

**Heimatschutz Basel**

---

## **Bauphysikgrundlagen zur Fensterkampagne „Fenster sind die Augen eines Hauses“**



Im Auftrag von:

Heimatschutz Basel  
Hardstrasse 45  
4020 Basel

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Ausgangslage</b> .....	<b>3</b>
1.1	<b>Auftrag</b> .....	<b>3</b>
1.2	<b>Ziele</b> .....	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Grundlagen</b> .....	<b>4</b>
2.1	<b>Referenzobjekt</b> .....	<b>4</b>
2.2	<b>Schriftliche Grundlagen</b> .....	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>Methodik</b> .....	<b>9</b>
3.1	<b>Massnahmen zur Ertüchtigung historischer Fenster</b> .....	<b>9</b>
3.2	<b>Berechnung der bauphysikalischen Grössen</b> .....	<b>12</b>
3.3	<b>Luftdichtigkeit von historischen Fenstern</b> .....	<b>13</b>
<b>4</b>	<b>Bauphysikalische Grundlagen</b> .....	<b>15</b>
4.1	<b>Bauphysikalische Beurteilung</b> .....	<b>16</b>
4.2	<b>Luftdichtigkeit</b> .....	<b>21</b>
4.3	<b>Komfort</b> .....	<b>24</b>
<b>5</b>	<b>Schlussfolgerung</b> .....	<b>26</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Links: Strassenansicht, Mitte: Ansicht hofseitig, Rechts: Vertikalschnitt .....	4
Abbildung 2:	Aufnahmen der Fenstersituation Vorfenster und Sommerfenster. ....	5
Abbildung 3:	Mögliche Silikoneinfräsdichtungen .....	9
Abbildung 4:	Lage der Silikoneinfräsdichtung .....	9
Abbildung 5:	Horizontalschnitt durch die Fensterleibung .....	11
Abbildung 6:	Prinzipskizze: Messung der Luftdurchlässigkeit an Fenstern .....	14
Abbildung 7:	Ist-Situation: H .....	17
Abbildung 8:	Sanierungsvariante: HAB20C20 .....	17
Abbildung 9:	Fugenlänge des Innenfensters .....	21
Abbildung 10:	Wärmeverluste infolge Luftwechsel .....	23
Abbildung 11:	Grenzschichtströmung .....	24
Abbildung 12:	Flixoberechnung der Glasoberflächentemperatur für die Ist-Situation .....	25
Abbildung 13:	Flixoberechnung der Glasoberflächentemperatur für die Sanierungsvariante .....	25

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Elemente, Dicken und Materialien der Bauteile .....	6
Tabelle 2:	Möglichkeiten Glasersatz .....	10
Tabelle 3:	Berechnungswerte mit Flixo® .....	12
Tabelle 4:	Schnittzeichnungen .....	13
Tabelle 5:	Einteilung der Klassen 4 - 1 .....	15
Tabelle 6:	Hygrische Beurteilung .....	15
Tabelle 7:	Beurteilung von Wärmebrücken .....	16
Tabelle 8:	Berechnungswerte mit Flixo® 2 .....	16
Tabelle 9:	Übersicht Ergebnismwerte des Katalogs .....	20
Tabelle 10:	Volumenstrombestimmung über Lochblende .....	21
Tabelle 11:	Wärmeverluste infolge Luftwechsel $Q_L$ .....	23

## Anhänge

A Software / Methoden

B Katalog mit Sanierungsbeispielen

C Messprotokolle Luftdichtigkeitstest

D Planunterlagen

E Berichte, Technische Unterlagen,  $F_{RSI}$  Berechnung

# 1 Ausgangslage

## 1.1 Auftrag

Die Prona AG wurde vom Verein Heimatschutz Basel beauftragt die nötigen technischen Grundlagen für ihre Kampagne „Fenster sind die Augen eines Hauses“ zu erarbeiten.

Bei der Kampagne geht es um den Erhalt von historischen Fenstern. Dieses Bauteil ist für das historische Stadtbild sehr wichtig und soll erhalten bleiben. Die vorliegenden Grundlagen dienen als technische Hilfsmittel und Entscheidungshilfe für die Machbarkeit der Erhaltung von historischen Fenstern im Falle einer Gebäudesanierung.

a. Massnahmenkatalog für Gebäude mit historischen Fenstern:

- 1) Bauphysikalische Einschätzung bestehende Situation
- 2) Ersatzglas mit Wärmeschutzbeschichtung und Einbau einer Dichtung
- 3) Ersatzglas mit Wärmeschutzverglasung und Einbau einer Dichtung
- 4) Variantenkombination mit Hinterdämmung der Leibung
- 5) Variantenkombination mit einer minimalen Aussendämmung

b. Messung der Luftdichtigkeit an einem Referenzobjekt:

- 1) Prüfung der Luftdichtigkeit am Fenster im Bestand
- 2) Prüfung der Luftdichtigkeit nach dem Einbau einer Dichtung
- 3) Prüfung der Luftdichtigkeit nach dem Einbau zweier Dichtungen

## 1.2 Ziele

Der Erhalt historischer Fenster ist aus energietechnischer Sicht umstritten. Neue Fenster sind viel leistungsfähiger und tragen massgebend zur Einsparung von Heizenergie über die Gebäudehülle ein. Subventionsprogramme des Bundes und der Kantone (z.B. [www.dasgebaeudeprogramm.ch](http://www.dasgebaeudeprogramm.ch)) unterstützen zusätzlich diese Ersatzmassnahme.

Der Einbau neuer Fenster prägt das Gesamtbild einer historischen Fassade jedoch sehr stark. Oft gehen dabei Ausdruck und Charme verloren. Dieses Dokument soll daher als technisches Instrument zur Beratung von Bauherrn, Hausbesitzern, Planern usw., bei der Sanierung von Häusern mit historischen Fenstern dienen. Aufgrund von Standardsituationen eines Fensters werden die wichtigen bauphysikalischen Faktoren wie U-Wert, Wärmestrom und Oberflächentemperaturfaktor zur Beurteilung der Schimmelgefahr dargestellt. Mittels eines Massnahmenkataloges können die energetisch effizientesten Sanierungen bestimmt werden mit dem Ziel, die historischen Fenster zu belassen.

## 2 Grundlagen

### 2.1 Referenzobjekt

Die Grundlage bildet ein Referenzobjekt an der Mühlhauserstrasse 82 in Basel. Die Liegenschaft kann als typisches Gebäude aus der Gründerzeit deklariert werden. Dem leicht erhöhten Eingangsgeschoss folgen über das zentrale Treppenhaus vier weitere Geschosse.

Das Gebäude liegt mitten in einer Häuserzeile und hat somit nur eine Strassenseite und eine Hofseite. An diesem Gebäude befinden sich erhaltenswerte Fenster, an welchen die Luftdichtigkeitstests und die Berechnungen für den Massnahmenkatalog durchgeführt werden.

Bei diesen Fenstern handelt es sich um sogenannte Winter- bzw. Sommerfenster welche auch als Fenster mit Vorfenster bekannt sind.

#### Ansichten und Schnitte des Gebäudes



Abbildung 1: Links: Strassenansicht, Mitte: Ansicht hofseitig, Rechts: Vertikalschnitt

#### Fenstersituation

Die letzte Sanierung der Fassade fand erst kürzlich statt. Dabei wurden ebenso die Winter- bzw. Sommerfenster neu gestrichen.



Ansicht der Fenstersituation von aussen mit den vorgehängten Winterfenster bzw. Vorfenster.



Beide Fenster sind hier im geschlossenen Zustand zu erkennen.



Das Sommerfenster steht offen. Gut sichtbar sind die Sturmhaken für die Vorfenster.

Die Vorfenster liegen bei diesem Objekt innerhalb der Fensterleibung.



In dieser Situation wurde das Vorfenster bereits mit einer zusätzlichen Dichtung am Blendrahmen versehen.

Abbildung 2: Aufnahmen der Fenstersituation Vorfenster und Sommerfenster.

**Elemente des Gebäudes**

Tabelle 1: Elemente, Dicken und Materialien der Bauteile

<b>Dicken</b>	<b>Materialien</b>
<b>Konstruktion der Zwischenwände</b>	
Variante 1:	
15 mm	Gips-/ Kalkputz
120 mm	Backstein
15 mm	Gips-/ Kalkputz
Variante 2:	
25 mm	Gipsperlätkli + Gips
40 mm	Holzbrett
40 mm	Holzbrett
25 mm	Gipsperlätkli + Gips
<b>Wand zur anliegenden Liegenschaft</b>	
UG/EG:	
600 mm	Bruchstein mit Sumpfkalkmörtel
DG:	
400 mm	Bruchstein mit Sumpfkalkmörtel
<b>Sparrendach (neu gedämmt)</b>	
24 mm	Weichpavatex
200 mm	Steinwolle
30 mm	Gipsdielen
<b>Böden</b>	
Zwischenboden:	Eichenfischgratparkett
	Blindboden
	Balken (220/140 mm)
	Schlackenfüllung
	Schiebeboden
	Gipsperlätkli + Gips
Boden gegen Kellergeschoss:	Eichenfischgratparkett
	Blindboden
	Balken (220/140 mm)
	Schlackenfüllung
	Schiebeboden
<b>Fenster und Türen</b>	
Sommerfenster	Eiche
Winterfenster	Fichte
Dachfenster	
Eingangstüren	

## 2.2 Schriftliche Grundlagen

### 2.2.1 Literatur

- **Marti Kurt et al. (2009)**  
Sanierung von Fenstern in schützenswerten Bauten: Heimatschutz Basel  
Inhalt: Geschichte, Details und Sanierungsmöglichkeiten zu Fenstern.
- **Neumann Hans-Rudolf et al. (2003)**  
Fenster im Bestand; Grundlagen der Sanierung in Theorie und Praxis: expert verlag, Renningen.  
Inhalt: Basiswissen zur Baugeschichte, zu Entwurf, Fenstertypen und –materialien. Darüber hinaus wird detailliert auf verschiedene Konstruktionen und bauphysikalische Zusammenhänge eingegangen. Ein Kapitel behandelt zudem Fensterarbeiten im Bestand: Erhalt von alten Fenstern und Austausch bei der Modernisierung.
- **Erb Markus und Eicher Hanspeter (2001)**  
Sanierung von einfach- und doppelverglasten Fenstern: im Auftrag des Bundesamtes für Energie.  
Inhalt: Sanierungsmöglichkeiten, Sanierungsmassnahmen und Bewertung der Sanierungsvarianten.

### 2.2.2 Normen

- **SIA 380/1: 2009**  
Thermische Energie im Hochbau  
Inhalt: Zweck der Norm ist ein massvoller und wirtschaftlicher Einsatz von Energie für Raumheizung und Warmwasser im Hochbau. Sie leitet damit einen Beitrag an eine ökologische Bauweise.
- **SIA 180: 1999**  
Wärme- und Feuchtschutz im Hochbau  
Inhalt: Zweck dieser Norm ist die Sicherstellung eines behaglichen Raumklimas und die Vermeidung von Bauschäden. Sie behandelt daher die Komfortanforderungen sowie den Wärme- und Feuchteschutz für den Hochbau im Winter wie im Sommer. Sie geht von einem Raumklima aus, das von der Mehrzahl der Benutzer als behaglich empfunden wird und für alle Benutzer hygienisch ist.

### 2.2.3 Dokumentationen

- **SIA- Dokumentation D 0166 (2001)**  
Leitfaden zur Anwendung der Norm SIA 180  
Inhalt: Umsetzung der Anforderungen aus der Norm SIA 180 im Ablauf von Planung und Realisierung.
- **SIA- Dokumentation D 0107 (1993)**  
Wärmebrückenkatalog 3; Altbaudetails: Zürich  
Inhalt: Beurteilungsgrundlagen für Wärmebrücken, gegliedert in Altbauten: die Alten vor 1900, die Mittleren: von 1900 bis 1925 und die Neuen: 1925 bis 1965.
- **Element 29 (1993)**  
Wärmeschutz und Energie im Hochbau: Schweizerische Ziegelindustrie, Zürich  
Inhalt: Es berücksichtigt die in jener Zeitspanne aufgetretenen Entwicklungen in der Bauphysik.



## 2.2.4 Weitere

- **Vorsicht Schimmel (2009)**  
Eine Wegleitung zu Feuchtigkeitsproblemen und Schimmel in Wohnräumen: Bundesamt für Gesundheit, Bern.  
Inhalt: Gesundheitsprobleme bei Schimmel, Massnahmen und Sanierungsmöglichkeiten.
- **Optimales Lüften (2001)**  
Hilft Kondenswasser, Feuchtigkeitsschäden und Energieverluste zu vermeiden: Schweizerischer Fachverband Fenster- und Fassadenbranche, Zurzach.
- **VFF Leitfaden HO.09** (Verband der Fenster- und Fassadenhersteller)  
Erfasst Vorgehen, Einflüsse und handwerkliche Ausführungen zur **Runderneuerung von Kastenfenstern aus Holz**.
- **Modelllehrgang für Schreiner Richtung Bau/Fenster:** Schweizerischer Fachverband Fenster- und Fassadenbranche  
Inhalt: Fenstersystem und Dichtungen, Bauphysik und weiteres Wissen um Fenster, Materialien und Beschläge.

### 3 Methodik

Im Überblick beinhaltet die Methodik ausgehend vom Grundlagenstudium folgende Phasen:

1. Massnahmen zur Ertüchtigung historischer Fenster
2. Berechnungen der bauphysikalischen Grössen
3. Messung der Luftdichtigkeit von historischen Fenstern

#### 3.1 Massnahmen zur Ertüchtigung historischer Fenster

Grundsätzlich können zwei Arten zur Verbesserung der Eigenschaften von Fenstern herangezogen werden:

- Sanierung durch Instandsetzung und Reparatur, also Ertüchtigung der Fenster und
- Modernisierung durch Auswechslung und Ergänzungen

Eine Sanierung ist bedingt durch den Grad der Fensterzerstörung in Konstruktion und Material. Zu prüfen sind Standfestigkeit, Dichtigkeit gegen Schlagregen, Verwindungsgrad von Stock und Flügel, Gängigkeit und Wirkung der Beschläge, Zustand der Kittfalze und Falzdichtigkeit aller Anschläge. Materialprüfungen beziehen sich auf den Zustand des Holzes; Pilzbefall und Holzfeuchten über 25% schliessen eine teilweise Sanierung aus.

##### 3.1.1 Falzdichtung

Bei historischen Fenstern sind grundsätzlich keine Falzdichtungen eingebaut. Der Einbau dieser bringt jedoch mehrere positive Effekte mit sich. So etwa stellen sich ein höherer Komfort, niedrigere Lüftungswärmeverluste und ein besserer Schallschutz ein. Zu dichte Fenster können aber auch das ‚bauphysikalische Gleichgewicht‘ stören. In der Entwicklung von Fenstern war die Fugendurchlässigkeit ( $\alpha$ -Wert) die erste messbare Grösse zur Beurteilung der Fenster. Daher wurden Versuche unternommen diesen Wert zu verbessern. Das Ergebnis zog eine höhere Tauwasserbildung durch fehlende Luftdurchlässigkeit mit sich.

Die beiden unteren Abbildungen zeigen die mögliche Einfräsung einer Silikondichtung in den Flügelrahmen des Fensters.

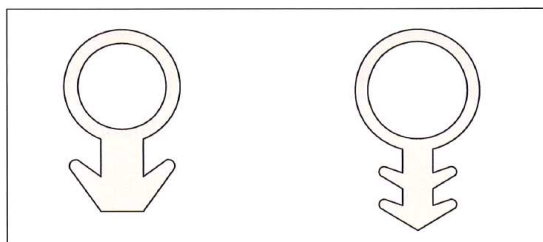


Abbildung 3: Mögliche Silikoneinfräsdichtungen

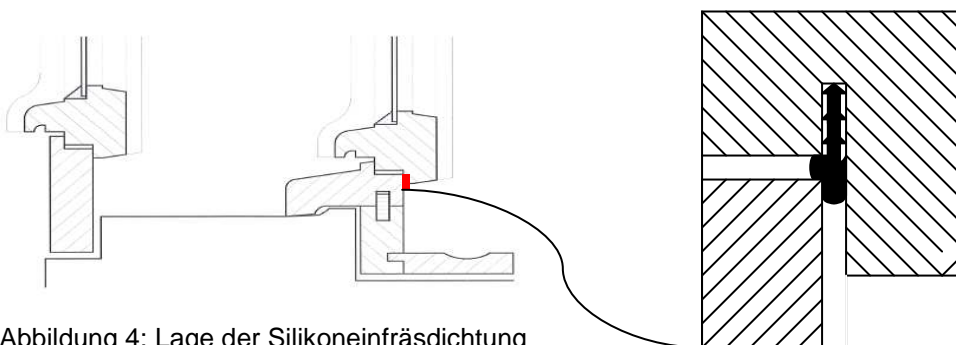


Abbildung 4: Lage der Silikoneinfräsdichtung

Während die innere Fensterebene gegen Luftdurchlässigkeit abgedichtet wird, was zu einer Erhöhung des Wärme- und des Schallschutzes führt, muss das Vorfenster gegen Schlagregen dicht sein. Somit werden in beiden Fensterebenen unterschiedliche Funktionen erfüllt. Der nachträgliche Einbau von Falzdichtungen kann in der Regel mit wenig Aufwand realisiert werden. Neben dem allgemeinen Zustand des Fensters sollte auch die Stärke des Über-schlages beachtet werden. Eine Verbreiterung des Falzanschlages kann allenfalls durch eine Aufdoppelung vorgenommen werden.

### 3.1.2 Glasersatz

Als eine einfache Sanierungsmassnahme kann auch der Glasersatz bezeichnet werden. Heute gibt es eine Vielzahl von unterschiedlichen und leistungsfähigen Gläsern. Vor allem für die Transmissionswärmeverluste ist der sogenannte g-Wert massgebend. Er bezeichnet den Gesamtenergiedurchlassgrad durch ein transparentes Bauteil.

Die Werte der Glasersatz-Varianten wurden mit dem Online-Tool Pilkington Spektrum bestimmt ([www.pilkington.com](http://www.pilkington.com)). Die Berechnung von licht- und energietechnischen Daten wird dabei nach EN 410 durchgeführt, die Berechnung des  $U_g$ - Wertes (Wärmedurchgangskoeffizient des Glases) erfolgt gemäss EN 673.

Der  $U_g$ - Wert entspricht nicht demjenigen aus dem erstellten Katalog ( $U_g$ - Wert 3.74 bei der Ist- Situation), da unterschiedliche Berechnungsmethoden vorliegen. Somit sind für das weitere Vorgehen nicht die Absolut-, sondern die Differenzwerte ausschlaggebend.

Tabelle 2: Möglichkeiten Glasersatz

	Möglichkeiten	Glas 1 mm	SZR mm	Glas 2 mm	$U_g$ W/m <sup>2</sup> K	g- Wert	$T_L$ %
	Ist - Situation	3	200	3	2.9	0.77	61
1	Ersatz des <b>inneren Glases</b> durch eines mit Wärmeschutzbeschichtung	3	200	<b>K4</b>	2.0	0.73	75
2	Austausch beider Scheiben (wie 1 <b>äusseres Glas</b> durch Normalglas ersetzt)	4	200	K4	2.0	0.71	75
3	Austausch innen mit einer <b>2-fach IV</b> mit Wärmeschutzbeschichtung	3/200/4	<b>16 Ar</b>	<b>K4</b>	1.1	0.65	68
4	Austausch beider Scheiben (wie 3 <b>äusseres Glas</b> durch Normalglas ersetzt)	4/200/4	16 Ar	K4	1.1	0.64	68
5	Ersatz Sonnenschutzglas aussen	4ab	200	3	2.9	0.50	58
6	Ersatz Glas aussen und innen IV mit Wärmeschutzbeschichtung	K4	200	4/16 Ar/4	1.1	0.40	49

g- Wert	Gesamtenergiedurchlassgrad
$T_L$	Lichttransmissionswert in %
SZR	Scheibenzwischenraum
Ar	Gasfüllung im SZR mit Argon
K4	K GLASS™ (einziges Einfachglas mit erhöhter Wärmedämmung durch Zinnoxidbeschichtung)

Nach vorliegender Tabelle 2 zeigt sich, dass der Austausch eines Fensters (Sommerfenster) durch ein Glas mit Wärmeschutzbeschichtung (Möglichkeit: 3) ausreichend ist. Das unterstützt den Erhalt des Winterfensters im Originalzustand.

**Möglichkeit 3 ist in den meisten Fällen ausreichend, da:**

- äussere Fensterebene wie gehabt
- nur in der inneren Fensterebene muss das Einfachglas durch ein Isolierglas ersetzt werden
- der U-Wert lässt sich mit keiner anderen Variante noch weiter verbessern
- der g- Wert kann im Sommer durch die Fensterläden reduziert werden

Falls das Holz des Vorfensters Schäden aufweist, muss im Einzelfall überprüft werden, ob eine andere Möglichkeit nicht mehr Nutzen bringt. Das Glas muss dabei auf jeden Fall ausgebaut werden, um das Holz zu erneuern.

Ob eine Nachrüstung durch Glaserersatz machbar ist, hängt von verschiedenen Faktoren ab. So kommt es zum Beispiel auf die Dicke des Rahmens an. Wenn das Glas nicht direkt eingesetzt werden kann, besteht meistens noch die Möglichkeit den Glasfalz im Flügelrahmen zu verbreitern oder zusätzliche Halteprofile anzubringen.

Wird ein Isolier- oder Wärmeschutzglas eingebaut, nimmt das Gewicht welches die Beschläge tragen müssen zu. Das zu sanierende Fenster ist deshalb auf ausreichende Stabilität der Bänder und eventuelle Verzerrungen des Flügels zu prüfen. Da Fenster in Altbauten oft sehr dünne Scheiben aufweisen, wurde vorliegend von einem 3mm Glas ausgegangen.

### 3.1.3 Hinterdämmung der Leibung

Hier handelt es sich um eine Innendämmung der seitlichen Leibungen. Früher wurden die Fensterleibungen oft nur mit Holz verkleidet, welche die Unebenheiten der Leibungsarbeiten verdeckten. Indem der Hohlraum zwischen Holz und Leibung mit Wärmedämmstoffen ausgefüllt wird (z. Bsp. durch Einblasen von Zelluloseflocken oder Aerogelgranulat), können Tauwasser- und Schimmelgefahr reduziert werden. Es ist auch denkbar die Dicke dieser Hohlräume mit einer neuen oder restaurierten Holzverkleidung zu modifizieren, sollte die Verkleidung beschädigt sein. Dabei spielt die Versiegelung bzw. Abdichtung eine wichtige Rolle. Die Machbarkeit dieser Sanierungsvariante ist mit dem Innenausbau abzuklären.

**Schnitt: Fensterleibung**

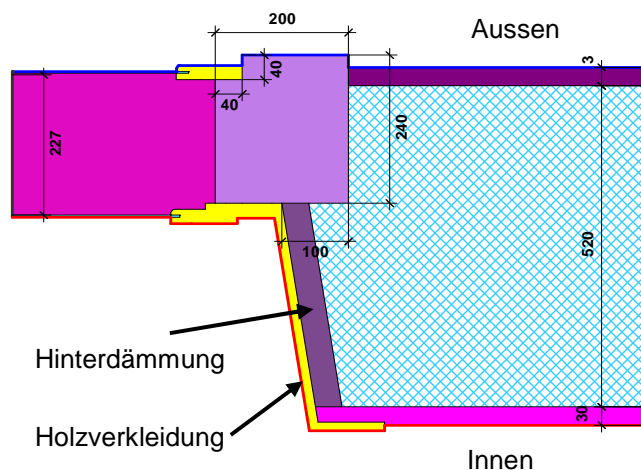


Abbildung 5: Horizontalschnitt durch die Fensterleibung

Falls keine Holzverkleidung vorhanden ist, könnte auch Innen ein Wärmedämmputz appliziert werden.

### 3.1.4 Wärmedämmputz aussen

Das Anbringen eines Wärmedämmputzes kann sowohl innen als auch aussen erfolgen.

In den meisten Fällen wird dieser als Zusatzdämmung (**Wärmeleitfähigkeit: 0.05 – 0.20 W/mK**) bei Altbauten angebracht, da auf diesem Weg der U-Wert der bestehenden Wand auf sehr einfache Weise verbessert werden kann.

Die allgemeinen Eigenschaften eines mineralisch gebundenen Isolier-/ und Wärmedämmputzes sind:

- eine fugenlose Wärmedämmung
- wasserdampfdiffusionsoffen (dadurch trockenes Mauerwerk)
- schwer entflammbar
- Minimierung von Untergrundrissen (kleines Elastizitätsmodul = nachgiebig)
- Ausgleich von Unebenheiten des Untergrunds

Mit dem zusätzlichen Wärmedämmputz wird die Feuchtebelastung des Mauerwerks reduziert und ausgeglichener. Die Temperaturschwankungen an den Innenoberflächen sind geringer.

Bei einer Sanierung muss allerdings abgeklärt werden, ob die Ansprüche an das Fassadenbild dadurch eingehalten werden können.

## 3.2 Berechnung der bauphysikalischen Grössen

Die Ausgangssituation für die Berechnungen ist dem **Wärmebrückenatlas für Altbaudetails (SIA Dokumentation D 0107)** entnommen, welcher Standardsituationen aus verschiedenen Zeiträumen sowie Schnittzeichnungen erfasst. Es konnte eine Ist-Situation gefunden werden, die der vorhandenen sehr ähnlich ist. Die Bauweise ist auf den Zeitraum kurz vor 1900 zurückzuführen.

