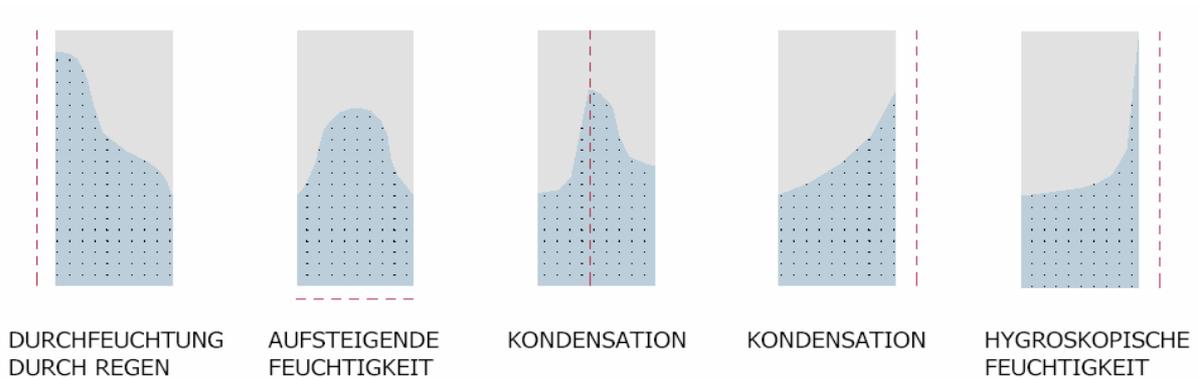


Abbildung 4–15, Feuchteverteilung in einer Wand

4.11.2.2 WASSERAUFNAHME DURCH REGEN

Regen-, Spritz- und Oberflächenwasser können erhebliche Mengen Wasser in die Außenhülle des Bauwerkes eintragen.

Bei stark aufnahmefähigen Fassaden - wie z.B. bei Fachwerkbauten, die mit Lehmwickel auf Holzstaken ausgefacht sind, verputzt mit Kalkmörtel - ist deshalb ein besonderer Schutz notwendig. Neben einem ausreichenden Dachüberstand ist auch eine vorgehängte, hinterlüftete Fassade möglich. (-> Wo das ortstypisch ist ! -> häufig an der Wetterseite)

Außenputz und -anstrich sollen Regen abweisend und unbedingt offen für Wasserdampfdiffusion sein. Auch auf der Innenseite der Wand dürfen keine die Austrocknung behindernden Schichten (z.B. Innendämmung mit Dampfsperre) aufgebracht sein. Spritzwasser lässt sich durch Bewuchs dämpfen. Dieser sollte aber kein zusätzliches Wasser benötigen, um nicht unnötig den Sockelbereich zu belasten.



Abbildung 4–16, Fassadenschutz durch Bewuchs

Spritzwasserversuch auf hartem Bodenbelag und weichem Bewuchs

Im folgenden Versuch wurden drei Liter Wasser aus 2,0 m Höhe vor der Hauswand auf den Boden gegossen.



Abbildung 4—17, Natursteinbelag vor der Hauswand; starke Durchfeuchtung - bis 0,5 m Sockelhöhe



Abbildung 4—18, Grasnarbe bis zur Hauswand - kaum Befeuchtung der Wand

Bewuchs bricht Wassertropfen vor dem Auftreffen auf dem Boden, wie in Abb. 4-19 in vereister Form zu sehen ist.

Oberflächenwasser kann durch leichte Neigung des Geländes vom Haus abgehalten werden.

Dachentwässerungen, Wassereinläufe in Höfen, an Straßen, bei starken Geländebewegungen und dergleichen tragen ebenfalls zur Minderung der Feuchtebelastung bei.



Abbildung 4—19, Einfache Grasnarbe kann die Spritzwasserbelastung des Sockels erheblich reduzieren – hier zu sehen: die Wasser brechende Wirkung eines verzweigten Gesträuches.

4.11.2.3 AUFSTEIGENDE FEUCHTIGKEIT

Baustoffe nehmen Wasser in flüssiger Form kapillar auf, indem sie direkt mit der Feuchtigkeit in Berührung kommen – im Sockelbereich auch durch nicht abgedichtete erdberührende Bauteile.

Die Art der Kapillarporen (Abbildung 4–20) - deren Durchmesser und Richtung sowie Durchgängigkeit oder Geschlossenheit - entscheidet unter anderem über den Grad der Durchfeuchtung. Sauggeschwindigkeit (4.11.2.3-1) und Steighöhe (4.11.2.3.-2) im Bauteil werden vom Kapillardurchmesser bestimmt.



Abbildung 4–20, Schematische Darstellung verschiedener Porentypen eines kapillarporösen Körpers

Die Steighöhe hängt aber auch von der Stärke und Art der Beschichtung des Bauteiles ab. Sehr hohe Steighöhen entstehen nur, wenn die Verdunstung stark behindert wird.

Für die Sauggeschwindigkeit V gilt vereinfacht, dass diese direkt abhängig ist vom Kapillarradius. [35]

$$V = K \cdot r \quad (4.11.2.3-1)$$

mit Material bedingter Konstante der Feuchtigkeit K
Kapillarradius r

Oberflächenspannung δ

Rand-/ Benetzungswinkel $\cos \theta$

Flüssigkeitsdichte ρ

Erdbeschleunigung g

Für die theoretisch maximale **Steighöhe** H in Kapillaren gilt folgendes Gesetz:

$$K = \frac{2 \delta \cdot \cos \Theta}{\rho \cdot g} \quad H = \frac{2 \delta \cdot \cos \Theta}{\rho \cdot g \cdot r} \quad H = \frac{K}{r} \quad (4.11.2.3-2)$$

Näherungsweise gilt für Baustoffe ohne höhere Salzkonzentrationen die maximale Steighöhe H_{max} des Wassers:

$$H_{max} = 1,5 \text{ mm} / r \text{ [in mm]} \quad (4.11.2.3-3)$$

Nach diesem Gesetz ist die theoretisch maximal mögliche Steighöhe dem Kapillarradius umgekehrt proportional, d.h., in feinkapillaren Baustoffen werden sich größere Werte für das Eindringvermögen des Wassers einstellen.

Die Granitsteine des Sockelmauerwerkes gehören zu den feinkapillaren Baustoffen.

Demgegenüber ist die Sauggeschwindigkeit in grobkapillaren Baustoffen wesentlich größer als in feinkapillaren Baustoffen. In der Praxis wird sich für jeden Baustoff bzw. für jedes Mauerwerk ein Gleichgewichtszustand in Bezug auf die Durchfeuchtungshöhe einstellen.

Dieser Gleichgewichtszustand wird von der kapillaren Leistungsfähigkeit und von der Verdunstungsrate bestimmt.

Wird die Geschwindigkeit des kapillaren Wassertransportes kleiner (4.11.2.3-1), so wird auch die Steighöhe abnehmen. Dies hängt damit zusammen, dass letztlich der theoretisch mögliche Wert für die maximale Steighöhe (4.11.2.3-2), nicht mehr erreicht wird, weil die Verdunstung leistungsfähiger wird als die kapillare Leitfähigkeit.

Bei normal saugfähigen Baustoffen wird das Wasser mehr oder weniger schnell aufgesaugt und der Benetzungswinkel Θ (Abbildung 4-21), der sich zwischen Flüssigkeitsspiegel und Kapillarwand einstellt, geht gegen Null. ($\cos = 0^\circ = 1$)

Benetzungswinkel des Wassers an Baustoffoberflächen

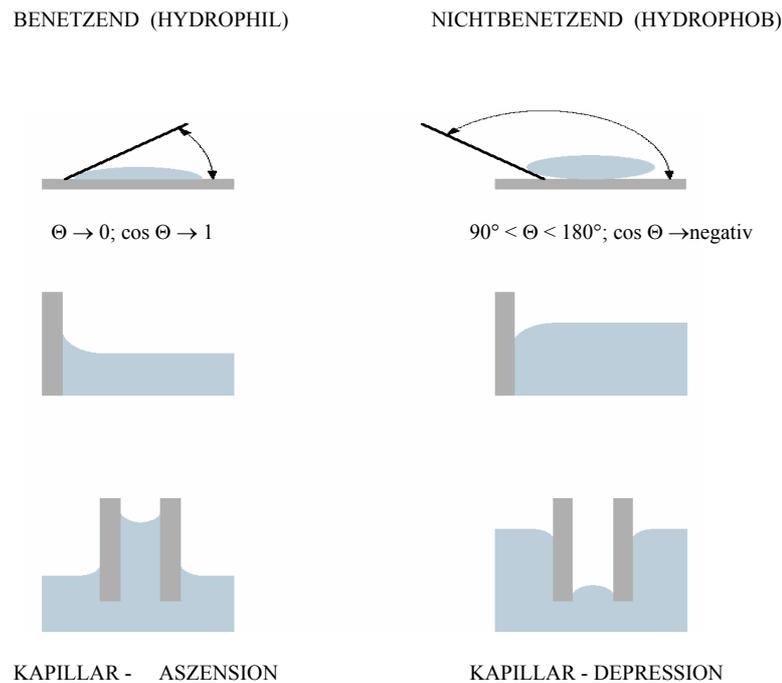


Abbildung 4—21, Benetzungswinkel des Wassers an Baustoffoberflächen

Der Benetzungswinkel braucht dann in den Gleichungen nicht aufgeführt werden. Es gibt jedoch die Möglichkeit, durch eine Oberflächenbehandlung der Kapillarwände den Benetzungswinkel zu verändern und ihn konstant auf einen Wert zwischen 90° und 180° zu halten. Man bezeichnet diesen Vorgang allgemein in der Bauphysik als Hydrophobierung.

Viele Sanierputze werden hydrophobiert, um Flüssigwassertransport und damit auch Salztransport aus dem Wandinneren an die Bauteiloberfläche zu verhindern. Ein großes Porenvolumen im Putzgefüge soll dem Salz Raum zum Auskristallisieren geben, ohne dass der Putz durch die damit verbundene Volumenvergrößerung zerstört wird.

Die chemische Putzhydrophobierung scheint nicht zu den langlebigsten Varianten der Salzbehandlung zu gehören. (Abb. 4-22)



Abbildung 4–22, Reppnitzer Rittergut, Scharfenberg, Sanierputz im Sockelbereich nach fünfjähriger Standzeit

Die Chemieindustrie bietet gegen kapillar aufsteigende Feuchtigkeit die Hydrophobierung über den gesamten Mauerwerksquerschnitt hinweg als Lösung zur „Trockenlegung“ historischer Gemäuer an. Diese Möglichkeit muss stark hinterfragt werden, denn zum einen sind historische Wandaufbauten selten so homogen, dass sich eine chemische Injektage gleichmäßig verteilen kann und zum anderen steht auch hier die Langlebigkeit in Frage.

Neben der oben beschriebenen Hydrophobierung gibt es viele andere Möglichkeiten die kapillare Wasseraufnahme zu unterbrechen. Dazu gehören das Einrammen von Edelstahlblechen in eine Horizontalfuge (an diesen Gebäuden nicht möglich), das Aufsägen des Mauerwerkes (hier auch unmöglich), der abschnittsweise Mauerwerksaustausch mit Einbau einer Dichtung und Elektrokinetische Verfahren. Die genannten Verfahren weisen alle jeweils Vor- und Nachteile auf. Bei einem historischen Gebäude ist deshalb sehr genau zu prüfen, ob überhaupt eines dieser Verfahren angewandt wird und welches möglich ist.

Oftmals gibt ein stark durchfeuchteter Sockelbereich einer Außenwand Anlass dafür, eine nachträgliche horizontale Abdichtung einzubauen. Da aber gerade in diesem Bereich viele verschiedene Schadensursachen eine Rolle spielen, ist zu prüfen, ob nicht andere Faktoren einen stärkeren Einfluss auf die Feuchtigkeitsbelastung des Sockels haben und ob deren Korrektur unter Umständen nicht einfacher, wirksamer und kostengünstiger ist.

4.11.2.4 KONDENSATION VON WASSERDAMPF

„Ein Gebäude ist überall dort durch Kondensation gefährdet, wo zu feuchte Luft auf zu kalte Oberflächen trifft, am Altbau also, wo zu dünne Konstruktionen – Fachwerkausmauerungen oder stark Wärme leitende Natursteinwände – eine niedrige Temperatur der Außenmauerinnenseite bewirken (Winterkondensation) oder zu große Wandmassen – Kirchen, Burgmauern, Kellermauern, - tiefe Temperaturen noch weit in wärmere Witterungsperioden hineinspeichern (Sommerkondensation). [...] Dies erklärt auch, weshalb Kondensation noch durch alle weiteren Ursachen begünstigt wird, welche die Temperatur einer Außenwand herabsetzen können, wie Nordseite, Hauptwindrichtung, Durchfeuchtung oder Temperaturdivergenz in Außenecken, in denen dem Anteil der Wärme aufnehmenden Innenfläche eine wesentlich größere, Wärme abgebende Außenfläche entspricht¹⁰

Entscheidend für die Kondensation von Wasserdampf im oder am Bauteil ist die Temperatur der betroffenen Ebene und die relative Feuchtigkeit der Luft, die mit dieser Ebene in Berührung kommt. (siehe auch Absatz: 2.3.2 Kondensation und Schimmelpilzbildung)

Absolute und relative Luftfeuchtigkeit

Während die absolute Wassermasse von 4,4 g/m³ Luft (absolute Luftfeuchtigkeit) bei einer Sommertemperatur von 27°C nur eine relative Luftfeuchtigkeit von 20% ergibt, würde bei Abkühlung dieser Luft auf 2°C eine relative Luftfeuchtigkeit von 100% entstehen. (= Wassersättigung der Luft)

Kapillarkondensation

Die Kapillarkondensation ist eine Art Spezialfall der Kondensation. In feinsten Kapillaren kommt es bereits vor Erreichen des Sättigungsdampfdruckes zur Wasserscheidung. Welche Menge Wasser ein Baustoff dabei aufnimmt, hängt davon ab, wie viele Poren er mit entsprechendem Radius besitzt. [29]

¹⁰ Arendt (2001), S. 111 [25]

4.11.2.5 HYGROSKOPISCHE FEUCHTIGKEITSAUFNAHME DURCH SALZE

Salze besitzen nach Art und Löslichkeit die Fähigkeit Feuchtigkeit zu binden. Sie können aus einem gasförmigen Medium (der Umgebungsluft) Wasser aufnehmen. Diesen Vorgang nennt man hygroskopische Feuchtigkeitsaufnahme. Jeder Baustoff steht in einem Gleichgewicht mit der herrschenden relativen Luftfeuchtigkeit. Dieser Gleichgewichtszustand wird als Gleichgewichtsfeuchte bezeichnet. Enthält ein Mauerwerk oder Baustoff relativ große Mengen an Salzen, die hygroskopische Eigenschaften besitzen, wird die Gleichgewichtsfeuchtigkeit des Baustoffes wesentlich erhöht. Der Baustoff nimmt dabei umso mehr Feuchtigkeit auf, je höher die Luftfeuchtigkeit ist und je höher der Versalzungsgrad des Baustoffes ist. [29]

So sättigt sich Natriumchlorid (NaCl) über eine relative Luftfeuchtigkeit von 75% und nimmt dabei so viel Wasser aus der Umgebung auf, dass es zerfließt.

Je löslicher die Salze sind, desto größer ist ihre bauschädigende Wirkung.

Beispielsweise lösen sich 660 g Calciumnitrat [$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ = Salpeter = Nitrate aus der Landwirtschaft] in 100 ml warmem Wasser.

Im Vergleich dazu lösen sich nur 0,0019 g Kalk (CaCO_3) in der gleichen Menge Wasser.



Abbildung 4–23, Beispiel für hygroskopische Wasseraufnahme einer Außenwand

4.11.3 FEUCHTE UND SALZE

Historische Bauwerke sind häufig in besonderem Maße mit bauschädigenden Salzen belastet. Betroffen ist das Natursteinmauerwerk im Sockelbereich wegen fehlender Horizontalsperren. Bei starker Salzbelastung des Mauerwerkes kann sich oberhalb einer relativen Luftfeuchtigkeit von 60% schon eine Sättigungsfeuchte im Baustoff einstellen. Salzbelastete Natursteine können einen vielfachen Feuchtegehalt gegenüber unbelasteten Materialien aufweisen. Zu den bauschädigenden Salzen gehören Carbonate, Chloride, Nitrat- und Sulfatverbindungen.

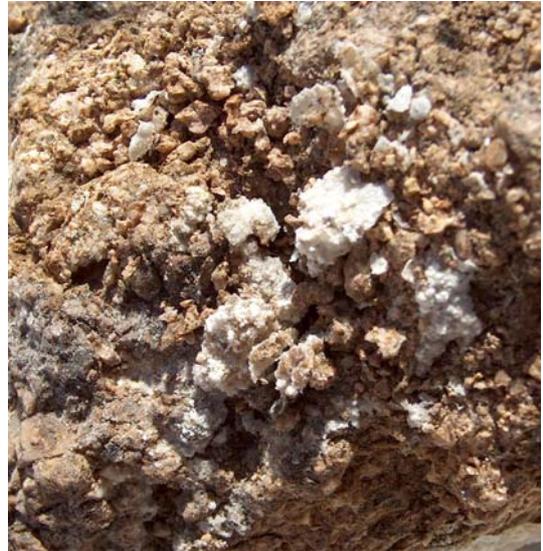


Abbildung 4—24, verwitterter Granitstein mit Gefüge zerstörenden Salzausblühungen

Die Salze können auf verschiedene Weise in das Bauwerk gelangen. Zum Teil befinden sie sich schon in den Rohstoffen der späteren Baumaterialien; also im Naturstein, Ton, Sand usw. und gelangen dadurch in die späteren Baustoffe - man spricht dann von Eigensalzen. Von größerer Bedeutung sind jedoch die Fremdsalze, sie gelangen über Luftverunreinigungen und Regen, das Grundwasser oder Oberflächenwasser an das Bauwerk und können es z.B. in gelöster Form durch kapillar aufsteigende Feuchtigkeit versalzen. Dazu zählen Schwefelverbindungen aus der Industrie, Düngemittel und besonders in der Landwirtschaft Nitratverbindungen im Bereich von Stallungen. Im Sockelbereich von Gebäuden, die an Straßen stehen, welche im Winter gelaugt werden, können auch Tausalze zu Schäden führen.

Brennstoffe aus Industrie und Verkehr enthalten größtenteils in irgendeiner Form Schwefel (S), der bei der Verbrennung Oxide bildet (SO₂ bzw. SO₃).

Durch die Reaktion mit Wasser und Kalk - z.B. aus dem Fassadenputz, kann es zur Bildung von Gips kommen; in dem Fall - ein bauschädigendes Salz.

Gips: CaSO₄· 2H₂O = Calciumsulfat → entsteht durch Einlagerung von Kristallwasser unter Volumenvergrößerung. Gips ist zudem frostempfindlich und besitzt eine hohe Wasserlöslichkeit.



4.11.3.1 KRISTALLISATIONSDRUCK BAUSCHÄDIGENDER SALZE

Salze erfahren beim Übergang von der gelösten Form in die kristalline eine Volumenvergrößerung, die mit einem enormen Kristallisationsdruck verbunden ist. Sie kristallisieren nur dann aus, wenn die Raumluftfeuchte unter die relative Gleichgewichtsfeuchte der Salzlösung absinkt.

Daraus folgt, dass Kristallisation normalerweise nur an Bauteilen auftreten kann, die sich (vorübergehend) im trockenen Zustand befinden. Dazu zählen z.B. die Sockelbereiche alter Gebäude, in deren Verdunstungszone es besonders zu Beginn einer Heizperiode aufgrund der Absenkung der relativen Luftfeuchte im Raum zur Kristallisation kommt. Der dabei entstehende Druck kann ein Vielfaches der Haftzugfestigkeit der Mauersteine und des Putzes betragen. Der Kristallisationsdruck wirkt somit treibend und zermürbt den Baustoff. Er ist unter anderem abhängig vom Grad der Übersättigung der Salzlösung und den Temperaturverhältnissen.

Kristallisationsdrücke der wichtigsten bauschädlichen Salze

Chemische Bezeichnung	Kristallisationsdruck in [N/mm ²]			
	C/CS = 2		C/CS = 10	
	0°C	50°C	0°C	50°C
CaSO ₄ · ½ H ₂ O	33,5	39,8	112,0	132,5
CaSO ₄ · 2 H ₂ O	28,2	33,4	93,8	111,0
MgSO ₄ · 7 H ₂ O	10,5	12,5	35,0	41,5
MgSO ₄ · 6 H ₂ O	11,8	14,1	39,5	49,5
MgSO ₄ · 1 H ₂ O	27,2	32,4	91,0	107,9
Na ₂ SO ₄ · 10 H ₂ O	7,2	8,3	23,4	27,7
Na ₂ SO ₄	29,2	34,5	97,0	115,0
NaCl	55,4	65,4	184,5	219,0
Na ₂ CO ₃ · 10 H ₂ O	7,8	9,2	25,9	30,8
Na ₂ CO ₃ · 7 H ₂ O	10,0	11,9	33,4	36,5
Na ₂ CO ₃ · 1 H ₂ O	28,0	33,3	93,5	110,9

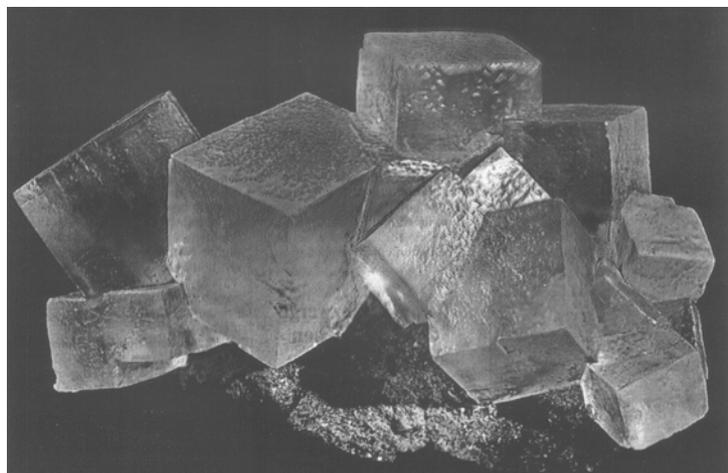
C/CS = Wert für die Übersättigung der Lösung

Tabelle 4-1, Kristallisationsdrücke der wichtigsten bauschädlichen Salze¹¹

Im Vergleich dazu die **Haftzugfestigkeiten** von:

Kalkputz:	0,03 ... 0,15 N/mm ²
Kalk- Zementputz:	0,2 ... 0,4 N/mm ²
Zementputz:	0,8 ... 1,2 N/mm ²
Sanierputz:	< 3,0 N/mm ²

Abbildung 4–25, vergrößertes
NaCl - Salzkristall



¹¹ Handwerkskammer Dresden [32]

4.11.3.2 SCHADENSFORMEN DURCH SALZKRISTALLISATION

Durch die Salzkristallisation kann an der Oberfläche der Bauteile ein Belag mit meist weißen Kristallen entstehen, der als Ausblühung bezeichnet wird und abkehrbar ist. (Abgekehrte Salze sollten nicht am Bauwerkssockel liegen bleiben.)

Weitere Schadensformen sind:

- Ablättern von Putz- und Farbschichten
- Lösung ganzer Teile des Putzes
- Ablätterungen an Steinen von Sichtmauerwerk
- Abmehlen und Absanden der Oberschicht
- Verfärbungen und feuchte Flecken an der Putzoberfläche



Abbildung 4—26; Salz- und Feuchtigkeitsschaden am historischen Gemäuer – Kalkputz + Farbe



Abbildung 4—27; Salz- und Feuchtigkeitsschaden an Kalkputz – ½ Jahr nach Fertigstellung



Abbildung 4—28; Salz- und Feuchtigkeitsschaden an Kalkzementputz – 1 Jahr nach Fertigstellung



Abbildung 4—29; Salz- und Feuchtigkeitsschäden an Sanierputz – 5 Jahre nach Fertigstellung

4.11.3.3 SALZBEHANDLUNG

Horizontal- und Vertikalabdichtungen sollen die Feuchtebelastung der Wand reduzieren. Die im Bauteil vorhandenen Salze werden durch diese Maßnahme jedoch nicht entfernt, sondern nur in ihrer Beweglichkeit beeinflusst.

Sanierputze mit hoher Porosität und Wasserdampfdurchlässigkeit, bei gleichzeitiger Verminderung der kapillaren Leitfähigkeit, können Ausblühsalze in ihrem Porenvolumen schadlos ablagern. Sie haben einen Porenanteil von mindestens 40% und einen kleinen Diffusionswiderstand.

Die Lebenszeit dieser Putze ist begrenzt, außerdem behindern sie in geringem Umfang die Austrocknung der Wand. Sie stellen daher einen Kompromiss zwischen einer etwas trockeneren - aber an der Oberfläche schadhafte Wand und einer feuchteren aber optisch intakten Wand dar.