Alle massgebenden und zur bauphysikalischen Untersuchung relevanten Werte werden in Tabelle 3 aufgelistet. Das Eingehen auf Bedeutung und Beurteilung einzelner Grössen, welche mit dem Computerprogramm Flixo® ausgeführt wurden, erfolgt in darauffolgenden Kapiteln.

Tabelle 3: Berechnungswerte mit Flixo®

U-Wert Glas $U_g$ [W/m <sup>2</sup> *K]	Wärmedurchgangskoeffizient Glas
U-Wert Wand $U_g$ [W/m <sup>2</sup> *K]	Wärmedurchgangskoeffizient Wand
Oberflächentemperaturfaktor $f_{RSI}$	Beurteilung der kritischen Oberflächenfeuchte
min. Innenoberflächentemperatur $\theta_{si}$ min	Bestimmung der Behaglichkeit
$\phi_{100\%}$ Raumlufffeuchte Kondensat	Beurteilung der Oberflächenkondensatbildung
$\phi_{80\%}$ Raumlufffeuchte Schimmel	Beurteilung der Schimmelpilzgefahr
Wärmestrom $\Phi$	Verlauf des Wärmeflusses vom wärmeren Innenraum durch das Bauteil nach Aussen
Wärmebrücke $\Psi$	Wärmeverlustkoeffizient durch die Einbausituation



von Zuglufterscheinungen und damit die Vermeidung von Tauwasserbildung durch Konvektion.

Die Verbesserung der Fugendichtigkeit führt zu einer Verringerung des unkontrollierten Luftaustausches (Permanentlüftung) zwischen Innen und Aussen. Kann die Raumluftfeuchte nicht mehr durch gezieltes Lüften nach aussen geleitet werden, besteht die Gefahr der Bildung von Tauwasser.

Betroffene Funktionen bei der Erhöhung der Fugendichtigkeit sind:

- Energieeinsparung
- Behaglichkeit respektive Komfort
- Schlagregendichtheit (Verhinderung des Eindringens von Feuchtigkeit verstärkt durch Winddruck von aussen)
- Schalldämmung

Die Messungen am Fenstersystem Vorfenster werden nach der BlowerDoor®-Methode durchgeführt. Der Unterschied zu herkömmlichen BlowerDoor-Messung der Gebäudehülle besteht darin, dass eine Messung an Fenstern mit dieser Methode nicht im Energiegesetz integriert ist. Dennoch kann mit den gewonnenen Messwerten der Volumenstrom [ $\text{m}^3/\text{h}$ ] durch die Fensterfugen wesentlich genauer angegeben werden. Auf diese Weise wird es möglich verschiedene Sanierungsvarianten mit Falzdichtungen einander gegenüber zu stellen und zu vergleichen.

Eine Messung folgt dem Prinzip (Abbildung: 6) der En 13829:2000 (Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden - Differenzdruckverfahren). Dafür wird ein Fenster mit einer Folie, welche eine Lochblende besitzt versehen. Die BlowerDoor®-Einrichtung erzeugt daraufhin eine Druckdifferenz. Diese wird jeweils vor und nach der definierten Lochblende gemessen. Daraus resultiert der Volumenstrom. Um die Durchlässigkeit der Fugen beurteilen zu können, wird zusätzlich die zugehörige Druckdifferenz am Fenster (siehe folgende Abbildung  $\Delta p_{\text{Bauteil}}$ ) gemessen.

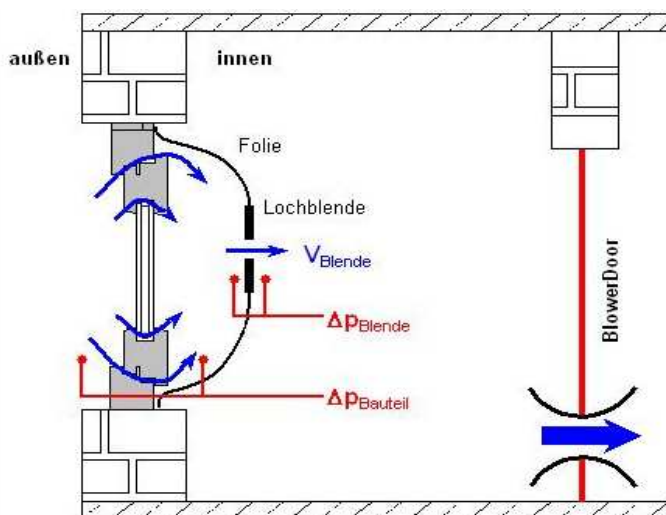


Abbildung 6: Prinzipskizze: Messung der Luftdurchlässigkeit an Fenstern

Die Luftdurchlässigkeit wird nach DIN EN 12207 in die **Klassen 4 – 1** (in der Klasse 4 herrscht bei einem definierten Druckunterschied am wenigsten Luftaustausch) unterteilt. Die Klassifizierung der Luftdurchlässigkeit wird dabei auf die Fugenlänge oder die Fläche des Fensters bezogen.

Tabelle 5: Einteilung der Klassen 4 - 1

Klasse nach DIN EN 12207	1. Referenz-durch-lässigkeit bei 50 Pa in $\text{m}^3/(\text{hm}^2)$	2. Referenz-durch-lässigkeit bei 50 Pa in $\text{m}^3/(\text{hm})$	Maximaler Prüfdruck in Pa	Klassifizierung nach DIN EN 18055 Beanspruchungsgruppe (alte Norm)
0	nicht geprüft			
1	31.5	7.87	150	A
2	17	4.25	300	B
3	5.7	1.42	600	C
4	1.9	0.47	600	

1. bezogen auf  $1\text{m}^2$  Fensterfläche
2. bezogen auf 1m Fugenlänge

Bei der Auswertung der Messergebnisse entsteht eine nahezu lineare Funktion. Alle Werte müssen dabei unter der Grenzwertkurve liegen. Obere Tabelle zeigt die gemessenen Größen am Ende der Prüfung bei 50 Pa.

## 4 Bauphysikalische Grundlagen

### Allgemeines zum U-Wert von Wand und Fenster

**Neumann Hans-Rudolf et al. (2003):** „Der U-Wert des Fensters muss stets geringer sein als der U-Wert der umgebenden Wände. Andernfalls diffundiert die Feuchtigkeit der Raumluft nicht über die Fenster nach aussen, sondern wählt den Weg durch die Wand, was feuchte Wände und Schimmelbildung zur Folge haben kann.“

### Für das Verständnis des Kataloges:

Die Werte für  $\varphi_{80\%}$  Raumlufffeuchte Schimmel wie auch die Werte für die Wärmebrücken  $\Psi$  werden nach folgenden Grundlagen beurteilt.

Die Aussage aus dem Katalog:  **$\varphi_{80\%}$  Raumlufffeuchte: Schimmel = 50%** bedeutet, dass sich bei einer relativen Luftfeuchtigkeit im Raum von 50%, bereits eine geringe Schimmelgefahr an der Bauteiloberfläche (Oberflächenfeuchte von 80%) einstellt. Um diese Gefahr beurteilen und einschätzen zu können, wird auf nachfolgende Tabelle zurückgegriffen. Die Abstufungen sind dem Wärmebrückenkatalog 3 für Altbau­details entnommen.

Tabelle 6: Hygrische Beurteilung

zulässige Raumlufffeuchte	Ausprägung der Schimmelgefahr
40 – 44 %	akute Schimmelgefahr
45 – 49 % ...	Schimmelgefahr
50 – 54 % ...	geringe Schimmelgefahr
55 – 60 % ...	Schimmel wenig wahrscheinlich

### Wärmestrom:

Der Wärmestrom beschreibt die Verlustleistung in Watt pro Laufmeter. Die Angabe im Katalog zeigt jedoch lediglich die Verbesserung in Prozent gegenüber der Ausgangssituation auf, da der Wärmestrom nur für den Ausschnitt der Detailzeichnung berechnet wird. Im Energie­nachweis wird die Verbesserung im Gesamten dargestellt.



**Wärmebrücke:**

Die Grösse der Wärmebrücken wurde gemäss Wärmebrückenkatalog 3 für Altbaudetails differenziert. Für Gebäude aus anderen Zeitperioden müssen diese Werte jeweils angepasst werden.

Tabelle 7: Beurteilung von Wärmebrücken

kleine Wärmebrücke	< 0.30 W/m·K
grosse Wärmebrücke	≥ 0.30 W/m·K

**Anmerkung: Im Katalog ist der Bezugspunkt der Wärmebrücke in der Schnittzeichnung der Wärmestromlinien mit einem roten Pfeil markiert (3. Spalte).**

## 4.1 Bauphysikalische Beurteilung

Im Folgenden werden zwei ausgewählte Situationen im Horizontalschnitt näher gebracht und ihre jeweiligen Werte mit einander verglichen:

- Ist-Situation (Nr. **H**) und
- Sanierungsvariante mit Falzdichtung, Hinterdämmung der Leibung und Wärmedämmputz (Nr. **HAB20C20**)

Tabelle 8: Berechnungswerte mit Flixo® 2

1	U-Wert Glas [ $U_g$ W/m <sup>2</sup> *K]
2	U-Wert Wand [ $U_g$ W/m <sup>2</sup> *K]
3	Oberflächentemperaturfaktor $f_{RSI}$
4	min. Innenoberflächentemperatur $\theta_{si}$ min
5	$\phi_{100\%}$ Raumlufffeuchte Kondensat
6	$\phi_{80\%}$ Raumlufffeuchte Schimmel
7	Wärmestrom $\Phi$
8	Wärmebrücke $\Psi$

Altbautsituationen

H Ist – Situation, Leibung, H= Horizontalschnitt			
<b>Konstruktion</b> 	<b>Isotherme</b> 	<b>Wärmestromlinien / Wärmebrücke</b> 	
<b>Material</b> Aussenputz Bruchstein mit Kalkmörtel Glas, 2500 Innenputz Kunststein Luftschicht, schwach belüftet Weich-Holz	<b>λ [W/(m·K)]</b> 0.870 1.300 0.810 0.700 1.300 2.556 0.130	U-Wert Glas 3.74 W/(m²K) U-Wert Wand 1.54 W/(m²K) Oberflächen temperaturfaktor f <sub>Rsi</sub> 0.691 min. Innenoberflächentemperatur θ <sub>si</sub> min 10.73 °C ϕ <sub>100%</sub> Raumluffteuchte: Kondensat 55 % ϕ <sub>90%</sub> Raumluffteuchte: Schimmel 44 %	Wärmestrom Φ 66.468 W/m Wärmebrücke Ψ 0.069 W/m·K
Hygische Beurteilung: f <sub>Rsi</sub> = 0.691 (leicht zu tief) 55 % Raumfeuchte: Tauwassergefahr 44 % Raumfeuchte: Schimmelgefahr (akute Gefahr)		Thermische Beurteilung: Kleine Wärmebrücke am Fensteranschlag	
Sanierungsmöglichkeiten: • Falzdichtung (S. 2) • Hinterdämmung + 10mm, 20mm, 40mm (S. 3 – 5) • Wärmedämmputz + 20mm, 30mm, 40mm (S. 6 - 8) • Kombinationen (S. 9 – 26)			

Abbildung 7: Ist-Situation: H

Altbautsituationen

HAB20C20 Sanierung mit Dichtung (A), Hinterdämmung der Leibung (B) und Wärmedämmputz (C)			
<b>Konstruktion</b> 	<b>Isotherme</b> 	<b>Wärmestromlinien / Wärmebrücke</b> 	
<b>Material</b> Aussenputz Bruchstein mit Kalkmörtel Glas, 2500 Innenputz Kunststein Luftschicht, schwach belüftet Weich-Holz isofloc, eingeblasen Wärmedämmender Putz	<b>λ [W/(m·K)]</b> 0.870 1.300 0.810 0.700 1.300 2.556 0.130 0.039 0.200	U-Wert Glas 2.80 W/(m²K) U-Wert Wand 1.34 W/(m²K) Oberflächen temperaturfaktor f <sub>Rsi</sub> 0.755 min. Innenoberflächentemperatur θ <sub>si</sub> min 12.64 °C ϕ <sub>100%</sub> Raumluffteuchte: Kondensat 62 % ϕ <sub>90%</sub> Raumluffteuchte: Schimmel 50 %	Wärmestrom Φ 52.693 W/m Wärmebrücke Ψ 0.032 W/m·K
+ Falzdichtung, 20mm Hinterdämmung und 20mm Wärmedämmputz		<b>Verbesserung gegenüber der Ausgangssituation:</b> f <sub>Rsi</sub> = 0.064 (gut) ϕ <sub>90%</sub> Raumluffteuchte: Schimmel = 6 % (geringe Gefahr)	
		<b>Verbesserung gegenüber der Ausgangssituation:</b> Wärmestrom Φ = 13.775 W/m (20.72 %) Wärmebrücke Ψ = 0.037 W/m·K (sehr kleine WB)	

Abbildung 8: Sanierungsvariante: HAB20C20

**1. U-Wert Glas  $U_g$   $W/m^2 \cdot K$ ]**

Ist-Situation:	3.74
Sanierungsvariante:	2.80
<b>Verbesserung:</b>	<b>25%</b>

Der Einbau einer Falzdichtung beeinflusst das Strömungsverhalten zwischen den Fenstern. Dies bedeutet, dass eine neue Falzdichtung zu einer Optimierung der Transmissionswärmeverluste von ca. 25% führt.

Wird zusätzlich ein Glasersatz vorgenommen (K4 in der inneren Fensterebene), so verbessert sich der  $U_g$ -Wert um weitere  $0.8 W/m^2 \cdot K$  auf  $2.0 W/m^2 \cdot K$  (Siehe Kapitel: 3.1.2 Glasersatz).

**2. U-Wert Wand  $U_g$   $W/m^2 \cdot K$ ]**

Ist-Situation:	1.54
Sanierungsvariante:	1.34
<b>Verbesserung:</b>	<b>13%</b>

Vor allem das Anbringen eines Wärmedämmputzes von jeweils 20 mm bewirkt eine Verbesserung des Transmissionswärmeverlustes von ca. 13 %.

Die Hinterdämmung der Leibung trägt hierzu keine Verbesserung bei.

**3. Oberflächentemperaturfaktor  $f_{RSI}$** 

Ist-Situation:	0.691
Sanierungsvariante:	0.755
<b>Verbesserung:</b>	<b>9%</b>

Durch die Hinterdämmung der Leibung wird die kritische Oberflächenfeuchte über den massgebenden Wert  $f_{RSi, min}$  von **0.716** angehoben (Kapitel: Berechnung der bauphysikalischen Grössen und Anhang E).

**4. Min. Innenoberflächentemperatur  $\theta_{si}$  min**

Ist-Situation:	10.73 C°
Sanierungsvariante:	12.64 C°
<b>Verbesserung:</b>	<b>18%</b>

Mit den gegebenen Sanierungsmassnahmen ist eine Verbesserung von beinahe 2 C° realisierbar.

**5.  $\varphi_{100\%}$  Raumlufffeuchte Kondensat**

Ist-Situation:	55 %
Sanierungsvariante:	62 %
<b>Verbesserung:</b>	<b>7 %</b>

Die Feuchteproduktion im Innenraum kann sich um 7 % erhöhen ohne dass eine Oberflächenfeuchte von 100% erreicht wird. Auf diese Weise kann die Bildung von Kondensat verzögert werden.

**6.  $\phi_{80\%}$  Raumlufffeuchte Schimmel**

Ist-Situation:	44 %
Sanierungsvariante:	50 %
<b>Verbesserung:</b>	<b>6 %</b>

Nach Tabelle 4 (Hygrische Beurteilung) wird die Schimmelgefahr durch eine Sanierungsmassnahme von akut auf gering heruntergestuft.

**7. Wärmestrom  $\Phi$** 

Ist-Situation:	66.468 W/m
Sanierungsvariante:	52.693 W/m
<b>Verbesserung:</b>	<b>21%</b>

Die auf den Laufmeter bestimmte Verlustleistung über den Ausschnitt der Detailzeichnung verbessert sich um ca. 21 %.

**8. Wärmebrücke  $\Psi$** 

Ist-Situation:	0.069 W/m <sup>2</sup> *K
Sanierungsvariante:	0.032 W/m <sup>2</sup> *K
<b>Verbesserung:</b>	<b>54%</b>

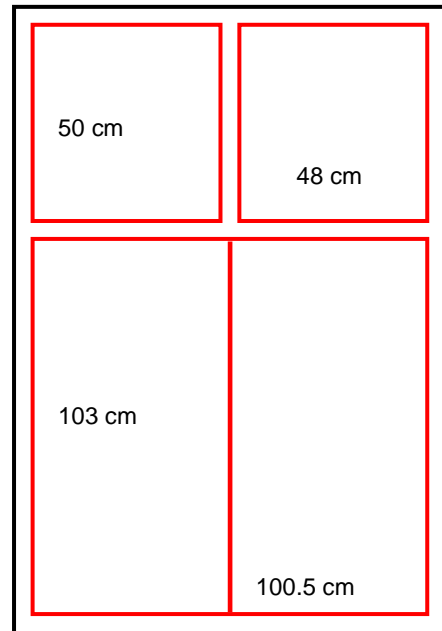
Laut Tabelle 6 existiert bereits in der Ist-Situation eine verhältnismässig minimale Wärmebrücke, welche dennoch um die Hälfte reduziert werden kann.

Tabelle 9: Übersicht Ergebniswerte des Katalogs

Sanierungsvarianten	U <sub>g</sub>	U <sub>w</sub>	f <sub>rsi 1</sub>	f <sub>rsi 2</sub>	Φ	ψ	g-Wert		
	W/m <sup>2</sup> K	W/m <sup>2</sup> K			in W/m	W/m <sup>2</sup> K			
<b>Ausgangssituationen</b>									
H	3.74	1.54	0.691	✘	0	66.468	0.069	0.77	
V1	3.74	1.97	0.665	✘	0.683	✘	45.484	0.196	0.77
V2	3.74	1.97	0.709	✘	0	70.560	-0.069	0.77	
<b>Sanierung mit Dichtung</b>									
HA	2.80	1.54	0.697	✘	0	59.052	0.110	0.73	
V1A	2.80	1.97	0.671	✘	0.683	✘	38.215	0.242	0.73
V2A	2.80	1.97	0.716	✔	0	63.121	-0.029	0.73	
<b>Sanierung mit Hinterdämmung der Leibung</b>									
HB10	3.74	1.54	0.725	✔	0	64.145	-0.009	0.77	
HB20	3.74	1.54	0.736	✔	0	63.061	-0.045	0.77	
HB40	3.74	1.54	0.740	✔	0	61.838	-0.089	0.77	
<b>Sanierung mit Wärmedämmputz</b>									
HC20	3.74	1.34	0.706	✘	0	63.007	0.088	0.77	
HC30	3.74	1.25	0.711		0	61.885	0.105	0.77	
HC40	3.74	1.18	0.716	✔	0	60.982	0.123	0.77	
V1C20	3.74	1.64	0.680	✘	0.722	✔	44.407	0.169	0.77
V1C30	3.74	1.52	0.684	✘	0.737	✔	44.043	0.161	0.77
V1C40	3.74	1.41	0.688	✘	0.749	✔	43.740	0.153	0.77
V2C20	3.74	1.64	0.726	✔	0	66.190	-0.005	0.77	
V2C30	3.74	1.52	0.731	✔	0	64.791	0.030	0.77	
V2C40	3.74	1.41	0.735	✔	0	63.673	0.062	0.77	
<b>Sanierung mit Hinterdämmung der Leibung und Wärmedämmputz</b>									
HB10C20	3.74	1.34	0.740	✔	0	61.033	0.022	0.77	
HB10C30	3.74	1.25	0.744	✔	0	60.014	0.043	0.77	
HB10C40	3.74	1.18	0.748	✔	0	59.187	0.063	0.77	
HB20C20	3.74	1.34	0.749	✔	0	60.007	-0.009	0.77	
HB20C30	3.74	1.25	0.752	✔	0	59.123	0.013	0.77	
HB20C40	3.74	1.18	0.755	✔	0	58.337	0.035	0.77	
HB40C20	3.74	1.34	0.752	✔	0	59.035	-0.044	0.77	
HB40C30	3.74	1.25	0.755	✔	0	58.109	0.000	0.77	
HB40C40	3.74	1.18	0.758	✔	0	57.360	0.003	0.77	
<b>Sanierung mit Dichtung, Hinterdämmung der Leibung und Wärmedämmputz</b>									
HAB10C20	2.80	1.34	0.747	✔	0	53.605	0.062	0.73	
HAB10C30	2.80	1.25	0.751	✔	0	52.568	0.083	0.73	
HAB10C40	2.80	1.18	0.755	✔	0	51.731	0.103	0.73	
HAB20C20	2.80	1.34	0.755	✔	0	52.693	0.032	0.73	
HAB20C30	2.80	1.25	0.758	✔	0	51.703	0.054	0.73	
HAB20C40	2.80	1.18	0.762	✔	0	50.902	0.075	0.73	
HAB40C20	2.80	1.34	0.758	✔	0	51.657	-0.002	0.73	
HAB40C30	2.80	1.25	0.761	✔	0	50.716	0.021	0.73	
HAB40C40	2.80	1.18	0.764	✔	0	49.953	0.043	0.73	
V1AC20	2.80	1.64	0.686	✘	0.723	✔	37.120	0.213	0.73
V1AC30	2.80	1.52	0.691	✘	0.737	✔	36.750	0.204	0.73
V1AC40	2.80	1.41	0.695	✘	0.750	✔	36.441	0.198	0.73
V2AC20	2.80	1.64	0.734	✔	0	58.691	0.033	0.73	
V2AC30	2.80	1.52	0.739	✔	0	57.270	0.067	0.73	
V2AC40	2.80	1.41	0.742	✔	0	56.134	0.098	0.73	

## 4.2 Luftdichtigkeit

Die Fugenlänge des Innenfensters spielt nicht nur bei der Messung des a-Wertes eine wichtige Rolle. Diese ist ebenso für die anschliessende Berechnung des Wärmeverlustes infolge des Luftwechsels ausschlaggebend.



**Fugenlänge Innenfenster: 904 cm**

Abbildung 9: Fugenlänge des Innenfensters

In der Tabelle 8 sind die Ergebnisse in Zahlen des Luftdichtigkeitstestes zusammengestellt. Die Messprotokolle befinden sich im Anhang C.

Tabelle 10: Volumenstrombestimmung über Lochblende

Situation	Volumenstrom [m <sup>3</sup> /h]	a-Wert [m <sup>3</sup> /m·h·Pa <sup>0.5</sup> ]	Klasse 4-1
Originalzustand Fenster	11.5	1.3	2
Vorfenster (aussen) abgedichtet	6.3	0.7	3
Innenfenster abgedichtet	4.4	0.5	3
Vor- und Innenfenster abgedichtet	3.0	0.3	4

Aus der dargestellten Tabelle wird ersichtlich, dass die Effektivität einer Dichtung in der inneren Fensterebene höher ist als in der äusseren. Die aussen liegende Fensterebene sollte zudem aus bauphysikalischer Sicht nicht abgedichtet werden, um einen Luftaustausch zwischen dem Innenraum des Fensters mit der Aussenluft zu gewährleisten. Wäre die äussere Fensterebene ebenfalls dicht verschlossen könnte die Feuchtigkeit der Luft nicht mehr abtransportiert werden und die Gefahr von Kondensat am Vorfenster wäre hoch.

Mit dem Luftdurchlässigkeitskoeffizienten, sowie dem a-Wert [ $\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m} \cdot \text{Pa}^{2/3}$ ] kann der Wärmeverlust durch Luftwechsel in folgenden drei Schritten ermittelt werden.

### 1. Spaltströmungsformel

Übliche Strömungen für Fensterfugen liegen im Zwischenbereich von laminaren und turbulenten Strömungen. Als **Ansatz** hat sich deshalb folgende Spaltströmungsformel durchgesetzt.

$$V = a \cdot l \cdot \Delta p^{2/3} \quad [\text{m}^3/\text{h}]$$

V	zu- resp. abströmendes Luftvolumen	$\text{m}^3/\text{h}$
a	Luftdurchlässigkeitskoeffizient	$\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m} \cdot \text{Pa}^{2/3}$
l	Fugenlänge	m
$\Delta p$	Druckdifferenz	Pa

### 2. Luftwechsel

Der Luftwechsel n zeigt das Verhältnis zwischen dem abströmenden Luftvolumen V und dem zugehörigen Raumvolumen  $V_R$ .

$$n = \frac{V}{V_R} \quad \text{oder} \quad n_{L50} = \frac{V}{V_R} \quad [\text{h}^{-1}]$$

$n_{L50}$  Luftwechsel bei einer Druckdifferenz von 50 PA

### 3. Wärmeverlust infolge Luftwechsel

$$Q_L = n \cdot V \cdot \rho \cdot c_p \cdot (\theta_i - \theta_a) \quad [\text{W}]$$

oder

$$Q_L = n \cdot V \cdot \rho \cdot c_p \cdot HGT \cdot \frac{24}{1000} \quad [\text{kWh}]$$

n	Luftwechsel	$\text{h}^{-1}$
V	Inneres Gebäudevolumen	$\text{m}^3$
HGT	Heizgradtage	$\text{K} \cdot \text{d}$
$\rho \cdot c_p$	Auf das Volumen bezogene Wärmekapazität der Luft	Pa

Die auf diese Weise ermittelten Werte ergeben das Ergebnis der Energie  $Q_L$  in kWh.

Tabelle 11: Wärmeverluste infolge Luftwechsel  $Q_L$

Situation	Volumenstrom [m <sup>3</sup> /h]	a-Wert [m <sup>3</sup> /m·h·Pa <sup>n</sup> ]	Klasse 4-1	Q <sub>L</sub> [kWh]
1 Originalzustand Fenster	11.5	1.3	2	20481
2 Vorfenster (ausssen) abgedichtet	6.3	0.7	3	11028
3 Innenfenster abgedichtet	4.4	0.5	3	7877
4 Vor- und Innenfenster abgedichtet	3.0	0.3	4	4726

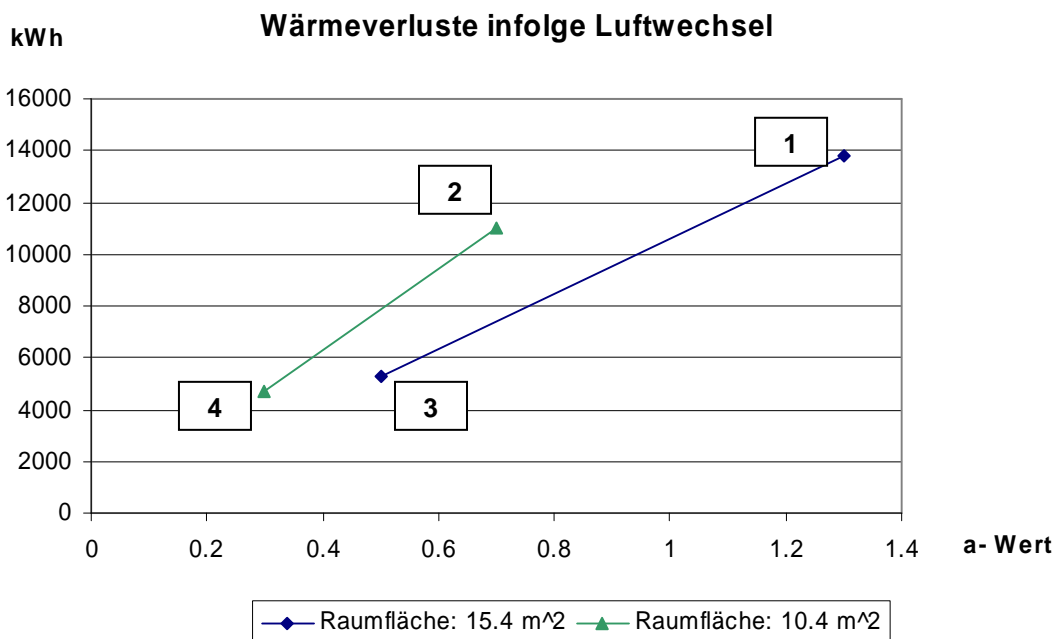


Abbildung 10: Wärmeverluste infolge Luftwechsel

Im Diagramm sind die Wärmeverluste infolge Luftwechsel in Abhängigkeit des a- Wertes dargestellt. Dem Diagramm kann entnommen werden:

- bei beiden Linien verbessert eine Abdichtung des Innenfensters die Ausgangssituation um circa 50%.
- bei der kleineren Raumfläche verläuft die Linie steiler, was eine höhere Effektivität einer neu eingebauten Dichtung zur Folge hat. Der Grund hierfür ist das kleinere Raumvolumen.



### 4.3 Komfort

Hinsichtlich des **Komfortes** ist folgendes Verhalten entscheidend.

Fensterflächen haben innenseitig eine niedrige Oberflächentemperatur, da sie nur eine geringe Dämmwirkung aufweisen. Kommt warme Luft aus dem Raum an die kälteren Oberflächen, wird diese abgekühlt und sinkt ab, da die kältere Luft schwerer ist als warme. Dadurch entsteht eine Luftströmung (Kaltluftabfall), welche in Folge einer Zugscheinung als unbehaglich empfunden wird. Mit Heizkörpern wird dieser Unbehaglichkeit oftmals versucht entgegen zu wirken.

Die sich maximal einstellende Luftgeschwindigkeit  $v_{max}$  in m/s ist bei der Beurteilung massgebend.

Untenstehende Abbildung zeigt in Folge von Fensterhöhen und Temperaturdifferenzen sich einstellende  $v_{max}$  – Werte. Die Fallgeschwindigkeit der Grenzschichtung wird dabei bei einem Wert von  $v_{max} > 30 \text{ cm/s}$  als unbehaglich empfunden.

**Anmerkung: In der Abbildung ist die Geschwindigkeit  $v_{max}$  der Grenzschichtströmung in Funktion der Temperaturdifferenz zwischen Raumluft und Glasoberflächentemperatur und der Glashöhe  $h$ .**

Die Raumtemperatur wird mit 20C° angenommen.

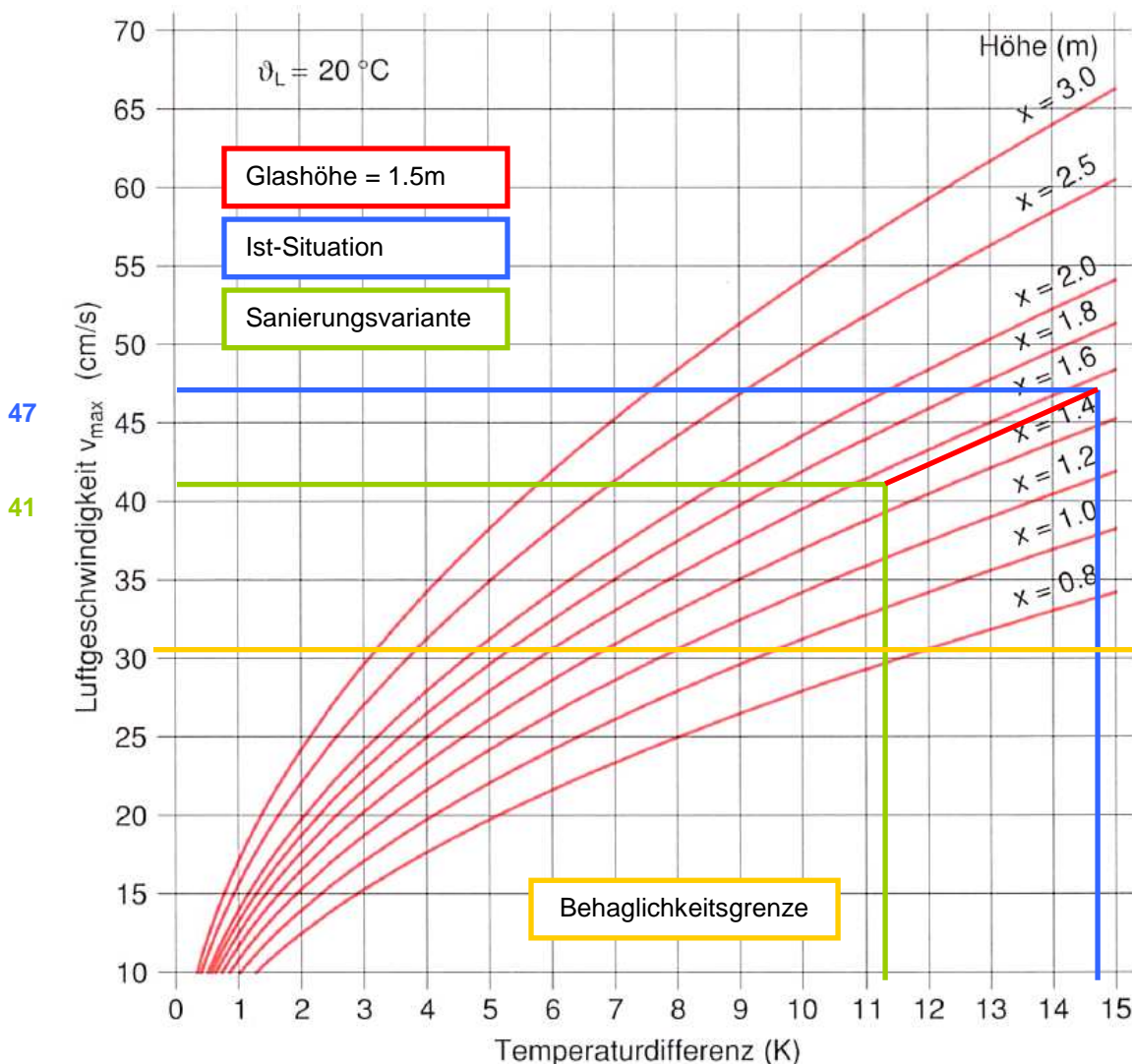


Abbildung 11: Grenzschichtströmung

Im Folgenden wird die Ist-Situation (Nr. **H**) mit der effizientesten Sanierungsvariante (Nr. **HAB40C40**) verglichen.

Sanierungsvariante: mit Falzdichtung, 40mm Hinterdämmung der Leibung und 40mm Wärmedämmputz

Fensterhöhe (Planunterlagen: Anhang D): 1.65 m

Glashöhe (Fensterhöhe minus Rahmen): ca. 1.5 m

Glasoberflächentemperatur der Ist-Situation: 5.22 C°

Glasoberflächentemperatur der Sanierungsvariante: 8.66 C°

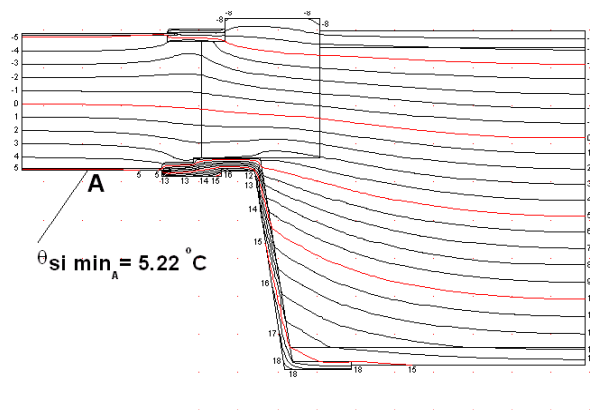


Abbildung 12: Flixoberechnung der Glasoberflächentemperatur für die Ist-Situation

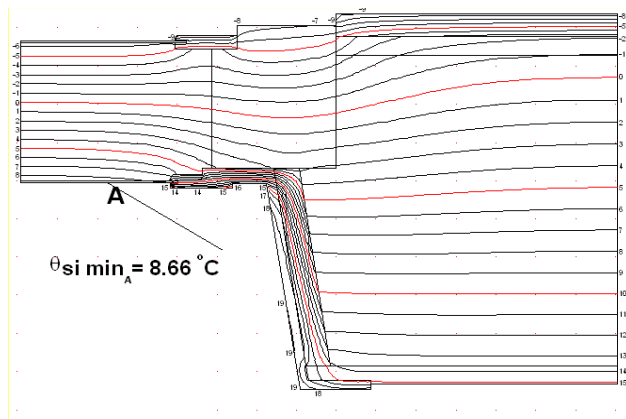


Abbildung 13: Flixoberechnung der Glasoberflächentemperatur für die Sanierungsvariante

Daraus ergeben sich bei einer Raumlufttemperatur von 20 C°:

eine Temperaturdifferenz der Ist-Situation: 14.78 C° (siehe Abb.: 8)

eine Temperaturdifferenz der Sanierungsvariante: 11.34 C° (siehe Abb.: 8)

Die abgelesenen max. Luftgeschwindigkeiten mit Hilfe der Abbildung 8 sind dann:

$v_{\max}$  der Ist-Situation: 47 cm/s      4.7 m/s

$v_{\max}$  der Sanierungsvariante: 41 cm/s      4.1 m/s

Das bedeutet, dass bei der Ist-Situation die Werte einer optimalen Luftgeschwindigkeit um 1.7 m/s und bei der Sanierungsvariante um 1.1 überschritten sind. Damit ist die Behaglichkeit in dieser Umgebung nicht gegeben.

## 5 Schlussfolgerung

Aus der Studie geht hervor, dass historisch wertvolle Fenster durchaus effizient ertüchtigt werden können. So lassen sich mit relativ einfachen Massnahmen, wie beispielsweise einem Einbau nachträglicher Dichtungen bereits spürbare Verbesserungen erzielen. Voraussetzung dafür ist jedoch der Zustand des Fensters.

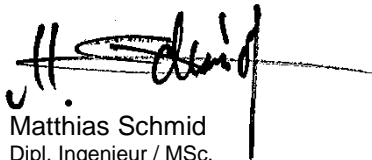
Aufgrund der Ergebnisse lassen sich folgende Fakten zusammentragen:

- Durch einen Glasersatz (Wärmeschutzglas) und den Einbau einer Dichtung des Sommerfensters, werden die Transmissionswärmeverluste über die Fenster um ca. 40% bis 50% reduziert.
- Durch den Glasersatz (Wärmeschutzglas), den Einbau einer Dichtung und einer Hinterdämmung der Leibung steigt der Komfort spürbar im Innenbereich. Die Oberflächentemperaturen erhöhen sich im Fensterbereich sich um ca. 2K.
- Bezogen auf den gesamten Heizenergieverbrauch wird dadurch eine Einsparung von ca. 7% bis 10% erzielt (Fensteranteil 15% bis 20%).
- Die Effizienz von nachträglich fachgerecht eingebauten Falzdichtungen entspricht dem Standard eines neuen modernen Fensters (Luftdurchlässigkeit Klasse 3).
- Die vorgeschlagenen Sanierungsmassnahmen sind mit einem relativen geringen Aufwand auszuführen und tragen somit zum Erhalt des historischen Fassadenbildes bei.
- Voraussetzung für eine schadensfreie Sanierung bzw. Ertüchtigung ist die Abstimmung einzelner Massnahmen untereinander. Ein Fensterersatz provoziert unter Umständen ein erhöhtes Schimmelrisiko an den unsanierten Aussenwänden.

Aufgrund dieser Tatsachen kann man entnehmen, dass es grundsätzlich erstrebenswert sein sollte, bevorstehende Fenstersanierungen auf eine Ertüchtigung zu prüfen. Zudem sollte eine Betrachtung aller Bauteile der betroffenen thermischen Gebäudehülle erfolgen, um die Bauteile mit den grössten Transmissionswärmeverlusten zu eruieren.

Diese Punkte führen dazu, dass auch nur bei einer Fenstersanierung ein gesamtheitliches und durchdachtes Sanierungskonzept über die thermische Gebäudehülle folgen sollte. Nur so lassen sich langfristig Bauschäden vermeiden und Heizenergie nachhaltig einsparen.

Prona AG



Matthias Schmid  
Dipl. Ingenieur / MSc.  
Geschäftsleiter Bauphysik



## Anhang

### A Hilfsmittel / Software

Software zur hygrischen und thermischen Analyse:

Flixo professional, Version 6 (Infomind GmbH)

Luftdichtigkeitstest:

Minneapolis Blower Door Standard (Blower Door GMBH)

Software: TECTITE Express 3.6



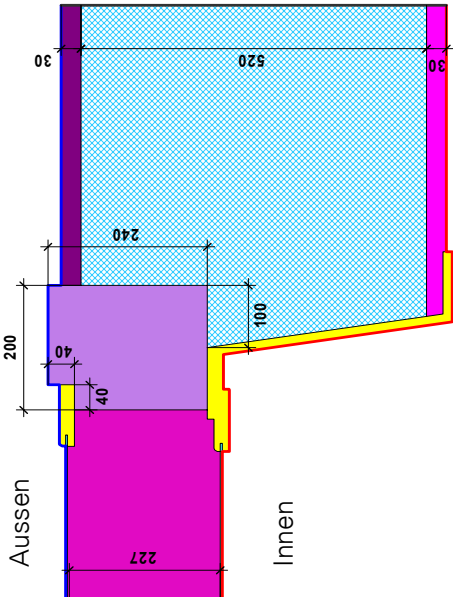
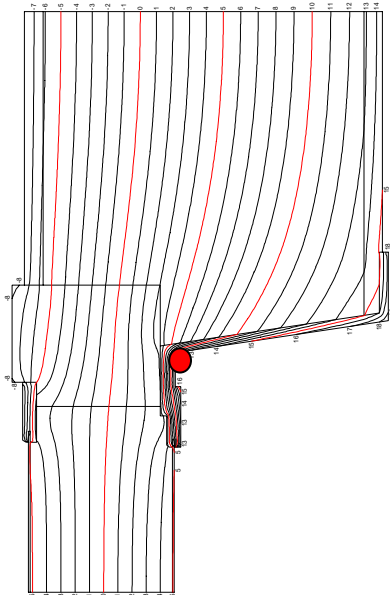
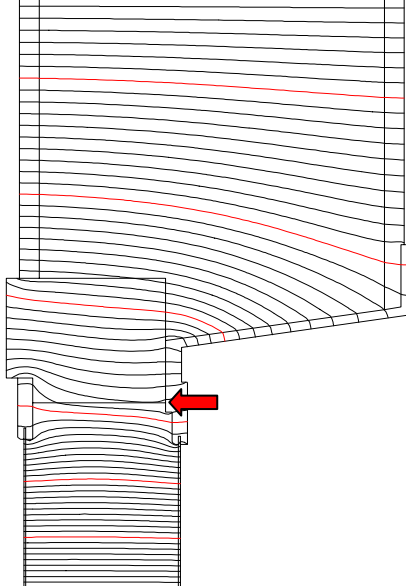
## B Flixo® – Berechnungen

Zur besseren Übersicht sind die Berechnungssituationen in Katalogform als Beilage angefügt.

Es erfolgt eine Zusammenfassung der Sanierungsvarianten. Dabei sind die wichtigsten Varianten angekreuzt.

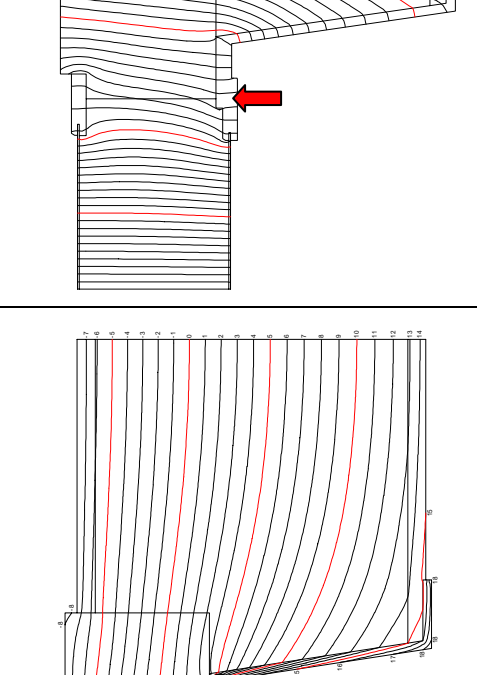
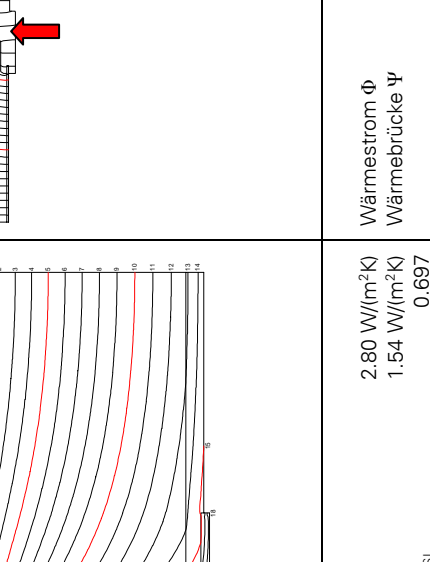
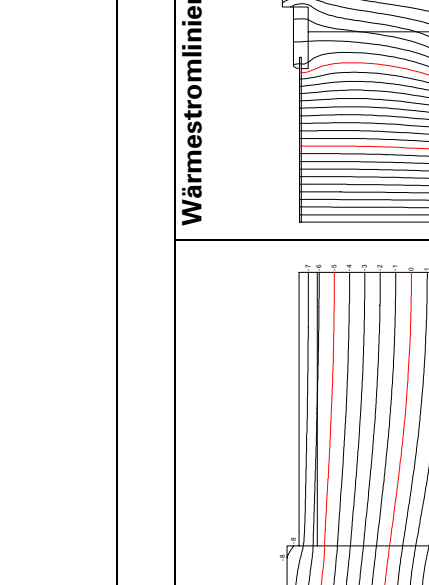
Fenstersituationen Sanierungsvarianten	Horizontal H Fensterleibung	Vertikal V1 Fenstersturz	Vertikal V2 Fensterbrüstung
Varianten gemäss Offerte (P10-095)			
IST-Situation/Schnitte	H	V1	V2
A1: Ersatz des inneren Glases mit Wärmeschutzbeschichtung und Einsatz einer Dichtung	HA1	V1A1	V2A1
A3: Austausch des inneren Glases mit einem 2-fach IV und Einsatz einer Dichtung	HA3	V1A3	V2A3
B10: Dicke Hinterdämmung: 10 mm	HB10	Nicht ausgeführt!	
B20: Dicke Hinterdämmung: 20 mm	HB20		
B40: Dicke Hinterdämmung: 40 mm	HB40		
C20: Dicke Wärmedämmputz: 20 mm	HC20	V1C20	V2C20
C30: Dicke Wärmedämmputz: 30 mm	HC30	V1C30	V2C30
C40: Dicke Wärmedämmputz: 40 mm	HC40	V1C40	V2C40
B10C20: 10mm Hinterdämmung und 20mm Wärmedämmputz	HB10C20	Nicht ausgeführt, da keine Hinterdämmung der Leibung in diesem Schnitt vorgesehen ist!  Kombinationen: nur Dichtung mit Wärmedämmputz möglich!	
B10C30:	HB10C30		
B10C40:	HB10C40		
B20C20:	HB20C20		
B20C30:	HB20C30		
B20C40:	HB20C40		
B40C20:	HB40C20		
B40C30:	HB40C30		
B40C40:	HB40C40		

**H Ist – Situation, Leibung, H= Horizontalschnitt**

<p><b>Konstruktion</b></p> 	<p><b>Isotherme</b></p> 	<p><b>Wärmestromlinien / Wärmebrücke</b></p> 
<p><b>Material</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Aussenputz 0.870</li> <li>Bruchstein mit Kalkmörtel 1.300</li> <li>Glas, 2500 0.810</li> <li>Innenputz 0.700</li> <li>Kunststein 1.300</li> <li>Luftschicht, schwach belüftet 2.556</li> <li>Weich-Holz 0.130</li> </ul>	<p>U- Wert Glas 3.74 W/(m²K)          U- Wert Wand 1.54 W/(m²K)          Oberflächenwiderstand <math>f_{RSI}</math> 0.691          min. Innenoberflächentemperatur <math>\theta_{si}</math> min 10.73 °C  <math>\phi_{100\%}</math> Raumluftfeuchte: Kondensat 55 %  <math>\phi_{80\%}</math> Raumluftfeuchte: Schimmel 44 %</p>	<p>Wärmestrom <math>\Phi</math> 66.468 W/m          Wärmebrücke <math>\Psi</math> 0.069 W/m.K</p>
	<p>Hygrische Beurteilung:  <math>f_{RSI} = 0.691</math> (leicht zu tief)          55 % Raumfeuchte: Tauwassergefahr          44 % Raumfeuchte: Schimmelgefahr (akute Gefahr)</p>	<p>Thermische Beurteilung:          Kleine Wärmebrücke am Fensteranschlag</p>
<p>Sanierungsmöglichkeiten:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Falzdichtung (S. 2)</li> <li>Hinterdämmung + 10mm, 20mm, 40mm (S. 3 – 5)</li> <li>Wärmedämmputz + 20mm, 30mm, 40mm (S. 6 - 8)</li> <li>Kombinationen (S. 9 – 26)</li> </ul>		

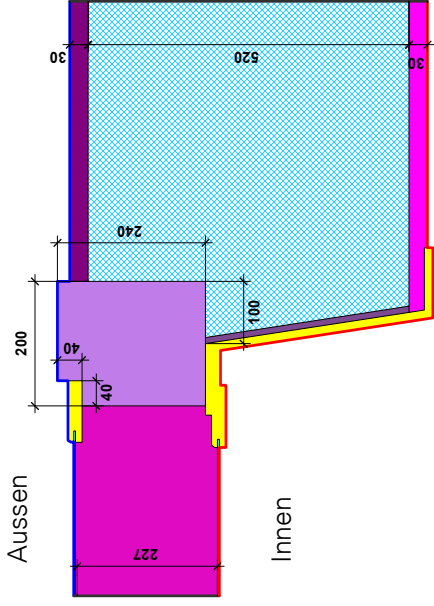


**HA Sanierung mit Dichtung (A)**

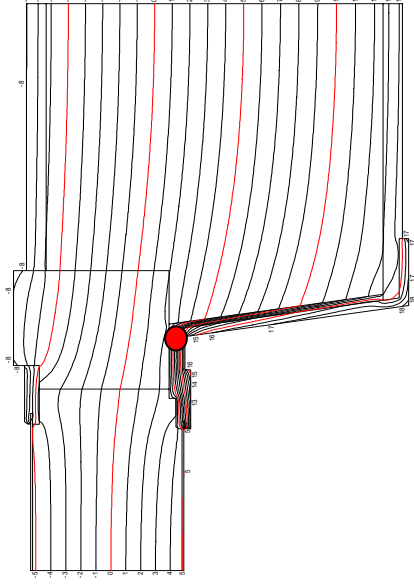
Konstruktion	Isotherme	Wärmeströmlinien / Wärmebrücke
		