Funktionsweise üblicher Sanierputze:

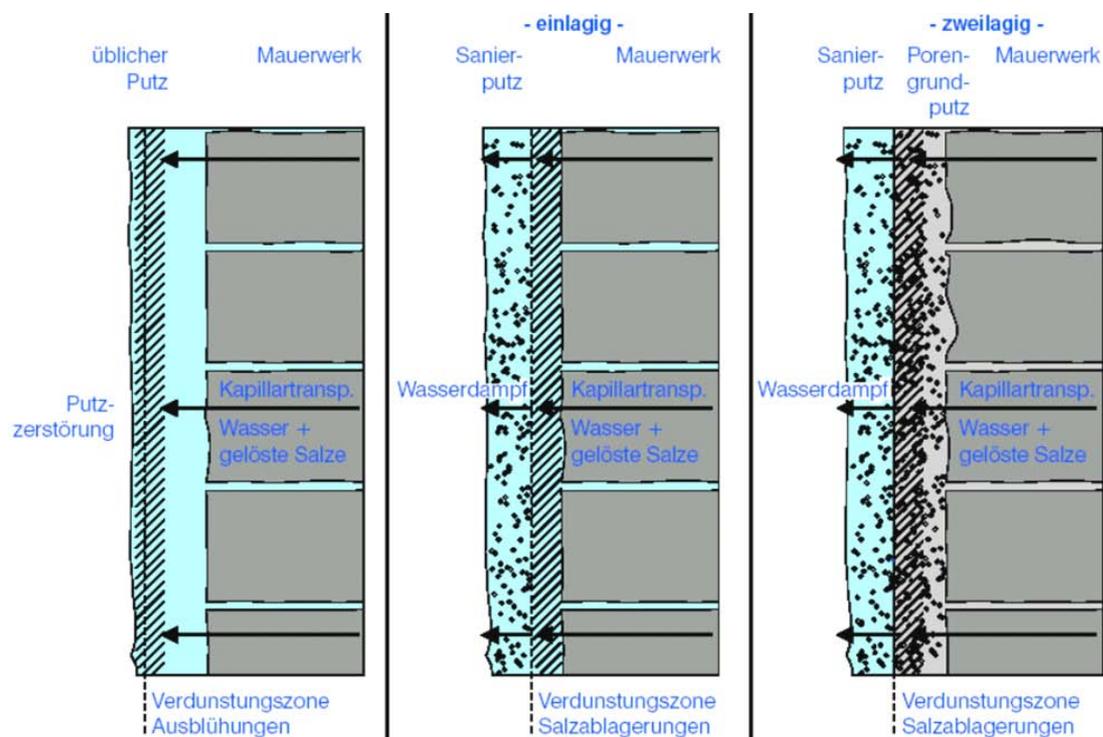
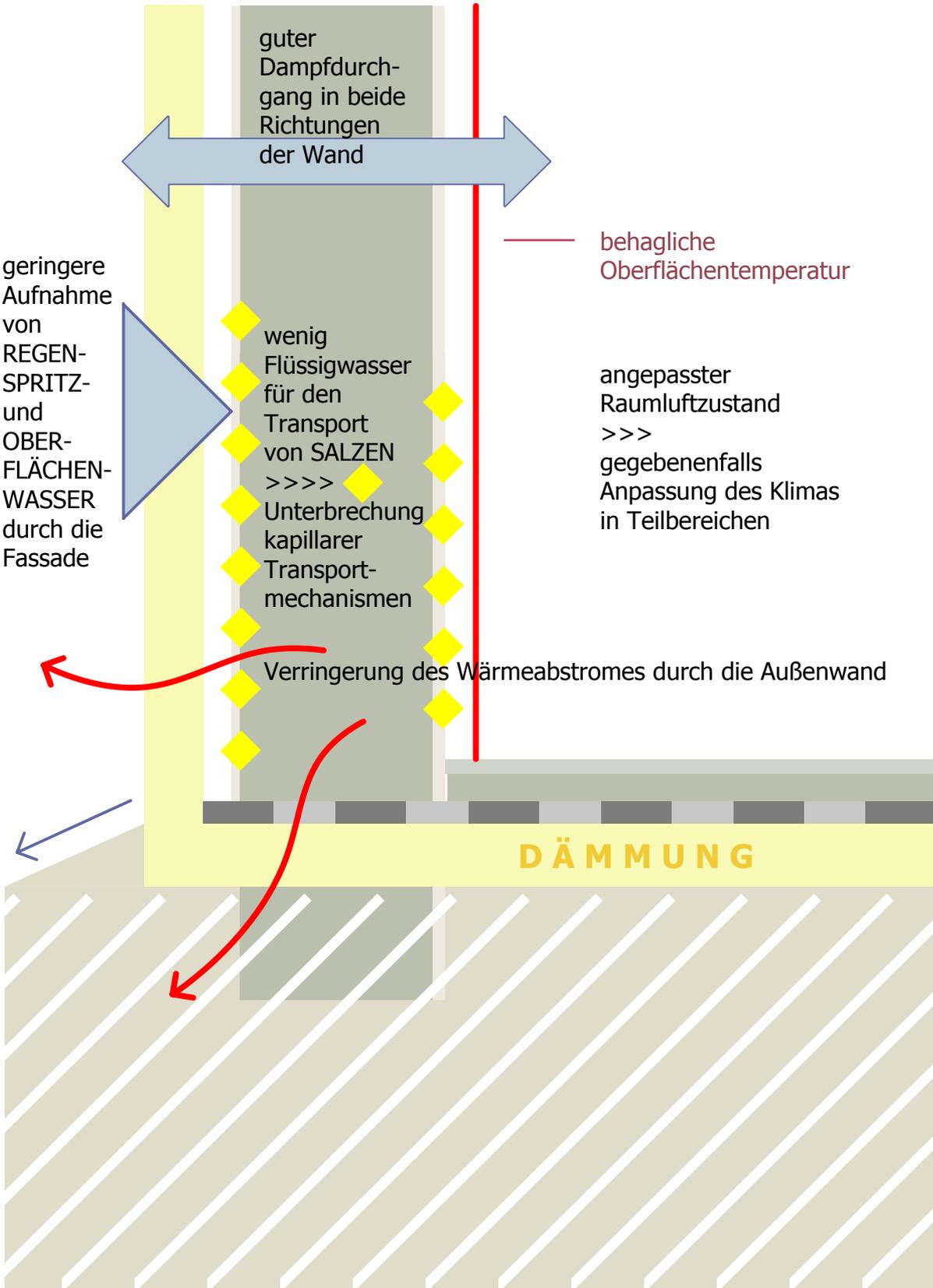


Abbildung 4—30; Wirkungsprinzip von Sanierputzsystemen

4.11.4 IDEALE LÖSUNG

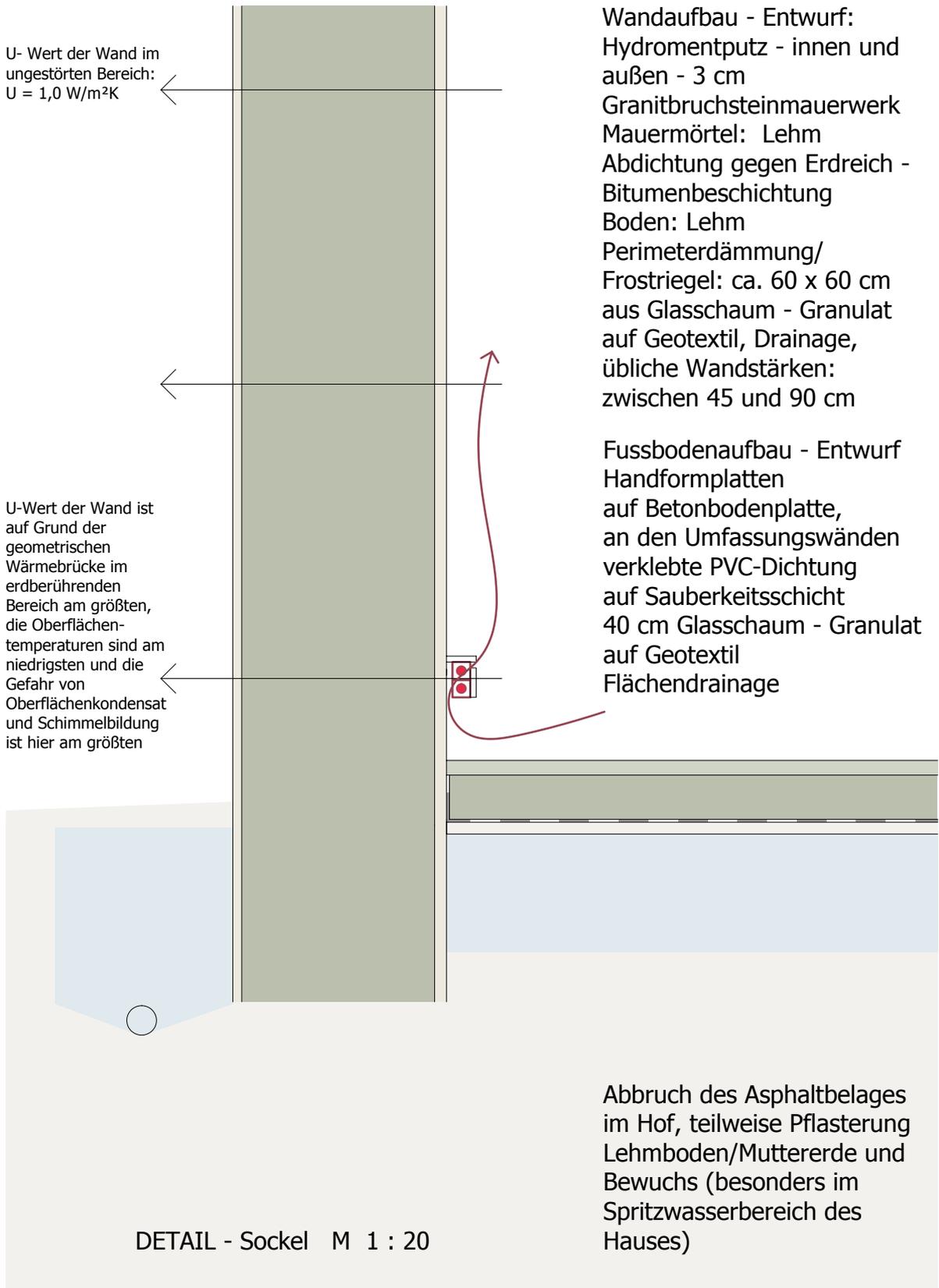
DETAIL - Sockel M 1 : 20

Was soll erreicht werden?



Zeichnung 4-8

4.11.5 DETAILLÖSUNG - NATURSTEINSOCKEL



4.11.6 ENTWURFSKRITERIEN ZUM BAUWERKSSOCKEL

4.11.6.1 HISTORISCHES BAUMATERIAL - BAUSTOFFEIGENSCHAFTEN



Abbildung 4–31, Reppnitzer Rittergut, Scharfenberg, verwitterter Granitstein

Granitfeldsteine + Lehmfugenmörtel sind häufig verwendete Baumaterialien für Grundmauern und Fundamente historischer Gebäude.

Granit (granum, lat. = Korn) ist ein magmatisches Gestein mit richtungslos-körniger Struktur. Es setzt sich aus Feldspat, Quarz und Glimmer (Biotit oder Muskovit) sowie kleinen Anteilen weiterer Minerale zusammen.

Quarz sichert die Festigkeit, Feldspat bestimmt die Farbe, Biotit beeinflusst die Verwitterungsanfälligkeit.

In historischen Gebäuden wurde häufig – vermutlich wegen seiner besseren Verarbeitbarkeit – **verwitterter Granit** verwendet. Dieses Gestein wurde im Labor der TU Dresden zusammen mit dem originalen Lehmfugenmörtel und einem, für dieses Gemäuer in der Praxis besonders bewährten Putz genauer analysiert.

In der DIN 52 100 und in der allgemeinen Fachliteratur finden sich zum Granit folgende Technische Werte:

Rohdichte:	2.600 – 2.800 kg/m ³
Druckfestigkeit:	160 – 240 N/mm ²
Biegezugfestigkeit	10 – 20 N/mm ² (Vergleich > Absatz: 4.11.3.1 Kristallisationsdruck bauschädigender Salze)
Wasseraufnahme:	0,2 – 0,5 Gew.-%

Die Labormessungen ergaben für die am Pegenauer Rittergut entnommenen Granitproben eine bis zu zehnfache Wasseraufnahme: **1,8 – 2,8 Gew.-%**
(im Vergleich - Lehm: Wasseraufnahme: 13,5 – 18,5 Gew.-%)

Diese Ergebnisse haben Auswirkungen sowohl auf das Feuchteverhalten des Mauerwerkes wie auch auf seine Beständigkeit gegenüber weiteren Zerstörungsprozessen.
Ungeschütztes Sockelmauerwerk unterliegt mechanischer und chemischer Verwitterung:

4.11.6.2 VERWITTERUNG VON NATURSTEINEN UND PUTZEN

I. Physikalische (Mechanische) Verwitterung

Frostsprennung: Das Gefrieren von Wasser ist mit einer Volumenzunahme von etwa 9% verbunden. Bei –22°C übt H₂O einen Druck von 2.100 kg/cm² (~ 200 N/mm²) aus. Damit die Frostsprennung wirken kann, muss der Poren- und Kapillarraum eines Gesteins mindestens zu 91% mit Wasser gefüllt sein.

Temperaturverwitterung: Durch die unterschiedliche Aufheizung und die unterschiedliche Ausdehnung der Mineralien bei Insolation (Sonneneinstrahlung) werden Spannungen im Gestein erzeugt, die zu einer Zerstörung des Gefüges führen. Auch tägliche Temperaturschwankungen haben die gleiche Wirkung.

Salzverwitterung: Die Kristallisation von Salzen in Haarrissen des Gesteins erzeugt einen Kristallisationsdruck (1000 kg/cm² / ~ 100 N/mm²), der wie bei der Frostsprennung das Gefüge des Gesteins zerstört. Hydratisierte Kristalle mancher Salze nehmen gegenüber ihrer wässrigen Lösung ein bis zu 300% größeres Volumen ein (z.B. CaSO₄, Na₂SO₄, MgSO₄, Na₂CO₃).

Physikalisch-biologische Verwitterung: Durch den Turgor-Druck pflanzlicher Zellen (> 10 kg/cm²), z.B. Wurzelgeflecht, wird das Gesteinsgefüge zerstört.

II. Chemische Verwitterung

Lösungsverwitterung: Mineralien, besonders Salze, werden von Wasser gelöst, z.B. beträgt die Löslichkeit von Gips 2,5 g/l.

Kohlensäureverwitterung: Kohlendioxid bildet in Wasser gelöst Kohlensäure. Atmosphärisches Kohlendioxid löst sich im Regen, so dass normales Regenwasser ein pH-Wert um 5,6 hat. Kohlensäure reagiert chemisch mit Kalziumkarbonat (Calcit) und es entsteht wasserlösliches Kalziumhydrogenkarbonat. 1l Wasser löst bei 20°C 14mg CaCO₃, die Menge erhöht sich um das fünffache, wenn Kohlendioxid im Wasser gelöst ist.



Rauchgasverwitterung: Die anthropogen durch Verbrennung fossiler Energieträger (Erdöl, Braun- und Steinkohle) erzeugten Rauchgase wie Schwefeldioxid (SO₂) und Stickoxide (NO_x) bilden in Verbindung mit Wasser starke Säuren, die Mineralien zu lösen vermögen und damit das Gefüge des Gesteins zerstören.



Oxidationsverwitterung: beruht auf der oxidierenden Wirkung des Luftsauerstoffs unter Mitwirkung des Wassers; dabei werden Mineralien zersetzt.



zweiwertiges Eisen (aus dem Siderit) wird in dreiwertiges überführt



zweiwertig-negativer Schwefel (aus dem Pyrit) wird in vierwertig-positiven überführt

Chemisch-biologische Verwitterung: Saure Ausscheidungen von Bakterien, Pilzen, Algen, Flechten usw. lösen Mineralien und zerstören somit das Gefüge des Gesteins.

Hydrolytische Verwitterung: Durch Aufnahme von Wasser in das Kristallgitter eines Minerals (Hydratation) können Ionen aus dem Kristallgitter herausgelöst werden. Diese Form der chemischen Verwitterung tritt bei Silikaten auf und wird deshalb auch Silikatverwitterung genannt. [33]

Feldspat und Glimmer des Granitsteines werden in wasserhaltige Eisen- und Aluminiumoxide verwandelt, das sind Tonminerale, aus denen wiederum Kaolin und Bauxit entsteht. Selbst vom härtesten Granit bleiben am Ende nur lose Quarzkörner übrig.

4.11.6.3 GERINGE WASSERAUFNAHME = GERINGES SCHADENSPOTENTIAL?

Um Simulationen zum Temperatur- und Feuchteverhalten einzelner Bauteile durchführen zu können, sind noch eine Reihe weiterer Labormessungen erforderlich. Dazu gehören unter anderem die Ermittlung des Wasseraufsaug- und Trocknungsverhaltens, der Flüssigwasser- und Dampfleitfähigkeit sowie die Bestimmung der **Sorptionsisothermen**.

Sorptionsisothermen beschreiben die Gleichgewichtsfeuchtigkeit eines Baustoffes bei unterschiedlichem Feuchteangebot aus der Umgebungsluft.

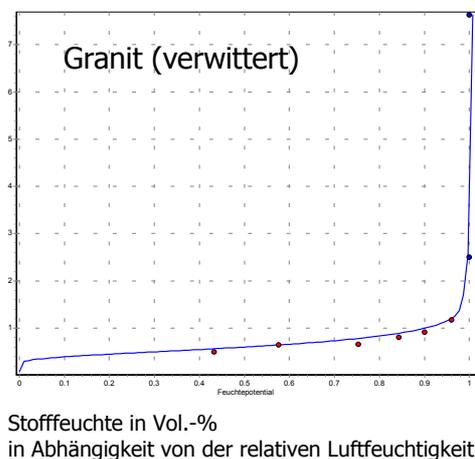


Abbildung 4—32; Sorptionsisotherme – Granit

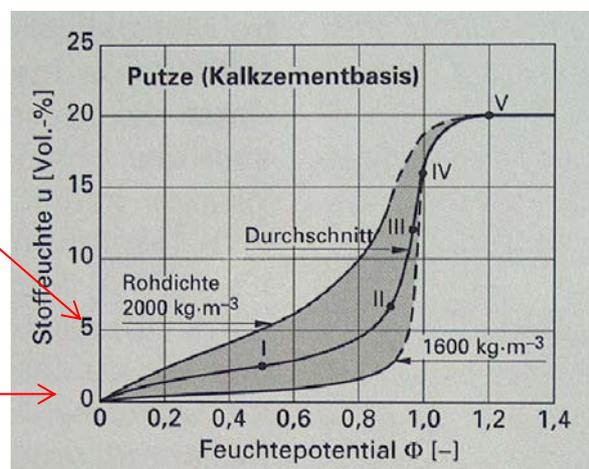


Abbildung 4—33; Sorptionsisotherme - Kalkzementputz

Trotz der erhöhten Wasseraufnahme verwitterten Granits gegenüber unverwittertem Granit ist diese im Vergleich zu anderen Baustoffen sehr gering. Das führt häufig (auch in Fachkreisen) zu der Annahme, dass Wasser- und Salztransport im historischen Gemäuer

hauptsächlich von den Lehmfugen übernommen wird – und reiner Granit beinahe als „Horizontalsperre“ betrachtet werden kann.

Lehmfugen sind natürlich eine Bedingung dafür, Kontakt zwischen den einzelnen Granitsteinen herzustellen – **schadensträchtiger Wasser- und Salztransport** erfolgt aber auch über den Granitstein. In Abbildung 4-34 sind die Salzausblühungen im Bohrloch eines großen Granitsteines zu sehen, welcher am Boden über 10 Tage Kontakt mit einer Kochsalzlösung (NaCl) hatte.



Abbildung 4–34, Salzausblühungen im Granitstein

Wasser- und Salztransport der historischen Baustoffe müssen bei Entwurfsarbeiten am Bauwerksockel besondere Berücksichtigung finden.

4.11.6.4 ZWEI WICHTIGE EINFLUSSFAKTOREN AM BAUWERKSSOCKEL

Die Detailplanung des Sockelbereiches historischer Gebäude muss auf zwei Einflussfaktoren besondere Rücksicht nehmen:

- I. Die Beweglichkeit der Salze muss durch ein stark vermindertes Feuchteangebot eingeschränkt werden.
- II. Die Ecktemperatur auf der Innenseite der Außenwand im Anschlussbereich zum Raumfußboden muss über Schimmeltemperatur liegen.

I. Reduzierung des Feuchteangebotes:

Folgende Maßnahmen werden für das Südgebäude des Pegenauer Rittergutes empfohlen:

- Ableitung des Niederschlagwassers durch entsprechende Geländemodellation schon an der Oberfläche vom Haus weg
- Anbringen von Dachrinnen
- Abbruch von Asphaltbelag im Spritzwasserbereich des Hauses
- Reparatur von Wassereinläufen im Hof und Instandsetzung der Grundleitungen
- Einbau von Drainagen
- Austausch durchlässigen Bodens gegen dichteren Lehmboden in den Bereichen, in denen der Einbau von Drainagen nicht möglich ist
- Einbau einer kapillarbrechenden Glasschaum – Granulatschicht unterhalb der Bodenplatte und Einbau einer Flächendrainage
- Einbau eines Frostriegels von ca. 60 x 60 cm als Perimeterdämmung und kapillarbrechende Schicht an der Außenseite der Fundamente
- Abdeckung dieser Schicht mit 10 cm dichtem Lehmboden auf Geotextil, um geringen Bewuchs zu ermöglichen und den Ablauf des Großteiles an Oberflächen- und Niederschlagwasser zu garantieren
- Abdichtungen (vertikal) der Fundamente mit Bitumenemulsion (innen + außen)
- Entfernen von Bewuchs, welcher zuviel zusätzliches Wasser benötigt
- Entleerung von Güllegruben und deren Abbruch oder Einbau eines Überlaufes unterhalb der Fundamentsohle des Hauses

Horizontale Abdichtungsmaßnahmen werden wegen des unverhältnismäßig großen Aufwandes (und Verlustes an historischer Substanz) nicht empfohlen. Außerdem sind die kapillaren Verbindungen zwischen den Granitsteinen aufgrund ausgewaschener Lehmfugen im Sockelbereich ohnehin oft stark reduziert. Diese Fugen können mit einem Mörtel ausgeworfen werden, der keine kapillaren Transportprozesse zulässt. Ein solcher Mörtel eignet sich auch für die Fassade – um die Belastung der Außenwand durch Regen zu verringern. Bedingung für einen solchen Mörtel ist ein guter Dampfdurchgang.

Da Salze, um sich im Bauteil zu bewegen, einen Wechsel zwischen Befeuchtung und Trocknung benötigen – ist es bei historischen Gebäuden besonders wichtig im Sockelbereich die Feuchtezufuhr auf ein Minimum zu reduzieren. Der Idealfall wäre die mineralische „GORE-TEX“- Jacke für salzbelastete Bauteile.

Die Tabelle 4-2 zeigt die durchschnittliche monatliche und jährliche Regenmenge zwischen 1974 und 1990 in Dresden –Klotzsche.

51.13°N, 13.70°O, 230m ü. NN

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Year
mm	53.9	35.8	42.4	52.0	52.0	66.1	78.8	80.5	52.5	45.7	59.1	69.3	688.9
inches	2.1	1.4	1.7	2.0	2.0	2.6	3.1	3.2	2.1	1.8	2.3	2.7	27.1

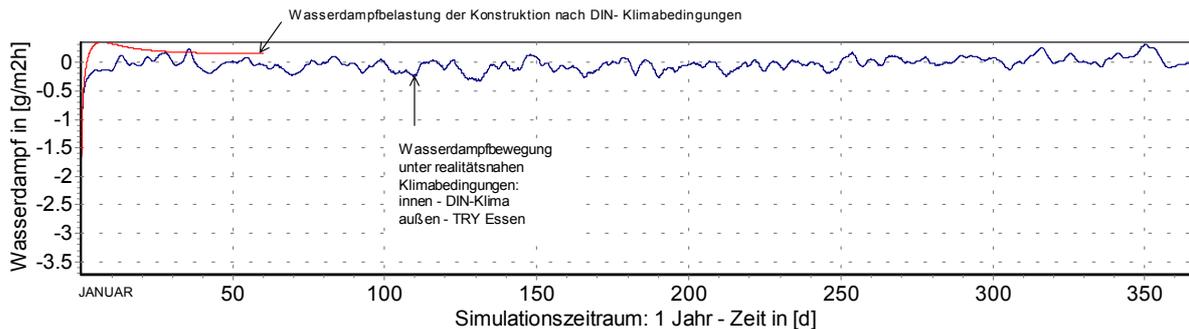
Tabelle 4-2; durchschnittliche Regenmenge in Dresden-Klotzsche, aus: www.worldclimate.com

Die jährliche Regenmenge von durchschnittlich ca. 690 Liter/m²_{Grundfläche} kann bei entsprechender Windströmung vor Ort den Sockel (ggf. auch nur einzelne Fassadenbereiche) sehr stark belasten.

Diese Beanspruchung ist im salzbelasteten Sockelbereich sehr ernst zu nehmen. Die Wassermenge, die von außen (Schlagregen, aufsteigende Feuchtigkeit, Oberflächenwasser etc.) in das Bauteil eindringen kann – beträgt in der Regel ein Vielfaches der Wassermenge, die sich während der Tauperiode im Winter aufgrund des Dampfdruckgradienten im Bauteil ansammelt.

Salze verursachen erst dann Schaden, wenn sie intervallweise Wasser zum Transport angeboten bekommen und dadurch die Möglichkeit erhalten, sich an der Wandoberfläche in größeren Mengen anzureichern und in Trocknungsphasen auszukristallisieren.

Die Nachfolgenden Grafiken zeigen die Feuchtebelastung einer 75 cm starken Granitbruchsteinwand auf der Westseite eines Gebäudes. Diese ist beidseitig mit einem Kalk- Zementputz beschichtet. Der Putz besitzt einen Dampfdiffusionswiderstand μ von 21 und eine mittlere (für normale Fassaden ausreichende) kapillare Wasserleitfähigkeit.



DELPHIN 4 - Simulation 4-18, Wasserdampfbelastung der Konstruktion

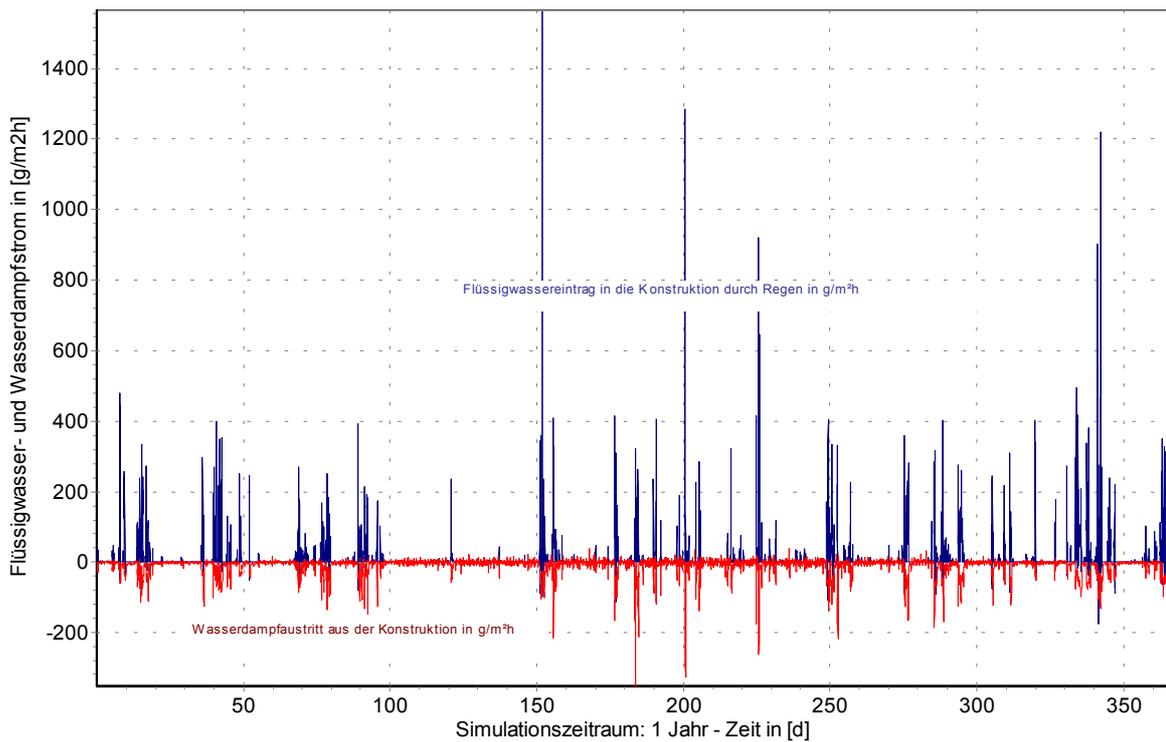
Die **Wasserdampfbelastung** auf der Innenseite der Konstruktion beträgt im eingeschwungenen Zustand unter stationären Klimabedingungen nach DIN 4108 maximal **0,16 g/m²h**.

Unter realitätsnäheren Klimabedingungen (innen – DIN-Klima, außen – TRY Essen) ist die Dampfbelastung deutlich geringer und größtenteils negativ – d.h. die Wand gibt wesentlich mehr Wasserdampf in den Raum ab.

Im Vergleich dazu wurde für dieselbe Wand die Flüssigwasseraufnahme durch Regen und die Wasserdampfabgabe nach dem Regen für die Außenseite der Konstruktion in der nächsten Grafik ausgegeben.

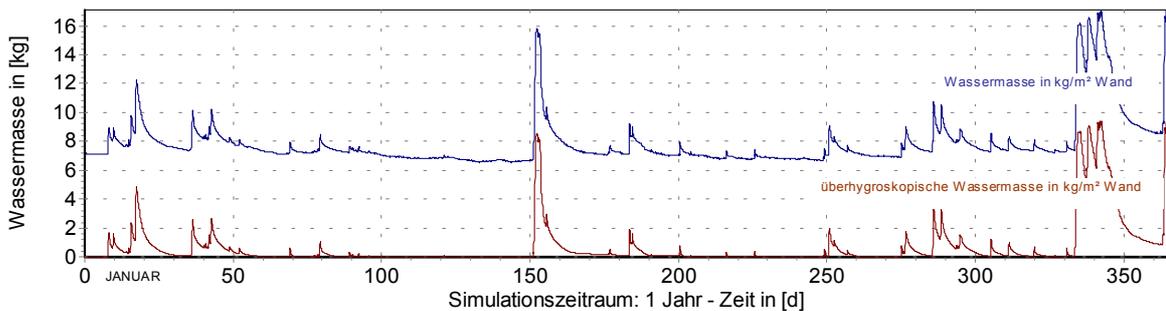
Der Wechsel zwischen Befeuchtung und Trocknung macht das Schadenspotential im Hinblick auf die dabei transportierten Salze deutlich.

Ebenfalls deutlich sichtbar ist der Unterschied der Wasserbelastung auf der Außenseite der Wand durch Regen im Gegensatz zur inneren Belastung der Wand durch Raumluftfeuchte zu erkennen. Die maximale Feuchtebelastung aus **Regen** (im Diagramm blau dargestellt) beträgt **stündlich bis zu 1.500 g/m²**.



DELPHIN 4 - Simulation 4-19, Wasserdampf- und Flüssigwasserstrom auf der Außenseite einer Westwand

Das nachfolgende Diagramm zeigt die überhygroskopische Wassermasse (rot dargestellt) und die Gleichgewichtsfeuchte (blau) in der oben genannten Sockelwand.



DELPHIN 4 - Simulation 4-20, hygroskopische und überhygroskopische Wassermasse in einer Granitaußenwand

Für eine normale Außenwand ist die kurzzeitige Wasserbelastung unbedenklich, bei historischem Gemäuer sollte sie jedoch – zumindest in salzbelasteten Wandabschnitten - auf ein Minimum reduziert werden.

Viele Sanierputzsysteme versuchen mittels Hydrophobierung den Flüssigwassertransport zu unterbinden.