<p><b>Material</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Aussenputz 0.870</li> <li>Bruchstein mit Kalkmörtel 1.300</li> <li>Glas, 2500 0.810</li> <li>Innenputz 0.700</li> <li>Kunststein 1.300</li> <li>Luftschicht, ruhend, Dicke: 230mm 1.278</li> <li>Weich-Holz 0.130</li> </ul>	<p>U- Wert Glas 2.80 W/(m²K)          U- Wert Wand 1.54 W/(m²K)          Oberflächenwiderstand <math>f_{RSI}</math> 0.697          min. Innenoberflächentemperatur <math>\theta_{si}</math> min 10.90 °C  <math>\phi_{100\%}</math> Raumlufffeuchte: Kondensat 56 %  <math>\phi_{80\%}</math> Raumlufffeuchte: Schimmel 45 %</p>	<p>Wärmestrom <math>\Phi</math> 59.052 W/m          Wärmebrücke <math>\Psi</math> 0.110 W/m-K</p>
<p>+ Falzdichtung</p>	<p><b>Verbesserung</b> gegenüber der Ausgangssituation:  <math>f_{RSI} = 0.006</math> (leicht zu tief)  <math>\phi_{80\%}</math> Raumlufffeuchte: Schimmel = 1 % (Gefahr)</p>	<p><b>Verbesserung</b> gegenüber der Ausgangssituation:          Wärmestrom <math>\Phi = 7.416</math> W/m (11 %)          Wärmestrom <math>\Psi = 0.041</math> W/m-K (schlechter, kleine WB)</p>

**HB10 Sanierung mit Hinterdämmung der Leibung (B)**

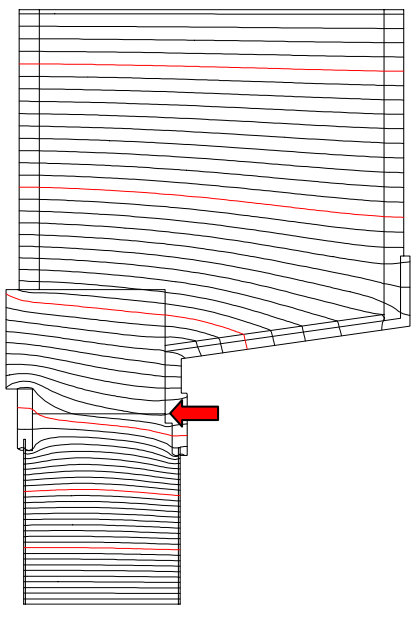
**Konstruktion**



**Isotherme**



**Wärmestromlinien / Wärmebrücke**



**Material**

Aussenputz	0.870
Bruchstein mit Kalkmörtel	1.300
Glas, 2500	0.810
Innenputz	0.700
Kunststein	1.300
Luftschicht, schwach belüftet	2.556
Weich-Holz	0.130
isofloc, eingeblasen	0.039

U- Wert Glas	3.74 W/(m²K)
U- Wert Wand	1.54 W/(m²K)
Oberflächenkoeffizienten $f_{RSI}$	0.725
min. Innenoberflächenkoeffizienten $\theta_{si}$ min	11.75 °C
$\phi_{100\%}$ Raumluftfeuchte: Kondensat	59 %
$\phi_{50\%}$ Raumluftfeuchte: Schimmel	47 %

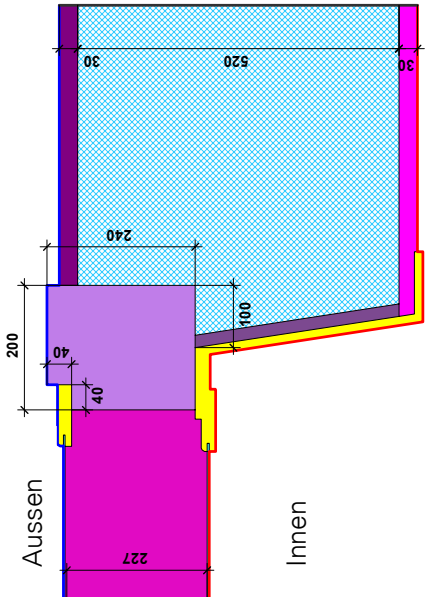
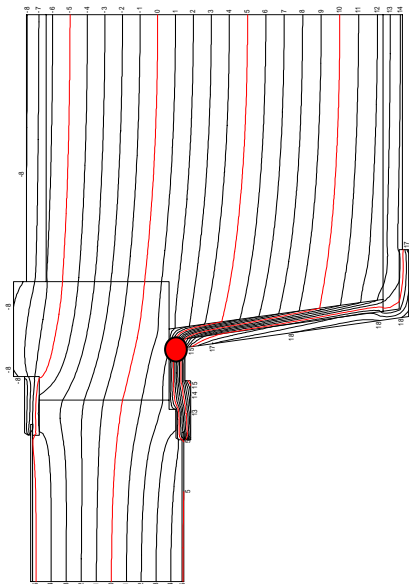
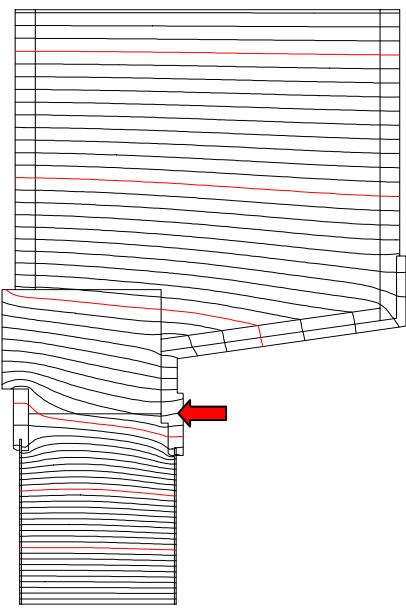
Wärmestrom $\Phi$	64.145 W/m
Wärmebrücke $\Psi$	-0.009 W/m.K

+ 10mm Hinterdämmung

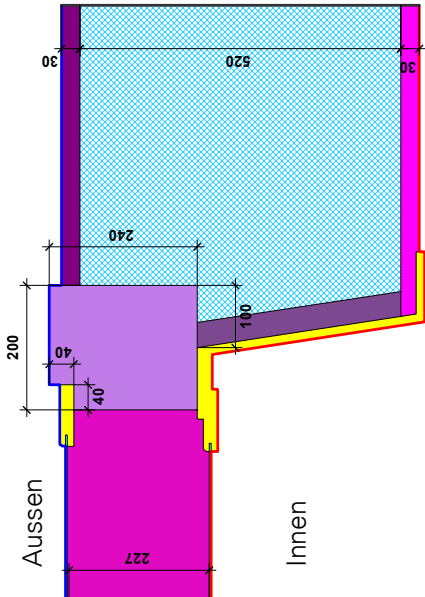
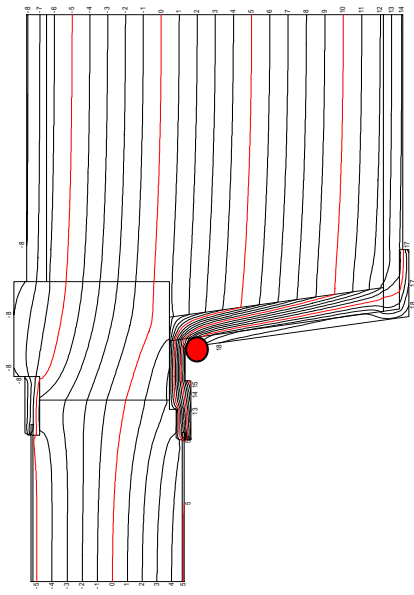
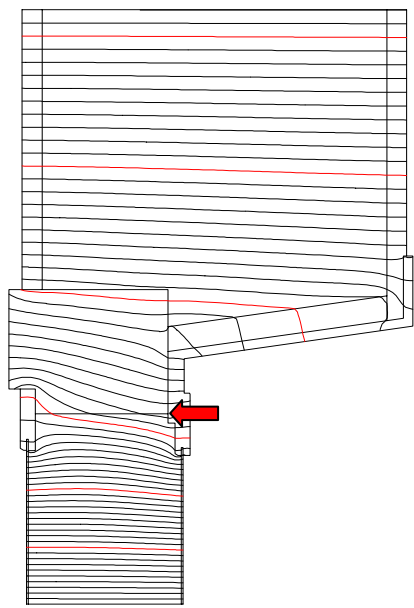
**Verbesserung** gegenüber der Ausgangssituation:  
 $f_{RSI} = 0.034$  (ausreichend)  
 $\phi_{50\%}$  Raumluftfeuchte: Schimmel = 3 % (Gefahr)

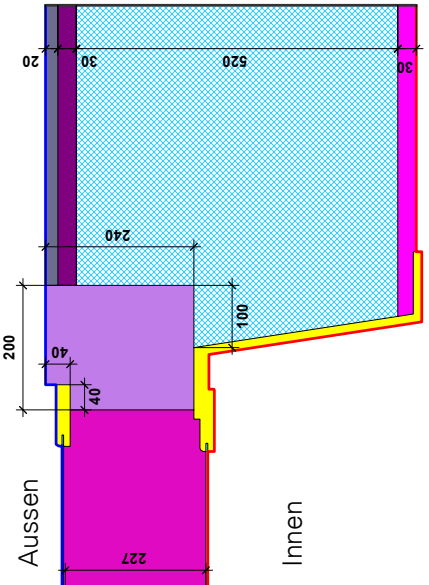
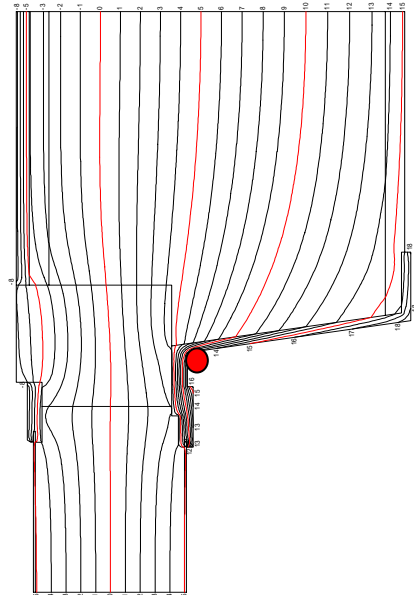
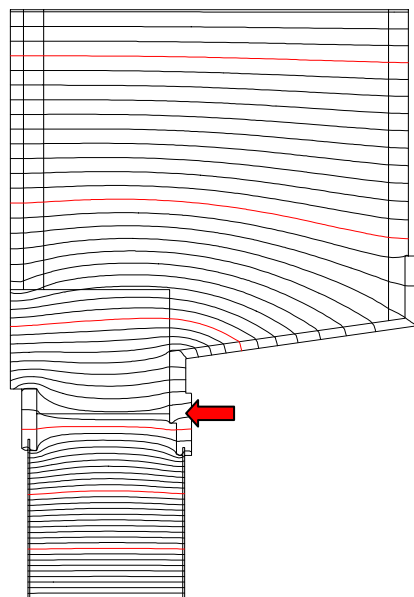
**Verbesserung** gegenüber der Ausgangssituation:  
 Wärmestrom  $\Phi = 2.323$  W/m (3.5 %)  
 Wärmebrücke  $\Psi = 0.078$  W/m.K (negative Wärmebrücke)

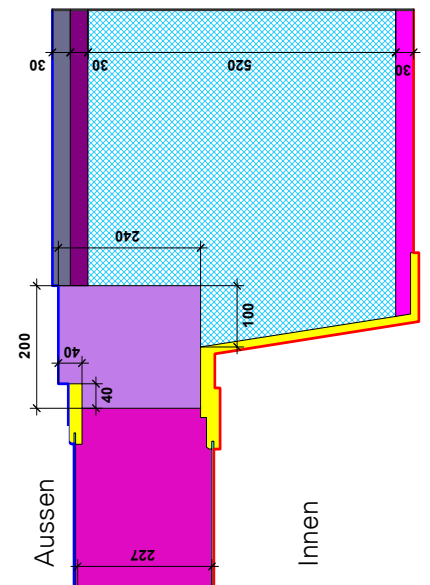
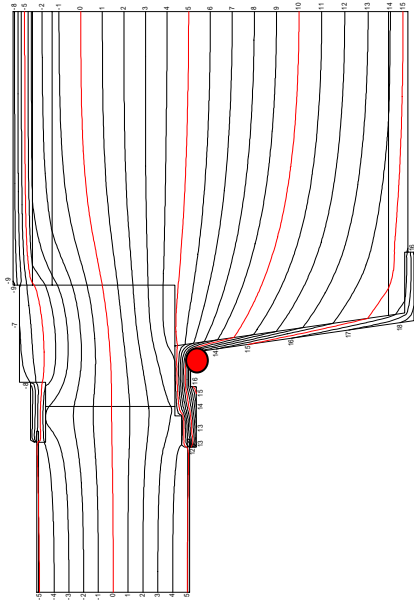
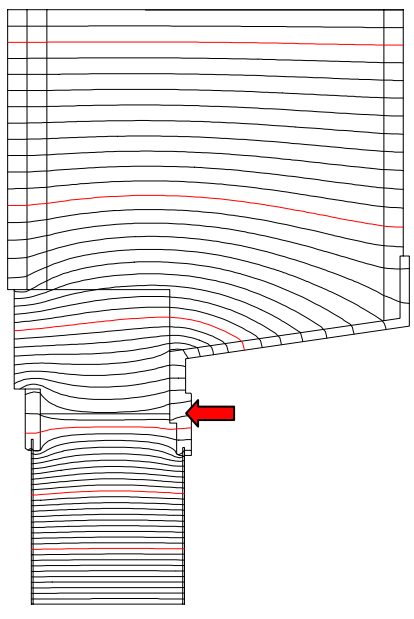
**HB20 Sanierung mit Hinterdämmung der Leibung (B)**

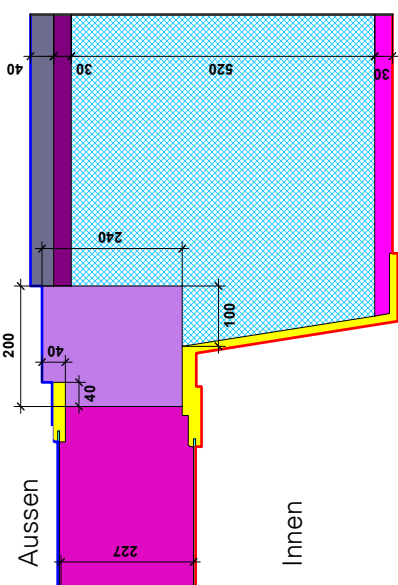
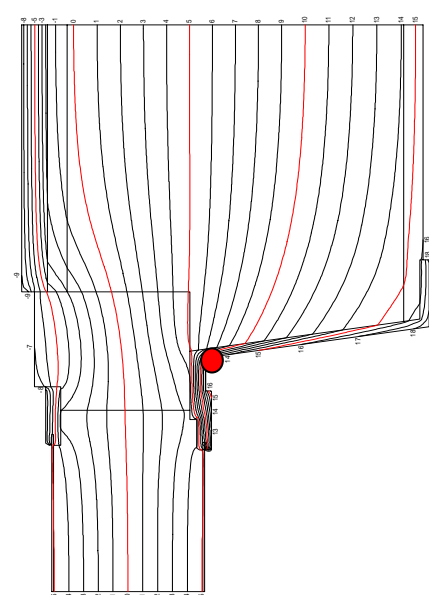
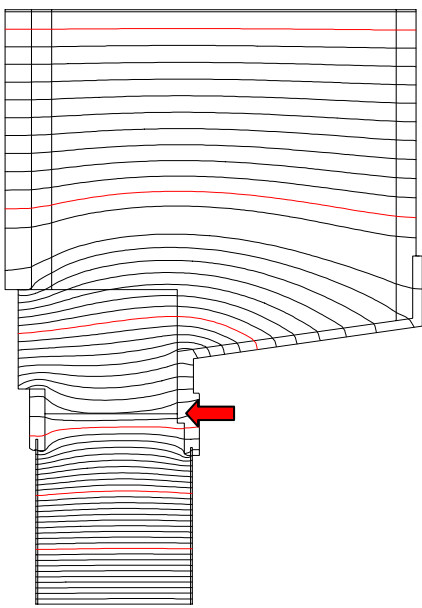
Konstruktion	Isotherme	Wärmestromlinien / Wärmebrücke
		
<p><b>Material</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Aussenputz</li> <li>Bruchstein mit Kalkmörtel</li> <li>Glas, 2500</li> <li>Innenputz</li> <li>Kunststein</li> <li>Luftschicht, schwach belüftet</li> <li>Weich-Holz</li> <li>isofloc, eingeblasen</li> </ul>	<p><b>λ [W/(m·K)]</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>0.870</li> <li>1.300</li> <li>0.810</li> <li>0.700</li> <li>1.300</li> <li>2.556</li> <li>0.130</li> <li>0.039</li> </ul>	<p>Wärmestrom <math>\Phi</math></p> <p>Wärmebrücke <math>\Psi</math></p> <p>63.061 W/m</p> <p>-0.049 W/m·K</p>
<p>+ 20mm Hinterdämmung</p>	<p><b>Verbesserung</b> gegenüber der Ausgangssituation:</p> <p><math>f_{RSI} = 0.045</math> (befriedigend)</p> <p><math>\phi_{90\%}</math> Raumlufffeuchte: Schimmel = 4 % (Gefahr)</p>	<p><b>Verbesserung</b> gegenüber der Ausgangssituation:</p> <p>Wärmestrom <math>\Phi = 3.407</math> W/m (5.1 %)</p> <p>Wärmebrücke <math>\Psi = 0.118</math> W/m·K (negative Wärmebrücke)</p>

**HB40 Sanierung mit Hinterdämmung der Leibung (B)**

<p><b>Konstruktion</b></p> 	<p><b>Isotherme</b></p> 	<p><b>Wärmestromlinien / Wärmebrücke</b></p> 
<p><b>Material</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Aussenputz 0.870</li> <li>Bruchstein mit Kalkmörtel 1.300</li> <li>Glas, 2500 0.810</li> <li>Innenputz 0.700</li> <li>Kunststein 1.300</li> <li>Luftschicht, schwach belüftet 2.556</li> <li>Weich-Holz 0.130</li> <li>isofloc, eingeblasen 0.039</li> </ul>	<p>U- Wert Glas 3.74 W/(m²K)            U- Wert Wand 1.54 W/(m²K)            Oberflächenkoeffizient f<sub>RSI</sub> 0.740            min. Innenoberflächentemperatur θ<sub>si min</sub> 12.21 °C            φ<sub>100%</sub> Raumlufffeuchte: Kondensat 61 %            φ<sub>50%</sub> Raumlufffeuchte: Schimmel 49 %</p>	<p>Wärmestrom Φ 61.838 W/m            Wärmebrücke Ψ -0.085 W/m·K</p>
<p>+ 40mm Hinterdämmung</p>	<p><b>Verbesserung</b> gegenüber der Ausgangssituation:            f<sub>RSI</sub> = 0.049 (gut)            φ<sub>50%</sub> Raumlufffeuchte: Schimmel = 5 % (Gefahr)</p>	<p><b>Verbesserung</b> gegenüber der Ausgangssituation:            Wärmestrom Φ = 4.83 W/m (7.2 %)            Wärmebrücke Ψ = 0.154 W/m·K (negative Wärmebrücke)</p>

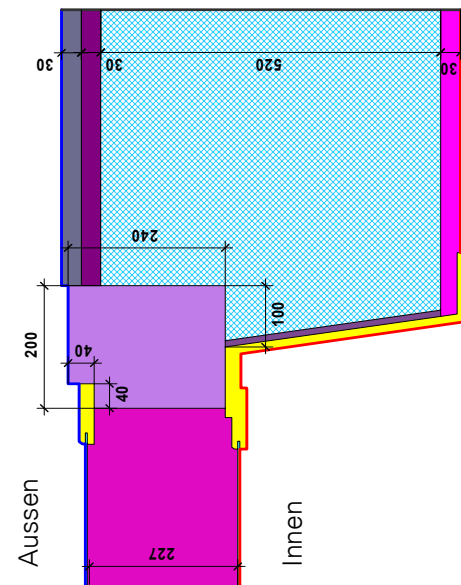
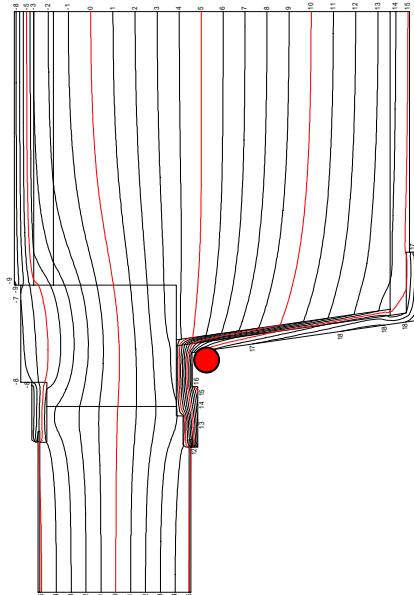
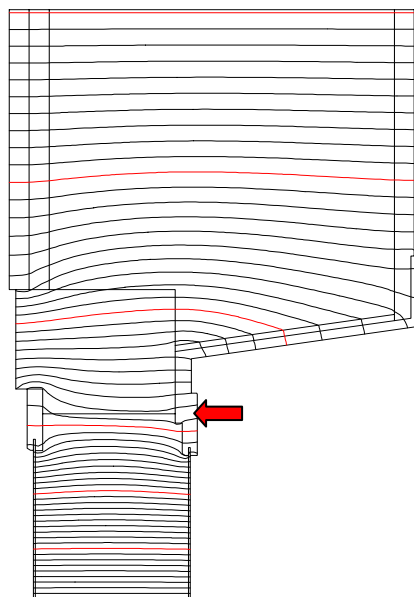
HC20 Sanierung mit Wärmedämmputz (C)		
<p><b>Konstruktion</b></p> 	<p><b>Isotherme</b></p> 	<p><b>Wärmestromlinien / Wärmebrücke</b></p> 
<p><b>Material</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Aussenputz 0.870</li> <li>Bruchstein mit Kalkmörtel 1.300</li> <li>Glas, 2500 0.810</li> <li>Innenputz 0.700</li> <li>Kunststein 1.300</li> <li>Luftschicht, schwach belüftet 2.556</li> <li>Weich-Holz 0.130</li> <li>Wärmedämmender Putz 0.200</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>U- Wert Glas 3.74 W/(m²K)</li> <li>U- Wert Wand 1.34 W/(m²K)</li> <li>Oberflächenkoeffizienten <math>f_{RSI}</math> 0.706</li> <li>min. Innenoberflächenkoeffizienten <math>\theta_{si}</math> min 11.18 °C</li> <li><math>\phi_{100\%}</math> Raumluftfeuchte: Kondensat 57 %</li> <li><math>\phi_{50\%}</math> Raumluftfeuchte: Schimmel 45 %</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wärmestrom <math>\Phi</math> 63.007 W/m</li> <li>Wärmebrücke <math>\Psi</math> 0.088 W/m·K</li> </ul>
<p>+ 20mm Wärmedämmputz</p>	<p><b>Verbesserung</b> gegenüber der Ausgangssituation:  <math>f_{RSI} = 0.015</math> (ganz leicht zu tief)  <math>\phi_{50\%}</math> Raumluftfeuchte: Schimmel = 1 % (Gefahr)</p>	<p><b>Verbesserung</b> gegenüber der Ausgangssituation:        Wärmestrom <math>\Phi = 3.461</math> W/m (5.2 %)        Wärmebrücke <math>\Psi = 0.001</math> W/m·K (kleine Wärmebrücke)</p>

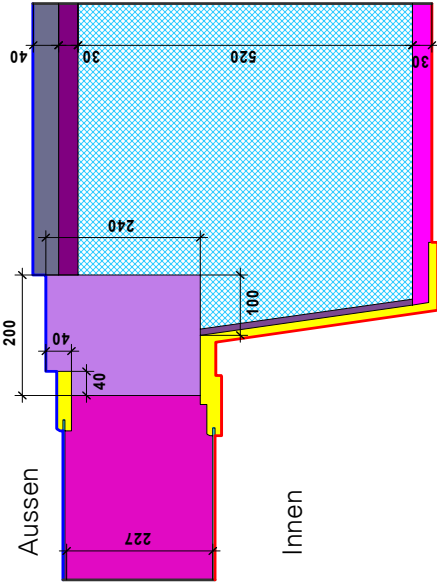
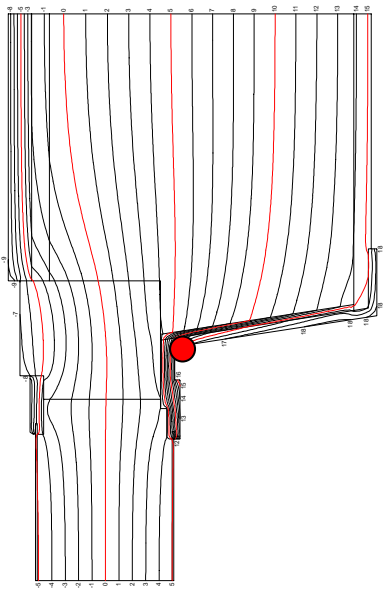
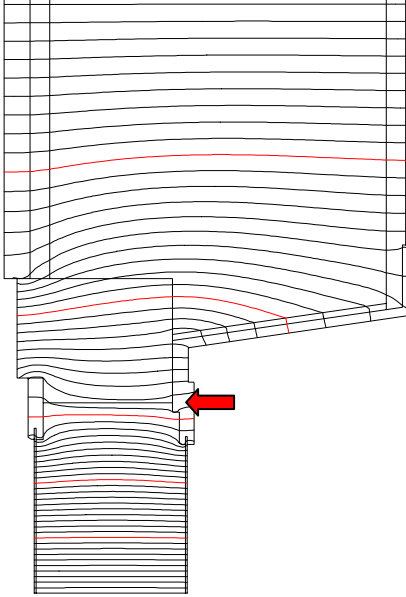
HC30 Sanierung mit Wärmedämmputz (C)		
Konstruktion	Isotherme	Wärmestromlinien / Wärmebrücke
 <p>Aussen</p> <p>Innen</p>		
<p><b>Material</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Aussenputz 0.870</li> <li>Bruchstein mit Kalkmörtel 1.300</li> <li>Glas, 2500 0.810</li> <li>Innenputz 0.700</li> <li>Kunststein 1.300</li> <li>Luftschicht, schwach belüftet 2.556</li> <li>Weich-Holz 0.130</li> <li>Wärmedämmender Putz 0.200</li> </ul>	<p>U- Wert Glas 3.74 W/(m²K)</p> <p>U- Wert Wand 1.25 W/(m²K)</p> <p>Oberflächenkoeffizienten <math>f_{RSI}</math> 0.711</p> <p>min. Innenoberflächentemperatur <math>\theta_{si}</math> min 11.34 °C</p> <p><math>\phi_{100\%}</math> Raumluftfeuchte: Kondensat 57 %</p> <p><math>\phi_{50\%}</math> Raumluftfeuchte: Schimmel 46 %</p>	<p>Wärmestrom <math>\Phi</math> 61.885 W/m</p> <p>Wärmebrücke <math>\Psi</math> 0.105 W/m-K</p>
<p>+ 30mm Wärmedämmputz</p>	<p><b>Verbesserung</b> gegenüber der Ausgangssituation:</p> <p><math>f_{RSI} = 0.020</math> (ganz leicht zu tief)</p> <p><math>\phi_{50\%}</math> Raumluftfeuchte: Schimmel = 2 % (Gefahr)</p>	<p><b>Verbesserung</b> gegenüber der Ausgangssituation:</p> <p>Wärmestrom <math>\Phi = 4.583</math> W/m (6.9 %)</p> <p>Wärmebrücke <math>\Psi = 0.036</math> W/m-K (schlechter, kleine WB)</p>

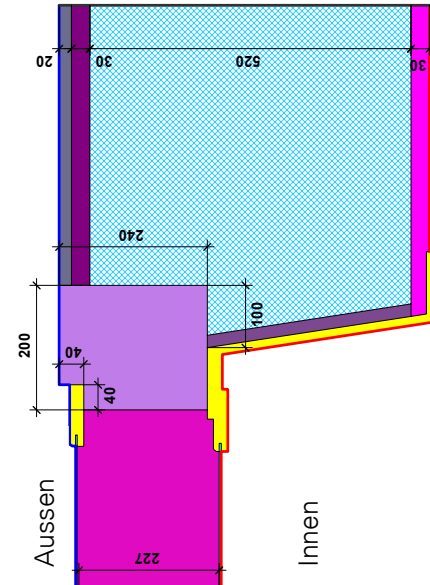
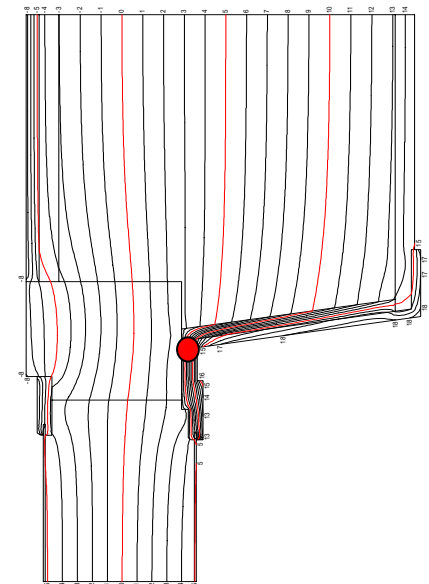
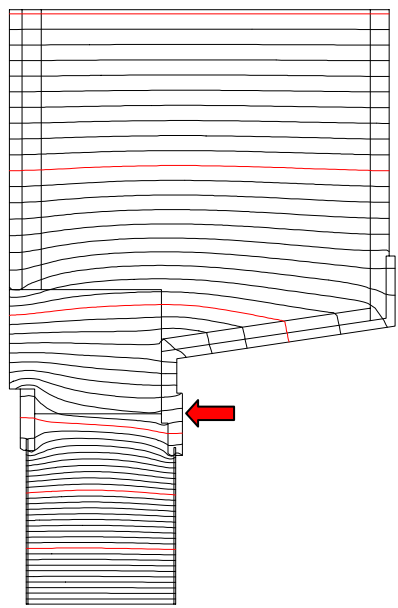
HC40 Sanierung mit Wärmedämmputz (C)		
<p><b>Konstruktion</b></p> 	<p><b>Isotherme</b></p> 	<p><b>Wärmestromlinien / Wärmebrücke</b></p> 
<p><b>Material</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Aussenputz 0.870</li> <li>Bruchstein mit Kalkmörtel 1.300</li> <li>Glas, 2500 0.810</li> <li>Innenputz 0.700</li> <li>Kunststein 1.300</li> <li>Luftschicht, schwach belüftet 2.556</li> <li>Weich-Holz 0.130</li> <li>Wärmedämmender Putz 0.200</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>U- Wert Glas 3.74 W/(m²K)</li> <li>U- Wert Wand 1.18 W/(m²K)</li> <li>Oberflächenkoeffizienten <math>f_{RSI}</math> 0.716</li> <li>min. Innenoberflächentemperatur <math>\theta_{si}</math> min 11.47 °C</li> <li><math>\phi_{100\%}</math> Raumluftfeuchte: Kondensat 58 %</li> <li><math>\phi_{50\%}</math> Raumluftfeuchte: Schimmel 46 %</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wärmestrom <math>\Phi</math> 60.982 W/m</li> <li>Wärmebrücke <math>\Psi</math> 0.123 W/m·K</li> </ul>
<p>+ 40mm Wärmedämmputz</p>	<p><b>Verbesserung</b> gegenüber der Ausgangssituation:  <math>f_{RSI} = 0.025</math> (gerade ausreichend)  <math>\phi_{50\%}</math> Raumluftfeuchte: Schimmel = 2 % (Gefahr)</p>	<p><b>Verbesserung</b> gegenüber der Ausgangssituation:        Wärmestrom <math>\Phi = 5.506</math> W/m (8.3 %)        Wärmebrücke <math>\Psi = 0.054</math> W/m·K (schlechter, kleine WB)</p>

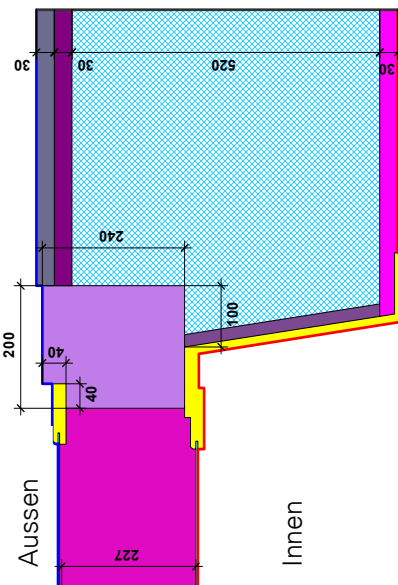
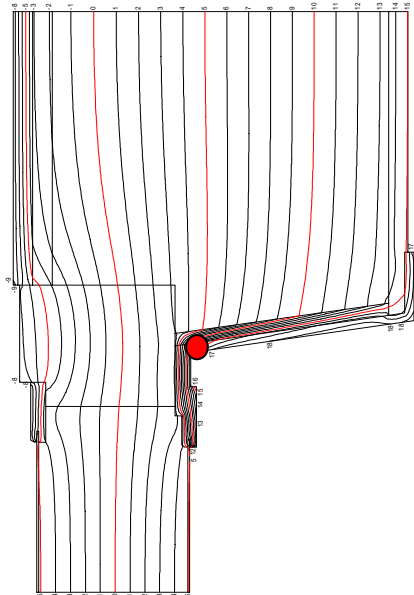
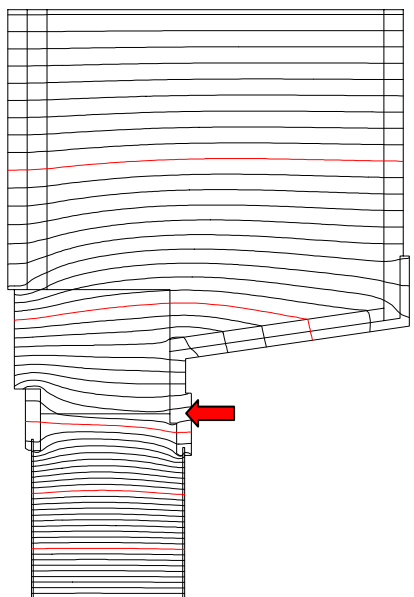
<b>HB10C20 Sanierung mit Hinterdämmung der Leibung (B) und Wärmedämmputz (C)</b>		
<p><b>Konstruktion</b></p>	<p><b>Isotherme</b></p>	<p><b>Wärmestromlinien / Wärmebrücke</b></p>
<p><b>Material</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Aussenputz 0.870</li> <li>Bruchstein mit Kalkmörtel 1.300</li> <li>Glas, 2500 0.810</li> <li>Innenputz 0.700</li> <li>Kunststein 1.300</li> <li>Luftschicht, schwach belüftet 2.556</li> <li>Weich-Holz 0.130</li> <li>isofloc, eingeblasen 0.039</li> <li>Wärmedämmender Putz 0.200</li> </ul> <p>+ 10mm Hinterdämmung und 20mm Wärmedämmputz</p>	<p><b>λ [W/(m·K)]</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>U- Wert Glas 3.74 W/(m²K)</li> <li>U- Wert Wand 1.34 W/(m²K)</li> <li>Oberflächenkoeffizienten <math>f_{RSI}</math> 0.740</li> <li>min. Innenoberflächentemperatur <math>\theta_{si}</math> min 12.21 °C</li> <li><math>\phi_{100\%}</math> Raumluftfeuchte: Kondensat 61 %</li> <li><math>\phi_{50\%}</math> Raumluftfeuchte: Schimmel 49 %</li> </ul>	<p>Wärmestrom <math>\Phi</math> 61.033 W/m</p> <p>Wärmebrücke <math>\Psi</math> 0.022 W/m·K</p>
	<p><b>Verbesserung</b> gegenüber der Ausgangssituation:  <math>f_{RSI} = 0.049</math> (gut)  <math>\phi_{50\%}</math> Raumluftfeuchte: Schimmel = 5 % (Gefahr)</p>	<p><b>Verbesserung</b> gegenüber der Ausgangssituation:        Wärmestrom <math>\Phi = 5.435</math> W/m (8.2 %)        Wärmebrücke <math>\Psi = 0.047</math> W/m·K (sehr kleine WB)</p>

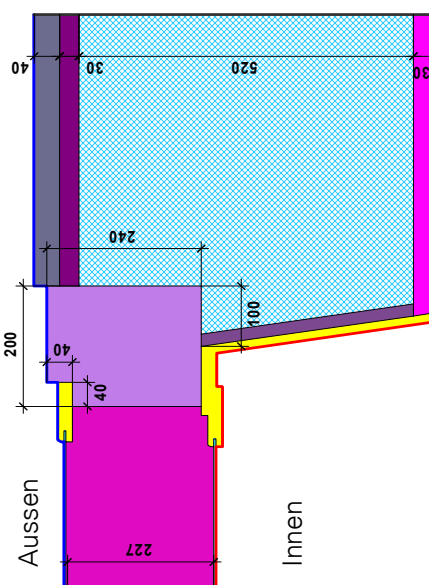
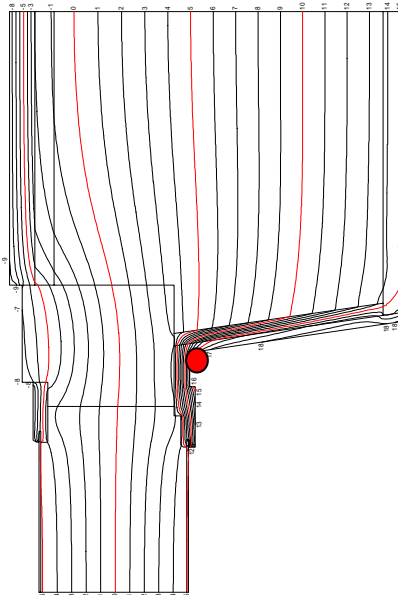
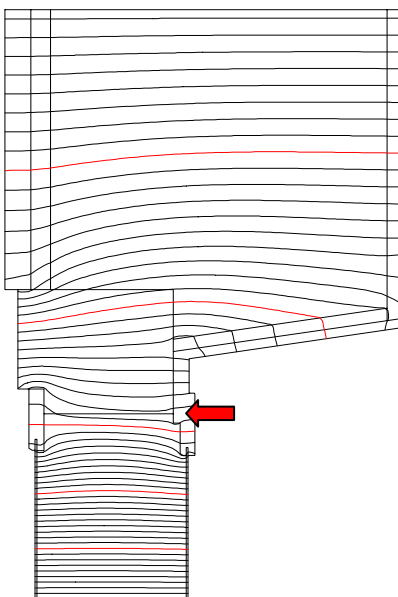


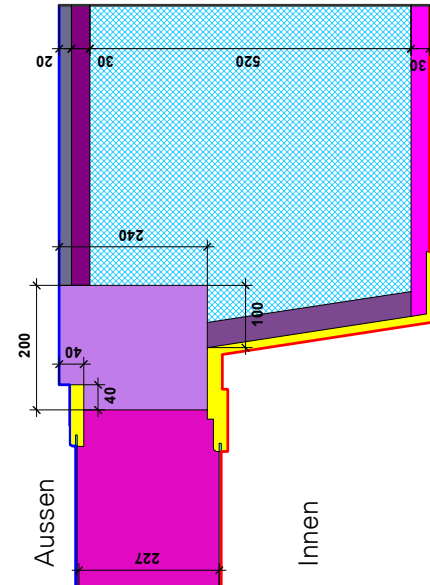
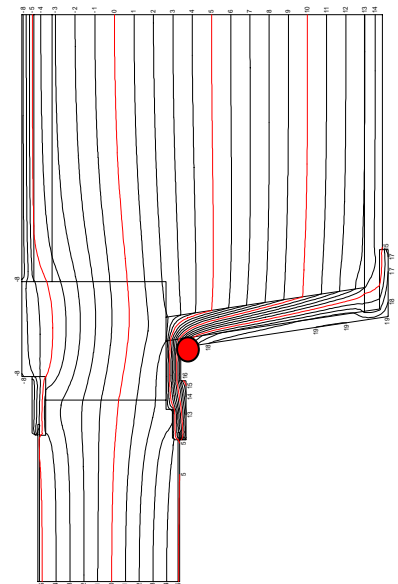
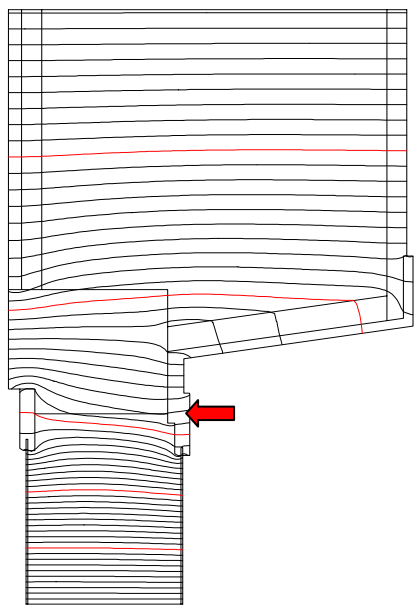
<b>HB10C30 Sanierung mit Hinterdämmung der Leibung (B) und Wärmedämmputz (C)</b>		
<p><b>Konstruktion</b></p>  <p>Aussen</p> <p>Innen</p>	<p><b>Isotherme</b></p> 	<p><b>Wärmestromlinien / Wärmebrücke</b></p> 
<p><b>Material</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Aussenputz 0.870</li> <li>Bruchstein mit Kalkmörtel 1.300</li> <li>Glas, 2500 0.810</li> <li>Innenputz 0.700</li> <li>Kunststein 1.300</li> <li>Luftschicht, schwach belüftet 2.556</li> <li>Weich-Holz 0.130</li> <li>isofloc, eingeblasen 0.039</li> <li>Wärmedämmender Putz 0.200</li> </ul> <p><b>λ [W/(m·K)]</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>U- Wert Glas 3.74 W/(m²K)</li> <li>U- Wert Wand 1.25 W/(m²K)</li> <li>Oberflächenkoeffizient f<sub>RSI</sub> 0.744</li> <li>min. Innenoberflächentemperatur θ<sub>si</sub> min 12.33 °C</li> <li>φ<sub>100%</sub> Raumlufftfeuchte: Kondensat 61 %</li> <li>φ<sub>50%</sub> Raumlufftfeuchte: Schimmel 49 %</li> </ul>	<p>Wärmestrom φ 60.014 W/m</p> <p>Wärmebrücke Ψ 0.043 W/m·K</p>
<p>+ 10mm Hinterdämmung und 30mm Wärmedämmputz</p>	<p><b>Verbesserung</b> gegenüber der Ausgangssituation:        f<sub>RSI</sub> = 0.053 (gut)        φ<sub>50%</sub> Raumlufftfeuchte: Schimmel = 5 % (Gefahr)</p>	<p><b>Verbesserung</b> gegenüber der Ausgangssituation:        Wärmestrom φ = 6.454 W/m (9.7 %)        Wärmebrücke Ψ = 0.026 W/m·K (sehr kleine WB)</p>

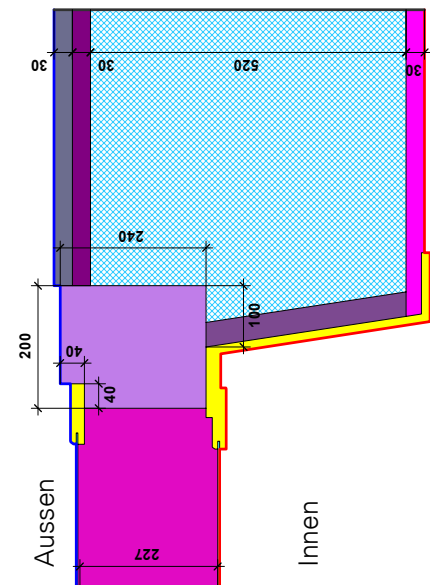
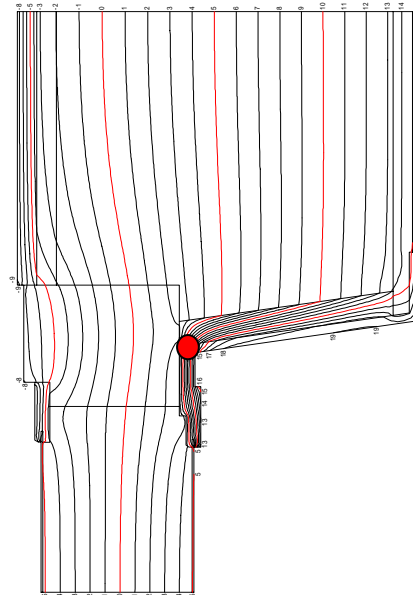
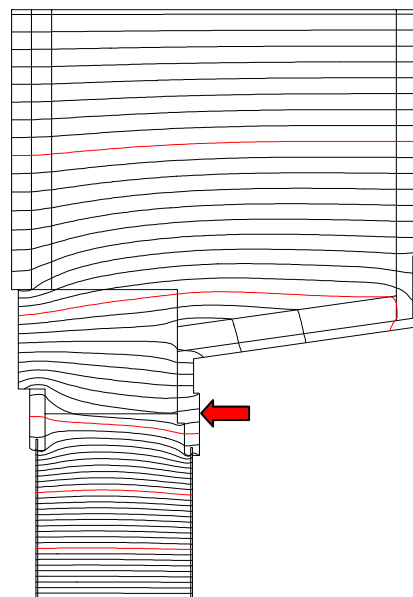
<b>HB10C40 Sanierung mit Hinterdämmung der Leibung (B) und Wärmedämmputz (C)</b>		
<p><b>Konstruktion</b></p> 	<p><b>Isotherme</b></p> 	<p><b>Wärmestromlinien / Wärmebrücke</b></p> 
<p><b>Material</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Aussenputz 0.870</li> <li>Bruchstein mit Kalkmörtel 1.300</li> <li>Glas, 2500 0.810</li> <li>Innenputz 0.700</li> <li>Kunststein 1.300</li> <li>Luftschicht, schwach belüftet 2.556</li> <li>Weich-Holz 0.130</li> <li>isofloc, eingeblasen 0.039</li> <li>Wärmedämmender Putz 0.200</li> </ul> <p><b>λ [W/(m·K)]</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>U- Wert Glas 3.74 W/(m²K)</li> <li>U- Wert Wand 1.18 W/(m²K)</li> <li>Oberflächentemperaturfaktor <math>f_{RSI}</math> 0.748</li> <li>min. Innenoberflächentemperatur <math>\theta_{si}</math> min 12.44 °C</li> <li><math>\phi_{100\%}</math> Raumluftfeuchte: Kondensat 62 %</li> <li><math>\phi_{50\%}</math> Raumluftfeuchte: Schimmel 49 %</li> </ul>	<p>Wärmestrom <math>\Phi</math> 59.187 W/m</p> <p>Wärmebrücke <math>\Psi</math> 0.063 W/m·K</p>
<p>+ 10mm Hinterdämmung und 40mm Wärmedämmputz</p>	<p><b>Verbesserung</b> gegenüber der Ausgangssituation:  <math>f_{RSI} = 0.057</math> (gut)  <math>\phi_{50\%}</math> Raumluftfeuchte: Schimmel = 5 % (Gefahr)</p>	<p><b>Verbesserung</b> gegenüber der Ausgangssituation:        Wärmestrom <math>\Phi = 7.301</math> W/m (10.98 %)        Wärmebrücke <math>\Psi = 0.006</math> W/m·K (kleine WB)</p>

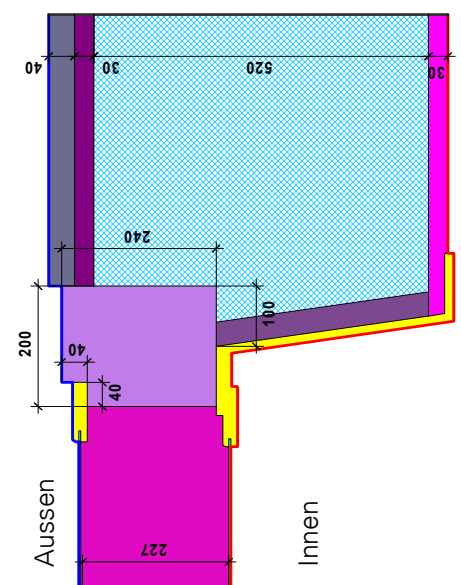
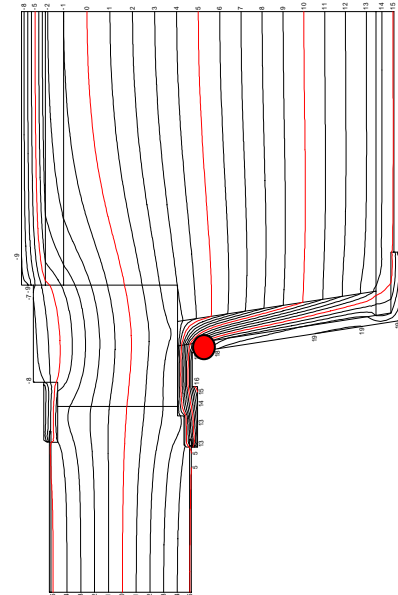
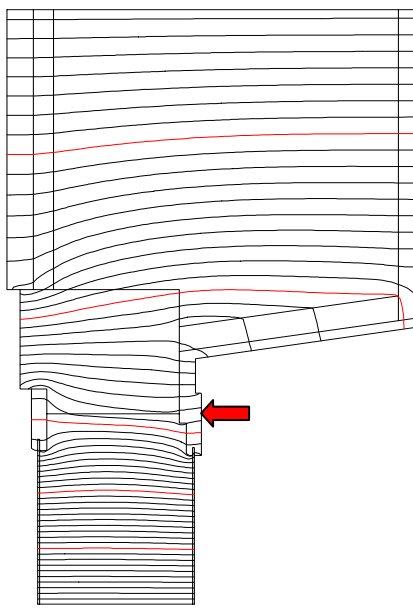
<b>HB20C20 Sanierung mit Hinterdämmung der Leibung (B) und Wärmedämmputz (C)</b>		
<p><b>Konstruktion</b></p> 	<p><b>Isotherme</b></p> 	<p><b>Wärmestromlinien / Wärmebrücke</b></p> 
<p><b>Material</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Aussenputz 0.870</li> <li>Bruchstein mit Kalkmörtel 1.300</li> <li>Glas, 2500 0.810</li> <li>Innenputz 0.700</li> <li>Kunststein 1.300</li> <li>Luftschicht, schwach belüftet 2.556</li> <li>Weich-Holz 0.130</li> <li>isofloc, eingeblasen 0.039</li> <li>Wärmedämmender Putz 0.200</li> </ul>	<p>U- Wert Glas 3.74 W/(m²K)          U- Wert Wand 1.34 W/(m²K)          Oberflächentemperaturfaktor <math>f_{RSI}</math> 0.749          min. Innenoberflächentemperatur <math>\theta_{si}</math> min 12.46 °C  <math>\phi_{100\%}</math> Raumluftfeuchte: Kondensat 62 %  <math>\phi_{50\%}</math> Raumluftfeuchte: Schimmel 49 %</p>	<p>Wärmestrom <math>\Phi</math> 60.007 W/m          Wärmebrücke <math>\Psi</math> -0.009W/m.K</p>
<p>+ 20mm Hinterdämmung und 20mm Wärmedämmputz</p>	<p><b>Verbesserung</b> gegenüber der Ausgangssituation:  <math>f_{RSI} = 0.058</math> (gut)  <math>\phi_{50\%}</math> Raumluftfeuchte: Schimmel = 5 % (Gefahr)</p>	<p><b>Verbesserung</b> gegenüber der Ausgangssituation:          Wärmestrom <math>\Phi = 6.461</math> W/m (9.7 %)          Wärmebrücke <math>\Psi = 0.006</math> W/m.K (kleine WB)</p>