In meiner knapp fünfzehnjährigen Praxis als selbständiger Bauhandwerker ist mir ein Putz aufgrund seiner Langlebigkeit besonders positiv aufgefallen. Bei diesem Putz (Sockelputz auf Abbildung 4-35) handelt es sich um einen stark porosierten Zementputz, dessen Dampfdiffusionswiderstand dem eines Kalkputzes entspricht ($\mu < 12$). Der kapillare Wassertransport wird durch das **Putzgefüge** (- nicht durch chemische Hydrophobierung) verhindert.



Abbildung 4—35, Reppnitzer Rittergut, intakter Putz am ehemaligen Rinderstall, 8 Jahre nach Fertigstellung

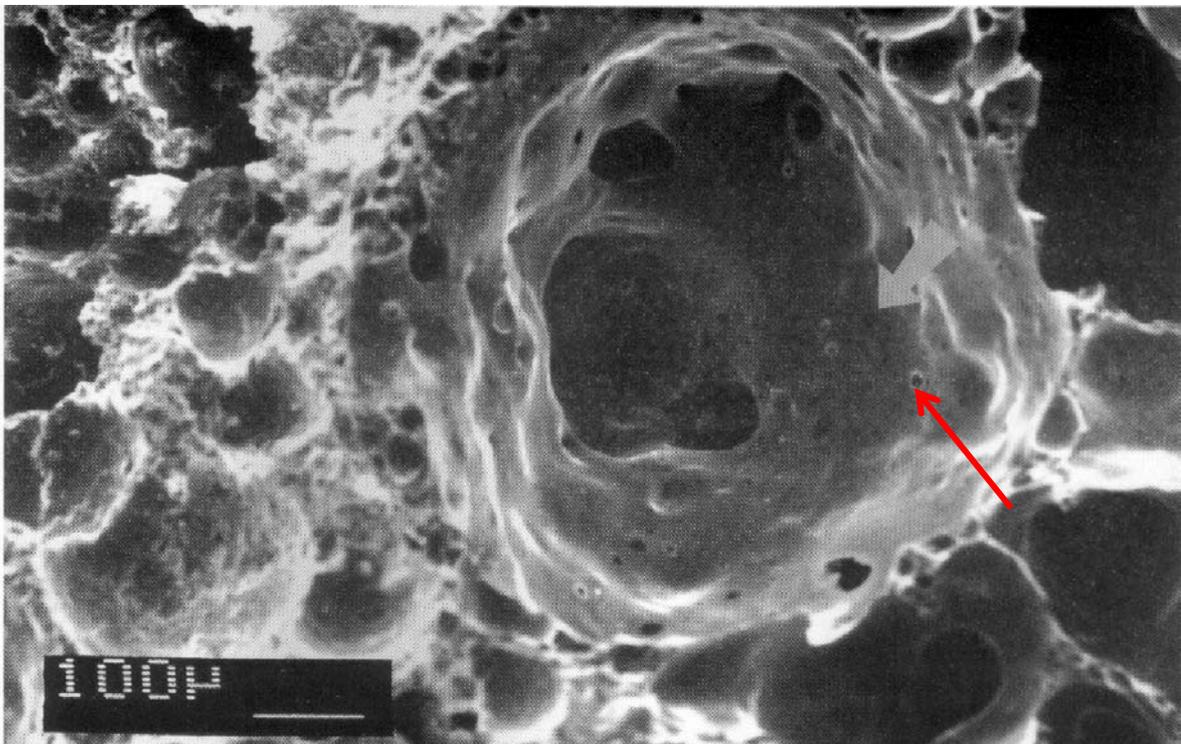


Abbildung 4—36, unter dem Elektronenrastermikroskop mehr als 100-fach vergrößerte Putzprobe des Sockelputzes - Hydromeng SG - aus Abbildung 4-35

Der Putz besitzt eine Vielzahl großer Luftporen ($\varnothing = 0,5 \text{ mm}$) und unzählige Feinstkapillaren im μ -Bereich (Pfeil in Abbildung 4-36), die die Luftporen miteinander verbinden. Deren Durchdringung ist für SALZWASSER nur in Form von Wasserdampf (ohne Salz) möglich.

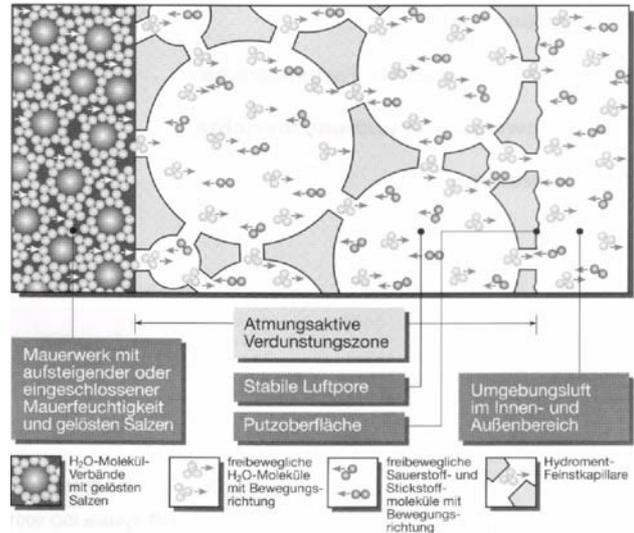


Abbildung 4—37, schematische Darstellung der Putzschicht mit Luft- und Feuchtigkeitsaustausch

Der Putz besitzt einige Vorzüge:

- die Feuchtezufuhr wird stark reduziert – aber die Dampfdiffusion kaum behindert (im Vergleich zu anderen Putzen)
- ein Austrocknen der Wand (aufsteigende Feuchtigkeit) ist ab Geländeoberkante möglich
- der Putz behält seine Eigenschaften aufgrund seiner Struktur auch im gealterten Zustand und benötigt keine unbedingte Pflege (Erneuerung von Farbschichten)
- bei entsprechender Auswahl des Sandes und Bindemittels (z.B. Weißzement) kann der Putz verwittern und absanden - ohne dass die äußere Erscheinung des Gebäudes darunter leidet (eine Verwitterung des Putzes bis zum Naturstein ist bei historischen Gebäuden ein gewohntes und sympathisches Bild)
- der Putz ist wegen seines inneren Gefüges und des Bindemittels nicht frostempfindlich
- Salze, die dennoch die Mikroporen durchdringen (bei Ausführungsfehlern) können über einen langen Zeitraum in den Makroporen eingelagert werden und auskristallisieren, ohne den Putz dabei zu zerstören

Dieser Putz wird für den Innen- und Außenbereich des Sockelmauerwerkes bis mindestens 60 cm über den Salzsadenschhorizont geplant, darüber ist ein porosierter, dämmender, gut dampfdurchlässiger Kalkzementputz möglich.

Vorgabe für den Elektriker: - **kein Gips** zum Anheften der unter Putz verlegten Elektroleitungen im feuchtebelasteten Sockelbereich!

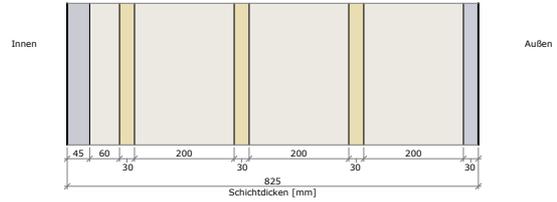
Sockelputz: 75 cm Granitwand, beidseitig Hydromentputz

(Vergleich - Variante 2 aus Absatz 4.7 AUSSENWAND UND GESIMS; Wandstärke 75 cm statt 52 cm)

Konstruktionsaufbau und Materialparameter

	Material	d [mm]	λ [W/mK]	μ [---]	w_{90} [m ³ /m ³]	w_{ext} [m ³ /m ²]	$A_{p,0}$ [kg/m ² s ^{0,5}]
1	Hydroment Transputz WD	45	0,1000	8,0	0,027	0,101	0,0244
2	Granit	60	2,8000	53,8	0,007	0,052	0,0860
3	Lehm	30	0,7000	10,6	0,039	0,390	0,1757
4	Granit	200	2,8000	53,8	0,007	0,052	0,0860
5	Lehm	30	0,7000	10,6	0,039	0,390	0,1757
6	Granit	200	2,8000	53,8	0,007	0,052	0,0860
7	Lehm	30	0,7000	10,6	0,039	0,390	0,1757
8	Granit	200	2,8000	53,8	0,007	0,052	0,0860
9	Hydroment Transputz SG	30	0,4300	11,6	0,027	0,101	0,0244

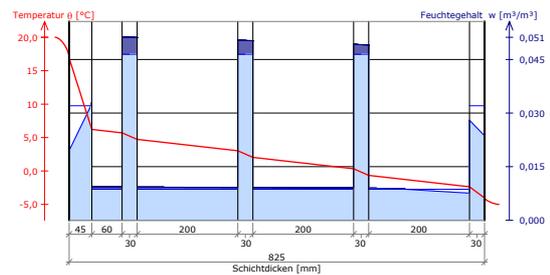
Konstruktions-skizze



Temperaturen, Dampfdrücke und Feuchtegehalte

Schicht/Material	θ [°C]	P_{stat} [Pa]	P [Pa]	w [m ³ /m ³]	d_c [mm]	M_c [kg/m ²]
Luftschicht (links)	20,0	2338	1169			
	16,9	1925	1169	0,019		
1 Hydroment Transputz WD	6,2	950	950	0,033	1,9	0,00
2 Granit	5,7	917	917	0,009	60,0	0,04
3 Lehm	4,7	856	856	0,051	30,0	0,14
4 Granit	3,0	759	759	0,009	200,0	0,11
5 Lehm	2,0	707	707	0,050	30,0	0,11
6 Granit	0,3	625	625	0,009	200,0	0,08
7 Lehm	-0,7	579	579	0,049	30,0	0,08
8 Granit	-2,4	502	438	0,009	71,6	0,02
9 Hydroment Transputz SG	-4,0	436	321	0,028		
	-5,0	402	321	0,024		
Luftschicht (rechts)						

Temperatur und Feuchteprofil



Zusammenfassung der Berechnungsergebnisse

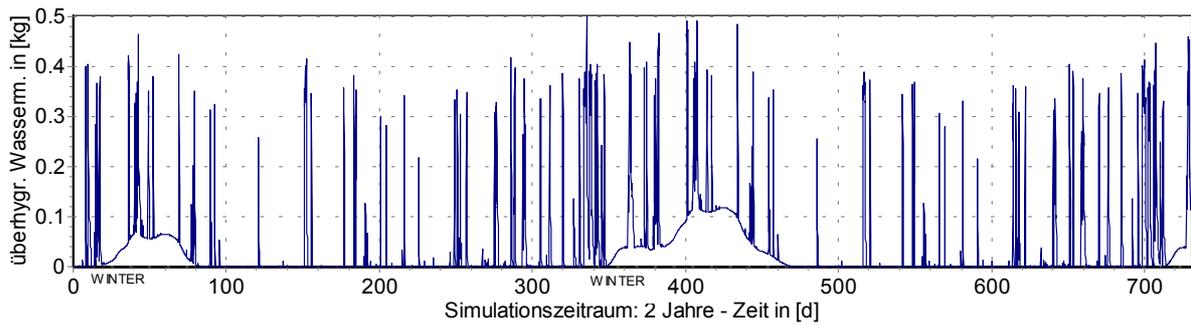
Wärmedurchgangskoeffizient der Konstruktion (feuchteabhängig) =	0,956	W/(m ² K)
Wärmedurchgangskoeffizient der Konstruktion (trocken) U =	0,949	W/(m ² K)
Kondensatmasse am Ende der Kondensationsperiode (nach COND) =	0,577	kg/m ²

COND 2002 - Rechnung 4-13

Mit dem vorgeschlagenen Konstruktionsaufbau der Außenwände im Erdgeschoss wird folgendes erreicht:

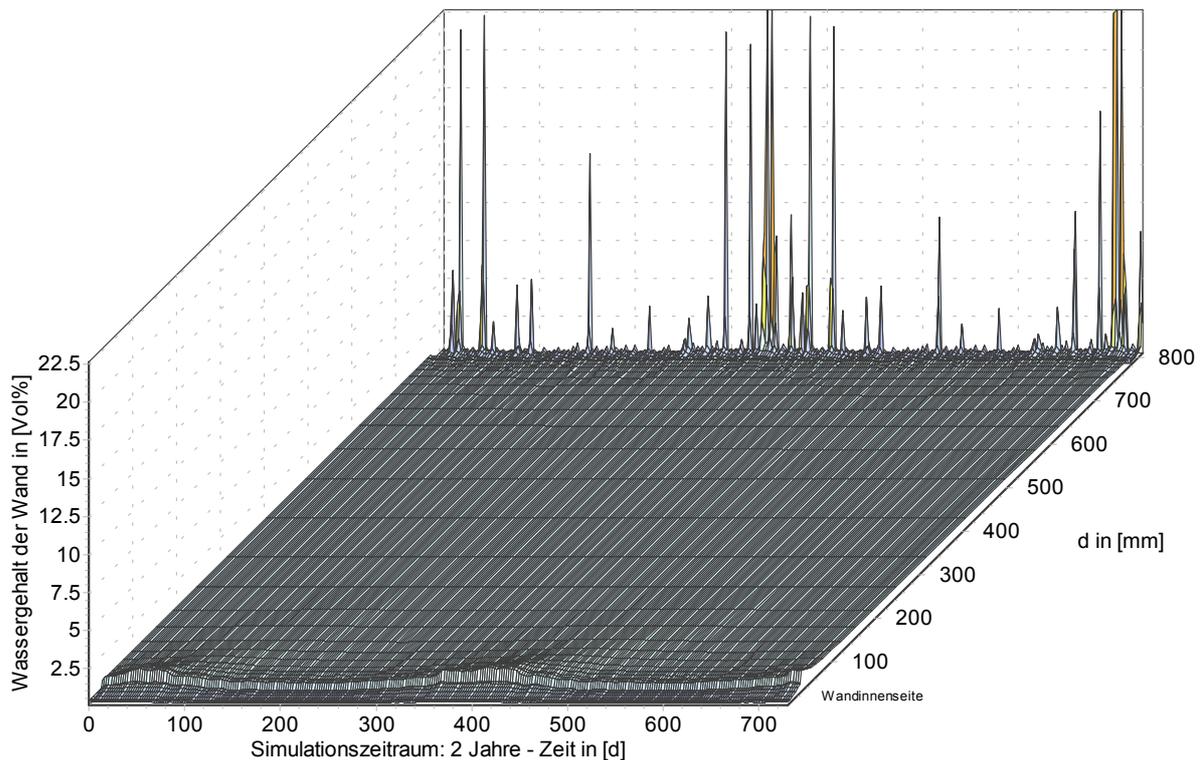
- eine Halbierung des Wärmedurchgangskoeffizienten U auf: $U = 0,95 \text{ W/m}^2\text{K}$
- die Anhebung der Oberflächentemperatur über Schimmeltemperatur auf ein fast optimales Maß (DELPHIN 4 – SIMULATION 4-23)
- der Flüssigwassereintrag wird sehr stark reduziert (DELPHIN 4 – SIMULATIONEN 4-21 + 22)
- die Kondensatbelastung ist im zulässigen Bereich mit $M_c = 0,58 \text{ kg/m}^2$, das Bauteil trocknet in weniger als 14 Tagen wieder aus (COND 2002 – Rechnung 4-13 und DELPHIN 4 – SIMULATIONEN 4-21 + 4-22 → hier noch geringere Belastung)
- Salzschäden werden dadurch stark reduziert

Die genannten Ergebnisse gelten für den ungestörten Wandbereich. Der direkte Kontaktbereich zum Erdboden muss gesondert betrachtet werden.



DELPHIN 4 - Simulation 4-21; überhygroskopische Wassermasse pro m² Sockelwand (d = 75 cm)

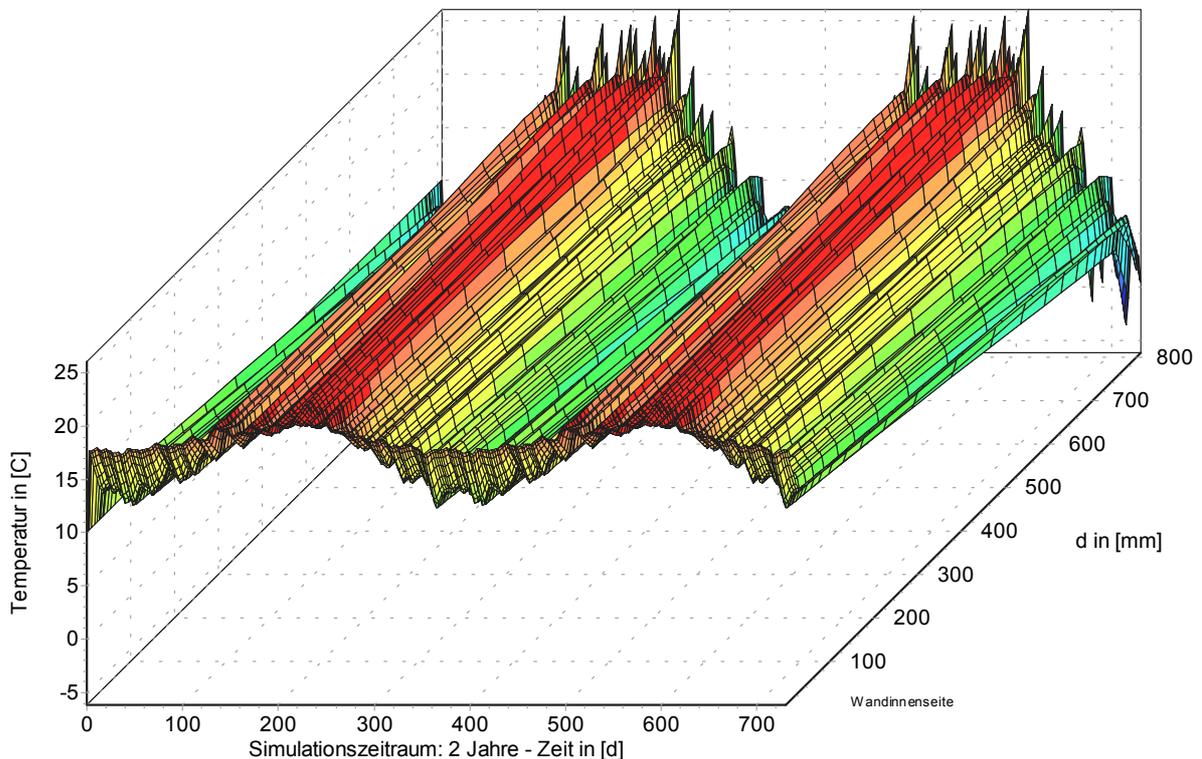
Ein sehr wünschenswertes Ergebnis des speziellen Putzes ist die stark verminderte Wasserbewegung im Bauteil. Der Salztransport reduziert sich; hohe Salzkonzentrationen unterhalb der Putzschicht können nicht mehr entstehen und der bauteilerstörende Kristallisationsprengdruck nimmt dadurch stark ab.



DELPHIN 4 - Simulation 4-22; Wasserverteilung im Wandquerschnitt über den Zeitraum von 2 Jahren

Die Sockelwand wurde mit realitätsnahem Außenklima (TRY Essen) und dem extremen inneren Konstantklima von $\theta_i = 20^\circ\text{C}$ und $\varphi_i = 65\%$ (statt 50%) gerechnet.

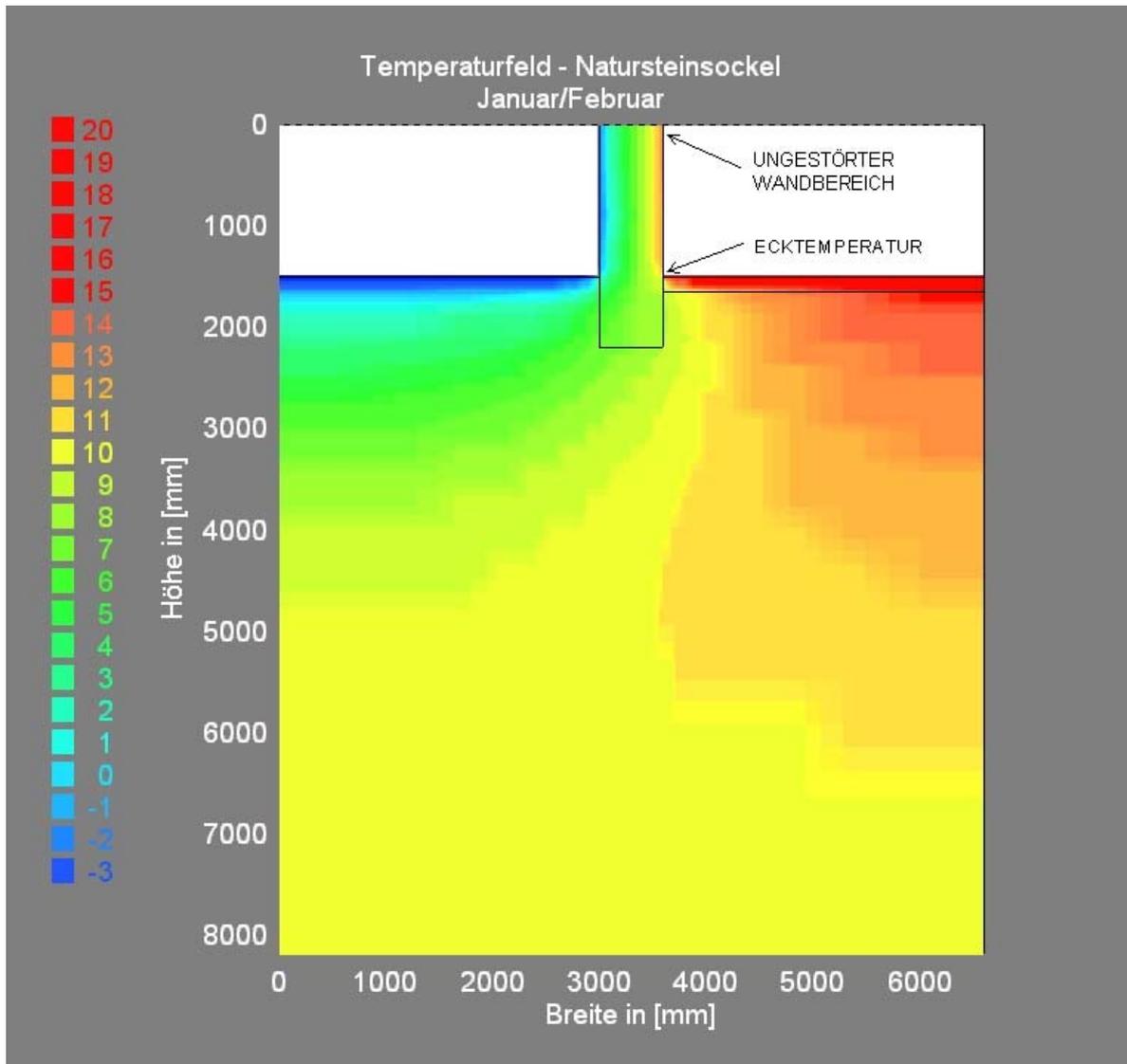
Die Kondensatbelastung in den Wintermonaten auf der Innenseite der Konstruktion ist hinter dem innen dämmenden Putz deutlich sichtbar – aber sehr gering. Der Putz begünstigt - anders als die Calciumsilikatplatten der Variante 1 aus Absatz 4.7 *AUSSENWAND UND GESIMS* - **keine** kapillare Entspannung der Konstruktion, verhindert dadurch aber Salzschäden und ermöglicht über den sehr guten Dampfdurchgang auf beiden Seiten der Wand eine schnelle Abtrocknung von Tauwasser oder aufsteigender Feuchtigkeit.



DELPHIN 4 - Simulation 4-23; Temperaturfeld der Sockelwand; 75 cm Granit + beidseitig Hydromentputz

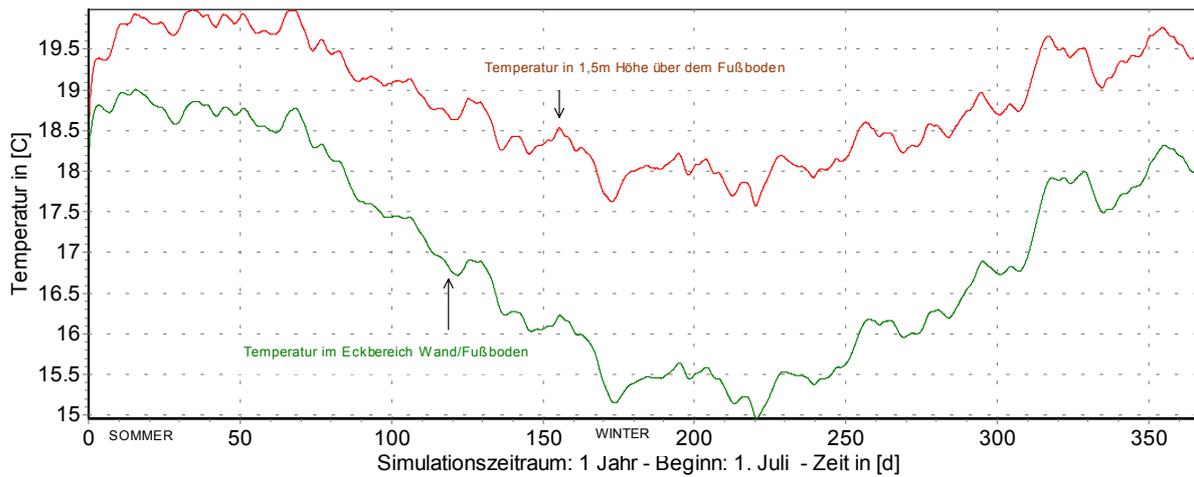
Die Außenwand erreicht im ungestörten Wandbereich behagliche innere Oberflächentemperaturen – aufgrund des Wärmeabstromes der Sockelwand in das Erdreich – wird der Eckbereich WAND/FUSSBODEN im Folgenden gesondert betrachtet.

II. Anhebung der Ecktemperatur auf der Innenseite der Außenwand im Anschlussbereich zum Raumfußboden



DELPHIN 4 - Simulation 4-24; Temperaturfeld – Bauwerkssockel im Winter

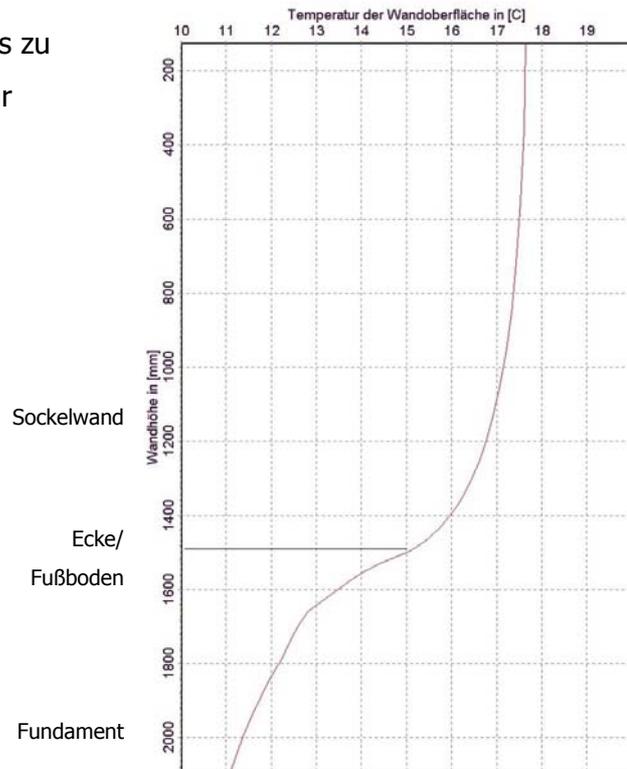
Obwohl die Außenwand im ungestörten Bereich gut funktioniert, werden im Eckbereich im Winter und Frühjahr sehr niedrige Oberflächentemperaturen erreicht – hier ist ohne weitere Maßnahmen mit Kondensat- und Schimmelschäden zu rechnen.