<b>HB20C30 Sanierung mit Hinterdämmung der Leibung (B) und Wärmedämmputz (C)</b>		
<p><b>Konstruktion</b></p>  <p>Aussen</p> <p>Innen</p>	<p><b>Isotherme</b></p> 	<p><b>Wärmestromlinien / Wärmebrücke</b></p> 
<p><b>Material</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Aussenputz 0.870</li> <li>Bruchstein mit Kalkmörtel 1.300</li> <li>Glas, 2500 0.810</li> <li>Innenputz 0.700</li> <li>Kunststein 1.300</li> <li>Luftschicht, schwach belüftet 2.556</li> <li>Weich-Holz 0.130</li> <li>isofloc, eingeblasen 0.039</li> <li>Wärmedämmender Putz 0.200</li> </ul> <p><b>λ [W/(m·K)]</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>U- Wert Glas 3.74 W/(m²K)</li> <li>U- Wert Wand 1.25 W/(m²K)</li> <li>Oberflächenkoeffizienten <math>f_{RSI}</math> 0.752</li> <li>min. Innenoberflächentemperatur <math>\theta_{si}</math> min 12.55 °C</li> <li><math>\phi_{100\%}</math> Raumluftfeuchte: Kondensat 62 %</li> <li><math>\phi_{50\%}</math> Raumluftfeuchte: Schimmel 50 %</li> </ul>	<p>Wärmestrom <math>\Phi</math> 59.123 W/m</p> <p>Wärmebrücke <math>\Psi</math> 0.013W/m·K</p>
<p>+ 20mm Hinterdämmung und 30mm Wärmedämmputz</p>	<p><b>Verbesserung</b> gegenüber der Ausgangssituation:  <math>f_{RSI} = 0.061</math> (gut)  <math>\phi_{50\%}</math> Raumluftfeuchte: Schimmel = 6 % (geringe Gefahr)</p>	<p><b>Verbesserung</b> gegenüber der Ausgangssituation:        Wärmestrom <math>\Phi = 7.345</math> W/m (11.05 %)        Wärmebrücke <math>\Psi = 0.056</math> W/m·K (sehr kleine WB)</p>

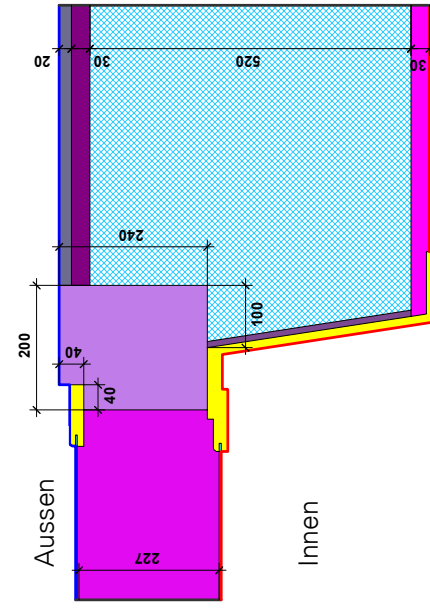
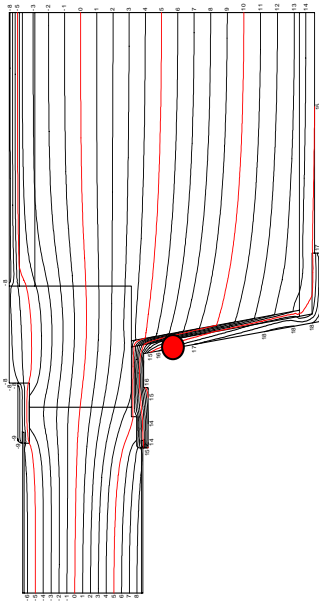
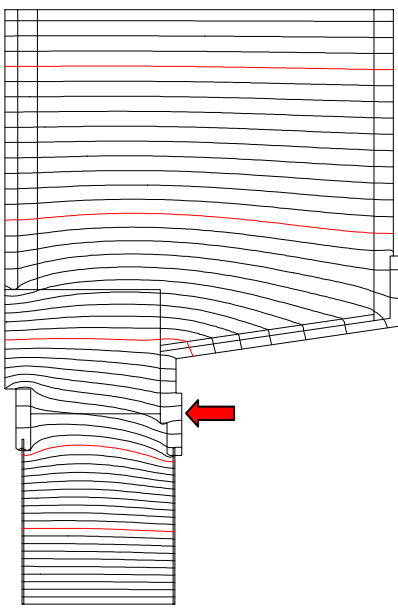
<b>HB20C40 Sanierung mit Hinterdämmung der Leibung (B) und Wärmedämmputz (C)</b>		
<p><b>Konstruktion</b></p>  <p>Aussen</p> <p>Innen</p>	<p><b>Isotherme</b></p> 	<p><b>Wärmestromlinien / Wärmebrücke</b></p> 
<p><b>Material</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Aussenputz 0.870</li> <li>Bruchstein mit Kalkmörtel 1.300</li> <li>Glas, 2500 0.810</li> <li>Innenputz 0.700</li> <li>Kunststein 1.300</li> <li>Luftschicht, schwach belüftet 2.556</li> <li>Weich-Holz 0.130</li> <li>isofloc, eingeblasen 0.039</li> <li>Wärmedämmender Putz 0.200</li> </ul>	<p>U- Wert Glas 3.74 W/(m²K)</p> <p>U- Wert Wand 1.18 W/(m²K)</p> <p>Oberflächenkoeffizienten <math>f_{RSI}</math> 0.755</p> <p>min. Innenoberflächentemperatur <math>\theta_{si}</math> min 12.66 °C</p> <p><math>\phi_{100\%}</math> Raumluftfeuchte: Kondensat 63 %</p> <p><math>\phi_{50\%}</math> Raumluftfeuchte: Schimmel 50 %</p>	<p>Wärmestrom <math>\Phi</math> 58.337 W/m</p> <p>Wärmebrücke <math>\Psi</math> 0.035W/m.K</p>
<p>+ 20mm Hinterdämmung und 40mm Wärmedämmputz</p>	<p><b>Verbesserung</b> gegenüber der Ausgangssituation:</p> <p><math>f_{RSI} = 0.064</math> (gut)</p> <p><math>\phi_{50\%}</math> Raumluftfeuchte: Schimmel = 6 % (geringe Gefahr)</p>	<p><b>Verbesserung</b> gegenüber der Ausgangssituation:</p> <p>Wärmestrom <math>\Phi = 7.345</math> W/m (11.05 %)</p> <p>Wärmebrücke <math>\Psi = 0.006</math> W/m.K (sehr kleine WB)</p>

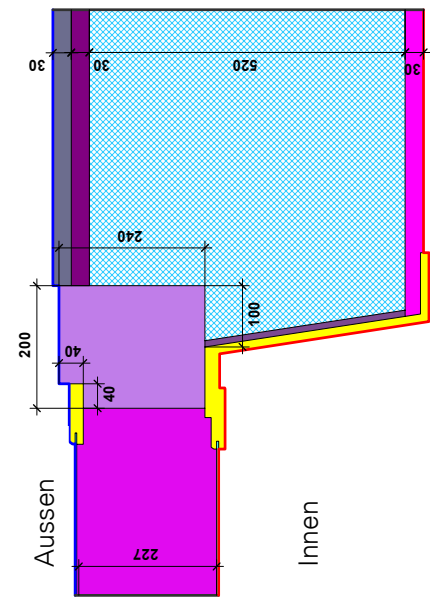
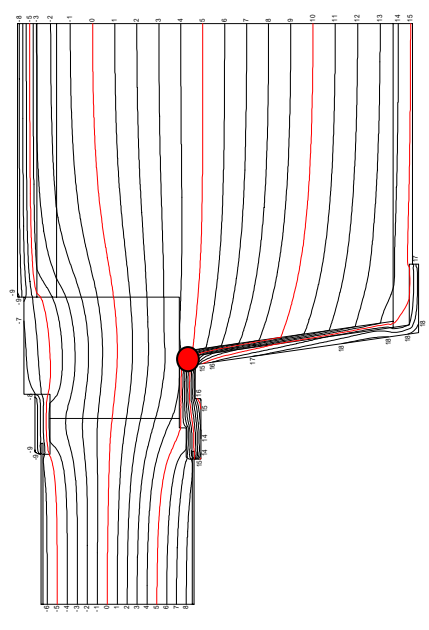
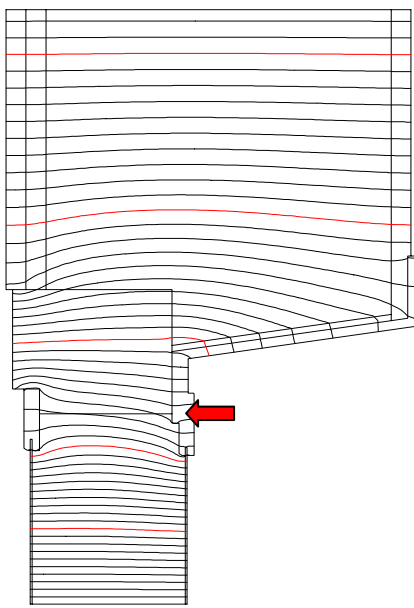
<b>HB40C20 Sanierung mit Hinterdämmung der Leibung (B) und Wärmedämmputz (C)</b>		
<p><b>Konstruktion</b></p>  <p>Aussen</p> <p>Innen</p>	<p><b>Isotherme</b></p> 	<p><b>Wärmestromlinien / Wärmebrücke</b></p> 
<p><b>Material</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Aussenputz 0.870</li> <li>Bruchstein mit Kalkmörtel 1.300</li> <li>Glas, 2500 0.810</li> <li>Innenputz 0.700</li> <li>Kunststein 1.300</li> <li>Luftschicht, schwach belüftet 2.556</li> <li>Weich-Holz 0.130</li> <li>isofloc, eingeblasen 0.039</li> <li>Wärmedämmender Putz 0.200</li> </ul>	<p><b>λ [W/(m·K)]</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>U- Wert Glas 3.74 W/(m²K)</li> <li>U- Wert Wand 1.34 W/(m²K)</li> <li>Oberflächenkoeffizienten <math>f_{RSI}</math> 0.752</li> <li>min. Innenoberflächentemperatur <math>\theta_{si}</math> min 12.55 °C</li> <li><math>\phi_{100\%}</math> Raumluftfeuchte: Kondensat 62 %</li> <li><math>\phi_{50\%}</math> Raumluftfeuchte: Schimmel 50 %</li> </ul>	<p>Wärmestrom <math>\Phi</math> 59.035 W/m</p> <p>Wärmebrücke <math>\Psi</math> -0.044 W/m·K</p>
<p>+ 40mm Hinterdämmung und 20mm Wärmedämmputz</p>	<p><b>Verbesserung</b> gegenüber der Ausgangssituation:  <math>f_{RSI} = 0.061</math> (gut)  <math>\phi_{50\%}</math> Raumluftfeuchte: Schimmel = 6 % (geringe Gefahr)</p>	<p><b>Verbesserung</b> gegenüber der Ausgangssituation:        Wärmestrom <math>\Phi = 7.433</math> W/m (11.18 %)        Wärmebrücke <math>\Psi = 0.113</math> W/m·K (negative WB)</p>

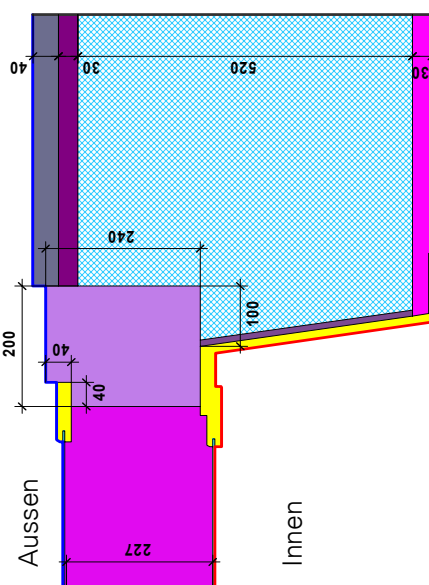
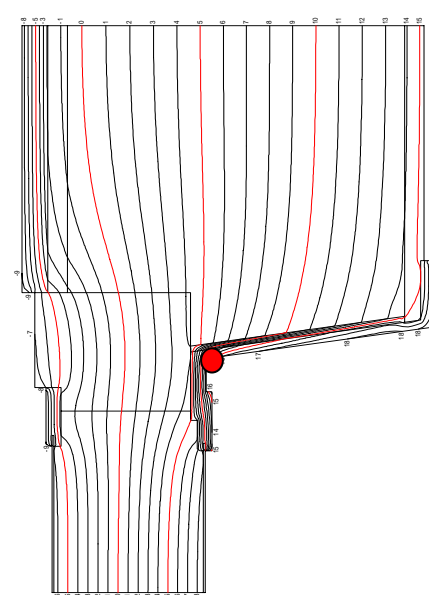
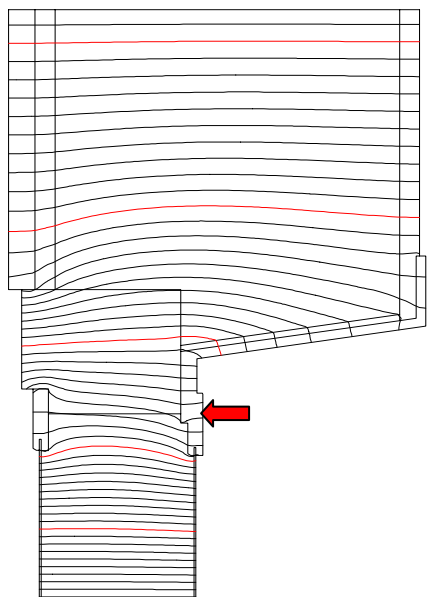
<b>HB40C30 Sanierung mit Hinterdämmung der Leibung (B) und Wärmedämmputz (C)</b>		
<p><b>Konstruktion</b></p> 	<p><b>Isotherme</b></p> 	<p><b>Wärmestromlinien / Wärmebrücke</b></p> 
<p><b>Material</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Aussenputz 0.870</li> <li>Bruchstein mit Kalkmörtel 1.300</li> <li>Glas, 2500 0.810</li> <li>Innenputz 0.700</li> <li>Kunststein 1.300</li> <li>Luftschicht, schwach belüftet 2.556</li> <li>Weich-Holz 0.130</li> <li>isofloc, eingeblasen 0.039</li> <li>Wärmedämmender Putz 0.200</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>U- Wert Glas 3.74 W/(m²K)</li> <li>U- Wert Wand 1.25 W/(m²K)</li> <li>Oberflächenkoeffizient f<sub>RSI</sub> 0.755</li> <li>min. Innenoberflächentemperatur θ<sub>si</sub> min 12.64 °C</li> <li>φ<sub>100%</sub> Raumlufftfeuchte: Kondensat 62 %</li> <li>φ<sub>50%</sub> Raumlufftfeuchte: Schimmel 50 %</li> </ul>	<p>Wärmestrom <math>\Phi</math> 58.109 W/m</p> <p>Wärmebrücke <math>\Psi</math> 0 W/m·K</p>
<p>+ 40mm Hinterdämmung und 30mm Wärmedämmputz</p>	<p><b>Verbesserung</b> gegenüber der Ausgangssituation:  <math>f_{RSI} = 0.064</math> (gut)  <math>\phi_{50\%}</math> Raumlufftfeuchte: Schimmel = 6 % (geringe Gefahr)</p>	<p><b>Verbesserung</b> gegenüber der Ausgangssituation:        Wärmestrom <math>\Phi = 7.359</math> W/m (11.07 %)        Wärmebrücke <math>\Psi = 0.069</math> W/m·K (keine WB)</p>

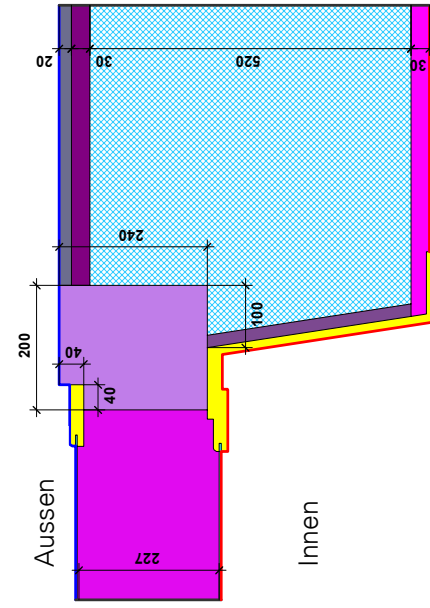
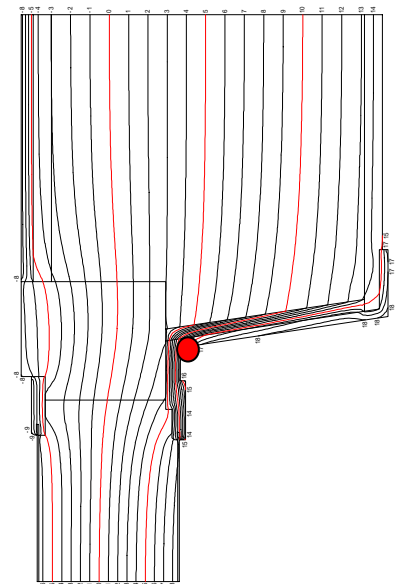
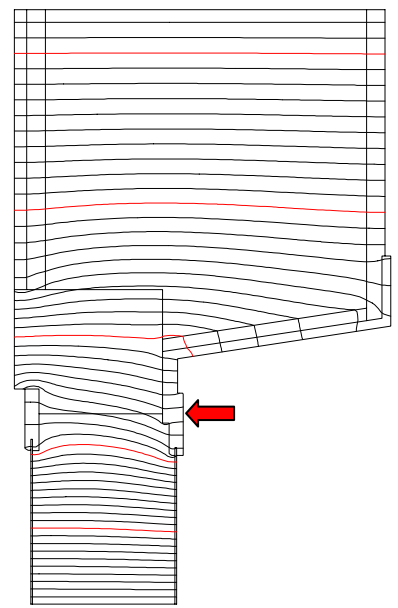
<b>HB40C40 Sanierung mit Hinterdämmung der Leibung (B) und Wärmedämmputz (C)</b>		
<p><b>Konstruktion</b></p> 	<p><b>Isotherme</b></p> 	<p><b>Wärmestromlinien / Wärmebrücke</b></p> 
<p><b>Material</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Aussenputz 0.870</li> <li>Bruchstein mit Kalkmörtel 1.300</li> <li>Glas, 2500 0.810</li> <li>Innenputz 0.700</li> <li>Kunststein 1.300</li> <li>Luftschicht, schwach belüftet 2.556</li> <li>Weich-Holz 0.130</li> <li>isofloc, eingeblasen 0.039</li> <li>Wärmedämmender Putz 0.200</li> </ul>	<p>U- Wert Glas 3.74 W/(m²K)          U- Wert Wand 1.18 W/(m²K)          Oberflächenwiderstand <math>f_{RSI}</math> 0.758          min. Innenoberflächentemperatur <math>\theta_{si}</math> min 12.73 °C  <math>\phi_{100\%}</math> Raumluftfeuchte: Kondensat 63 %  <math>\phi_{50\%}</math> Raumluftfeuchte: Schimmel 50 %</p>	<p>Wärmestrom <math>\Phi</math> 57.360 W/m          Wärmebrücke <math>\Psi</math> 0.003 W/m.K</p>
<p>+ 40mm Hinterdämmung und 40mm Wärmedämmputz</p>	<p><b>Verbesserung</b> gegenüber der Ausgangssituation:  <math>f_{RSI}</math> = 0.067 (gut)  <math>\phi_{50\%}</math> Raumluftfeuchte: Schimmel = 6 % (geringe Gefahr)</p>	<p><b>Verbesserung</b> gegenüber der Ausgangssituation:          Wärmestrom <math>\Phi</math> = 9.108 W/m (13.7 %)          Wärmebrücke <math>\Psi</math> = 0.066 W/m.K (keine WB)</p>

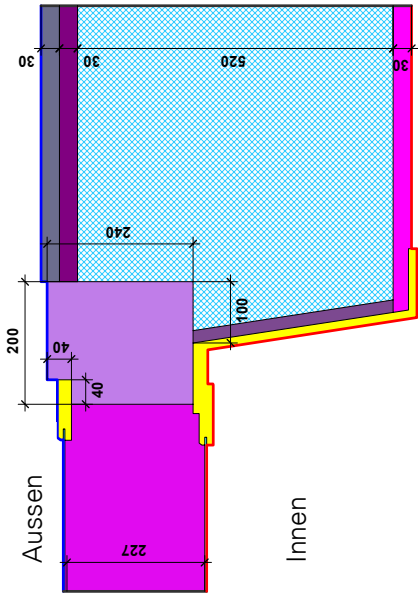
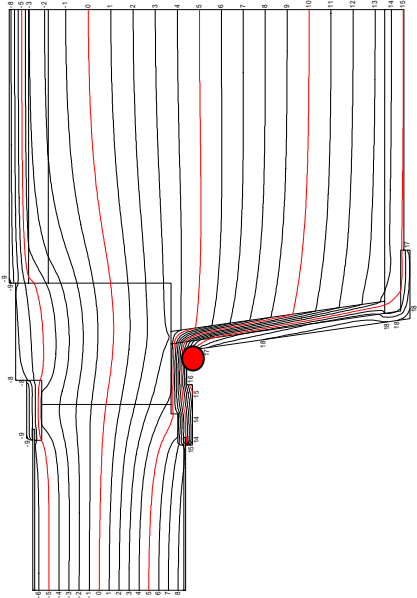
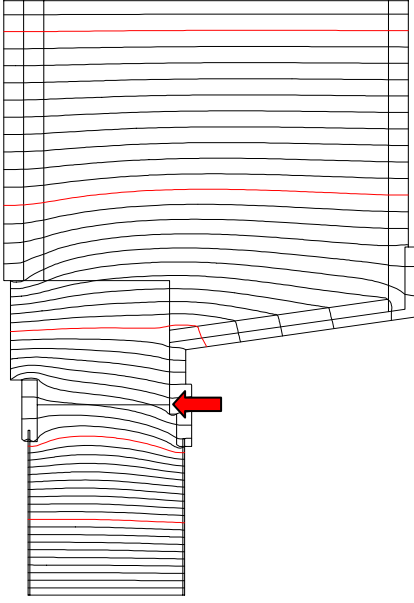