DELPHIN 4 - Simulation 4-25, Oberflächentemperaturen der ungestörten Wand und des Eckbereiches -Wand/Fußboden

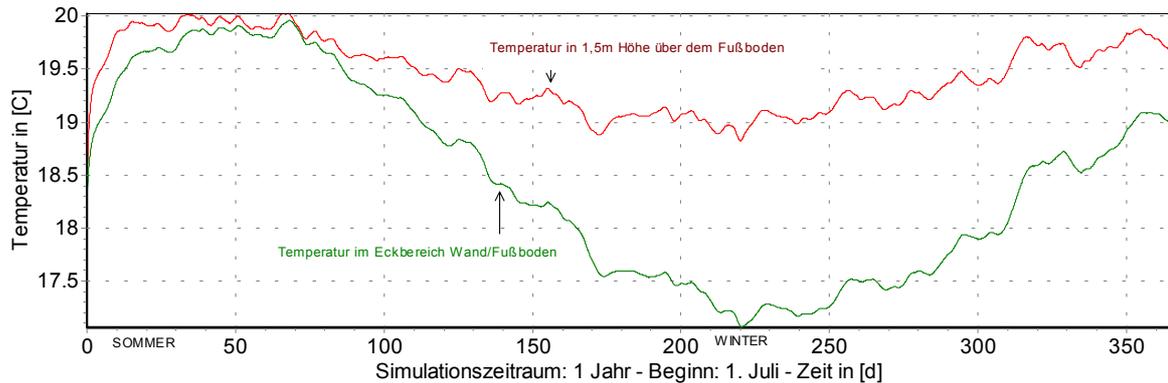
Die Ecktemperatur liegt mit knapp 15°C bis zu 2,5 K unterhalb der Oberflächentemperatur des ungestörten Wandbereiches.

Bei einem Raumlufzustand von $\theta_i = 20^\circ\text{C}$ und $\phi_i = 60\%$ können Schimmelschäden schon an Bauteiloberflächen auftreten, die niedrigere Temperaturen als 15,4°C aufweisen.



DELPHIN 4 - Simulation 4-26; Temperatur der inneren Wandoberfläche im Februar

Schäden im Eckbereich können nur sicher ausgeschlossen werden, wenn die Raumlufteuchte abgesenkt wird (-> Lüftung), die Oberflächentemperatur in der Ecke angehoben wird (-> Heizung) oder die Konstruktion weiter optimiert wird.



DELPHIN 4 - Simulation 4-27; Oberflächentemperaturen der ungestörten Wand und des Eckbereiches -Wand/Fußboden bei äußerer Wärmedämmung von 9 cm Schaumkunststoff bis UK-Fundament

Die Simulation 4-27 zeigt die berechneten Oberflächentemperaturen der Sockelwand mit einem modernen äußeren Wärmedämmsystem auf der Außenwand, das sich bis zur Fundamentunterkante fortsetzt.

(9 cm Schaumkunststoff, Wärmedurchgangskoeffizient $U = 0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$ -> entspricht den Forderungen der EnEV)

Die Ecktemperatur liegt bei dieser Simulation mit 17°C im unbedenklichen Bereich.

Eine äußere Dämmung wäre bei einem Neubau eine sehr gute Lösung für das Problem.

Am historischen Gebäude ist die Konstruktion wegen den Forderungen der Denkmalschutzbehörden, aus gestalterischen und konstruktiven Gründen (-verdunstungsbehindernd!) nicht ausführbar.

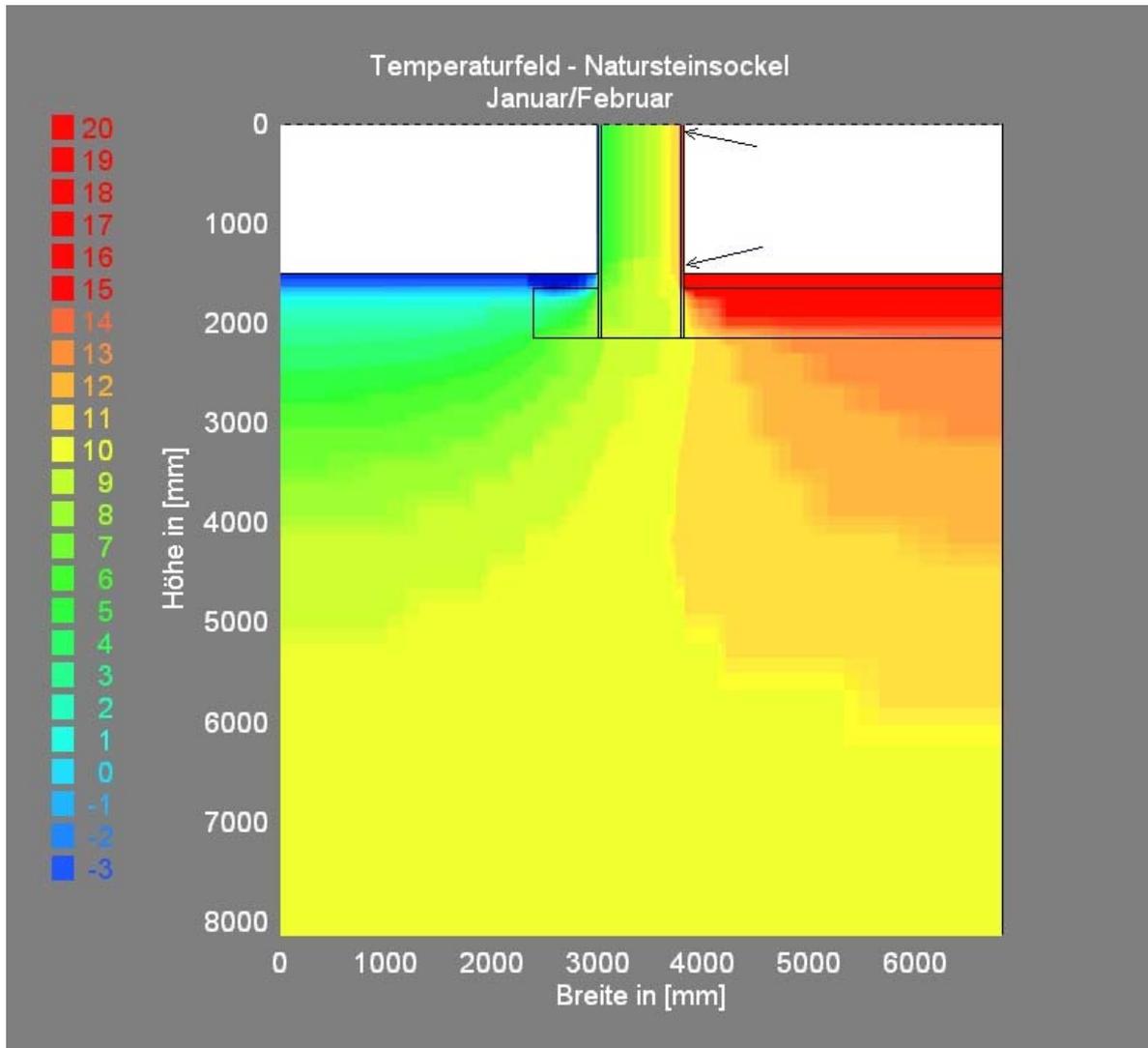
Die Simulationsrechnung 4-27 zeigt außerdem, dass der Wärmeabstrom über die breiten Grundmauern in das Erdreich immer noch zu einer deutlichen Temperaturdifferenz führt.

Zu bedenken ist auch, dass die behinderte Luftströmung im Eckbereich bei den obigen DELPHIN – Simulationen keine Berücksichtigung findet. (der Wärmeübergangswiderstand in der Ecke wurde in der Simulation nicht vergrößert)

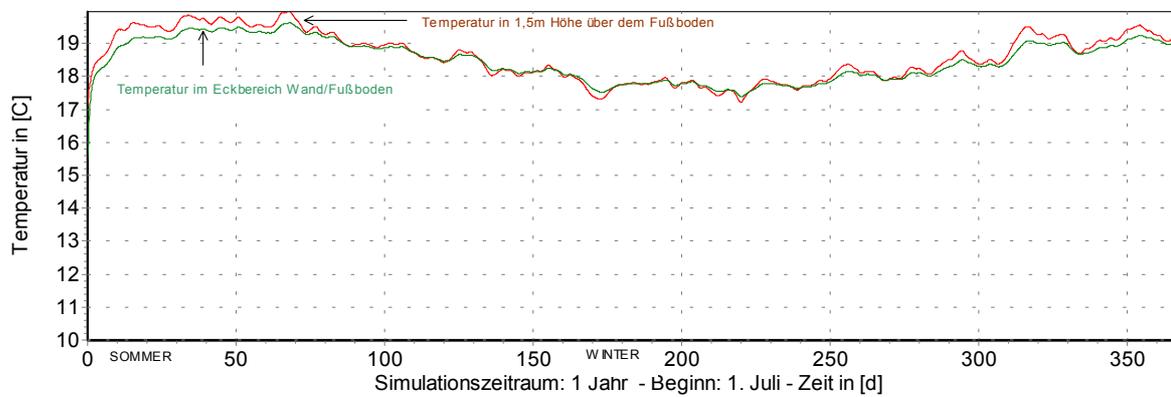
Ebenso wurden alle Temperatur beeinflussenden Phasenumwandlungsenthalpien vernachlässigt („Verdunstungskälte“ im Sockel etc.), weil die Rechenzeit einer Simulation unter Berücksichtigung der Feuchtigkeitseinwirkung für den Sockelbereich dann mehrere Monate beträgt.

Mobiliar, das als Innendämmung wirkt und keine Hinterlüftung zulässt, führt zusätzlich zu einer Absenkung der Ecktemperatur.

Perimeterdämmung aus Glasschaumgranulat



DELPHIN 4 - Simulation 4-28; Temperaturfeld – Bauwerkssockel mit Frostriegel 60 x60 cm aus Glasschaumgranulat und Perimeterdämmung 40 cm Glasschaumgranulat unter der Bodenplatte



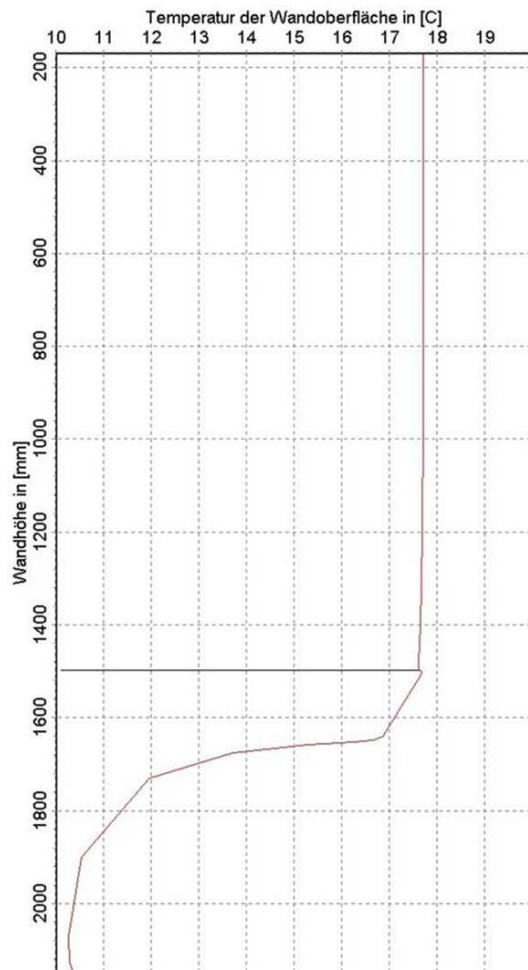
DELPHIN 4 - Simulation 4-29; Oberflächentemperaturen der ungestörten Wand und des Eckbereiches -Wand/Fußboden

Die in Zeichnung 4-9 (und Abb. 4-38) dargestellte Detaillösung für den Natursteinsockel kann hinsichtlich des Temperaturverhaltens als sehr gut bewertet werden.

Die seitliche Perimeterdämmung mit einer 60 x 60 cm starken Glasschaum - Granulatschicht verhindert zu tiefe Temperaturen im Fundament- und Eckbereich der Außenwand. Es sind kaum noch Temperaturdifferenzen zwischen ungestörtem Wandbereich und dem Eckbereich -Wand/Fußboden vorhanden. Die Bodenplatte wird in diesem Fall nur elastisch – aber nicht durch einen Dämmstreifen - von der Außenwand getrennt. Der geringe Wärmeverlust wird zu Gunsten einer erhöhten Ecktemperatur in Kauf genommen.

Die Perimeterdämmung (extrudiertes PVC) ist im Allgemeinen teurer als die Innendämmung (ca. 2 – 2,5-facher Preis) – aber wesentlich weniger störanfällig in Bezug auf Ausführungsfehler (wie z. B. beschädigte Dampfsperren bei Innendämmungen) oder bei Havarien.

Glasschaum- Granulat ($\lambda = 0,075 \text{ W/mK}$) ist auch bei doppelter Schichtstärke noch preiswerter als PVC und spart zudem die kapillarbrechende Kiesschüttung.



DELPHIN 4 - Simulation 4-30, Temperatur der inneren Wandoberfläche im Februar

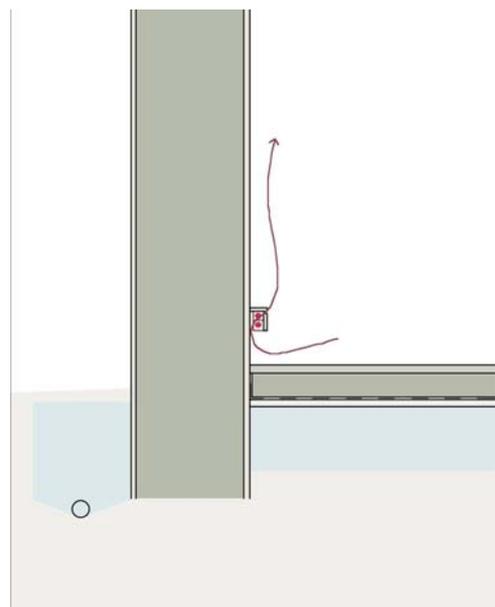


Abbildung 4—38; Natursteinsockel - blau dargest.: Perimeterdämmung aus Glasschaum- Granulat

4.12 FENSTER UND TÜREN

Fenster tragen in besonderem Maß zur Gestaltung eines Gebäudes bei. Sie müssen verschiedensten Anforderungen gerecht werden, dazu gehören: Wärme-, Feuchte- und Schallschutz sowie Lüftung, Beleuchtung, Sicherheit und Brandschutz.

Zwei Besonderheiten des Fensters im historischen Gebäude sollen in dieser Arbeit beleuchtet werden:

- Wärmebrücke – Fensterleibung
- Funktion des Fensters als Lüftungs-/ Entfeuchtungselement



Abbildung 4—39

4.12.1 WÄRMEBRÜCKE – FENSTER- UND TÜRLEIBUNG

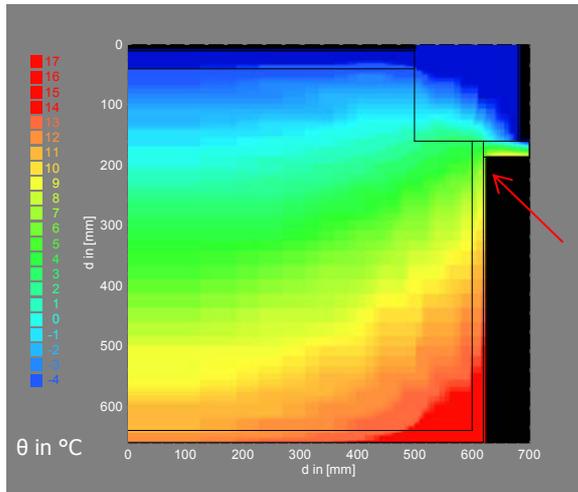
Besonders Tauwasser gefährdet sind Fenster- / Türleibungen in historischen Gebäuden. Hier sind meist Wärmebrücken vorhanden, denn Einfachfenster besitzen keine nennenswerte Materialstärke und das Mauerwerk weist ohnehin eine schlechte Wärmedämmung auf. Nachteilig kann sich zudem noch die Lage am Bauwerk auswirken; wie Sockelbereich, Verschattung und Nordseite.

Wird das Gebäude einer intensiveren Nutzung zugeführt und die Fenster werden durch gut gedichtete (Einfach-) Thermofenster ersetzt, bleibt die thermische Schwachstelle in der Fensterleibung erhalten – bei zusätzlicher Erhöhung der Raumluftfeuchte aufgrund der wegfallenden Fugenlüftung und Entfeuchtung durch die Einscheibenverglasung, an welcher der Wasserdampf aus der Raumluft bisher kondensieren konnte.

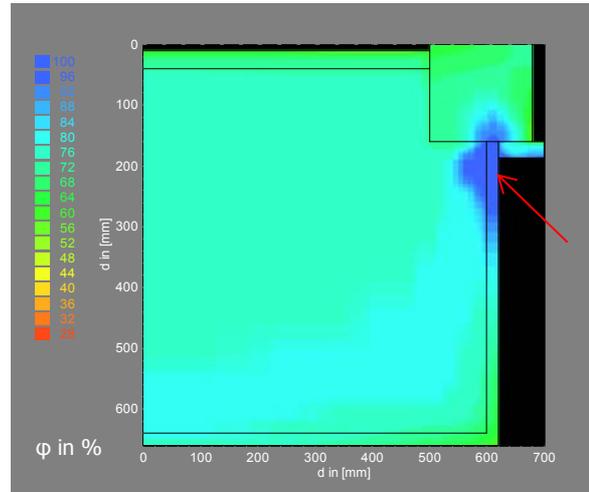
Eine gute Lösung sind Kastenfenster mit einem breiten Scheibenzwischenraum, deren U-Wert immer über dem der Wand liegen sollte → als "Sollbruchstelle" der Konstruktion, da Kondensat am Fenster keinen Schaden anrichtet - im Gegensatz zu Kondensat in Raumecken, an thermischen Schwachstellen und hinter Möbeln.

Kondensatgefährdete Bauteile sollten möglichst nicht mit organischen Substanzen beschichtet werden (z.B. Raufasertapeten), denn diese bieten einen guten Nährboden für Schimmelpilze.

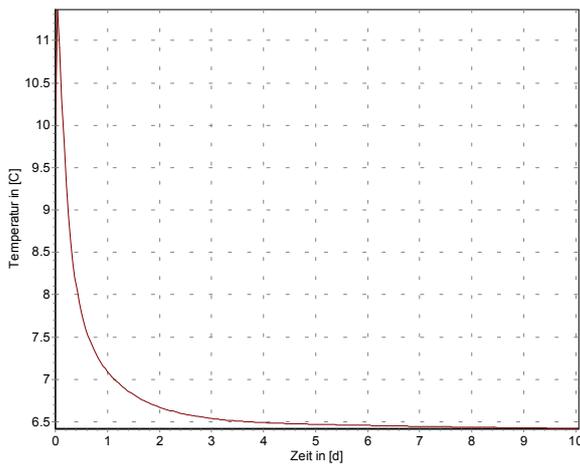
Fensterleibung – Einfachfenster – Bestand bzw. Thermoeinfachfenster



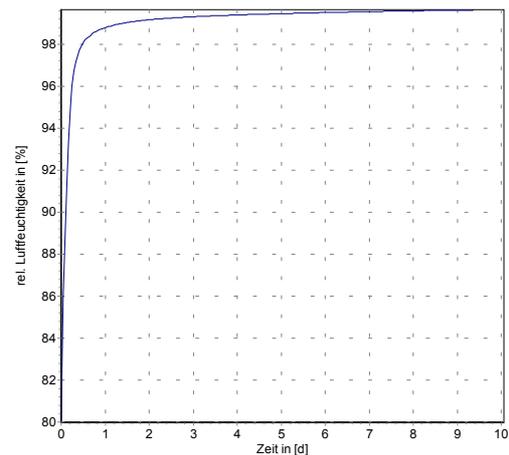
DELPHIN 4 - Simulation 4-31; Temperaturfeld – Granitwand - Horizontalschnitt - Fensteranschlag am Sandsteingewände



DELPHIN 4 - Simulation 4-32; relative Luftfeuchtigkeit



DELPHIN 4 - Simulation 4-33; Ecktemperatur Fensterrahmenholz/ Putz in der Fensterleibung



DELPHIN 4 - Simulation 4-34; relative Luftfeuchtigkeit in der Ecke

Für die Simulationen wurde Konstantklima angenommen (außen: -10°C, 80% relative Luftfeuchtigkeit, innen: 20°C, 50% relative Luftfeuchtigkeit, Belastungszeit: 10 Tage). Nach einem Zeitraum von 10 Tagen ändert sich am Feuchtigkeitsbild in der Fensterleibung kaum noch etwas. Diese Randbedingungen wurden für die folgenden Simulationen übernommen.

Die Simulation 4-34 macht deutlich, dass die relative Luftfeuchtigkeit im Eckbereich der Leibung bei tiefen winterlichen Temperaturen (Nordseite) – immer oberhalb der kritischen Luftfeuchtigkeit von 80% liegt und nach kurzer Zeit Tauwasser entstehen kann.

Die *DELPHIN 4* – Simulationen können **nicht** die Änderung des Raumluftzustandes berücksichtigen, der durch undichte Fensterfugen und durch kondensierende Luftfeuchte an der Einfachverglasung hervorgerufen wird. (-> φ im Einströmbereich kalter Außenluft – wesentlich geringer!)

Für moderne, sehr dichte Fenster können die Simulationen jedoch ein realistisches Bild abgeben – zumindest, wenn die Rahmenhölzer der Fenster nicht wesentlich stärker sind.

Für die Fenster und Fenstertüren des Entwurfsgebäudes sind Kastenfenster mit einem U- Wert von 2,2 bis 2,5 W/(m²K) vorgesehen. Der Scheibenzwischenraum wird mit 20,0 cm festgelegt, um die Wärmebrücke der Fensterleibung zu verringern.

Der U- Wert der Fenster liegt über dem der Wand.

Die Fensterleibungen sollten nur mit anorganischen Farben beschichtet werden. (z.B. Silikat-/ Kalkfarben = auch für andere Problemstellen sinnvoll !)

Die Türleibungen der Eingangstüren (Rahmenstärke der Türen ab 7,0 cm) sollten mit einem kapillaraktiven Dämmstoff (Calciumsilikat) versehen werden, um hier die Oberflächentemperatur anzuheben und eine Ansammlung von Kondensat während der Tauperiode zu vermeiden.

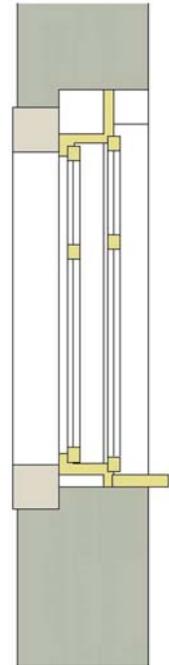


Abbildung 4—40

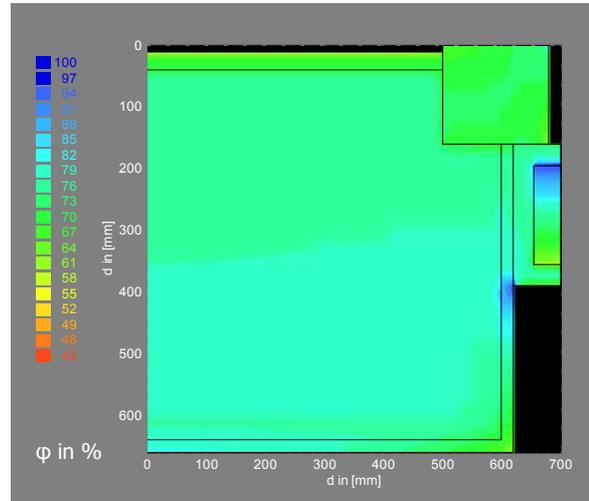
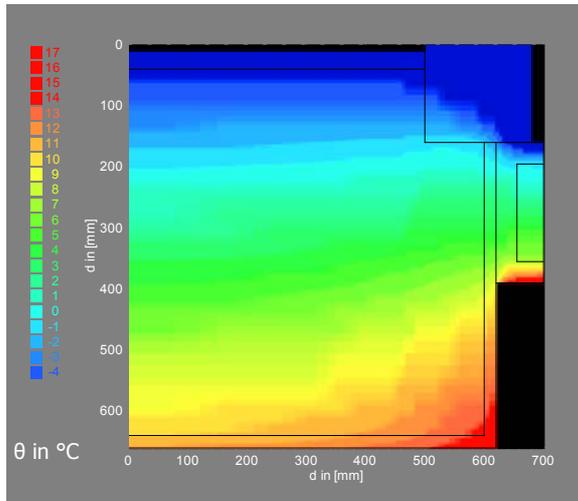


Abbildung 4—41, Ebenerdige Verbindungen von Innen- und Außenraum sind im Grünen - auf dem Land besonders angenehm. Natursteine sind – wo es möglich ist - im Leibungsbereich durch Dämmstreifen zu trennen.



Abbildung 4—42; Im Natursteingemäuer neu hergestellte Öffnungen können in der Leibung mit Ziegelsteinen aufgemauert werden.

Kastenfenster – Bestand (Abb. 4-40), Fensterleibung – Kalkzementputz

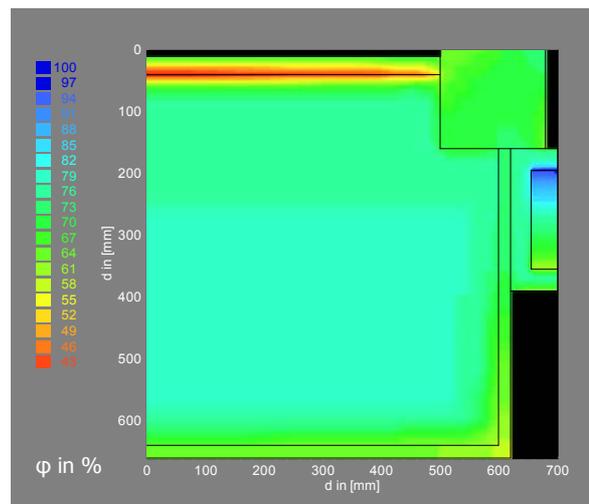
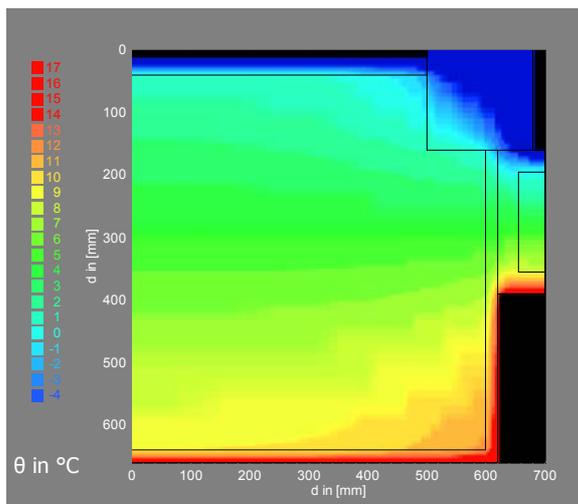


DELPHIN 4 - Simulation 4-35, Temperaturfeld – Fensteranschlag - Kastenfenster, Leibung mit Kalkzementputz verputzt

DELPHIN 4 - Simulation 4-36, relative Luftfeuchtigkeit

Kastenfenster verringern die Kondensatgefahr in der Fensterleibung. Unter extremen Belastungsbedingungen, wie hohe Raumlufteuchtigkeit – z.B. im Bad, schlechte Lüftung durch zu stark gedichtete Fensterfugen und lang andauernde Kälteperiode (- und Verschattung des Fensters), kann auch bei dieser Variante Tauwasser im Eckbereich auftreten. Die Fensterleibung wurde bei *DELPHIN 4* Simulation 4–35/36 mit Kalkzementmörtel verputzt.

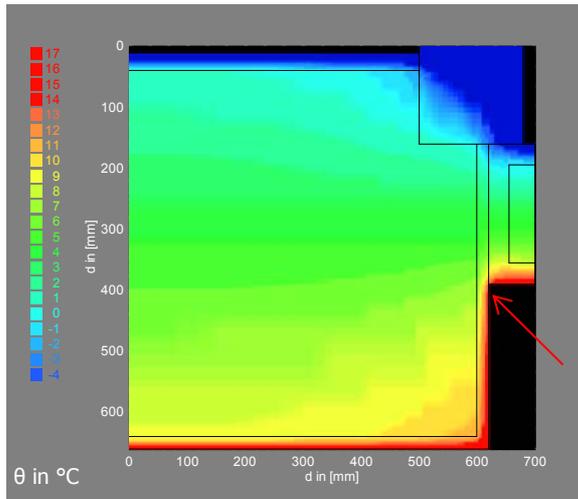
Kastenfenster –Entwurf (wie Abb. 4-40), Fensterleibung – Calciumsilikat



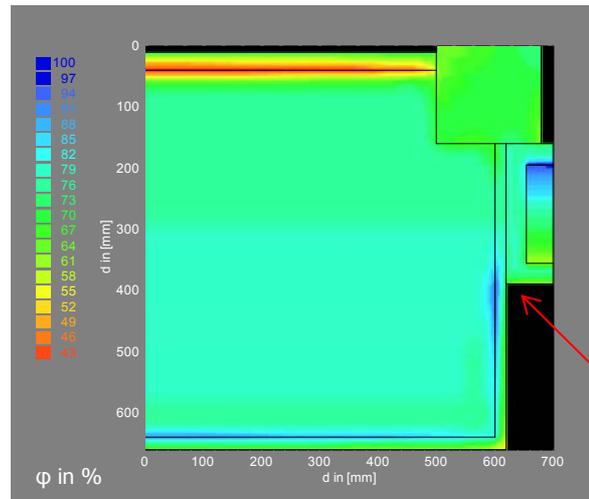
DELPHIN 4 - Simulation 4-37, Temperaturfeld Fensteranschlag - Kastenfenster, Leibung mit Calciumsilikat beschichtet

DELPHIN 4 - Simulation 4-38, relative Luftfeuchtigkeit
-> **keine Gefahr von Schimmelschäden** in der Leibung
-> **keine Ansammlung von Tauwasser** im Bauteil

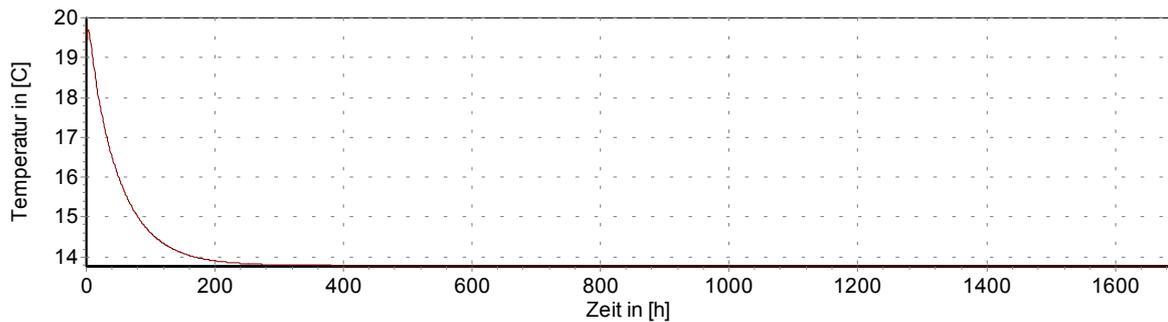
Kastenfenster –Entwurf (wie Abb. 4-40), Fensterleibung – Hydromentputz



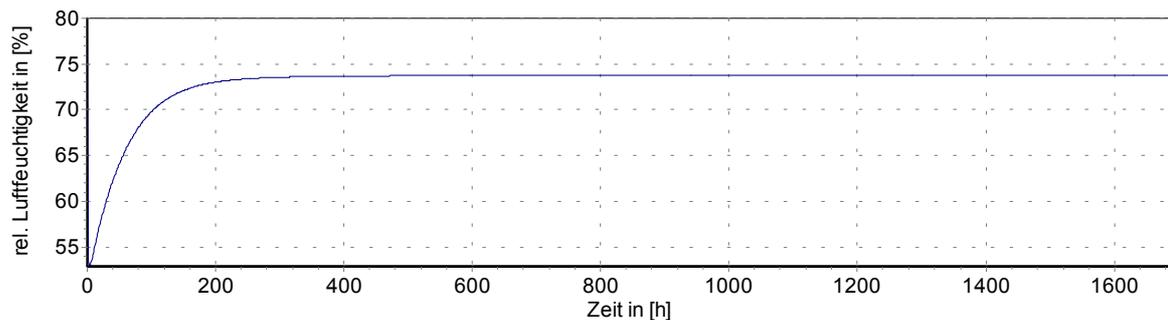
DELPHIN 4 - Simulation 4-39, Temperaturfeld Fensteranschlag - Kastenfenster, Leibung mit Hydromentputz beschichtet



DELPHIN 4 - Simulation 4-40, relative Luftfeuchtigkeit -> keine Gefahr von Schimmelschäden in der Leibung -> kein Tauwasser an der Bauteiloberfläche



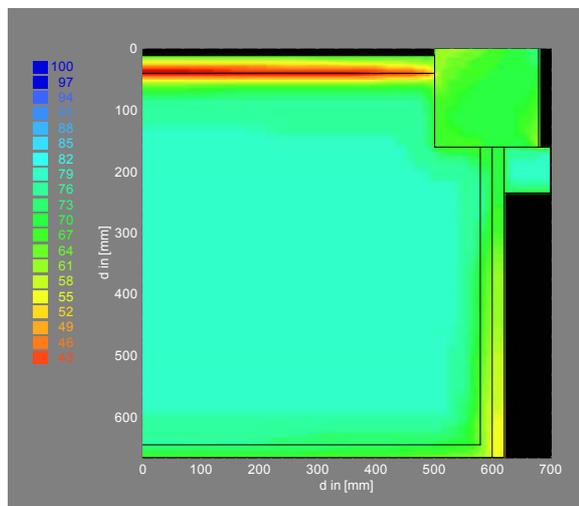
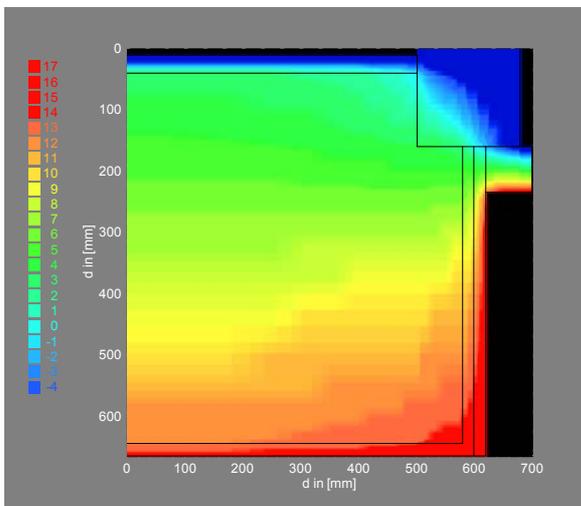
DELPHIN 4 - Simulation 4-41, Ecktemperatur - Fensterrahmenholz/ Putz in der Fensterleibung



DELPHIN 4 - Simulation 4-42, relative Luftfeuchtigkeit in der Ecke

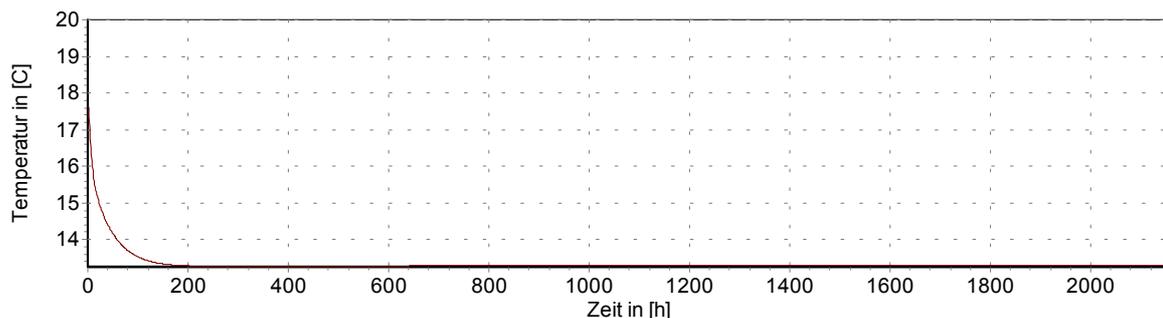
Im Salz belasteten Sockelbereich des Hauses müssen teilweise die Fensterleibungen mit einem entsprechenden Putz versehen werden. Diese Variante führt zu einer etwas stärkeren Feuchtebelastung der Konstruktion gegenüber Calciumsilikat. Schimmelschäden sind im Leibungsbereich jedoch nicht zu befürchten ($\varphi < 80\%$).

Eingangstür – Entwurf, Außenputz: Hydromentputz, Türleibung –Calciumsilikat auf Hydromentputz, Rahmenholz der Tür: $d = 7,5\text{ cm}$

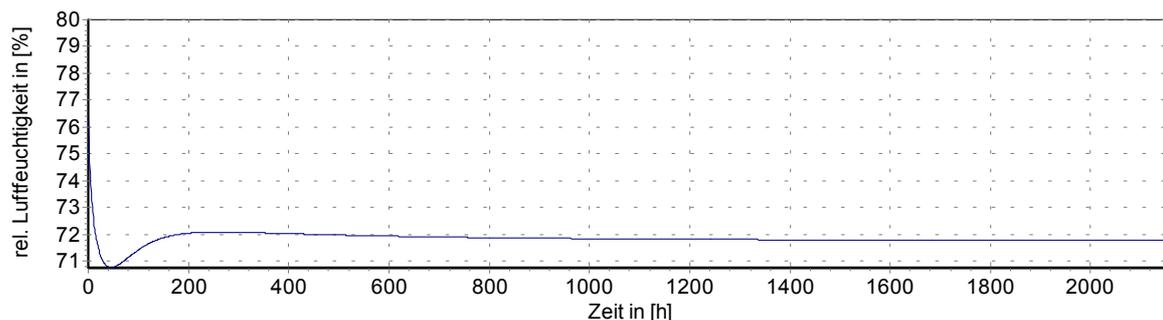


DELPHIN 4 - Simulation 4-43, Temperaturfeld, Türanschlag; Türleibung: Calciumsilikatplatten auf Hydromentputz geklebt

DELPHIN 4 - Simulation 4-44, relative Luftfeuchtigkeit



DELPHIN 4 - Simulation 4-45, Ecktemperatur - Türrahmenholz/ Putz in der Türleibung



DELPHIN 4 - Simulation 4-46, relative Luftfeuchtigkeit in der Ecke

Eingangstüren sollten Rahmenholzstärken von 7 cm nicht unterschreiten. Die Türleibung im Salz belasteten Sockelbereich wird 2 cm mit Hydromentputz beschichtet, darauf werden 2 cm Calciumsilikatplatten geklebt. Feuchte-/Schimmelschäden sind bei dieser Variante ebenfalls nicht zu befürchten ($\varphi < 80\%$).

4.12.2 FUNKTION DES FENSTERS ALS LÜFTUNGS- UND ENTFEUCHTUNGSELEMENT

Das Fenster ist nicht nur im geöffneten Zustand ein wichtiges Lüftungs- und Entfeuchtungselement – es kann auch im geschlossenen Zustand zur Vermeidung von Taupunktunterschreitung und Schimmelpilzbefall beitragen.

Im historischen Gebäude sollte das Fenster als „Sollbruchstelle“ der Konstruktion funktionieren → und den **höchsten Wärmedurchgangskoeffizienten** der Umfassungskonstruktion besitzen. Damit ist ausgeschlossen, dass an thermischen Schwachstellen der Konstruktion Oberflächenkondensat oder Schimmelpilze entstehen. Kondensat am Fenster schädigt nicht die Baukonstruktion und weist zudem den Nutzer darauf hin, die Fenster zum Lüften zu öffnen.

Ein starkes Schimmelpilzwachstum kann auftreten, wenn an mehr als fünf aufeinander folgenden Tagen täglich mehr als 12 Stunden die relative Luftfeuchtigkeit von 80% überschritten wird. [34] Um hohe Raumluftfeuchten zu vermeiden, sollte der **bauphysikalische Mindestluftwechsel nutzerunabhängig** gewährleistet sein.

Eine nutzerunabhängige (und vom Nutzer wenig manipulierbare) Lüftung kann über die Fugen der Fenster realisiert werden.

Die Kastenfenster, Fenstertüren und Eingangstüren erhalten deshalb nur einen Dichtungsgummi auf der Innenseite des Bauteils. Damit ist eine Luftdurchlässigkeit von ca. 1 bis 4 m³/h je m Fugenlänge gewährleistet¹¹. Die Luftmenge hängt von der Beschaffenheit des Fensters und seiner Fugen sowie der Druckdifferenz zwischen Innen- und Außenraum (-> Winddruck und/oder Temperaturunterschied) ab.

Beispielrechnung für die Westwohnung des Südgebäudes vom Rittergut Pegenau:

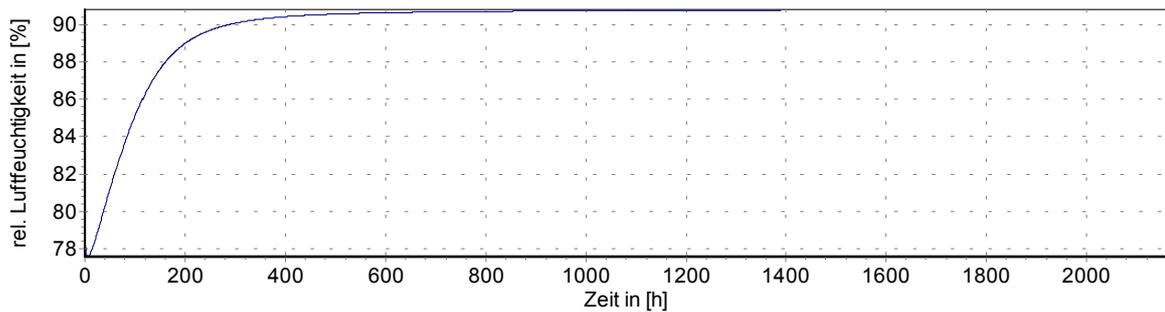
spezifische Fugendurchlässigkeit V_F :		$V_F = 1 - 4 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}$
Raumvolumen V :	$V = 213 \text{ m}^2 \text{ Grundfläche} \times 3 \text{ m Raumhöhe}$	$= 639,0 \text{ m}^3$
Mindestluftwechsel V_L (Absatz 4.13 LÜFTUNG) $V_L = 0,3 \text{ h}^{-1}$	$\rightarrow 639 \text{ m}^3 \times 0,3 \text{ h}^{-1}$	$= \mathbf{191,7 \text{ m}^3/\text{h}}$
Fugenlänge L_F der Fenster und Türen:		$L_F = 105,0 \text{ m}$
Luftwechsel V_F über Fensterfugen:	$V_F = 105 \text{ m} \times 2,5_{\text{(Mittelwert)}} \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}$	$= \mathbf{262,5 \text{ m}^3/\text{h}}$

Die Fugenlüftung kann im Winter den Mindestluftwechsel abdecken. Im Frühjahr und Sommer sind weitere Maßnahmen empfehlenswert. (-> Absatz 4.13 LÜFTUNG)

¹¹ Laasch (1994), S.774 [30]

4.13 LÜFTUNG

Historische Gebäude benötigen ganzjährig einen gleichmäßigen Raumlufzustand. Zu hohe Raumlufffeuchtigkeiten können im Winter zu Tauwasser und Schimmel aufgrund eines schlechten Wärmeschutzes einzelner Bauwerksteile führen – im Frühjahr und Sommer dagegen kondensiert zu feuchte Raumluff an massereichen, erdberührenden Bauteilen.



DELPHIN 4 - Simulation 4-47, relative Luftfeuchtigkeit in der Ecke zwischen Türleibung und Rahmenholz bei erhöhter Raumlufffeuchtigkeit $\varphi_i = 65\%$

Beispielsweise steigt die relative Luftfeuchtigkeit im Eckbereich der Türleibung (DELPHIN 4 – Simulation 4-43) schon nach 2 Tagen über den kritischen Wert von 80% (Simulation 4-47) bei einer Erhöhung der Raumlufffeuchtigkeit auf 65% - gegenüber 50% bei der Simulation 4-46 (- bei sonst gleichen Randbedingungen)

Raumlufffeuchtigkeiten von 65% und mehr sind in Feuchträumen, wie Bädern und Küchen keine Seltenheit:

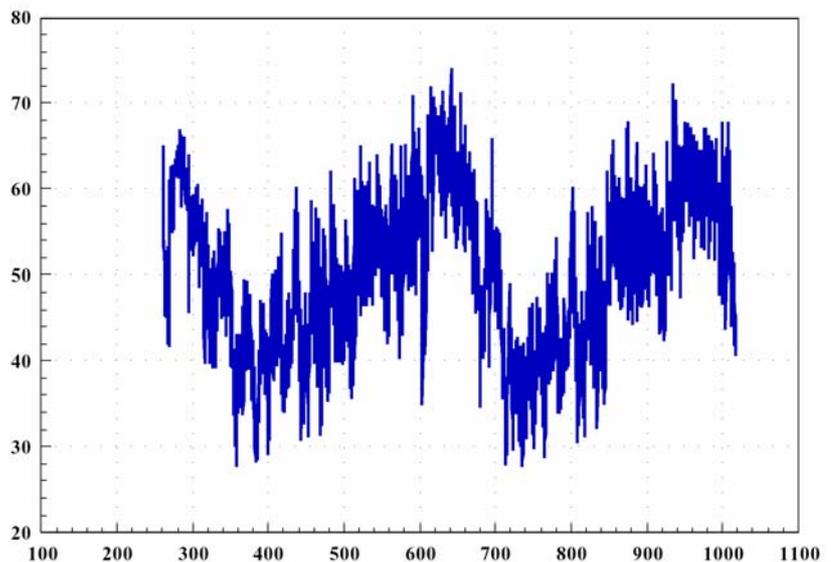


Abbildung 4—43, φ_{i-BAD} - über einen Zeitraum von zwei Jahren gemessene Raumlufffeuchtigkeit in einem Bad

Eine Grundlüftung allein reicht in diesen Räumen oft nicht aus.

- diese Räume müssen nach der Nutzung intensiv gelüftet werden
- während der Nutzung sollte möglichst am Entstehungsort die Feuchtigkeit abgeführt werden (z.B. Abzugshauben in der Küche)
- die Raumumfassungsflächen sollten nur sparsam mit nicht-wasserdampfaufnahmefähigen Materialien beschichtet sein
- Feuchtigkeit speichernde Materialien, wie spezielle Putze – z.B. *Klimaputz* oder auch Mobiliar können **- in Kombination mit einer funktionierenden Grundlüftung -** kurzzeitig Raumluftfeuchtigkeit aufnehmen und später wieder abgeben (dadurch φ_i -> gleichmäßiger)
- Feuchtigkeitsabgabe sollte – wo möglich – reduziert werden

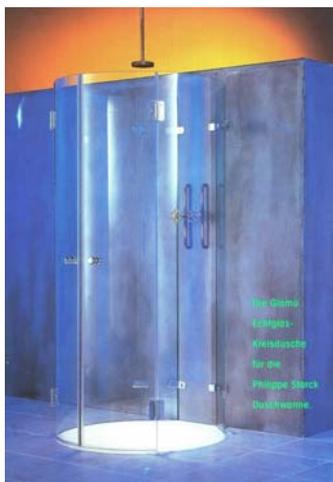


Abbildung 4—47, Duschen sollten möglichst geschlossen sein (2 – 3 kg Feuchteabgabe/Stunde)



Abbildung 4—44



Abbildung 4—45



Abbildung 4—46



Abbildung 4—48; Badbeispiele mit Feuchtigkeit regulierenden Materialien

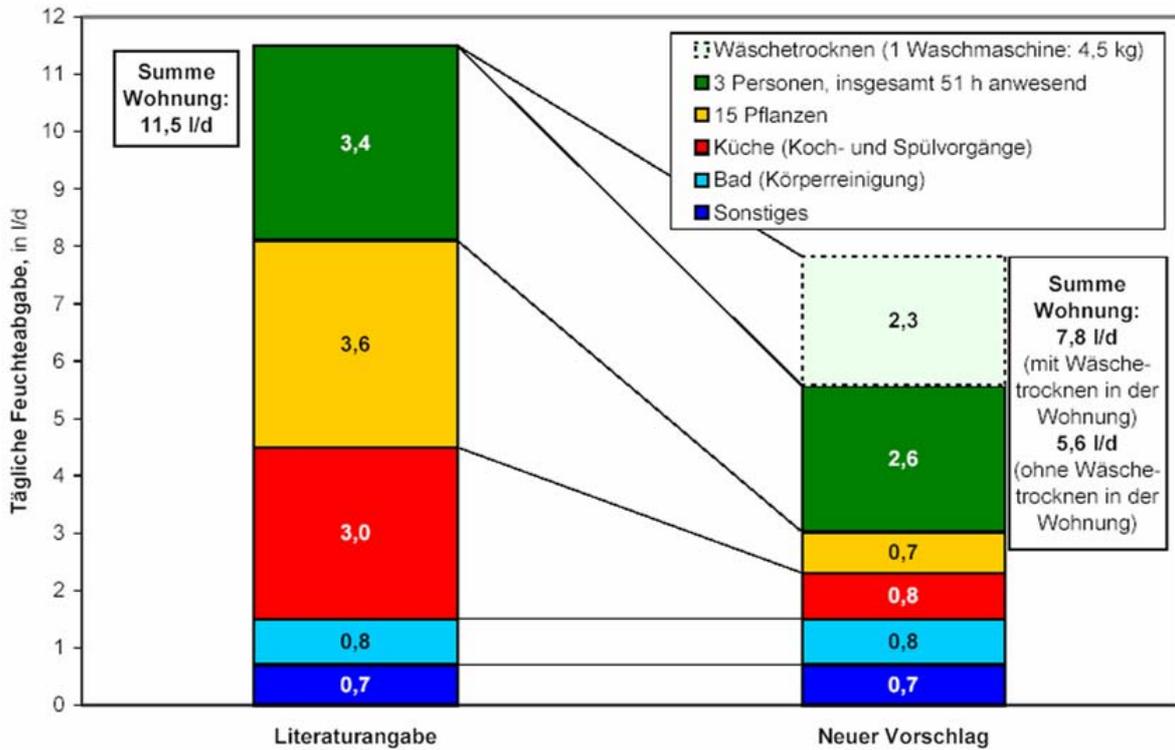


Abbildung 4—49, Tägliche Feuchteabgabe in einer 3-Personen-Modellwohnung
Vergleich von Literatur und neuem Vorschlag nach Richter [34]

Die Abbildung 4-43 zeigt die tägliche Feuchtigkeitsabgabe in einem 3-Personen-Haushalt. So unterschiedlich wie die theoretische Einschätzung der Feuchtigkeitsbelastung ist – kann auch das Nutzerverhalten sein. Der Architekt kann das kaum beeinflussen. Es ist daher sinnvoll, den bauphysikalisch notwendigen Mindestluftwechsel nutzerunabhängig durch das Lüftungskonzept zu gewährleisten – während die raumlufthygienischen Anforderungen über Fensterlüftung (Stoßlüftung) vom Nutzer bestimmt werden.

Raum	Schimmelpilzbedingter Mindestluftwechsel in h^{-1}			
	EFH ($\geq 30 \text{ m}^2$ Wohnfläche/Person)		MFH ($\geq 17 \text{ m}^2$ Wohnfläche/Person)	
	Neubau	Sanierung	Neubau	Sanierung
Wohnzimmer	0,15	0,20	0,15	0,25
Schlafzimmer	0,20	0,40	0,30	0,60
Kinderzimmer	0,25	0,45	0,35	0,70
Küche	0,20	0,35	0,25	0,40
Bad / WC	0,30	0,45	0,45	0,60
Wohnung	0,15	0,30	0,20	0,40

Abbildung 4—50, Mindestluftwechsel als Funktion von Gebäudetyp und -dämmzustand

Der Entwurf des Südgebäudes vom Rittergut Pegenau sieht großzügige Wohnungen vor, so dass die Wasserdampfbelastung pro Kubikmeter Raumluft relativ niedrig ist. Ein Luftwechsel von $0,3 \text{ h}^{-1}$ ist auch bei einem leicht durchfeuchteten Bauwerkssockel eine ausreichende Vorgabe.

Die Lüftung des Gebäudes ist als freie Lüftung über Fenster, Fugen und Schächte, die im Bauwerksinneren liegen (in Sanitärräumen), geplant. (Zeichnungen 4-10, 4-11 und 4-12)

Die Grundrisse der neuen Planung sind so gestaltet, dass eine Querlüftung nicht behindert wird, aus diesem Grund dürfen die Innentüren nicht völlig abgedichtet sein.

Alle Räume sind dadurch direkt oder indirekt am Abluftschacht angeschlossen.

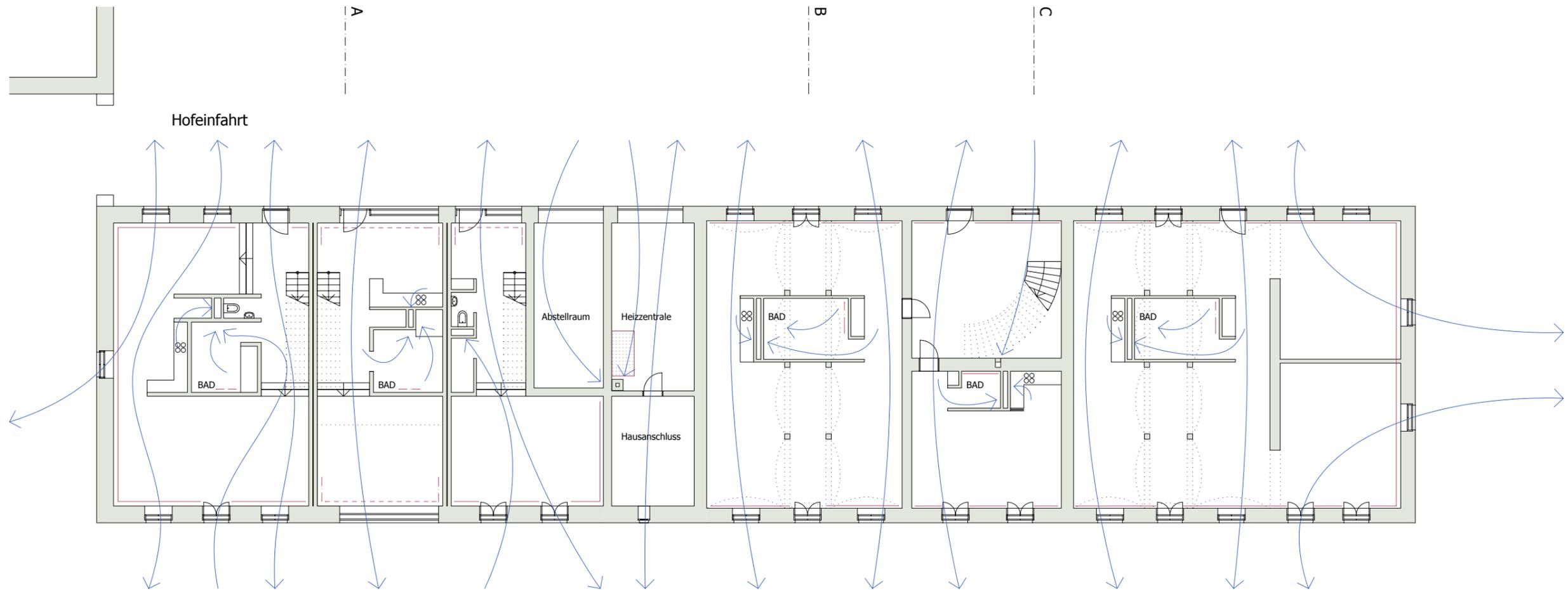
Durch den Einbau von 3 - Flügel - Kastenfenstern entsteht eine große Fugenlänge, die im Zusammenwirken mit den Abluftschächten und der Querlüftung des Gebäudes eine gute Grundlüftung gewährleistet. Um den Luftwechsel über die Fensterfugen zu vergrößern, können die Dichtungsgummis auch teilweise (- bei beschlagenen Fenstern) entfernt werden.

Eine regelmäßige Stoßlüftung wird als selbstverständlich vorausgesetzt.

Auch zeitweilig ungenutzte Räume des Erdgeschosses sollten aufgrund der aufsteigenden Feuchte schwach geheizt und gelüftet werden.