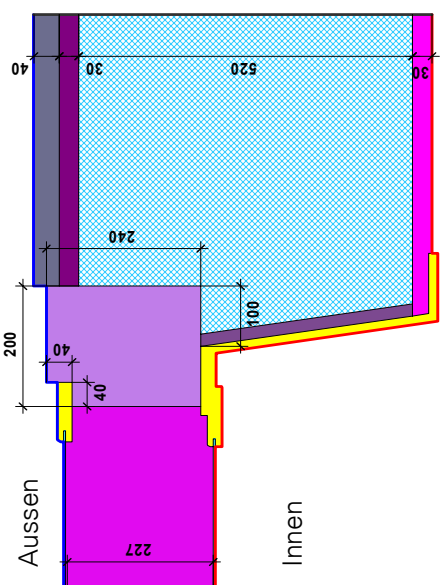
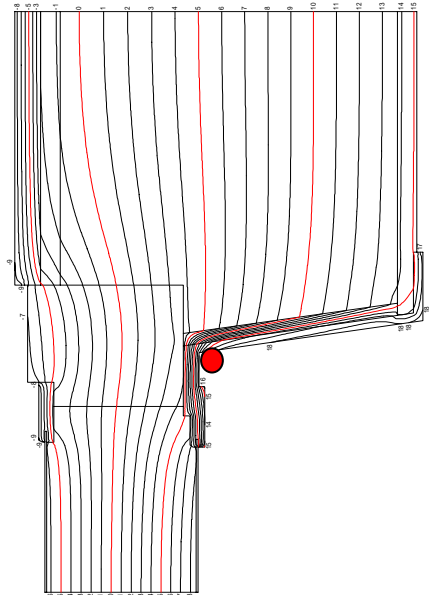
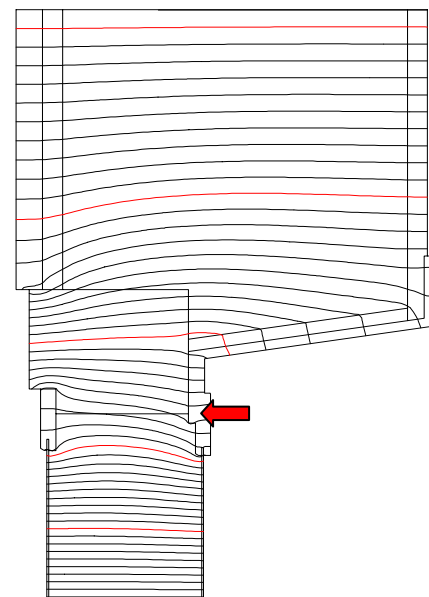
<b>HAB10C20 Sanierung mit Dichtung (A), Hinterdämmung der Leibung (B) und Wärmedämmputz (C)</b>		
<p><b>Konstruktion</b></p>  <p>Aussen</p> <p>Innen</p>	<p><b>Isotherme</b></p> 	<p><b>Wärmestromlinien / Wärmebrücke</b></p> 
<p><b>Material</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Aussenputz 0.870</li> <li>Bruchstein mit Kalkmörtel 1.300</li> <li>Glas, 2500 0.810</li> <li>Innenputz 0.700</li> <li>Kunststein 1.300</li> <li>Luftschicht, ruhend 1.278</li> <li>Weich-Holz 0.130</li> <li>isofloc, eingeblasen 0.039</li> <li>Wärmedämmender Putz 0.200</li> </ul>	<p>U- Wert Glas 2.80 W/(m²K)</p> <p>U- Wert Wand 1.34 W/(m²K)</p> <p>Oberflächenkoeffizienten <math>f_{RSI}</math> 0.747</p> <p>min. Innenoberflächentemperatur <math>\theta_{si}</math> min 12.40 °C</p> <p><math>\phi_{100\%}</math> Raumluftfeuchte: Kondensat 62 %</p> <p><math>\phi_{50\%}</math> Raumluftfeuchte: Schimmel 49 %</p>	<p>Wärmestrom <math>\Phi</math> 53.605 W/m</p> <p>Wärmebrücke <math>\Psi</math> 0.062 W/m·K</p>
<p>+ Falzdichtung, 10mm Hinterdämmung und 20mm Wärmedämmputz</p>	<p><b>Verbesserung</b> gegenüber der Ausgangssituation:</p> <p><math>f_{RSI} = 0.056</math> (gut)</p> <p><math>\phi_{50\%}</math> Raumluftfeuchte: Schimmel = 5 % (Gefahr)</p>	<p><b>Verbesserung</b> gegenüber der Ausgangssituation:</p> <p>Wärmestrom <math>\Phi = 12.863</math> W/m (19.35 %)</p> <p>Wärmebrücke <math>\Psi = 0.007</math> W/m·K (kleine WB)</p>

<b>HAB10C30 Sanierung mit Dichtung (A), Hinterdämmung der Leibung (B) und Wärmedämmputz (C)</b>		
Konstruktion	Isotherme	Wärmestromlinien / Wärmebrücke
 <p>           Aussen            Innen            200            40            40            240            100            227            30            30            520            30         </p>		
<b>Material</b> Aussenputz Bruchstein mit Kalkmörtel Glas, 2500 Innenputz Kunststein Luftschicht, ruhend Weich-Holz isofloc, eingeblasen Wärmedämmender Putz	<b><math>\lambda</math> [W/(m·K)]</b> 0.870 1.300 0.810 0.700 1.300 1.278 0.130 0.039 0.200	Wärmestrom $\Phi$ Wärmebrücke $\Psi$ 52.568 W/m 0.083 W/m·K
<b>Verbesserung</b> gegenüber der Ausgangssituation: $f_{RSI} = 0.060$ (gut) $\phi_{90\%}$ Raumlufftfeuchte: Schimmel = 6 % (geringe Gefahr)	U- Wert Glas U- Wert Wand Oberflächenwiderstand $f_{RSI}$ min. Innenoberflächentemperatur $\theta_{si}$ min $\phi_{100\%}$ Raumlufftfeuchte: Kondensat $\phi_{90\%}$ Raumlufftfeuchte: Schimmel 2.80 W/(m <sup>2</sup> ·K) 1.25 W/(m <sup>2</sup> ·K) 0.751 12.53 °C 62 % 50 %	<b>Verbesserung</b> gegenüber der Ausgangssituation: Wärmestrom $\Phi = 13.9$ W/m (20.9 %) Wärmebrücke $\Psi = 0.006$ W/m·K (kleine WB)

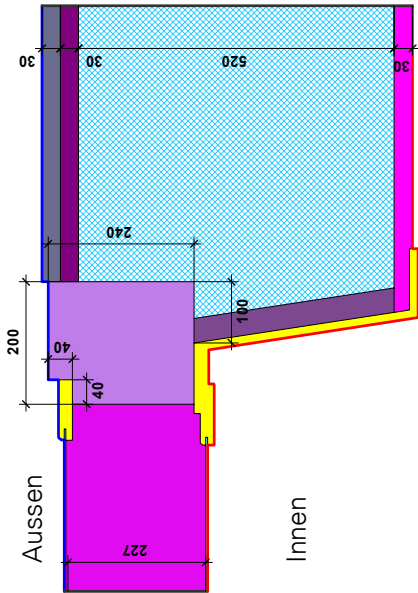
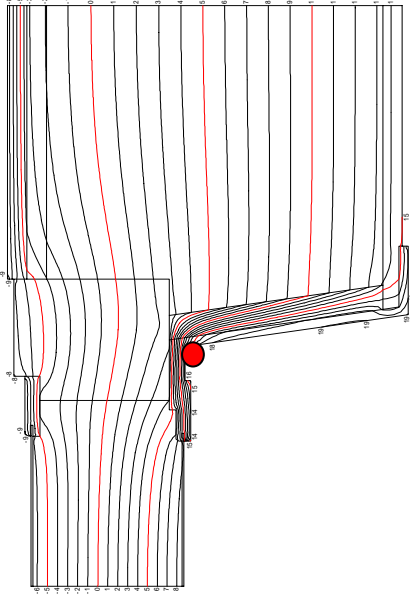
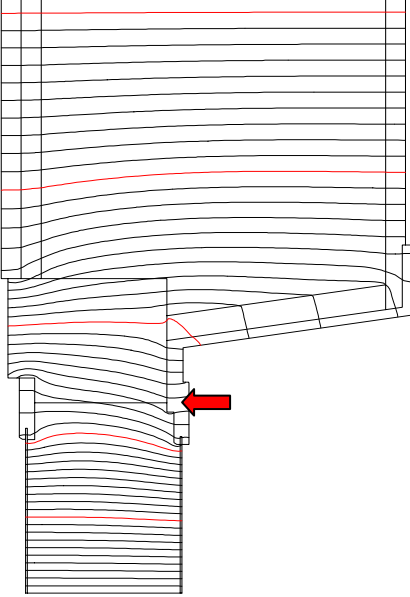
<b>HAB10C40 Sanierung mit Dichtung (A), Hinterdämmung der Leibung (B) und Wärmedämmputz (C)</b>		
<p><b>Konstruktion</b></p>  <p>Aussen</p> <p>Innen</p>	<p><b>Isotherme</b></p> 	<p><b>Wärmestromlinien / Wärmebrücke</b></p> 
<p><b>Material</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Aussenputz 0.870</li> <li>Bruchstein mit Kalkmörtel 1.300</li> <li>Glas, 2500 0.810</li> <li>Innenputz 0.700</li> <li>Kunststein 1.300</li> <li>Luftschicht, ruhend 1.278</li> <li>Weich-Holz 0.130</li> <li>isofloc, eingeblasen 0.039</li> <li>Wärmedämmender Putz 0.200</li> </ul>	<p>U- Wert Glas 2.80 W/(m²K)</p> <p>U- Wert Wand 1.18 W/(m²K)</p> <p>Oberflächenkoeffizienten <math>f_{RSI}</math> 0.755</p> <p>min. Innenoberflächentemperatur <math>\theta_{si}</math> min 12.65 °C</p> <p><math>\phi_{100\%}</math> Raumluftfeuchte: Kondensat 63 %</p> <p><math>\phi_{20\%}</math> Raumluftfeuchte: Schimmel 50 %</p>	<p>Wärmestrom <math>\Phi</math> 51.731 W/m</p> <p>Wärmebrücke <math>\Psi</math> 0.103 W/m·K</p>
<p>+ Falzdichtung, 10mm Hinterdämmung und 40mm Wärmedämmputz</p>	<p><b>Verbesserung</b> gegenüber der Ausgangssituation:</p> <p><math>f_{RSI}</math> = 0.064 (gut)</p> <p><math>\phi_{20\%}</math> Raumluftfeuchte: Schimmel = 6 % (geringe Gefahr)</p>	<p><b>Verbesserung</b> gegenüber der Ausgangssituation:</p> <p>Wärmestrom <math>\Phi</math> = 14.737 W/m (22.17 %)</p> <p>Wärmebrücke <math>\Psi</math> = 0.034 W/m·K (schlechter, kleine WB)</p>

<b>HAB20C20 Sanierung mit Dichtung (A), Hinterdämmung der Leibung (B) und Wärmedämmputz (C)</b>		
<p><b>Konstruktion</b></p> 	<p><b>Isotherme</b></p> 	<p><b>Wärmestromlinien / Wärmebrücke</b></p> 
<p><b>Material</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Aussenputz 0.870</li> <li>Bruchstein mit Kalkmörtel 1.300</li> <li>Glas, 2500 0.810</li> <li>Innenputz 0.700</li> <li>Kunststein 1.300</li> <li>Luftschicht, schwach belüftet 2.556</li> <li>Weich-Holz 0.130</li> <li>isofloc, eingeblasen 0.039</li> <li>Wärmedämmender Putz 0.200</li> </ul>	<p>U- Wert Glas 2.80 W/(m²K)          U- Wert Wand 1.34 W/(m²K)          Oberflächenwiderstand <math>f_{RSI}</math> 0.755          min. Innenoberflächentemperatur <math>\theta_{si}</math> min 12.64 °C  <math>\phi_{100\%}</math> Raumluftfeuchte: Kondensat 62 %  <math>\phi_{50\%}</math> Raumluftfeuchte: Schimmel 50 %</p>	<p>Wärmestrom <math>\Phi</math> 52.693 W/m          Wärmebrücke <math>\Psi</math> 0.032 W/m·K</p>
<p>+ Falzdichtung, 20mm Hinterdämmung und 20mm Wärmedämmputz</p>	<p><b>Verbesserung</b> gegenüber der Ausgangssituation:  <math>f_{RSI} = 0.064</math> (gut)  <math>\phi_{50\%}</math> Raumluftfeuchte: Schimmel = 6 % (geringe Gefahr)</p>	<p><b>Verbesserung</b> gegenüber der Ausgangssituation:          Wärmestrom <math>\Phi = 13.775</math> W/m (20.72 %)          Wärmebrücke <math>\Psi = 0.037</math> W/m·K (sehr kleine WB)</p>

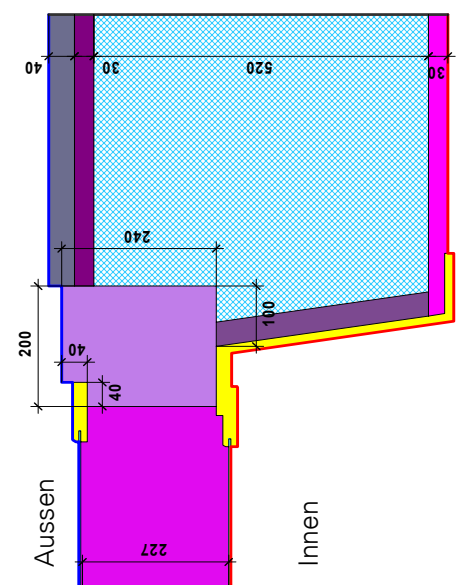
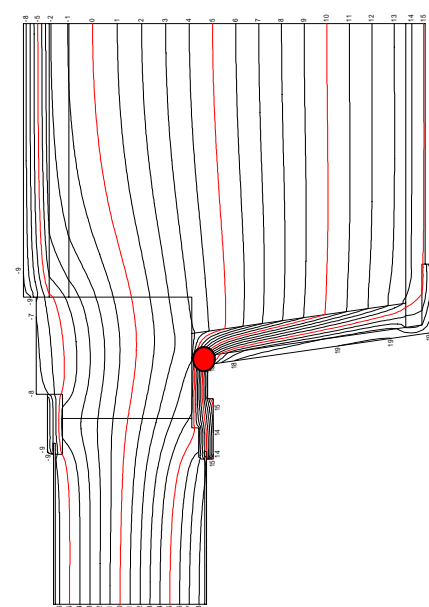
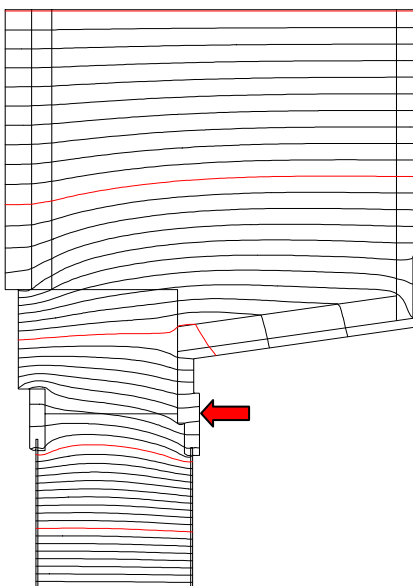
<b>HAB20C30 Sanierung mit Dichtung (A), Hinterdämmung der Leibung (B) und Wärmedämmputz (C)</b>		
<p><b>Konstruktion</b></p>  <p>Aussen</p> <p>Innen</p>	<p><b>Isotherme</b></p> 	<p><b>Wärmestromlinien / Wärmebrücke</b></p> 
<p><b>Material</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Aussenputz 0.870</li> <li>Bruchstein mit Kalkmörtel 1.300</li> <li>Glas, 2500 0.810</li> <li>Innenputz 0.700</li> <li>Kunststein 1.300</li> <li>Luftschicht, schwach belüftet 2.556</li> <li>Weich-Holz 0.130</li> <li>isofloc, eingeblasen 0.039</li> <li>Wärmedämmender Putz 0.200</li> </ul> <p><b>λ [W/(m·K)]</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>U- Wert Glas 2.80 W/(m²K)</li> <li>U- Wert Wand 1.25 W/(m²K)</li> <li>Oberflächenkoeffizienten <math>f_{RSI}</math> 0.758</li> <li>min. Innenoberflächentemperatur <math>\theta_{si}</math> min 12.75 °C</li> <li><math>\phi_{100\%}</math> Raumluftfeuchte: Kondensat 63 %</li> <li><math>\phi_{50\%}</math> Raumluftfeuchte: Schimmel 50 %</li> </ul>	<p>Wärmestrom <math>\Phi</math> 51.703 W/m</p> <p>Wärmebrücke <math>\Psi</math> 0.054 W/m·K</p>
<p>+ Falzdichtung, 20mm Hinterdämmung und 30mm Wärmedämmputz</p>	<p><b>Verbesserung</b> gegenüber der Ausgangssituation:  <math>f_{RSI} = 0.067</math> (gut)  <math>\phi_{50\%}</math> Raumluftfeuchte: Schimmel = 6 % (geringe Gefahr)</p>	<p><b>Verbesserung</b> gegenüber der Ausgangssituation:        Wärmestrom <math>\Phi = 14.765</math> W/m (22.21 %)        Wärmebrücke <math>\Psi = 0.015</math> W/m·K (kleine WB)</p>

<b>HAB20C40 Sanierung mit Dichtung (A), Hinterdämmung der Leibung (B) und Wärmedämmputz (C)</b>		
<p><b>Konstruktion</b></p> 	<p><b>Isotherme</b></p> 	<p><b>Wärmestromlinien / Wärmebrücke</b></p> 
<p><b>Material</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Aussenputz 0.870</li> <li>Bruchstein mit Kalkmörtel 1.300</li> <li>Glas, 2500 0.810</li> <li>Innenputz 0.700</li> <li>Kunststein 1.300</li> <li>Luftschicht, schwach belüftet 2.556</li> <li>Weich-Holz 0.130</li> <li>isofloc, eingeblasen 0.039</li> <li>Wärmedämmender Putz 0.200</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>U- Wert Glas 2.80 W/(m²K)</li> <li>U- Wert Wand 1.18 W/(m²K)</li> <li>Oberflächenkoeffizient f<sub>RSI</sub> 0.762</li> <li>min. Innenoberflächentemperatur θ<sub>si</sub> min 12.86 °C</li> <li>φ<sub>100%</sub> Raumlufffeuchte: Kondensat 63 %</li> <li>φ<sub>50%</sub> Raumlufffeuchte: Schimmel 51 %</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wärmestrom φ 50.902 W/m</li> <li>Wärmebrücke Ψ 0.075 W/m·K</li> </ul>
<p>+ Falzdichtung, 20mm Hinterdämmung und 40mm Wärmedämmputz</p>	<p><b>Verbesserung</b> gegenüber der Ausgangssituation:        f<sub>RSI</sub> = 0.071 (gut)        φ<sub>50%</sub> Raumlufffeuchte: Schimmel = 7 % (geringe Gefahr)</p>	<p><b>Verbesserung</b> gegenüber der Ausgangssituation:        Wärmestrom φ = 15.566 W/m (23.42 %)        Wärmebrücke Ψ = 0.006 W/m·K (schlechter, kleine WB)</p>

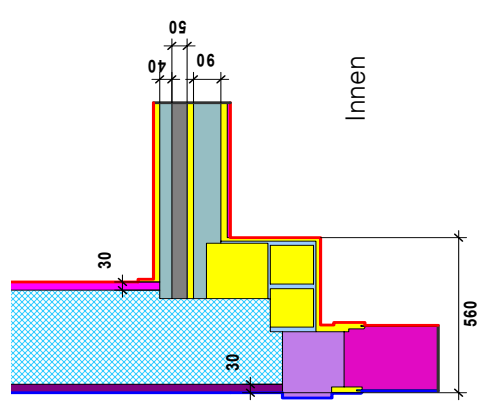
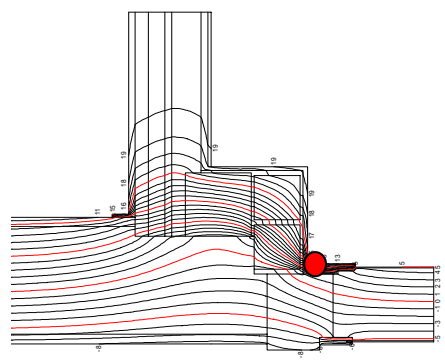
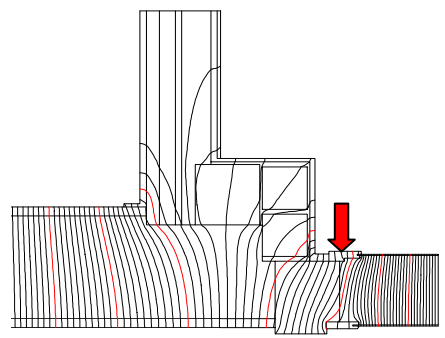


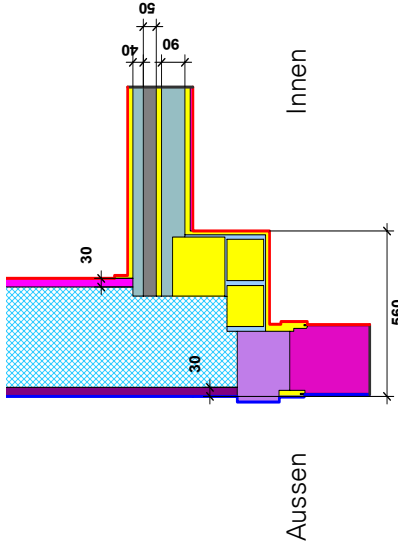
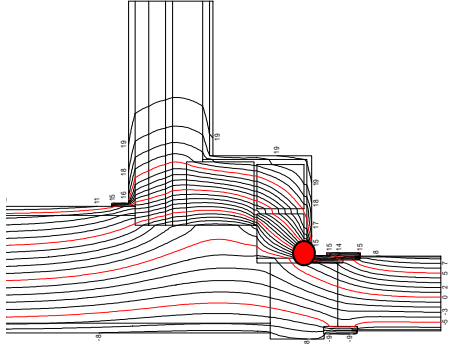
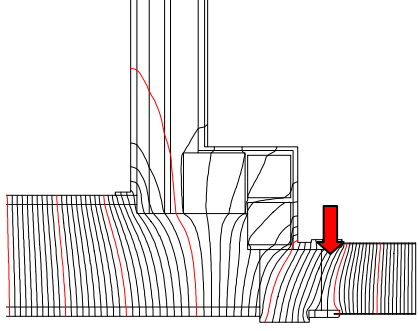
<b>HAB40C30 Sanierung mit Dichtung (A), Hinterdämmung der Leibung (B) und Wärmedämmputz (C)</b>		
<p><b>Konstruktion</b></p> 	<p><b>Isotherme</b></p> 	<p><b>Wärmestromlinien / Wärmebrücke</b></p> 
<p><b>Material</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Aussenputz 0.870</li> <li>Bruchstein mit Kalkmörtel 1.300</li> <li>Glas, 2500 0.810</li> <li>Innenputz 0.700</li> <li>Kunststein 1.300</li> <li>Luftschicht, schwach belüftet 2.556</li> <li>Weich-Holz 0.130</li> <li>isofloc, eingeblasen 0.039</li> <li>Wärmedämmender Putz 0.200</li> </ul>	<p><b>λ [W/(m·K)]</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>U- Wert Glas 2.80 W/(m²K)</li> <li>U- Wert Wand 1.25 W/(m²K)</li> <li>Oberflächenkoeffizient f<sub>RSI</sub> 0.761</li> <li>min. Innenoberflächentemperatur θ<sub>si min</sub> 12.83 °C</li> <li>φ<sub>100%</sub> Raumlufftfeuchte: Kondensat 63 %</li> <li>φ<sub>50%</sub> Raumlufftfeuchte: Schimmel 51 %</li> </ul>	<p>Wärmestrom φ 50.716 W/m</p> <p>Wärmebrücke Ψ 0.021 W/m·K</p>
<p>+ Falzdichtung, 40mm Hinterdämmung und 30mm Wärmedämmputz</p>	<p><b>Verbesserung</b> gegenüber der Ausgangssituation:        f<sub>RSI</sub> = 0.070 (gut)        φ<sub>50%</sub> Raumlufftfeuchte: Schimmel = 7 % (geringe Gefahr)</p>	<p><b>Verbesserung</b> gegenüber der Ausgangssituation:        Wärmestrom φ = 15.752 W/m (23.7 %)        Wärmebrücke Ψ = 0.048 W/m·K (sehr kleine WB)</p>



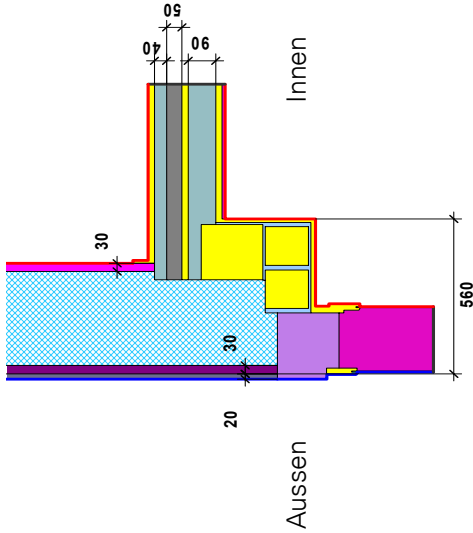
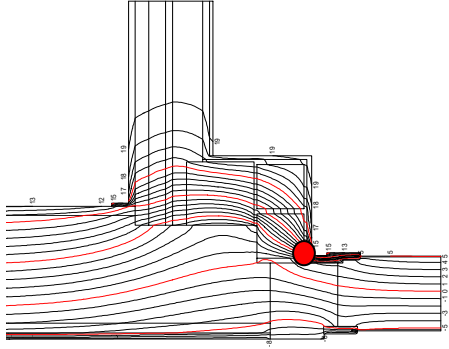
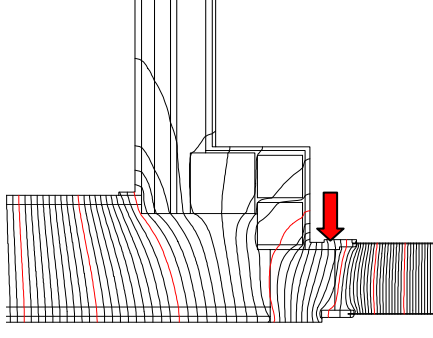
<b>HAB40C40 Sanierung mit Dichtung (A), Hinterdämmung der Leibung (B) und Wärmedämmputz (C)</b>		
<p><b>Konstruktion</b></p> 	<p><b>Isotherme</b></p> 	<p><b>Wärmestromlinien / Wärmebrücke</b></p> 
<p><b>Material</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Aussenputz 0.870</li> <li>Bruchstein mit Kalkmörtel 1.300</li> <li>Glas, 2500 0.810</li> <li>Innenputz 0.700</li> <li>Kunststein 1.300</li> <li>Luftschicht, schwach belüftet 2.556</li> <li>Weich-Holz 0.130</li> <li>isofloc, eingeblasen 0.039</li> <li>Wärmedämmender Putz 0.200</li> </ul>	<p>U- Wert Glas 2.80 W/(m²K)          U- Wert Wand 1.18 W/(m²K)          Oberflächenwiderstand <math>f_{RSI}</math> 0.764          min. Innenoberflächentemperatur <math>\theta_{si}</math> min 12.93 °C  <math>\phi_{100\%}</math> Raumluftfeuchte: Kondensat 64 %  <math>\phi_{50\%}</math> Raumluftfeuchte: Schimmel 51 %</p>	<p>Wärmestrom <math>\Phi</math> 49.953 W/m          Wärmebrücke <math>\Psi</math> 0.043 W/m·K</p>
<p>+ Falzdichtung, 40mm Hinterdämmung und 40mm Wärmedämmputz</p>	<p><b>Verbesserung</b> gegenüber der Ausgangssituation:  <math>f_{RSI} = 0.073</math> (gut)  <math>\phi_{50\%}</math> Raumluftfeuchte: Schimmel = 7 % (geringe Gefahr)</p>	<p><b>Verbesserung</b> gegenüber der Ausgangssituation:          Wärmestrom <math>\Phi = 16.515</math> W/m (24.8 %)          Wärmebrücke <math>\Psi = 0.026</math> W/m·K (sehr kleine WB)</p>