Abbildung 4—51, Abluftöffnung an einem Schornsteinzug (natürliche Lüftung); Thermischer Auftrieb gewährleistet eine kontinuierliche Lüftung in der kalten Jahreszeit. Im Sommer können kleine Gebläse die Luftbewegung unterstützen. (die Filterwirkung der Schachtöffnung verdeutlicht die Luftbewegung)



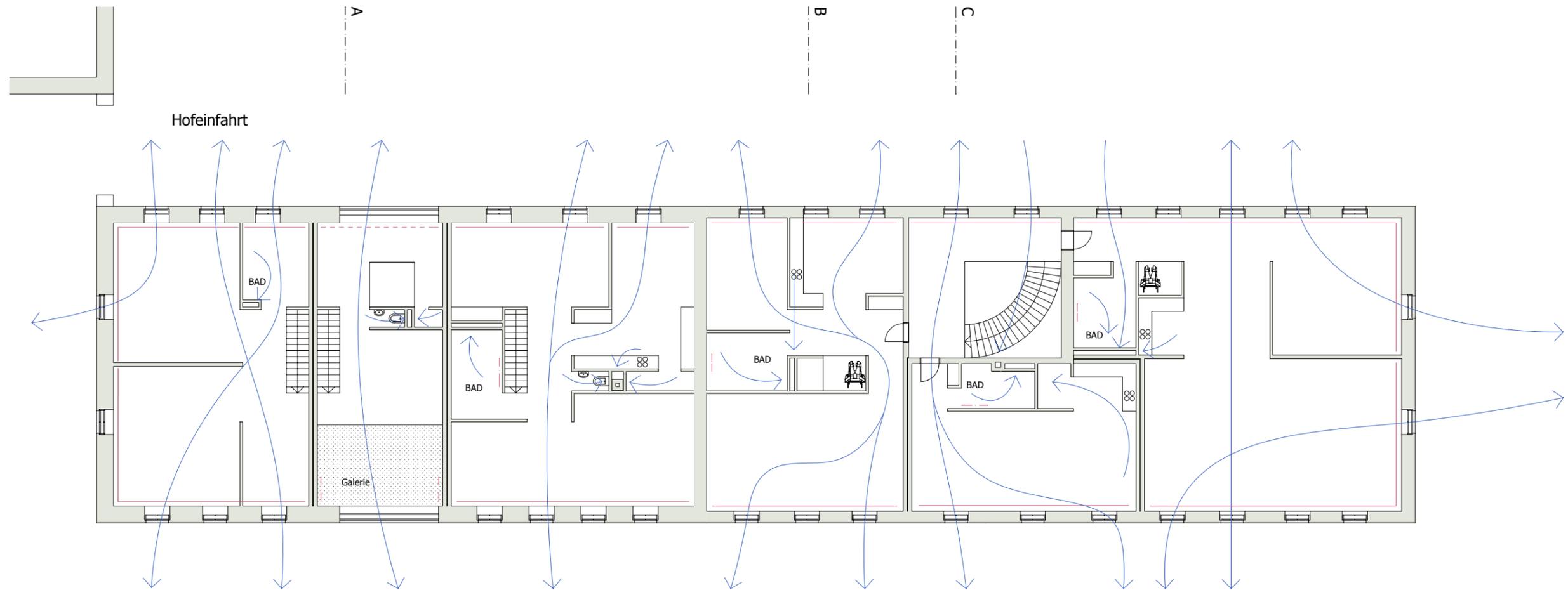
-  LUFTBEWEGUNGSMÖGLICHKEITEN DURCH FENSTER- UND TÜRFUGEN SOWIE ÖFFNUNGEN IM ABLUFTSCHACHT
DIE LÜFTUNG ERFOLGTE ÜBER QUERLÜFTUNG UND SCHACHTLÜFTUNG = WINDDRUCK UND THERMISCHER AUFTRIEB SICHERN DIE GRUNDLÜFTUNG DES GEBÄUDES
-  NIEDERTEMPERATUR GAS-BRENNWERKESSEL
-  LINIENFÖRMIGE HEIZFLÄCHEN ENTLANG DES SOCKELBEREICHES DER AUSSENWÄNDE = FUSSLEISTENKONVEKTOREN
-  GROSSFLÄCHIGE FLACHHEIZKÖRPER
-  BODENKANALHEIZUNG MIT NATÜRLICHER KONVEKTION

ENTWURFSPLAN DES SÜDGEBÄUDES VOM RITTERGUT PEGENAU

HEIZUNGS- UND LÜFTUNGSKONZEPT - ERDGESCHOSS

M 1 : 200





↪ LUFTBEWEGUNGSMÖGLICHKEITEN DURCH FENSTER- UND TÜRFUGEN SOWIE ÖFFNUNGEN IM ABLUFTSCHACHT
DIE LÜFTUNG ERFOLGT ÜBER QUERLÜFTUNG UND SCHACHTLÜFTUNG = WINDDRUCK UND THERMISCHER AUFTRIEB SICHERN DIE GRUNDLÜFTUNG DES GEBÄUDES

— LINIENFÖRMIGE HEIZFLÄCHEN ENTLANG DES SOCKELBEREICHES DER AUSSENWÄNDE = FUSSLEISTENKONVEKTOREN

- - - GROSSFLÄCHIGE FLACHHEIZKÖRPER

- - - - - BODENKANALHEIZUNG MIT NATÜRLICHER KONVEKTION

A

B

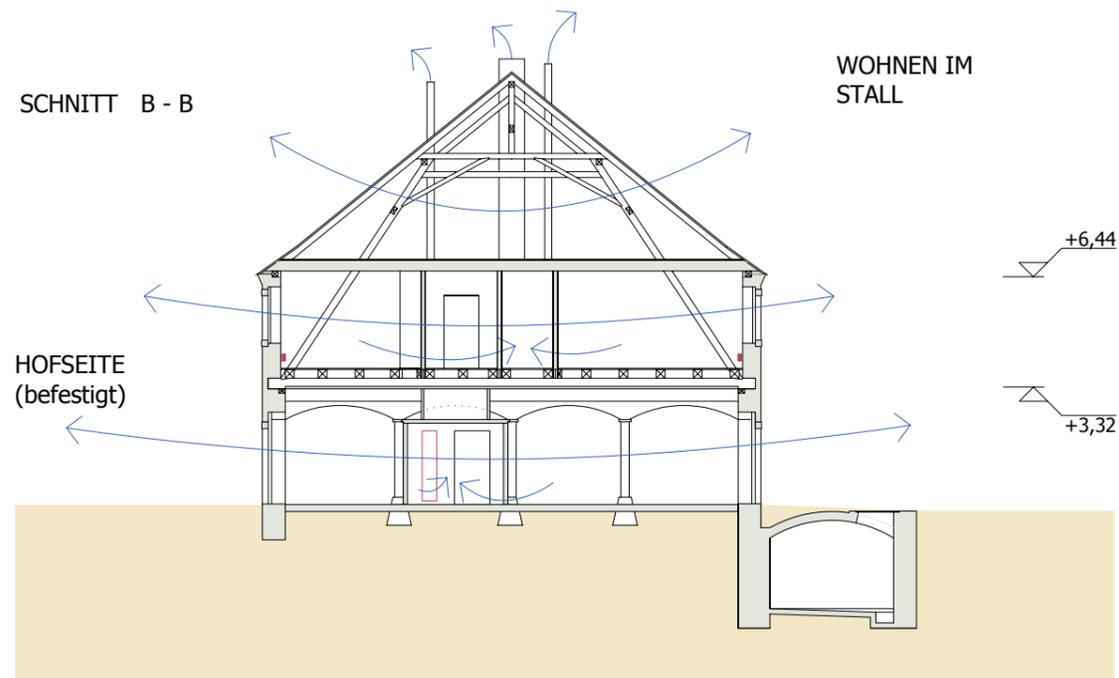
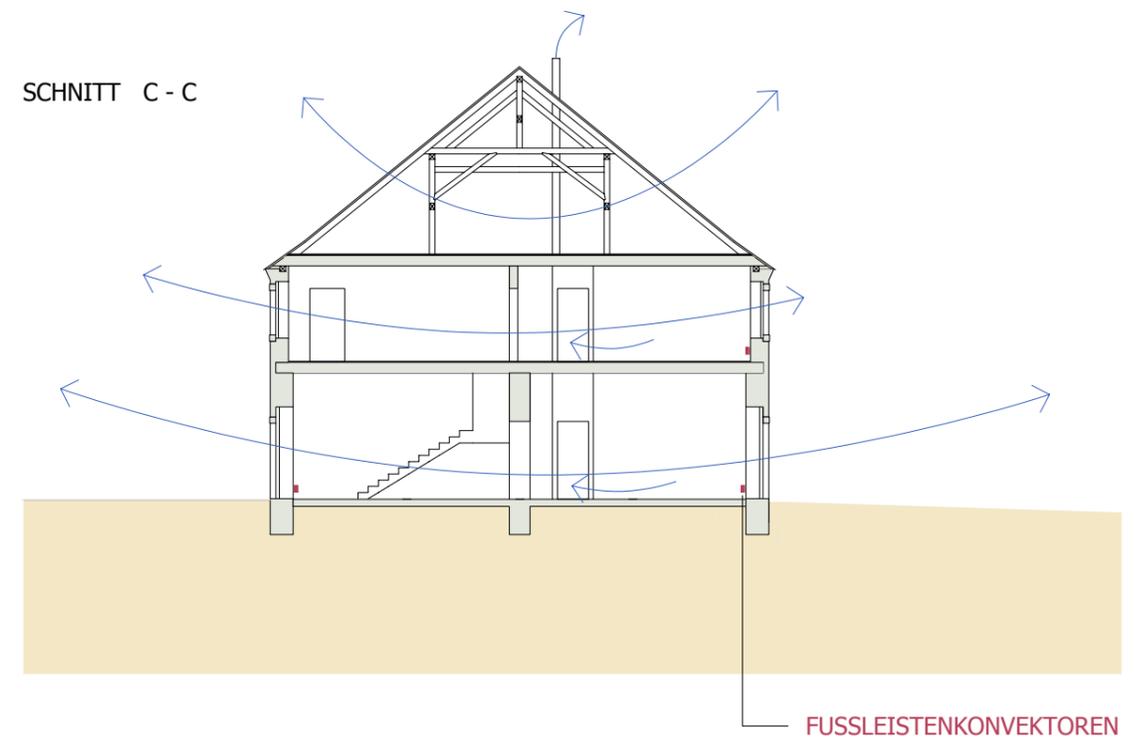
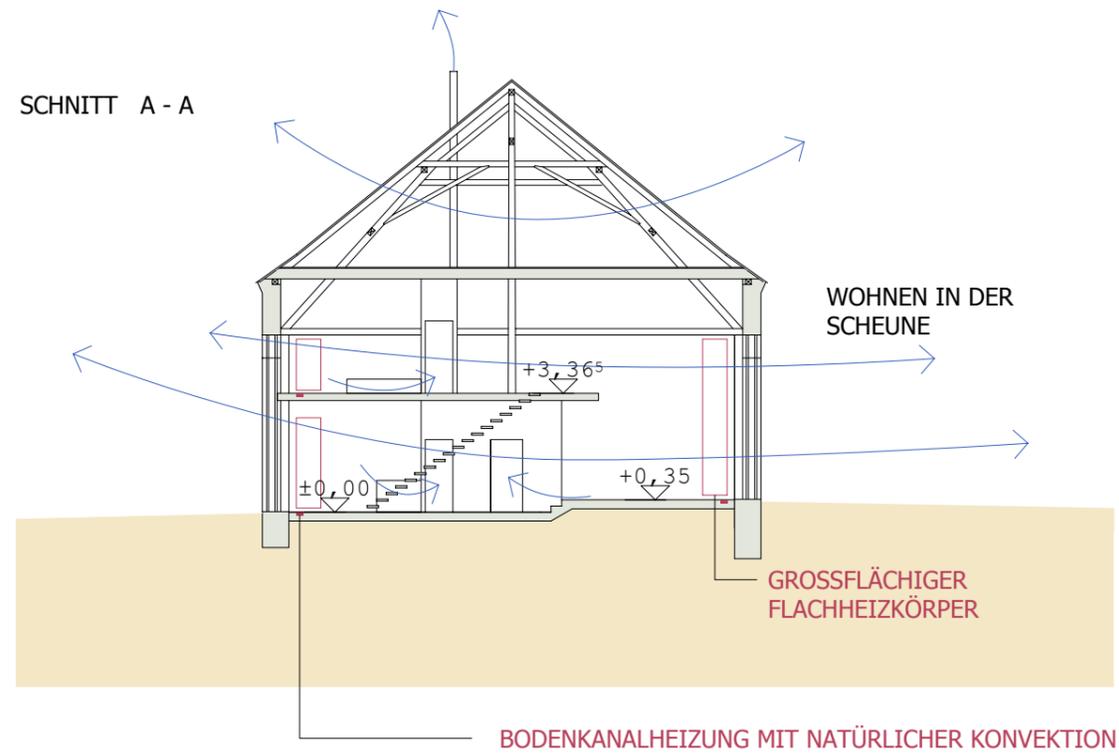
C



ENTWURFSPLAN DES SÜDGEBÄUDES VOM RITTERGUT PEGENAU

HEIZUNGS- UND LÜFTUNGSKONZEPT - OBERGESCHOSS

M 1 : 200



DIE LÜFTUNG ERFOLGT ÜBER QUERLÜFTUNG UND SCHACHTLÜFTUNG = WINDDRUCK UND THERMISCHER AUFTRIEB SICHERN DIE GRUNDLÜFTUNG DES GEBÄUDES

DAS GEBÄUDE WIRD ZENTRAL ÜBER EINEN NIEDERTEMPERATUR - GAS-BRENNWERKESSEL BEHEIZT.

DIE WÄRMEVERTEILUNG IN DEN WOHNUNGEN ERFOLGT IN DER REGEL ÜBER GROSSFLÄCHIGE LINIENFÖRMIGE FUSSLEISTENHEIZUNGEN, NEBEN GROSSEN VERGLASUNGEN ÜBER BODENKANALHEIZUNGEN UND IN DEN BÄDERN ÜBER WANDHÄNGENDE FLACHHEIZKÖRPER.

ENTWURFSPLAN DES SÜDGEBÄUDES VOM RITTERGUT PEGENAU

SCHNITTE A / B / C HEIZUNGS- UND LÜFTUNGSKONZEPT

4.14 HEIZUNG IM HISTORISCHEN GEBÄUDE

4.14.1 ANORDNUNG DER HEIZFLÄCHEN

Die bauklimatischen Besonderheiten historischer Gebäude müssen auch in der Planung der Heizanlage Berücksichtigung finden:

- Das Gebäude ist ein massives, nicht unterkellertes Haus, dessen große Speichermasse der Umfassungswände des Erdgeschosses ein sehr großes Wärmebeharrungsvermögen besitzen. Besonders an massereichen, erdberührenden, unzureichend gedämmten Bauteilen (Wärmeabfluss in das Erdreich →Sockelbereich) können nicht nur im Winter sondern auch im Frühjahr und Herbst Tauwasserschäden auftreten.

Für das gesamte Gebäude sind linienförmige Heizflächen (Fußleistenkonvektoren) im Sockelbereich der Außenwände geplant. (Zeichnungen 4-9 bis 4-12)

Diese erhöhen die Oberflächentemperatur in kritischen Bereichen, sie sorgen für Luftzirkulation auch im Eckbereich und hinter Möbelstücken. Fußleistenkonvektoren vermindern aufgrund der Luftströmung geringfügig den inneren Wärmeübergangswiderstand der Wand, sie erhöhen dadurch die Oberflächentemperatur der Außenwände und wirken sich positiv auf das Temperaturempfinden aus. Da diese Gebäude im Sockelbereich bis weit in die warme Jahreszeit geheizt werden müssen, ist eine Ergänzung der Heizanlage mit Sonnenkollektoren sinnvoll. Diese können ebenso für die Brauchwassererwärmung genutzt werden.

- Die beiden Erdgeschosswohnungen in den ehemaligen Stallräumen besitzen einen sehr großen Zwischenraum vom Tonnengewölbe bis zum Fußboden der darüber liegenden Wohnung. Dieser Bereich muss als thermisch angekoppelter Raum betrachtet werden. In diesem Zwischenraum stellen sich aufgrund der großen Abkühlungsfläche niedrigere Temperaturen als in den darüber und darunter liegenden Wohnungen ein. Damit sind Feuchteschäden im Auflagerbereich der Deckenbalken und der Schwellhölzer möglich. (Abb. 4-7, 4-8 und Zeichnung 4-6)

Für den Zwischenraum ist eine Heizleitung entlang der Außenwand geplant, um hier die gleiche Raumlufthtemperatur zu erreichen, wie in den angrenzenden Räumen. Die Temperaturregelung erfolgt zweistufig; neben der zentralen, witterungsgeführten Vorlauftemperaturregelung gibt es eine dezentrale Nachregelung mittels Thermostatventil oder elektronischem Einzelraumregelsystem.

- Die Fenster wurden als Kastenfenster so konzipiert, dass die Fensterleibung nicht Tauwasser gefährdet ist. Die Fensterscheiben dagegen stellen bewusst die thermische Schwachstelle der Konstruktion dar, an ihnen soll – für den Nutzer sichtbar – zuerst Feuchtigkeit aus der Raumlufth kondensieren.

Um diesen Effekt nicht aufzuheben, dürfen keine großen Heizflächen – wie normalerweise im Neubau üblich – unter den Fenstern angebracht werden.

Abweichend davon sind in den Wohnungen des Südgebäudes, die verglaste Scheunentoröffnungen besitzen, Fußbodenkanalheizungen mit natürlicher Konvektion vor den großen Glasflächen vorgesehen. Sie wirken im unteren Scheibenbereich Zugerscheinungen entgegen, besitzen eine geringe Masse – sind reaktionsschnell und können dadurch Wärmegewinne durch die große Verglasung auch nutzbar machen. (Zeichnungen 4-10 bis 4-12)

4.14.2 HINWEISE FÜR DEN NUTZER

Ein dem Bauwerk angepasstes Nutzerverhalten kann zur Vermeidung von Bauschäden beitragen.

Beispielsweise ist die kontinuierliche Nutzung mit entsprechend stetiger Beheizung - der unregelmäßigen Nutzung und dem damit verbundenen Wechsel zwischen schnellem Aufheizen und zwischenzeitlichem Abkühlen vorzuziehen, da massereiche Bauteile aufgrund ihrer Temperaturträgheit dann oftmals zu niedrigere Oberflächentemperaturen am Nutzungsbeginn aufweisen.

Eine "leistungsfähige" (überdimensionierte!) Heizungsanlage, die solch einen schnellen Aufheizvorgang möglich macht, ist nicht zu empfehlen, denn Unkenntnis des Nutzers oder falsche Sparsamkeit können zu Schäden am Bauwerk führen.

Ungenutzte Räume im Erdgeschoss mit Kontakt zur Außenwand sollten leicht temperiert werden, damit der Bauwerkssockel austrocknet und nicht durch die Lüftung mit warmer (feuchter) Außenluft kalte Bauwerksteile befeuchtet werden.



Abbildung 4—52; Mobiliar im historischen Gebäude -
Luftschlitz unter dem Schrank + Abstand zur Außenwand
ermöglichen die notwendige Luftbewegung.



Abbildung 4—53, Treppe im historischen Gebäude;
Das Fehlen der untersten Setzstufe ermöglicht eine bessere
Luftzirkulation entlang der Außenwand.

Möbel und Einbauteile sollten nicht die Luftströmung entlang der Außenwand behindern. Beispielsweise kann die unterste Setzstufe einer Treppe, die sich im Sockelbereich einer Natursteinaußenwand befindet, entfernt werden.

Mobiliar, das direkt die Außenwand berührt, wirkt als Innendämmung – und birgt die Gefahr von Kondensat- und Schimmelbildung.

Die geplante Fußleistenheizung zwingt den Nutzer zum bauklimatisch richtigen Verhalten, denn große Schränke können nicht mehr direkt an die Außenwand gestellt werden.

4.14.3 AUSWAHL DES HEIZSYSTEMS

Heizung Erzeugung: Brennwertkessel 55/45 °C
Verteilung: horizontale Verteilung außerhalb thermischer Hülle
(über den Dachboden),
Verteilungsstränge innenliegend, geregelte Pumpen
Übergabe: Radiatoren, Anordnung im Außenwandbereich,
Thermostatventile 1 K (Zeichnungen 4-10 bis 4-12)

**Trink-
wasser** Erzeugung: zentral, Brennwertkessel
Speicherung: indirekt beheizter Speicher,
Verteilung: außerhalb thermischer Hülle, mit Zirkulation

4.14.4 HEIZENERGIEBEDARF NACH ENEV

Die *Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden* (Energieeinsparverordnung – EnEV [37]) schreibt in § 8 die Vorgehensweise bei der Änderung von Gebäuden vor. Danach sind bei Sanierungsarbeiten größeren Umfanges folgende Höchstwerte der *Wärmedurchgangskoeffizienten U* einzuhalten:

U_{Fenster}	1,70 W/m ² K	
$U_{\text{Außenwand}}$	0,35 W/m ² K	
$U_{\text{Decke zum Dachboden}}$	0,30 W/m ² K	
$U_{\text{Fußboden auf Erdreich}}$	0,40 W/m ² K	(Auszug aus § 8 Abs. 1, Anhang 3, Tabelle 1 EnEV)

Um das Gebäude **schadensfrei** zu sanieren, können diese Anforderungen nur für die oberste Geschoßdecke und den Fußboden auf Erdreich eingehalten werden, nicht aber für die Außenwände und Fenster. Für diese Bauteile sieht die Energieeinsparverordnung in § 16 Abs. 1 eine Ausnahmeregelung vor. Darin heißt es: „Soweit bei Baudenkmälern oder sonstiger besonders erhaltenswerter Bausubstanz die Erfüllung der Anforderungen dieser Verordnung die Substanz oder das Erscheinungsbild beeinträchtigen und andere Maßnahmen zu einem unverhältnismäßig hohen Aufwand führen würden, lassen die nach Landesrecht zuständigen Behörden auf Antrag Ausnahmen zu.“ [37]

Historische Gebäude können auch bei sorgfältiger Planung von Wärmeschutzmaßnahmen keinen Niedrigenergiehausstandard erreichen. Der Heizenergiebedarf lässt sich jedoch auf ein vertretbares Maß reduzieren.

Die Fußböden zum Erdreich und die oberste Geschoßdecke im Südgebäude des Rittergutes Pegenau lassen sich nach heutigem Stand der Technik dämmen. Der Wärmedurchgang durch die Außenwände und Fenster kann halbiert werden und der Einbau eines effektiven - modernen Heizsystems mit einer geringen Anlagenaufwandszahl (siehe Absatz 4.14.4.1 BERECHNUNGSKENNWERTE) sichert einen so niedrigen Primärenergiebedarf, dass sogar die strengen Forderungen der EnEV nur um rund 30% überschritten werden. (siehe Absatz 4.14.4.2 BERECHNUNG)

4.14.4.1 BERECHNUNGSKENNWERTE

Energiebedarf

Energiemenge, die unter genormten Bedingungen (z.B. mittlere Klimadaten, definiertes Nutzerverhalten, zu erreichende Innentemperatur, angenommene innere Wärmequellen) für Beheizung, Lüftung und Warmwasserbereitung (nur Wohngebäude) zu erwarten ist. Diese Größe dient der ingenieurmäßigen Auslegung des baulichen Wärmeschutzes von Gebäuden und ihrer technischen Anlagen für Heizung, Lüftung, Warmwasserbereitung und Kühlung sowie dem Vergleich der energetischen Qualität von Gebäuden. Der tatsächliche Verbrauch weicht in der Regel wegen der realen Bedingungen vor Ort (z.B. örtliche Klimabedingungen, abweichendes Nutzerverhalten) vom berechneten Bedarf ab.

Endenergiebedarf

Energiemenge, die den Anlagen für Heizung, Lüftung, Warmwasserbereitung und Kühlung zur Verfügung gestellt werden muss, um die normierte Rauminnentemperatur und die Erwärmung des Warmwassers über das ganze Jahr sicherzustellen. Diese Energiemenge bezieht die für den Betrieb der Anlagentechnik (Pumpen, Regelung, usw.) benötigte Hilfsenergie ein. Die Endenergie wird an der „Schnittstelle“ Gebäudehülle übergeben und stellt somit die Energiemenge dar, die dem Verbraucher geliefert und mit ihm abgerechnet wird.

Jahres-Primärenergiebedarf

Jährliche Energiemenge, die zusätzlich zum Energieinhalt des Brennstoffes und der Hilfsenergien für die Anlagentechnik mit Hilfe der für die jeweiligen Energieträger geltenden Primärenergiefaktoren auch die Energiemenge einbezieht, die für Gewinnung, Umwandlung und Verteilung der jeweils eingesetzten Brennstoffe (vorgelagerte Prozessketten außerhalb des Gebäudes) erforderlich ist. Die Primärenergie kann auch als Beurteilungsgröße für ökologische Kriterien, wie z.B. CO₂- Emission, herangezogen werden, weil damit der gesamte Energieaufwand für die Gebäudebeheizung einbezogen wird. Der Jahres-Primärenergiebedarf ist die Hauptanforderung der Energieeinsparverordnung.

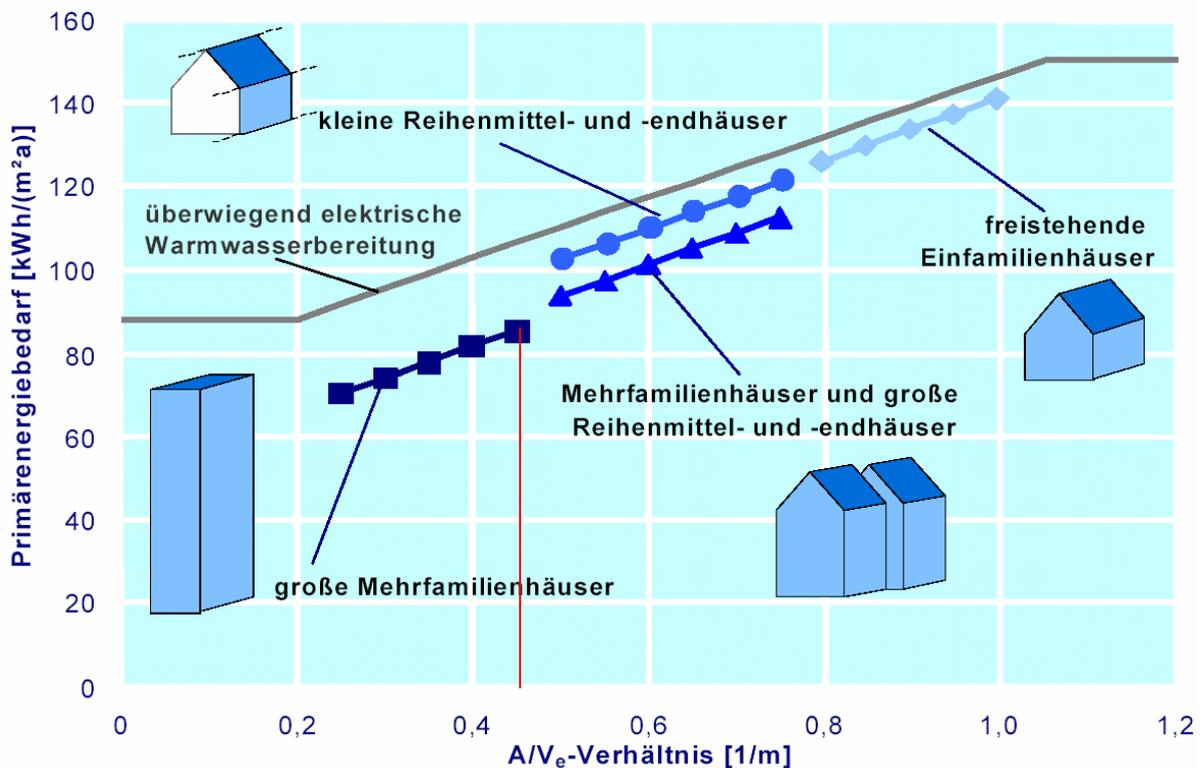


Abbildung 4—54; zulässiger Primärenergiebedarf für Wohngebäude mit unterschiedlicher Warmwasserbereitung in Abhängigkeit vom A/V_e-Verhältnis (A/V_e-Verhältnis für das Südgebäude = 0,46 m⁻¹)

Anlagenaufwandszahl

Sie beschreibt die energetische Effizienz des gesamten Anlagensystems über Aufwandszahlen. Die Aufwandszahl stellt das Verhältnis von Aufwand zu Nutzen (eingesetzter Brennstoff zu abgegebener Wärmeleistung) dar. Je kleiner die Zahl ist, umso effizienter ist die Anlage. Die Aufwandszahl schließt auch die anteilige Nutzung erneuerbarer Energien ein. Deshalb kann dieser Wert auch kleiner als 1,0 sein. Bei der hier angegebenen „Anlagenaufwandszahl“ ist die „Primärenergie“ einbezogen. Die Zahl gibt also an, wie viele Einheiten (kWh) Energie aus der Energiequelle (z. B. einer Erdgasquelle) gewonnen werden müssen, um mit der beschriebenen Anlage eine Einheit Nutzwärme im Raum bereitzustellen. Bei Wohngebäuden ist in der Anlagenaufwandszahl auch die Bereitstellung einer normierten Warmwassermenge berücksichtigt. [36]

4.14.4.2 BERECHNUNG

Nachweis der Anforderungen nach Energieeinsparverordnung - Wohngebäude - MONATSBILANZ -							
Objekt: Rittergut Pegenau Südgebäude, Entwurf							
1. Gebäudedaten							
1							
2	Volumen (Außenmaß) [m ³]	$V_e = 5.812,8$					
	Nutzfläche [m ²]	$A_N = 0,32 * V_e = 0,32 * 5.812,78 = 1.860,1$					
	A/V _e -Verhältnis [1/m]	$A/V_e = 2.681,77 / 5.812,78 = 0,46$					
2. Wärmeverlust							
2.1 Transmissionswärmeverlust [W/K]							
5	Bauteil	Kurzbezeichnung	Fläche A _i [m ²]	Wärmedurchgangskoeffizient U _i [W/(m ² K)]	U _i * A _i [W/K]	Temperatur-Korrekturfaktor F _{xi} [-]	U _i * A _i * F _{xi} [W/K]
6	Außenwand ¹² (Orientierung: siehe Zeilen 85-96)	AW 1	67,10	1,20	80,52	1	80,52
7		AW 2	67,10	0,99	66,43	1	66,43
8		AW 3	92,00	1,13	103,96	1	103,96
9		AW 4	92,00	0,92	84,64	1	84,64
10		AW 5	46,02	1,13	52,00	1	52,00
11		AW 6	46,02	0,95	43,72	1	43,72
12		AW 7	91,24	1,20	109,49	1	109,49
13		AW 8	91,24	0,99	90,33	1	90,33
14		AW 9	73,68	1,13	83,26	1	83,26
15		AW 10	73,68	0,92	67,79	1	67,79
16		AW 11	46,47	1,13	52,51	1	52,51
17		AW 12	46,47	1,16	53,91	1	53,91
18	Fenster (Orientierung: siehe Zeilen 71-80)	W 1	45,80	2,50	114,50	1	114,50
19		W 2	35,10	1,50	52,65	1	52,65
20		W 3	6,80	2,50	17,00	1	17,00
21		W 4	61,85	2,50	154,63	1	154,63
22		W 5	20,00	1,50	30,00	1	30,00
23		W 6	5,90	2,50	14,75	1	14,75
24		W 7				1	
25		W 8				1	
26		W 9				1	
27		W 10				1	
28	Haustür (Orientierung/Neigung: siehe Zeilen 97-98)	T 1	12,50	1,80	22,50	1	22,50
29		T 2				1	
30	Dach (Orientierung/Neigung: siehe Zeilen 99-106)	D 1				1	
31		D 2				1	
32		D 3				1	
33		D 4				1	
34		D 5				1	
35		D 6				1	
36		D 7				1	
37		D 8				1	

¹² Die Wärmedurchgangskoeffizienten U für die Außenwände wurden aus den verschiedenen Wandstärken mit den für Erd- und Obergeschoss jeweils unterschiedlichen Beschichtungen errechnet.

2.1 Transmissionswärmeverlust [W/K] - Fortsetzung								
38								
39	Bauteil	Kurzbezeichnung	Fläche A_i [m ²]	Wärmedurchgangskoeffizient U_i [W/(m ² K)]	$U_i * A_i$ [W/K]	Temperatur-Korrekturfaktor F_{xi} [-]	$U_i * A_i * F_{xi}$ [W/K]	
40	Oberste Geschößdecke	D 9	830,40	0,17	137,02	0,8	109,61	
41		D10				0,8		
42		D11				0,8		
43	Wand gegen Abseitenraum	AbW 1				0,8		
44		AbW 2				0,8		
45		AbW 3				0,8		
46	Wände, Türen und Decken zu unbeheizten Räumen	AB 1				0,5		
47		AB 2				0,5		
48		AB 3				0,5		
49	Wände, Türen, Decken zu niedrig beheizten Räumen	AB 4				0,35		
50		AB 5				0,35		
51	Kellerdecke zum unbeheizten Keller, Fußboden auf Erdreich, Flächen des beheizten Kellers gegen Erdreich, aufgeständerter Fußboden	G 1	830,40	0,18	149,47	0,45	67,26	
52		G 2						
53		G 3						
54		G 4						
55		G 5						
56	$\Sigma A_i = A =$		2681,77	$\Sigma U_i * A_i * F_{xi} =$			1.471,45	
57	Wärmebrücken-korrekturwert	pauschal - <u>ohne</u> Berücksichtigung DIN 4108 Bbl. 2			[W/(m ² K)] $\Delta U_{WB} =$			
58		optimiert - <u>mit</u> Berücksichtigung DIN 4108 Bbl. 2			[W/(m ² K)] $\Delta U_{WB} =$		0,050	
59		detailliert - gem. DIN EN ISO 10211-2			[W/(m ² K)] $\Delta U_{WB} =$			
60	Transmissionswärmeverlust:		$H_T = \Sigma (U_i * A_i * F_{xi}) + \Delta U_{WB} * A$ $H_T = 1.471,45 + 0,05 * 2.681,77 \quad H_T = 1.605,54$					
2.2 Lüftungswärmeverlust [W/K]								
62	beheiztes Luftvolumen	kleine Gebäude ¹⁾	$V = 0,76 * V_e = 0,76 * 5.812,78$		[m ³] $V =$	4.417,71		
63		große Gebäude ²⁾	$V = 0,80 * V_e = 0,80 * \underline{\hspace{2cm}}$		[m ³] $V =$			
64	Luftwechselrate	ohne Dichtheitsprüfung				[h ⁻¹] $n =$		
65		mit Dichtheitsprüfung, Fensterlüftung und Zu-/Abluftanlagen				[h ⁻¹] $n =$	0,60	
66		mit Dichtheitsprüfung, Abluftanlagen				[h ⁻¹] $n =$		
67	Lüftungswärmeverlust:		$H_V = 0,34 \text{ Wh/(m}^3\text{K)} * n * V$ $H_V = 0,34 * 0,60 * 4.417,71 \quad H_V = 901,21$					

¹⁾ kleine Gebäude: bis 3 Vollgeschosse; ²⁾ übrige Gebäude

3. Wärmegewinne								
3.1 Solare Wärmegewinne transparenter Bauteile $Q_{s,t}$ [kWh/a]								
70	Orientierung/Neigung	Kurzbezeichnung	Fläche A_i [m ²]	Gesamtenergie-durchlaßgrad g_i [-]	Ver-schattung ³⁾ $F_S \leq 0,9$ [-]	Minderung Rahmen ⁴⁾ F_F [-]	Strahlungs-intensität $I_{s,i,M}$ [W/m ²]	
71	Nord - 90°	W 1	45,8		0,9	0,7	Monatswerte werden nicht dargestellt	
72	Nord - 90°	W 2	35,1		0,9	0,7		
73	Ost/West - 90°	W 3	6,8		0,9	0,7		
74	Süd - 90°	W 4	61,85		0,9	0,7		
75	Süd - 90°	W 5	20		0,9	0,7		
76	Ost/West - 90°	W 6	5,9		0,9	0,7		
77		W 7			0,9	0,7		
78		W 8			0,9	0,7		
79		W 9			0,9	0,7		
80		W 10			0,9	0,7		
81	Solare Wärmegewinne $\Phi_{s,t,M} = \sum (A_i * g_i * F_{S,i} * F_C * F_W * F_F * I_{s,i,M})$						[W] $\Phi_{s,t,M} =$	Monatswerte
82	über transparente Bauteile: $Q_{s,t,M} = \sum (0,024 * \Phi_{s,t,Mi} * t_M)$						$Q_{s,t,M} =$	Monatswerte
3.2 Solare Wärmegewinne opaker Bauteile $Q_{s,o}$ [kWh/a]								
84	Orientierung/Neigung	Kurzbezeichnung	Fläche A_i [m ²]	Strahlungsab-sorptionsgrad ⁵⁾ α_i [-]	übrige Parameter $U_i * R_e$ [-]		Strahlungs-intensität $I_{s,i,M}$ [W/m ²]	
85	Nord - 90°	AW 1	67,1	0,50	0,048		20	
86	Nord - 90°	AW 2	67,1	0,50	0,040		20	
87	Nord - 90°	AW 3	92	0,50	0,045		20	
88	Nord - 90°	AW 4	92	0,50	0,037		20	
89	Ost/West - 90°	AW 5	46,02	0,50	0,045		20	
90	Ost/West - 90°	AW 6	46,02	0,50	0,038		20	
91	Süd - 90°	AW 7	91,24	0,50	0,048		20	
92	Süd - 90°	AW 8	91,24	0,50	0,040		20	
93	Süd - 90°	AW 9	73,68	0,50	0,045		20	
94	Süd - 90°	AW 10	73,68	0,50	0,037		20	
95	Ost/West - 90°	AW 11	46,47	0,50	0,045		20	
96	Ost/West - 90°	AW 12	46,47	0,50	0,046		20	
97	Nord - 90°	T 1	12,5	0,50	0,072		20	
98		T 2		0,50				
99		D 1		0,80				
100		D 2		0,80				
101		D 3		0,80				
102		D 4		0,80				
103		D 5		0,80				
104		D 6		0,80				
105		D 7		0,80				
106		D 8		0,80				
107	Solare Wärmegewinne $\Phi_{s,o,M} = \sum (U_i * A_i * R_e * (\alpha_i * I_{s,i,M} - F_{f,i} * h * \Delta\vartheta_{er}))$						[W] $\Phi_{s,o,M} =$	Monatswerte
108	über opake Bauteile: $Q_{s,o,M} = \sum (0,024 * \Phi_{s,o,Mi} * t_M)$						$Q_{s,o,M} =$	Monatswerte
3.3 Interne Wärmegewinne Q_i [kWh/a]								
110	Interne Wärmegewinne: $Q_{i,M} = 0,024 * q_i * A_N * t_M = 0,024 * 5 \text{ W/m}^2 * A_N * t_M$						$Q_{i,M} =$	Monatswerte

³⁾ $F_S = 0,9$ für übliche Anwendungsfälle; abweichende Werte soweit mit baulichen Bedingungen Verschattung vorliegt.

⁴⁾ Minderungsfaktor infolge Rahmenanteil $F_F = 0,7$, sofern keine genaueren Werte bekannt sind. Weitere Größen $F_C = 1$ und $F_W = 0,9$ gem. EnEV.

⁵⁾ Strahlungsabsorptionsgrad $\alpha = 0,5$; für dunkle Dächer kann abweichend $\alpha = 0,8$ angenommen werden.

111	[Wh/K]			
112	wirksame	leichte Bauweise ⁶⁾	$C_{\text{wirK},\eta} = 15 * V_e = 15 * \underline{\hspace{2cm}}$	$C_{\text{wirK},\eta} =$
113	Wärmespeicherfähigkeit	schwere Bauweise ⁶⁾	$C_{\text{wirK},\eta} = 50 * V_e = 50 * 5.812,78$	$C_{\text{wirK},\eta} = 290.639$
114	für Ausnutzungsgrad:	detaillierte Ermittlung ⁶⁾ - volumenbezogener Wert [Wh/(m³K)] $C_{\text{wirK},\eta} / V_e =$		
115	wirksame	leichte Bauweise ⁶⁾	$C_{\text{wirK},NA} = 12 * V_e = 12 * \underline{\hspace{2cm}}$	$C_{\text{wirK},NA} =$
116	Wärmespeicherfähigkeit	schwere Bauweise ⁶⁾	$C_{\text{wirK},NA} = 18 * V_e = 18 * 5.812,78$	$C_{\text{wirK},NA} = 104.630$
117	bei Nachtabschaltung:	detaillierte Ermittlung ⁶⁾ - volumenbezogener Wert [Wh/(m³K)] $C_{\text{wirK},NA} / V_e =$		
118	5. Jahres-Heizwärmebedarf [kWh/a]			
119	Wärmeverlust ohne Nachtabschaltung: ⁷⁾	$Q_{i,M} = 0,024 * (H_T + H_V) * (19 \text{ °C} - \vartheta_{e,M}) * t_M$	$Q_{i,M} =$	Monatswerte
120	Wärmeverlust bei 7 h Nachtabschaltung:	gemäß DIN V 4108-6 Anhang C	$Q_{i,M} =$	
121	Wärmegewinn/-verlustverhältnis:	$\gamma_M = (Q_{s,i,M} + Q_{i,M}) / (Q_{i,M} - Q_{s,o,M})$	$[-] \gamma_M =$	
122	Ausnutzungsgrad Wärmegewinne:	$\eta_M = (1 - \gamma_M^a) / (1 - \gamma_M^{a+1})$	$[-] \eta_M =$	
123	Jahres-Heizwärmebedarf:	$Q_{h,M} = Q_{i,M} - Q_{s,o,M} - \eta_M * (Q_{s,i,M} + Q_{i,M})$	$Q_{h,M} =$	
124		$Q_h = \sum (Q_{h,M})_{\text{pos.}}$	$Q_h =$	140.201,21
125	Flächenbezogener	$Q_h'' = Q_h / A_N$		
	Jahres-Heizwärmebedarf: ⁸⁾	$Q_h'' = 140.201,21 / 1860,09$	[kWh/(m²a)] $Q_h'' =$	75,37
126	6. Spezifischer flächenbezogener Transmissionswärmeverlust [W/(m²K)]			
127	vorhandener spezifischer flächenbezogener Transmissionswärmeverlust:			
		$H_{T',\text{vorh}} = H_T / A = 1.605,54 / 2.681,77$	$H_{T',\text{vorh}} =$	0,60
128	zulässiger spezifischer flächenbezogener Transmissionswärmeverlust:			
	$H_{T',\text{max}} = 1,05$	bei $A/V_e \leq 0,2$		
	$H_{T',\text{max}} = 0,3 + 0,15 / (A/V_e)$	bei $0,2 < A/V_e < 1,05$		
	$H_{T',\text{max}} = 0,44$	bei $A/V_e \geq 1,05$	$H_{T',\text{max}} =$	0,63
129	$H_{T',\text{vorh}} = 0,60 \quad W/(m^2K) \leq 0,63 \quad W/(m^2K) = H_{T',\text{max}}$			
130	7. Ermittlung der Primärenergieaufwandszahl gemäß DIN 4701 - 10 Anhang A (Berechnungsblätter) oder Anhang C (Diagramme)			
131	Anlagen-Aufwandszahl (primärenergiebezogen):			$e_P = 1,28$
132	8. Jahres-Primärenergiebedarf bezogen auf die Gebäudenutzfläche [kWh/(m²a)]			
133	vorhandener Jahres-Primärenergiebedarf:			
		$Q_{P'',\text{vorh}} = e_P * (Q_h'' + 12,5)$		
		$Q_{P'',\text{vorh}} = 1,28 * (75,37 + 12,5)$	$Q_{P'',\text{vorh}} =$	112,10
134	zulässiger Jahres-Primärenergiebedarf:			
135	Wohngebäude (außer solche nach Zeile 136)			
	$Q_{P'',\text{max}} = 66 + 2600 / (100 + A_N)$	bei $A/V_e \leq 0,2$		
	$Q_{P'',\text{max}} = 50,94 + 75,29 * A/V_e + 2600 / (100 + A_N)$	bei $0,2 < A/V_e < 1,05$		
	$Q_{P'',\text{max}} = 130 + 2600 / (100 + A_N)$	bei $A/V_e \geq 1,05$	$Q_{P'',\text{max}} =$	87,00
136	Wohngebäude mit überwiegender Warmwasserbereitung aus elektrischem Strom:			
	$Q_{P'',\text{max}} = 88$	bei $A/V_e \leq 0,2$		
	$Q_{P'',\text{max}} = 72,94 + 75,29 * A/V_e$	bei $0,2 < A/V_e < 1,05$		
	$Q_{P'',\text{max}} = 152$	bei $A/V_e \geq 1,05$	$Q_{P'',\text{max}} =$	
137	$Q_{P'',\text{vorh}} = 112,10 \quad kWh/(m^2a) \leq 87,00 \quad kWh/(m^2a) = Q_{P'',\text{max}} \quad \text{nicht erfüllt!}$			

⁶⁾ leichte Bauweise: Holztafelbauart ohne massive Innenbauteile, Gebäude mit abgehängten Decken
 schwere Bauweise: Gebäude mit massiven Innen- und Außenbauteilen ohne abgehängte Decken
 detaillierte

⁷⁾ Die Berechnung ohne Nachtabschaltung ist eine informative Option und für den Nachweis EnEV nicht zulässig.

⁸⁾ Der flächenbezogene Bedarf wird allgemein mit Q'' oder mit q gekennzeichnet.

Tabelle 4-3; Berechnungsverfahren gemäß EnEV für Wohngebäude nach Maas [36]

Temperatur-Korrekturfaktoren für den unteren Gebäudeabschluss - F_{xi}

Parameter		
Bodengrundfläche A_G ⁹⁾	[m ²]	0
Umfang der Bodengrundfläche (Perimeter) P ⁹⁾	[m]	0
Kenngröße $B' = A_G / (0,5 * P)$	[m]	
Wärmedurchlaßwiderstand Bodenplatte R_f bzw. der Kellerwand R_w (der ungünstigere Wert) ¹⁰⁾	[m ² K/W]	
Flächen	Spezifizierung	F_{xi} [-]
G 1 : $A = 830,40 \text{ m}^2$; $U = 0,18 \text{ W/(m}^2\text{K)}$		0,45
G 2	- nicht festgelegt -	
G 3	- nicht festgelegt -	
G 4	- nicht festgelegt -	
G 5	- nicht festgelegt -	

⁹⁾ Angabe nicht notwendig für aufgeständerte Fußböden

¹⁰⁾ Angabe nur notwendig für Flächen des beheizten Kellers und Fußböden auf Erdreich ohne Randdämmung

Tabelle 4-4; Dokumentation weiterer Randbedingungen zur Tabelle 4-3

Monat	Heizwärmebedarf (Zeile 123) $Q_{h,M} = Q_{l,M} - \eta_M * Q_{g,M}$	Wärmeverlust (bei Nachtabschaltung) abzüglich solarer Wärmegewinne opaker Bauteile (Zeile 120 - Zeile 108)	solare Wärmegewinne transparenter Bauteile und interne Wärmegewinne (Zeile 82 + Zeile 110)	Ausnutzungsgrad der Wärmegewinne (Zeile 122)
	$Q_{h,M}$ [kWh/Monat]	$Q_{l,M}$ [kWh/Monat]	$Q_{g,M}$ [kWh/Monat]	η_M [-]
Jan	29469	36389	6920	1
Feb	23516	29766	6250	1
Mrz	19640	26560	6920	1
Apr	8999	15691	6696	1
Mai	3259	10078	6920	0,99
Jun	75	4671	6696	0,69
Jul	0	636	6920	0,09
Aug	0	499	6920	0,07
Sep	1202	7449	6696	0,93
Okt	10697	17615	6920	1
Nov	18260	24956	6696	1
Dez	25085	32005	6920	1

Tabelle 4-5; monatliche Zwischenergebnisse

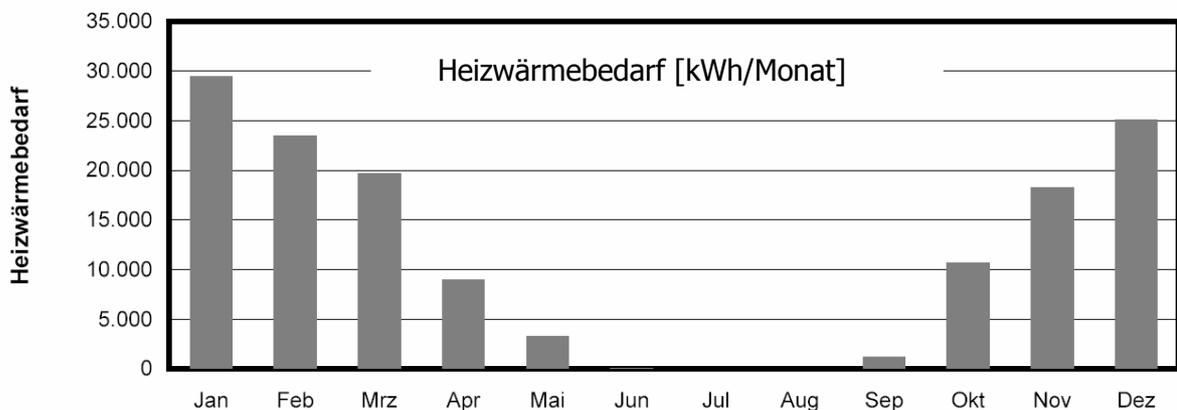


Tabelle 4-6; Monatswerte des Heizwärmebedarfes

4.14.4.3 AUSWERTUNG DER BERECHNUNGSERGEBNISSE



Abbildung 4—55
ENERGIE SPAREN – UM JEDEN PREIS ?

Der errechnete Jahres-Primärenergiebedarf von 112,10 kWh/m²a (Tabelle 4-3, Zeile 133) überschreitet den zulässigen Wert von 87,00 kWh/m²a (Tabelle 4-3, Zeile 135) um 29%. Um die Forderungen der Energieeinsparverordnung (EnEV) rechnerisch zu erfüllen, wären Wärmedurchgangskoeffizienten U für die Außenwand: von $U = 0,35$ W/mK und für die Fenster: $U = 1,40$ W/mK erforderlich. Da eine weitere Verbesserung des Wärmeschutzes am Südgebäude des Rittergutes Pegenau nicht möglich ist, ohne Bauschäden zu riskieren, müssen Einsparpotentiale in anderen Bereichen gesucht werden.

Die Verringerung der Primärenergie-(Anlagen-)aufwandszahl e_p (Tabelle 4-3, Zeile 131; $e_p = 1,28$) im vorhandenen Entwurf für das Südgebäude auf einen Wert: $e_p < 1$ - würde den Forderungen der EnEV gerecht werden.

Die Anlagenaufwandszahl beschreibt die Effizienz der Heizanlage. (siehe Absatz 4.14.4.1 BERECHNUNGSKENNWERTE) Für historische Gebäude (- mit erhöhtem Heizwärmebedarf) sind deshalb besonders effizient arbeitende Heizsysteme, die mit erneuerbaren Energieformen funktionieren, die beste Wahl.

4.14.4.4 VERGLEICH DES HEIZWÄRMEBEDARFES

Der errechnete Jahres-Heizwärmebedarf für das 1857 erbaute Südgebäude des Rittergutes Pegenau beträgt nach der geplanten Sanierung rund **75 kWh/m²a**.
(Tabelle 4-3, Zeile 125).

Energetische Struktur des Gebäudebestandes bis 1990 in Deutschland
– Auszug - (Gebäude vergleichbarer Größe) [31]

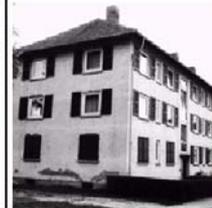
Reihenhäuser			
Massivbau bis 1918	1919 - 1948	1949 - 1957	1958 - 1968
			
203 kWh/(m²a) Wohnfläche: 33 Mio. m ²	166 kWh/(m²a) 50 Mio. m ²	163 kWh/(m²a) 38 Mio. m ²	171 kWh/(m²a) 68 Mio. m ²
Kleine Mehrfamilienhäuser			
Fachwerk bis 1918	Massivbau bis 1918	1919 - 1948	1949 - 1957
			
190 kWh/(m²a) Wohnfläche: 33 Mio. m ²	163 kWh/(m²a) 118 Mio. m ²	179 kWh/(m²a) 82 Mio. m ²	184 kWh/(m²a) 119 Mio. m ²
1958-1968	1969 - 1978	1979 - 1983	1984 - 1990
			
173 kWh/(m²a) Wohnfläche: 170 Mio. m ²	127 kWh/(m²a) 127 Mio. m ²	98 kWh/(m²a) 54 Mio. m ²	76 kWh/(m²a) 49 Mio. m ²

Abbildung 4—56

4.15 SOMMERLICHER WÄRMESCHUTZ

Ein wichtiges Qualitätskriterium für Aufenthaltsräume ist der sommerliche Wärmeschutz. Die vom Menschen als behaglich empfundenen Raumlufthtemperaturen liegen je nach Betätigung zwischen 18 und 24°C. Temperaturen über 26°C werden im Allgemeinen als unbehaglich empfunden.

Für die Berechnung des sommerlichen Wärmeschutzes wurden die Galeriewohnung hinter dem großflächig verglasten Scheunentor an der Südseite des Hauses sowie ein Wohnraum im Obergeschoss an der Südwestseite des Gebäudes ausgewählt.

Berechnung des sommerlichen Wärmeschutzes							
Gebiet 1							
WSK	Raum 1		Raum 2		WSK		
Raumlufthtemperatur ϑ_{em}	B 26 °C		B 26 °C		Raumlufthtemperatur		
Berechnung der speicherwirksamen Bauwerksmasse							
$m_B = \frac{\sum (m_i \cdot A_i)_n}{A_N} \quad [\text{kg} / \text{m}^2]$							
Raum 1 Wohnraum-Südseite mit großflächiger Verglasung $A_N = 58,20 \text{ m}^2$							
	Länge m	Breite/Höhe m	Faktor m	Abzug m ²	Fläche m ²	Masse*) kg/m ²	Masse kg
Bodenplatte	8,00	5,60	1,00	9,00	35,80	500,00	17.900,00
					0,00		0,00
Deckenplatte	4,00	5,60	1,00		22,40	400,00	8.960,00
	8,00	5,60	1,00		44,80	90,00	4.032,00
Dach					0,00		0,00
					0,00		0,00
Innenwand	19,00	3,85	1,00		73,15	300,00	21.945,00
	19,00	2,75	1,00		52,25	300,00	15.675,00
					0,00		0,00
Außenwand	1,20	3,85	1,00		4,62	1.875,00	8.662,50
	1,20	2,75	1,00		3,30	1.875,00	6.187,50
					0,00		0,00
$\Sigma =$							83.362,00
$m_B = 1.432,34 \text{ kg/m}^2$							
Raum 2 Wohnraum - OG - Süd -Westecke $A_N = 77,63 \text{ m}^2$							
	Länge m	Breite/Höhe m	Faktor m	Abzug m ²	Fläche m ²	Masse*) kg/m ²	Masse kg
Fußboden	11,50	6,75	1,00		77,63	45,00	3.493,13
					0,00		0,00
Deckenplatte	11,50	6,75	1,00		77,63	90,00	6.986,25
					0,00		0,00
Dach					0,00		0,00
					0,00		0,00
Innenwand	6,75	2,75	1,00		18,56	300,00	5.568,75
	11,50	2,75	1,00	10,00	21,63	120,00	2.595,00
					0,00		0,00
Außenwand	12,00	2,75	1,00	6,80	26,20	1.250,00	32.750,00
	7,25	2,75	1,00	1,70	18,24	1.250,00	22.796,88
					0,00		0,00
$\Sigma =$							74.190,00
$m_B = 955,69 \text{ kg/m}^2$							

Tabelle 4-7

Berechnung des sommerlichen Wärmeschutzes	
Berechnung der zulässigen äußeren Wärmelast	
Raum 1	Raum 2
B	B
laut Tafel 1 (U 007 - 2) für WSK	
$q_{\text{em,zul}} = 0,015 \cdot m_B$	$q_{\text{em,zul}} = 0,015 \cdot m_B$
$q_{\text{em,zul}} = 21,5 \text{ W/m}^2$	$q_{\text{em,zul}} = 14,3 \text{ W/m}^2$
Berechnung der vorhandenen äußeren Wärmelast q_{em}	
(Tagesmittelwert) $q_{\text{em}} = q_{\text{sm}} + q_{\text{tm}} + q_{\text{ti}} + q_{\text{fb}}$	
Berechnung der Strahlungswärmestromdichte durch durchsichtige Bauteile	
$q_{\text{sm}} = \frac{\sum (E_{\text{S,m}} \cdot A_{\text{FG}})_n}{A_N} \quad [\text{W/m}^2]$	
$A_{\text{F,Horizontal}} = \text{m}^2$ $A_{\text{F,Nord}} = \text{m}^2$ $A_{\text{F,NO/NW}} = \text{m}^2$ $A_{\text{F,O/W}} = \text{m}^2$ $A_{\text{F,SO/SW}} = \text{m}^2$ $A_{\text{F,Süd}} = 20,00 \text{ m}^2$ $A_{\text{F}} = 20,00 \text{ m}^2$ $A_{\text{FG}} / A_N = 0,34$	$A_{\text{F,Horizontal}} = \text{m}^2$ $A_{\text{F,Nord}} = \text{m}^2$ $A_{\text{F,NO/NW}} = \text{m}^2$ $A_{\text{F,O/W}} = 1,70 \text{ m}^2$ $A_{\text{F,SO/SW}} = \text{m}^2$ $A_{\text{F,Süd}} = 6,80 \text{ m}^2$ $A_{\text{F}} = 8,50 \text{ m}^2$ $A_{\text{FG}} / A_N = 0,11$
Kastenfenster Art des Fensters Kurzbezeichnung b	Kastenfenster Art des Fensters Kurzbezeichnung b
Laubbaum Art des Sonnenschutzes Kurzbezeichnung g	Stoffvorhang (innen) Art des Sonnenschutzes Kurzbezeichnung m
$E_{\text{S,m}} = \text{W/m}^2$ $E_{\text{S,m}} = \text{W/m}^2$ $E_{\text{S,m}} = \text{W/m}^2$ $E_{\text{S,m}} = \text{W/m}^2$ $E_{\text{S,m}} = \text{W/m}^2$ $E_{\text{S,m}} = 40,00 \text{ W/m}^2$ $q_{\text{sm}} = 13,75 \text{ W/m}^2$	$E_{\text{S,m}} = \text{W/m}^2$ $E_{\text{S,m}} = \text{W/m}^2$ $E_{\text{S,m}} = \text{W/m}^2$ $E_{\text{S,m}} = 60,00 \text{ W/m}^2$ $E_{\text{S,m}} = \text{W/m}^2$ $E_{\text{S,m}} = 100,00 \text{ W/m}^2$ $q_{\text{sm}} = 10,07 \text{ W/m}^2$

Tabelle 4-8

Berechnung des sommerlichen Wärmeschutzes																																																																
Berechnung der Wärmestromdichte durch benachbarte Räume																																																																
(bei Räumen deren Temperatur > 2K im Sommer vom zu berechneten Raum abweichen können)																																																																
$q_{\text{ti}} = \frac{\sum (k_i \cdot A_i \cdot \Delta\theta_i)_n}{A_N} \quad [\text{W/m}^2]$																																																																
$k_i = \text{W/m}^2\text{K}$ $A_i = \text{m}^2$ $\Delta\theta_i = \text{K}$ $q_{\text{ti}} = 0,00 \text{ W/m}^2$	$k_i = \text{W/m}^2\text{K}$ $A_i = \text{m}^2$ $\Delta\theta_i = \text{K}$ $q_{\text{ti}} = 0,00 \text{ W/m}^2$																																																															
Berechnung der Transmissionswärmestromdichte durch undurchsichtige Bauteile																																																																
$q_{\text{tm}} = \frac{\sum (a_{\text{t}} \cdot \theta_{\text{t,m}} \cdot k_i \cdot A_i)_n}{A_B} \quad [\text{W/m}^2]$																																																																
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Fläche</th> <th>k-Wert</th> <th>$\theta_{\text{t,m}}$</th> <th>a_{t}</th> <th></th> <th>a_{t}</th> <th>$\theta_{\text{t,m}}$</th> <th>k-Wert</th> <th>Fläche</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>44,80</td> <td>0,17</td> <td>6</td> <td>0,75</td> <td>Horizontal</td> <td>0,75</td> <td>6</td> <td>0,17</td> <td>77,63</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Nord</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>NO / NW</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>O / W</td> <td>0,40</td> <td>11</td> <td>1,30</td> <td>18,24</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>SO / SW</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>7,92</td> <td>1,30</td> <td>10</td> <td>0,40</td> <td>Süd</td> <td>0,40</td> <td>10</td> <td>1,30</td> <td>26,20</td> </tr> </tbody> </table>	Fläche	k-Wert	$\theta_{\text{t,m}}$	a_{t}		a_{t}	$\theta_{\text{t,m}}$	k-Wert	Fläche	44,80	0,17	6	0,75	Horizontal	0,75	6	0,17	77,63					Nord									NO / NW									O / W	0,40	11	1,30	18,24					SO / SW					7,92	1,30	10	0,40	Süd	0,40	10	1,30	26,20	$q_{\text{tm}} = 1,30 \text{ W/m}^2$
Fläche	k-Wert	$\theta_{\text{t,m}}$	a_{t}		a_{t}	$\theta_{\text{t,m}}$	k-Wert	Fläche																																																								
44,80	0,17	6	0,75	Horizontal	0,75	6	0,17	77,63																																																								
				Nord																																																												
				NO / NW																																																												
				O / W	0,40	11	1,30	18,24																																																								
				SO / SW																																																												
7,92	1,30	10	0,40	Süd	0,40	10	1,30	26,20																																																								
$q_{\text{tm}} = 3,86 \text{ W/m}^2$																																																																
Wärmestromdichte in Fußböden auf Erdreich oder in Kellerräumen																																																																
Dieser Zahlenwert kann mit $q_{\text{FB}} = 5 \text{ W/m}^2$ eingesetzt werden.																																																																
$q_{\text{fb}} = 5,00 \text{ W/m}^2$	$q_{\text{fb}} = \text{W/m}^2$																																																															
$q_{\text{em}} = q_{\text{sm}} + q_{\text{tm}} + q_{\text{ti}} - q_{\text{fb}}$																																																																
$13,75 \text{ W/m}^2$ $+ 1,30 \text{ W/m}^2$ $+ 0,00 \text{ W/m}^2$ $- 5,00 \text{ W/m}^2$ $q_{\text{em,vorh}} = 10,04 \text{ W/m}^2$	$10,07 \text{ W/m}^2$ $+ 3,86 \text{ W/m}^2$ $+ 0,00 \text{ W/m}^2$ $- 0,00 \text{ W/m}^2$ $q_{\text{em,vorh}} = 13,94 \text{ W/m}^2$																																																															
Sommerlicher Wärmeschutz ist erfüllt!	Sommerlicher Wärmeschutz ist erfüllt!																																																															

Tabelle 4-9

Beide Räume erfüllen den sommerlichen Wärmeschutz. Der Wohnraum an der Südwestseite des Hauses benötigt lediglich an dem Fenster der Westseite einen innen liegenden Sonnenschutz. Die Galeriewohnung auf der Südseite hat trotz großflächiger Verglasung noch Reserven. Hier wirkt sich die äußere Verschattung durch den vorhandenen Laubbaum positiv aus, der Raum erfüllt aber selbst mit einem Stoffvorhang (innen) die Kriterien der Wärmeschutzklasse B.

In einer Energiekostenbilanz zwischen oftmals großzügig belichteten, leichten Neubauten und schweren historischen Bauten würde der sehr gute sommerliche Wärmeschutz der historischen Gemäuer den Altbau entlasten.

Zwar werden Neubauten, die hinsichtlich des sommerlichen Wärmeschutzes schlecht geplant sind, im Sommer meist nicht (teuer) gekühlt – sie sind dafür in der warmen Jahreszeit kaum benutzbar.

5 ABSCHLIESSENDE EINSCHÄTZUNG



Abbildung 5—1, Reppnitzer Rittergut in Scharfenberg

Historische Gebäude beinhalten zwar in der Regel mehr bauklimatische Probleme als übliche Neubauten – das muss jedoch nicht zwangsläufig zu unrentablen Immobilien führen.

Eine gute Planung unter rechtzeitiger Einbeziehung aller beteiligten Fachplaner (Architekt, Statiker, Restaurator, Denkmalpfleger, Bauklimatiker, TGA- Ingenieur usw.) lässt eine kostengünstige Sanierung und Unterhaltung dieser Gebäude zu.

Bauklimatische Einzelprobleme dürfen nur im Gesamtzusammenhang betrachtet und gelöst werden. Die Abstimmung von Nutzung, Heizung und Lüftung auf den durch Sanierungsmaßnahmen erreichbaren baulichen Wärmeschutz ist bei historischen Gebäuden unerlässlich.

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Statistisches Bundesamt Deutschland, www.statistik-bund.de, Veröffentlichung 11/2004, auch unter Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, www.bbr.bund.de
- [2] Microsoft Lexikon, *Encarta 98 Enzyklopädie*, Microsoft Corporation 1998
- [3] Klaus GRAUPNER, *Wärme ist nicht alles, Heizung und Lüftung historischer Gebäude*, in: "bausubstanz"; Teil 1: "bausubstanz" 11-12/1999, S. 26 - 28, Teil 2: "bausubstanz" 1/2000, S. 38 – 42
- [4] Jürgen ROLOFF, *Bauklimatik für Architekten*, Vorlesungsskript, TU Dresden, Fakultät Architektur, Dresden 1999
- [5] Statistisches Bundesamt Wiesbaden, www.destatis.de, *Ergebnisse der Bevölkerungsfortschreibung*, Wiesbaden 2004
- [6] Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, *Dritter Bericht über Schäden an Gebäuden*, Bonn 1995
- [7] www.schloss-scharfenberg.de
- [8] Klaus-Jürgen SCHNEIDER (Hrsg.), *Bautabellen für Ingenieure mit Berechnungshinweisen und Beispielen*, Düsseldorf 2002, 15. Aufl.
- [9] DIN Deutsches Institut für Normung e.V., *DIN 4108-2: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz*, Berlin 2003
- [10] DIN Deutsches Institut für Normung e.V., *DIN 4108-3: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz, Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung*, Berlin 2001
- [11] Computerprogramme COND 2002 und DELPHIN 4, *Theoretische Grundlagen*, in: Benutzerhandbuch der Software, unter www.bauklimatik-dresden.de
- [12] Andreas NICOLAI, *Implementierung eines analytischen Verfahrens zur hygrothermischen Bewertung von mehrschichtigen Bauteilen*, (Diplomarbeit TU Dresden), Dresden 2002

- [13] John GRUNEWALD, *Diffusiver und konvektiver Stoff- und Energietransport in kapillarporösen Baustoffen*, (Dissertation TU Dresden, Fakultät Architektur, Institut für Bauklimatik), Dresden 1997
- [14] Peter HÄUPL, FECHNER, H., STOPP, H., *Erarbeitung eines Verfahrens und einer Planungsrichtlinie zur hygrischen Bemessung von Außenbauteilen*, Abschlußbericht für das Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, Projekt-Nr. 85 34 – 80 01 99 – 12, TU Dresden, Dresden 2000
- [15] DIN 18 025 Teil 1, Barrierefreie Wohnungen, *Wohnungen für Rollstuhlbenutzer - Planungsgrundlagen*, Berlin 1992
- [16] Sächsische Bauordnung (SächsBO), www.sachsen.de, Dresden 2003
- [17] Günther BINDING, *Das Dachwerk*, München 1991
- [18] Massivhausbau, *Instandhaltungskosten*, www.massiv-mein-haus.de
- [19] Heinrich SCHMITT (Hrsg.), A. Heene, *Hochbaukonstruktion, Die Bauteile und das Bauegefüge; Grundlagen des heutigen Bauens*, Braunschweig/Wiesbaden 1996, 13., aktual. Aufl.
- [20] Peter HÄUPL, *Bauphysik; Klima, Wärme, Feuchte*, Vorlesungsskript, TU Dresden, Fakultät Architektur, Dresden 2004
- [21] Gerd ZIESEMANN, M. Krampfer, H. Knieriemen, *Natürliche Farben, Anstriche und Verputze selber herstellen*, Aarau/Schweiz 1996
- [22] Bundesamt für Strahlenschutz, *Radon in Häusern*, www.bfs.de, November 2000
- [23] Fritz WENZEL, J. Kleinmanns (Hrsg.), *Historisches Mauerwerk – Untersuchen, Bewerten und Instandsetzen*, (Schriftenreihe „Erhalten historisch bedeutsamer Bauwerke – Empfehlungen für die Praxis“), Karlsruhe 2000
- [24] Christoph ZÜRCHER (Hrsg.), Thomas FRANK, *Bau und Energie - Leitfaden für Planung und Praxis* (Bauphysik, Bd. 2), Zürich 2004, 2., aktual. Aufl.
- [25] Claus Arendt, Jörg Seele, *Feuchte und Salze in Gebäuden*, Leinfelden-Echerdingen, 2001, 2. Aufl.

- [26] Jürgen ROLOFF, Klaus GRAUPNER, *Bauklimatische Probleme, Zusammenhänge und Schlussfolgerungen beim Umgang mit dem Bauteil Fenster*, in: Schriftenreihe für Baukultur, Architektur, Denkmalpflege; *Das Fenster im Profanbau in Sachsen*, Hrsg.: Sächsisches Staatsministerium des Inneren, 1996, S. 27-36
- [27] Klaus ERLER, *Alte Holzbauwerke beurteilen und sanieren*, Berlin 1997, 2., bearb. und erw. Aufl.
- [28] Claudia FINKENSTEIN, *Hygrothermisches Verhalten von Außenwandkonstruktionen mit Innendämmung*, (Diplomarbeit TU Dresden, Fakultät Architektur, Institut für Bauklimatik), Dresden 2003
- [29] Abu-Saad, H., *Klimatisch bedingte Bauwerksschäden, Untersuchungen zur Situation der Klosteranlage Maulbronn*, Diplomarbeit TH Karlsruhe, Karlsruhe 1993
- [30] Erhard LAASCH, VOLGER, *Haustechnik: Grundlagen, Planung, Ausführung*, Stuttgart, 1994, 9., bearb. und erw. Aufl.
- [31] Gerd HAUSER, *Bauschäden und energetische Sanierung*, Vorlesungsskript, Universität Kassel, Fachgebiet Bauphysik, Kassel 2003
- [32] HANDWERKSKAMMER DRESDEN, *Sanierung*, (Lehrmaterial zur Maurermeisterausbildung), Dresden 1993
- [33] www.geodienst.de, 2005
- [34] Wolfgang RICHTER, *Bedarfslüftung im Wohnungsbau*, Kurzbericht, TU Dresden, Fakultät Maschinenwesen, Institut für Thermodynamik und Technische Gebäudeausrüstung, Dresden 2001
- [35] WTA; Wissenschaftlich – Technischer Arbeitskreis für Denkmalpflege und Bauwerksanierung e.V., *Anwendungstechnische Richtlinien für chemische Injektagen gegen aufsteigende Mauerfeuchtigkeit*, Merkblatt 1, Baierbrunn 1986
- [36] MAAS, A., www.bpy.uni-kassel.de, *Berechnungsverfahren gemäß EnEV für Wohngebäude*, Universität Kassel, Fachgebiet Bauphysik, Kassel 2002
- [37] Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen BMVBW, www.bmwbw.de, *Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV)*, BGBl. I S. 3085 ff, Berlin 2001

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

- Abbildungen ohne gesonderte Quellangabe sind eigene Zeichnungen bzw. Bilder
- Abbildung 1—1 www.statistik-bund.de (2005) [1]
- Abbildung 2—2 HÄUPL (2004), Abb. 2 [20]
- Abbildung 3—1 www.schloss-scharfenberg.de (2004)
- Abbildung 4—3 www.massiv-mein-haus.de (2004) [18]
- Abbildung 4—4 HAUSER (2003), Abb. 8.12 [31]
- Abbildung 4—5 HAUSER (2003), Abb. 8.14 [31]
- Abbildung 4—21 WTA (1986), [35]
- Abbildung 4—25 HANDWERKSKAMMER DRESDEN (1993) [32]
- Abbildung 4—30 www.krusemark.de (2004)
- Abbildung 4—33 ZÜRCHER (2004), Abb. 3.14 [24]
- Abbildung 4—36 www.hydroment.de (2005)
- Abbildung 4—37 www.hydroment.de (2005)
- Abbildung 4—43 FINKENSTEIN (2003), Abb. 4-4 [28]
- Abbildung 4—44 www.starck-bathroom.com (2004)
- Abbildung 4—45 www.starck-bathroom.com (2004)
- Abbildung 4—46 www.starck-bathroom.com (2004)
- Abbildung 4—47 www.starck-bathroom.com (2004)
- Abbildung 4—48 www.starck-bathroom.com (2004)
- Abbildung 4—49 RICHTER (2001), Abb. 1 [34]
- Abbildung 4—50 RICHTER (2001), Abb. 2 [34]
- Abbildung 4—54 MAAS (2002) [36]
- Abbildung 4—56 HAUSER (2003), Tabelle 7.1 [31]

Beurteilung des Feuchtegehaltes in mehrschichtigen Bauteilen

Abweichend von der Einschätzung der Softwarehersteller des Programmes DELHIN 4 (Institut für Bauklimatik der TU Dresden) ist der Verfasser dieses Artikels, Alexander Ternes, der Auffassung, dass Feuchtegehalte in mehrschichtigen Bauteilen mit Hilfe dieser Software nicht zuverlässig beurteilt werden können.

Ein Nutzer solcher Programme kann nahezu jedes von ihm vor der Simulationsberechnung als Wunschausgabe festgelegte Ergebnis, durch legitime Variation der bei jeder Simulation vorher geschätzten Eingabewerte, erreichen.

Damit sind solche Programme sehr gut zur graphischen Veranschaulichung im Rahmen einer Gutachtertätigkeit von **praxiserfahrenen** Baumeistern, Bauphysikern, Bauklimatikern, Architekten oder Bauingenieuren geeignet – in keinem Fall jedoch als „wissenschaftliche“ Beurteilungsgrundlage, die sich nur auf die Programmergebnisse stützt!

Viele Jahre praktischer Tätigkeit sind auf diesem Gebiet weit wertvoller – als Ergebnisse eines Simulationsprogrammes zum Feuchtegehalt, die um den **tausendfachen Wert** (!) abweichen können – wenn der Nutzer die Eingabewerte im möglichen Spektrum variiert.

Begründung:

Feuchteeintrag sowie Transport über Schichtgrenzen hinweg und damit auch die Menge der angesammelten Feuchtigkeit im Bauteil lassen sich per Simulation nicht mit der Genauigkeit und Zuverlässigkeit ermitteln - die nötig wäre, um in vielen Fällen wenigstens eine brauchbare Tendenz aus den Ergebnissen abzuleiten.

Damit sind nicht Fehler gemeint, die innerhalb des Rechenprogramms begründet liegen – sondern in erster Linie die mögliche Eingabegenauigkeit:

Angenommen - Rechenmodell und Berechnung würden in idealer Weise die Realität abbilden, dann hinge die Genauigkeit der Ergebnisse nur noch von der Genauigkeit der Eingaben ab.

Welche Ergebnisgenauigkeit wäre akzeptabel? (Nur auf Feuchtigkeit im Bauteil bezogen!)

Mit den errechneten Feuchtegehalten

- möchte man an Neubaukonstruktionen Schäden ausschließen
- und an Altbaukonstruktionen möchte man abschätzen können, wie sich Veränderungen der Konstruktion auf das Feuchteverhalten auswirken, um Schäden der Vergangenheit zu reparieren – oder künftig Schäden zu vermeiden (bspw. an energetisch optimierten Konstruktionen)

Für feuchtesensitives Material möchte man wenigstens die Tendenz erfahren:

- wird das Bauteil eher zu feucht ...
- oder wird es hinreichend trocken sein, um als Umgebungsbedingung für z.B. einen Holzbaustoff zu funktionieren?

Wie genau kann das Ergebnis eines Simulationsprogramms sein?

Im Folgenden sind Einflussfaktoren benannt, die das Ergebnis zweifelsfrei beeinflussen werden:

1.) **Die Materialvielfalt** – allein eines einzigen Materiales:

Beispiel: Granit – Es existieren mehr als 260 verschiedene Sorten Granit.

Eine einzige Sorte Granit kann schon ein um den zehnfachen Wert abweichendes Wasseraufnahmevermögen besitzen.

Beispiel: Putz:

Die Eigenschaften eines fertigen Putzes sind abhängig von der Verarbeitung auf der Baustelle und vieler Umgebungsbedingungen/Einflussfaktoren:

a) Vornässen der Wand vor dem Verputzen:

Wassermenge, Witterung, Zeitraum vor dem Verputzen

b) Füllung der für die Haftung nötigen Poren des Untergrundes mit Wasser oder nicht

c) Wetter und Nachbehandlung (Befeuchtung während des Abbindeprozesses, Verschattung, CO₂-Zufuhr)

d) Herstellung des Putzes vor Ort aus verschiedenen Sanden, Bindemitteln und

Zuschlagstoffen – oder im Werk als Werkrockentmörtel (Konstanz der Eigenschaften)

e) Mischung (Hand-/Maschinenmischung)

- f) Transport und Auftrag (Handauftrag/Putzmaschine)
- g) Wassermenge im Putz (eine konstante Wassermenge ist für gleich bleibenden Porenanteil notwendig)
Zugabe von Wasser während der Verarbeitung (zwischenzeitliche Aushärtung des Putzes und späteres Annnässen und Aufreiben/ Filzen etc.)
- h) Gleichmäßigkeit verschiedener Schichtstärken (Putze – insbesondere auf Altbaufassaden - dienen auch dem Ausgleich von Unebenheiten)
- i) Anzahl der Putzlagen (bei einer Simulation wird nicht berücksichtigt, ob der selbe Putz in gleicher Stärke zwei- oder fünflagig aufgebracht wird)
- j) Verarbeitung:
 - lagenweiser Auftrag auf abgebundenen und gekämmten Putzschichten
 - frisch in frisch (ohne die Entfernung der Bindemittelanreicherung an der entsprechenden Schichtgrenze)
 - lagenweiser Auftrag auf vorher aufgerauten Putzlagen (Entfernung der Bindemittelanreicherung an der entsprechenden Schichtgrenze)
 Unterschiedlich verarbeitete Putzflächen zeigen ein anderes Feuchteverhalten!
- k) Oberflächenbeschaffenheit (glatt, strukturiert, aufgeraut, gekratzt etc.)
- l) chemische Zusätze – z.B. Hydrophobierungen, Porenbildner
- m) Langzeitverhalten – z.B. verlieren Hydrophobierungen nach wenigen Jahren ihre Eigenschaften

2.) ***Verschiedenheit von Eigenschaften innerhalb eines Materials durch den Herstellungsprozess***

- z.B. stärker gebrannte Ziegelaußenseiten im Verhältnis zum im Labor gemessenen, saugfähigen Innenteil des Ziegels (in Simulationen wird meist von homogenen Materialien ausgegangen)

3.) ***Veränderung der Eigenschaften der Materialien an Schichtgrenzen durch das benachbarte Material.***

Im Labor wird die kapillare Wasseraufnahme eines porösen Prüfkörpers gemessen. Die Kapillaren eines Ziegels bspw. saugen aber mit der gleichen Kapillarkraft den Bindemittelleim eines Frischmörtels auf!

Wie verändern sich die Eigenschaften des Ziegels dadurch?

4.) ***Zeitliche Veränderung der Eigenschaften der Materialien an der Oberfläche***
- verwitterte, herausgewaschene, chemisch veränderte Anteile im Material
(z.B. Vergipsung des Kalkes durch sauren Regen)

5.) ***Kontakt der Bauteile untereinander***
Ob eine kapillaraktive Anbindung benachbarter Materialien besteht oder nicht, ist gerade in Altbauten oft nicht bekannt.

6.) ***Kontaktbedingungen der Bauteile untereinander sind nicht bekannt***
Der Vorteil einer Simulation soll gerade darin bestehen, unterschiedlichste Schichtaufbauten zu entwerfen – und per Simulation deren Verhalten vorhersagen zu können.
Verbundbedingungen sind aber erst bekannt, wenn jede in der Theorie entstandene Konstruktion in allen berechneten Verbundvarianten – auch tatsächlich in jeder Verbundvariante im Labor getestet wird. Aber gerade diesen enormen Aufwand möchten diejenigen, die von Simulationen leben, nicht betreiben.

7.) ***Oberflächenbeschaffenheit***
Fast jedes Material kann in unterschiedlicher Oberflächenbeschaffenheit verarbeitet werden. Unterschiedliche Oberflächenbeschaffenheit bedingt aber auch andere Kontaktbedingungen

8.) ***Übertragung von Messergebnissen kleiner Laborprüfkörper auf große Baukörper***
Verhalten sich sehr große Materialstärken in Bezug auf Feuchteaufnahme und -abgabe analog zu den kleinen Prüfkörpern im Labor?
(ein Prüfkörper ist der 8.000ste Teil eines Quadratmeters Gründerzeithauswand)

- 9.) **Wie wirkt sich schneller Wechsel von Befeuchtung und Trocknung aus?**
(beispielsweise ist das Saugverhalten eines hydrophobierten Materials aus dem trockenen Zustand ganz anders, als wenn vorangegangene hohe Luftfeuchtigkeit die Porenwandungen bereits mit Wasserdampf benetzt hat - das heißt; ist der Baustoff nach einem Regen oder durch andere Bedingungen [z.B. viel Schatten, Bewuchs und Bodenfeuchte auf der Nordseite eines Hauses] noch relativ feucht, nimmt er durch erneuten Regen Wasser auf, nach vorherigem Abtrocknen, hält er jedoch einer begrenzten Regenspende stand – ohne viel Wasser aufzunehmen)
- 10.) **Unterschiedlicher Wassertransport in verschiedene Richtungen eines Materials**
Wie wirkt sich der unterschiedliche Wassertransport in verschiedene Richtungen des Materials auf eine Simulationsberechnung aus, die das nicht berücksichtigt?
(Holz, Ziegel, Sandstein etc. transportieren in eine Richtung mehr Wasser als rechtwinklig zu dieser Richtung – heutige Simulationsprogramme berechnen Wassertransport nicht dreidimensional)
- 11.) **Materialvielfalt und deren Messbarkeit im Labor**
Ist die Materialvielfalt und deren nahezu unendliche Kombinierbarkeit überhaupt messbar? (... und damit simulierbar?)
- 12.) **Einfluss der geometrischen Vielfalt**
Welchen Einfluss hat die geometrische Vielfalt? Wäre der Aufwand, eine reale Konstruktion wirklichkeitsnah abzubilden, vertretbar?
(gerade an Altbausubstanz sind Ungenauigkeiten, Risse, Fugen, Hohlräume etc. – normal)
- 13.) **Salzeinfluss**
Wie wirken sich Salze auf das Feuchteverhalten aus?
Art der Salze, Salzkonzentration, Salzkombination und Salzverteilung in einem Altbau sind unbekannt und mit vertretbarem Aufwand kaum messbar. Sie beeinflussen jedoch entscheidend die Feuchtaufnahme und -abgabe eines Baustoffes.

14.) ***Übertragungsgenauigkeit von Laborergebnissen in ein Rechenprogramm***

Wie wirken sich Ungenauigkeiten bei der Übertragung von Laborergebnissen eines Materials in das Rechenmodell eines Simulationsprogrammes auf das Ergebnis aus?

Davon ausgehend, dass zehn der o. g. Faktoren die überhygroskopische Wassermasse im simulierten Bauteil beeinflussen könnten und dass jeder Faktor den tatsächlichen Feuchtegehalt um nur 10 % Genauigkeit verschieben könnte, dann würde die Ergebnisgenauigkeit wie folgt aussehen:

Faktor 0,9 – zehnmal aneinandergereiht - für Abweichungen von minus 10%

Faktor 1,1 – zehnmal aneinandergereiht - für Abweichungen von plus 10%:

$$0,9^{10} \sim 0,35$$

$$1,1^{10} \sim 2,60$$

Das Ergebnis weicht ca. um den siebeneinhalbfachen Wert ab und ist unbrauchbar.

Trotz eines genauen Rechenprogramms sind Aussagen zum Feuchtegehalt sehr spekulativ, weil die Eingaben zu sehr von nicht genau erfassbaren Daten abhängen.

Neben den nicht genau erfassbaren Materialdaten gibt es aber auch noch andere Einflussfaktoren:

z.B.:

Welche Feuchtebelastung aus Regen kann man annehmen, wenn zwei größere Bauwerke nah beieinander stehen?

Der Wind kann sich vor diesen stauen und presst sich mit mehrfacher Windgeschwindigkeit zwischen den Gebäuden hindurch. Das wird jedoch nur dann eintreten, wenn noch andere Umgebungsbedingungen vorhanden sind.

Wo bleibt das mitgeführte Regenwasser?

Werden Teile der angrenzenden Fassaden weit über den „Normalwert“ mit Regen belastet?

Wie ändert sich der Feuchtegehalt im Bauteil, wenn nicht nur zwei Materialien Kontakt zueinander haben, sondern wenn zehn Materialien in einer 2D-Simulation (mit normaler Geometrie und üblichen Fugen) über ihre Poren miteinander verbunden werden?

Zum Beispiel 10 Materialien an einem einfachen Gebäudewinkel:

- 3-Lagen Außenputz
- Ziegel
- Mauermörtel
- alter Innenputz
- Kleber
- Innendämmung
- Grundputz
- Deckputz (Farbbeschichtungen unbeachtet)

Bei einer üblichen Außenwandstärke gibt es mehr als 10 Schichtgrenzen (deren Wasserdurchlässigkeit pro Schicht **50%.....70%?** betragen kann)

Darüber gibt es keine genauen Werte!

Die Durchlässigkeit pro Schichtgrenze stellt jedoch nur einen unbekanntem Faktor in der Rechnung dar!

Versagt die Berechnung schon innerhalb einer Materialschicht (bspw. an einem fünfmalig aufgetragenen Putz), kann das Bauteil generell als zu feucht oder generell als zu trocken ausgewiesen werden.

Es ist demnach auch keine Tendenz abzulesen, ob sich der Feuchtegehalt im Bauteil durch eine zusätzliche Dämmung zum Positiven oder zum Negativen hin verändert.

Verfasser: Alexander Ternes
Scharfenberg, März 2010