**V1 Ist - Situation, V1= Vertikalschnitt Sturz**

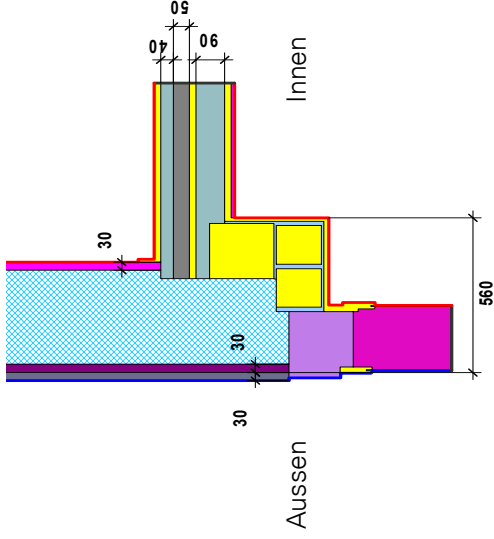
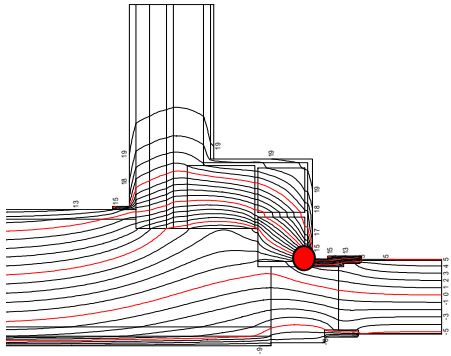
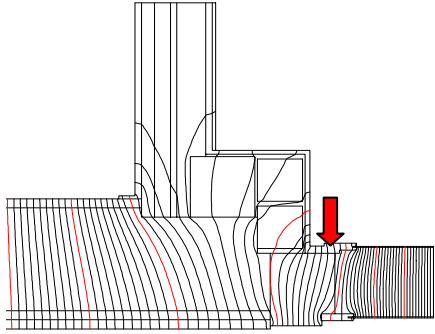
<p><b>Konstruktion</b></p> 	<p><b>Isotherme</b></p> 	<p><b>Wärmestromlinien / Wärmebrücke</b></p> 
<p><b>Material</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Aussenputz 0.870</li> <li>Bruchstein mit Kalkmörtel 1.300</li> <li>Glas, 2500 0.810</li> <li>Innenputz 0.700</li> <li>Kunststein 1.300</li> <li>Leicht belüftete Hohlräume 0.900</li> <li>Luftschicht, schwach belüftet, 230mm 2.556</li> <li>Luftschicht, schwach belüftet, 50mm 0.556</li> <li>Schlacke 0.310</li> <li>Weich-Holz 0.130</li> </ul>	<p>U- Wert Glas 3.74 W/(m²K)          U- Wert Wand 1.97 W/(m²K)          Oberflächenwiderstand <math>f_{RSI}</math> 0.665          min. Innenoberflächentemperatur <math>\theta_{si}</math> min 9.96 °C  <math>\phi_{100\%}</math> Raumluftfeuchte: Kondensat 52 %  <math>\phi_{80\%}</math> Raumluftfeuchte: Schimmel 42 %</p>	<p>Wärmestrom <math>\Phi</math> 45.484 W/m          Wärmebrücke <math>\Psi</math> 0.196 W/m-K</p>
<p>Sanierungsmöglichkeiten:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Falzdichtung (S. 28)</li> <li>• Wärmedämmputz + 20mm, 30mm, 40mm (S. 29 - 31)</li> <li>• Kombinationen (S. 32 - 34)</li> </ul>	<p>Hygrische Beurteilung:  <math>f_{RSI} = 0.665</math> (zu tief)          52 % Raumfeuchte: Tauwassergefahr          42 % Raumfeuchte: Schimmelgefahr (akute Gefahr)</p>	<p>Thermische Beurteilung:          Normale Wärmebrücke am Fensteranschlag</p>

<b>V1A Sanierung mit Dichtung (A)</b>		
<b>Konstruktion</b>	<b>Isotherme</b>	<b>Wärmestromlinien / Wärmebrücke</b>
		
<b>Material</b> Aussenputz Bruchstein mit Kalkmörtel Glas, 2500 Innenputz Kunststein Leicht belüftete Hohlräume Luftschicht, ruhend, 230mm Luftschicht, schwach belüftet, 50mm Schlacke Weich-Holz	$\lambda$ [W/(m·K)] 0.870 1.300 0.810 0.700 1.300 0.900 1.278 0.556 0.310 0.130	Wärmestrom $\Phi$ Wärmebrücke $\Psi$ 38.215 W/m 0.242 W/m·K
+ Falzdichtung	<b>Verbesserung</b> gegenüber der Ausgangssituation: $f_{RSI} = 0.006$ (zu tief) $\phi_{90\%}$ Raumlufftfeuchte: Schimmel = 0 % (akute Gefahr)	<b>Verbesserung</b> gegenüber der Ausgangssituation: Wärmestrom $\Phi = 7.269$ W/m (15.98 %) Wärmebrücke $\Psi = 0.046$ W/m·K (schlechter, normale WB)

**V1C20 Sanierung mit Wärmedämmputz (C)**

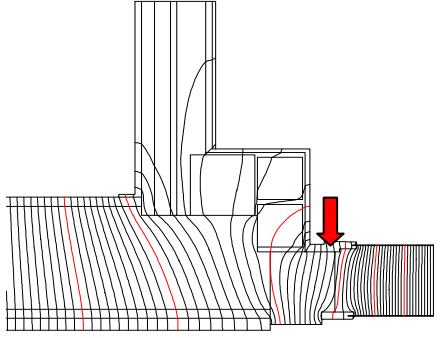
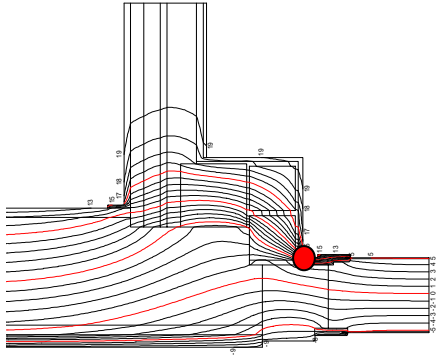
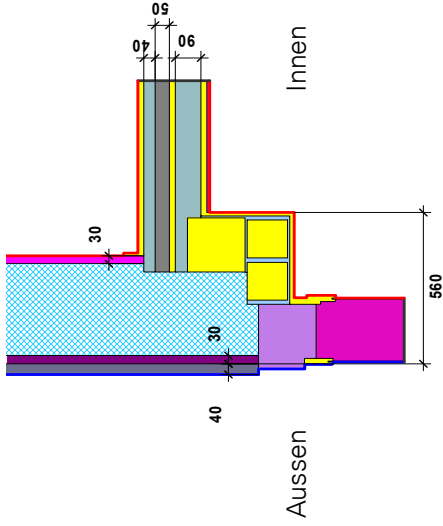
Konstruktion	Isotherme	Wärmestromlinien / Wärmebrücke
 <p> <b>Material</b>            Aussenputz            Bruchstein mit Kalkmörtel            Glas, 2500            Innenputz            Kunststein            Leicht belüftete Hohlräume            Luftschicht, schwach belüftet, 230mm            Luftschicht, schwach belüftet, 50mm            Schlacke            Weich-Holz            Wärmedämmender Putz            + 20mm Wärmedämmputz         </p>	 <p>           U- Wert Glas            U- Wert Wand            Oberflächenkoeffizient <math>f_{RSI}</math>            min. Innenoberflächentemperatur <math>\theta_{si}</math> min  <math>\phi_{100\%}</math> Raumluftfeuchte: Kondensat  <math>\phi_{50\%}</math> Raumluftfeuchte: Schimmel         </p>	 <p>           Wärmestrom <math>\Phi</math>            Wärmebrücke <math>\Psi</math> </p>
<p> <math>\lambda</math> [W/(m·K)]            0.870            1.300            0.810            0.700            1.300            0.900            2.556            0.556            0.310            0.130            0.200         </p>	<p>           3.74 W/(m<sup>2</sup>·K)            1.64 W/(m<sup>2</sup>·K)            0.680            10.39 °C            54 %            43 %         </p> <p> <b>Verbesserung</b> gegenüber der Ausgangssituation:  <math>f_{RSI} = 0.015</math> (zu tief)  <math>\phi_{50\%}</math> Raumluftfeuchte: Schimmel = 1 % (akute Gefahr)         </p>	<p>           44.407 W/m            0.169 W/m·K         </p> <p> <b>Verbesserung</b> gegenüber der Ausgangssituation:            Wärmestrom <math>\Phi = 1.077</math> W/m (2,367 %)            Wärmebrücke <math>\Psi = 0.027</math> W/m·K (normale WB)         </p>
	<p> <b>Verbesserung</b> gegenüber der Ausgangssituation:            Wärmestrom <math>\Phi = 1.077</math> W/m (2,367 %)            Wärmebrücke <math>\Psi = 0.027</math> W/m·K (normale WB)         </p>	

**V1C30 Sanierung mit Wärmedämmputz (C)**

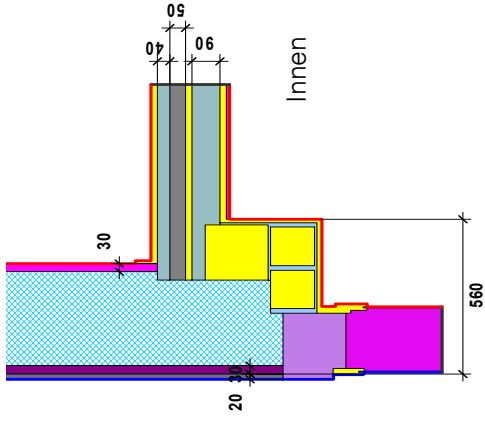
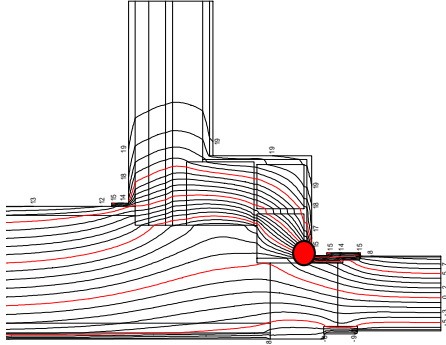
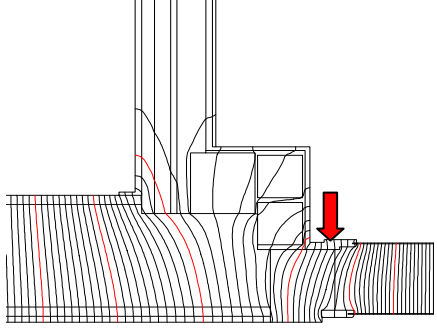
Konstruktion	Isotherme	Wärmeströmlinien / Wärmebrücke
 <p><b>Material</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Aussenputz</li> <li>Bruchstein mit Kalkmörtel</li> <li>Glas, 2500</li> <li>Innenputz</li> <li>Kunststein</li> <li>Leicht belüftete Hohlräume</li> <li>Luftschicht, schwach belüftet, 230mm</li> <li>Luftschicht, schwach belüftet, 50mm</li> <li>Schlacke</li> <li>Weich-Holz</li> <li>Wärmedämmender Putz</li> <li>+ 30mm Wärmedämmputz</li> </ul>	 <p> <b>U- Wert Glas</b>  <b>U- Wert Wand</b>  <b>Oberflächenkoeffizienten <math>f_{RSi}</math></b>  <b>min. Innenoberflächentemperatur <math>\theta_{si}</math> min</b>  <b><math>\phi_{100\%}</math> Raumluftfeuchte: Kondensat</b>  <b><math>\phi_{50\%}</math> Raumluftfeuchte: Schimmel</b> </p>	 <p> <b>Wärmestrom <math>\Phi</math></b>  <b>Wärmebrücke <math>\Psi</math></b> </p>
<p><b><math>\lambda</math> [W/(m·K)]</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>0.870</li> <li>1.300</li> <li>0.810</li> <li>0.700</li> <li>1.300</li> <li>0.900</li> <li>2.556</li> <li>0.556</li> <li>0.310</li> <li>0.130</li> <li>0.200</li> </ul>	<p> <b>Wärmestrom <math>\Phi</math></b>  <b>Wärmebrücke <math>\Psi</math></b> </p>	<p> <b>Wärmestrom <math>\Phi</math></b>  <b>Wärmebrücke <math>\Psi</math></b> </p>
<p><b>Verbesserung gegenüber der Ausgangssituation:</b>  <math>f_{RSi} = 0.019</math> (zu tief)  <math>\phi_{50\%}</math> Raumluftfeuchte: Schimmel = 1 % (akute Gefahr)</p>	<p><b>Verbesserung gegenüber der Ausgangssituation:</b>        Wärmestrom <math>\Phi = 1.44</math> W/m (3.17 %)        Wärmebrücke <math>\Psi = 0.035</math> W/m·K (normale WB)</p>	<p> <b>Verbesserung gegenüber der Ausgangssituation:</b>        Wärmestrom <math>\Phi = 1.44</math> W/m (3.17 %)        Wärmebrücke <math>\Psi = 0.035</math> W/m·K (normale WB)     </p>

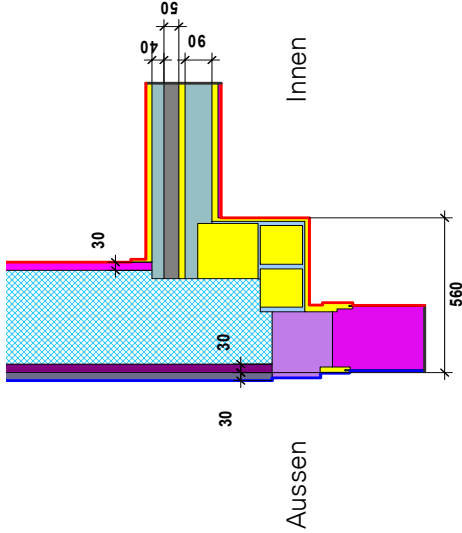
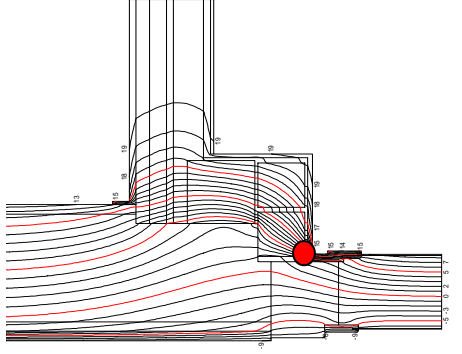
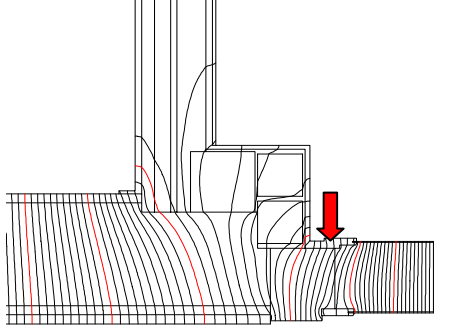
**V1C40 Sanierung mit Wärmedämmputz (C)**

Konstruktion	Isotherme	Wärmeströmlinien / Wärmebrücke
<p><b>Material</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Aussenputz</li> <li>Bruchstein mit Kalkmörtel</li> <li>Glas, 2500</li> <li>Innenputz</li> <li>Kunststein</li> <li>Leicht belüftete Hohlräume</li> <li>Luftschicht, schwach belüftet, 230mm</li> <li>Luftschicht, schwach belüftet, 50mm</li> <li>Schlacke</li> <li>Weich-Holz</li> <li>Wärmedämmender Putz</li> <li>+ 40mm Wärmedämmputz</li> </ul>	<p><b>λ [W/(m·K)]</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>0.870</li> <li>1.300</li> <li>1.300</li> <li>0.810</li> <li>0.700</li> <li>1.300</li> <li>0.900</li> <li>2.556</li> <li>0.556</li> <li>0.310</li> <li>0.130</li> <li>0.200</li> </ul> <p><b>U- Wert Glas</b>  <b>U- Wert Wand</b>  <b>Oberflächenkoeffizienten <math>f_{RSI}</math></b>  <b>min. Innenoberflächentemperatur <math>\theta_{si}</math> min</b>  <b><math>\phi_{100\%}</math> Raumluftfeuchte: Kondensat</b>  <b><math>\phi_{50\%}</math> Raumluftfeuchte: Schimmel</b></p>	<p>Wärmestrom <math>\Phi</math>          Wärmebrücke <math>\Psi</math></p> <p>43.740 W/m          0.153 W/m·K</p>
	<p><b>Verbesserung</b> gegenüber der Ausgangssituation:  <math>f_{RSI} = 0.023</math> (zu tief)  <math>\phi_{50\%}</math> Raumluftfeuchte: Schimmel = 2 % (akute Gefahr)</p>	<p><b>Verbesserung</b> gegenüber der Ausgangssituation:          Wärmestrom <math>\Phi = 1.744</math> W/m (3.83 %)          Wärmebrücke <math>\Psi = 0.043</math> W/m·K (normale WB)</p>

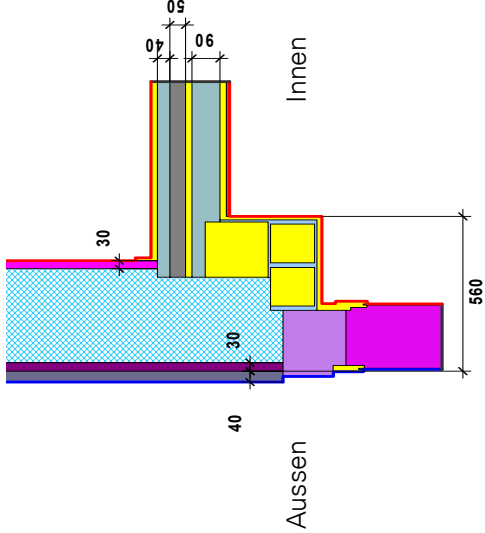
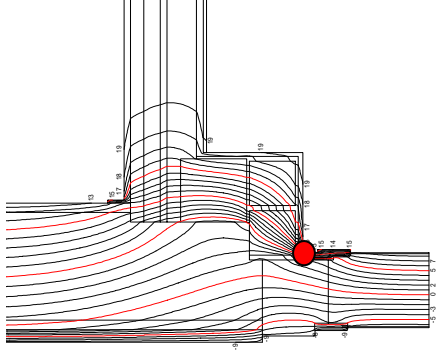
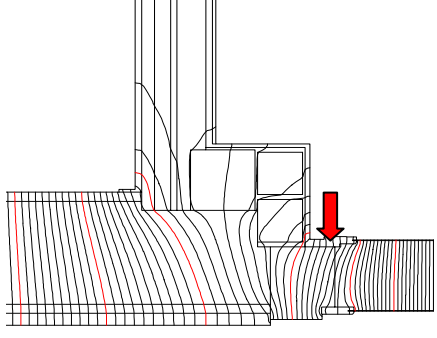


**V1AC20 Sanierung mit Dichtung (A) und Wärmedämmputz (C)**

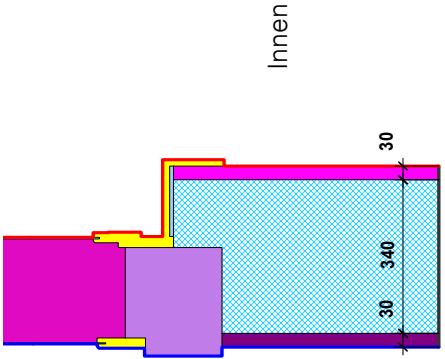
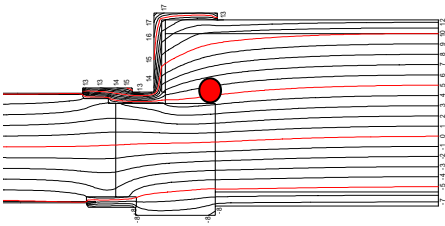
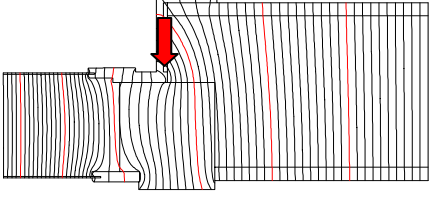
Konstruktion	Isotherme	Wärmestromlinien / Wärmebrücke
 <p> <b>Aussen</b>  <b>Innen</b>            20 30 40 50 90 560         </p>		
<p><b>Material</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Aussenputz 0.870</li> <li>Bruchstein mit Kalkmörtel 1.300</li> <li>Glas, 2500 0.810</li> <li>Innenputz 0.700</li> <li>Kunststein 1.300</li> <li>Leicht belüftete Hohlräume 0.900</li> <li>Luftschicht, ruhend, 230mm 1.278</li> <li>Luftschicht, schwach belüftet, 50mm 0.556</li> <li>Schlacke 0.310</li> <li>Weich-Holz 0.130</li> <li>Wärmedämmender Putz 0.200</li> </ul> <p>+ Falzdichtung und 20mm Wärmedämmputz</p>	<p>U- Wert Glas 2.80 W/(m<sup>2</sup>K)</p> <p>U- Wert Wand 1.64 W/(m<sup>2</sup>K)</p> <p>Oberflächenkoeffizienten f<sub>RSI</sub> 0.686</p> <p>min. Innenoberflächentemperatur <math>\theta_{si}</math> min 10.59 °C</p> <p><math>\phi_{100\%}</math> Raumluftfeuchte: Kondensat 55 %</p> <p><math>\phi_{20\%}</math> Raumluftfeuchte: Schimmel 44 %</p>	<p>Wärmestrom <math>\Phi</math> 37.120 W/m</p> <p>Wärmebrücke <math>\Psi</math> 0.213 W/m·K</p>
	<p><b>Verbesserung</b> gegenüber der Ausgangssituation:</p> <p>f<sub>RSI</sub> = 0.021 (zu tief)</p> <p><math>\phi_{20\%}</math> Raumluftfeuchte: Schimmel = 2 % (akute Gefahr)</p>	<p><b>Verbesserung</b> gegenüber der Ausgangssituation:</p> <p>Wärmestrom <math>\Phi</math> = 8.364 W/m (18.4 %)</p> <p>Wärmebrücke <math>\Psi</math> = 0.019 W/m·K (schlechter, normale WB)</p>

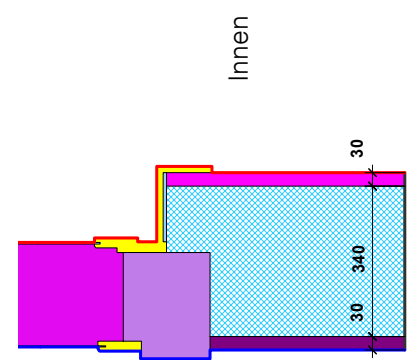
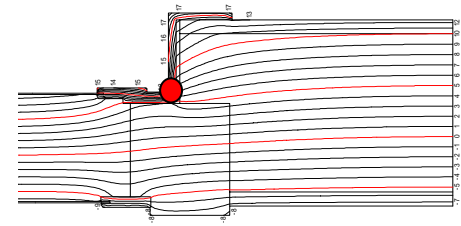
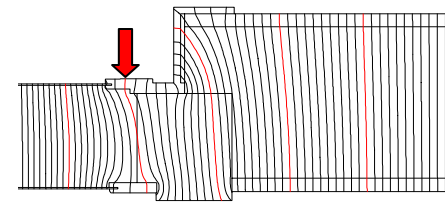
V1AC30 Sanierung mit Dichtung (A) und Wärmedämmputz (C)		
<b>Konstruktion</b> 	<b>Isotherme</b> 	<b>Wärmestromlinien / Wärmebrücke</b> 
<b>Material</b> Aussenputz Bruchstein mit Kalkmörtel Glas, 2500 Innenputz Kunststein Leicht belüftete Hohlräume Luftschicht, ruhend, 230mm Luftschicht, schwach belüftet, 50mm Schlacke Weich-Holz Wärmedämmender Putz + Falzdichtung und 20mm Wärmedämmputz	$\lambda$ [W/(m·K)] 0.870 1.300 0.810 0.700 1.300 0.900 1.278 0.556 0.310 0.130 0.200	Wärmestrom $\Phi$ Wärmebrücke $\Psi$ 36.750 W/m 0.204 W/m·K
<b>Verbesserung</b> gegenüber der Ausgangssituation: $f_{RSI} = 0.026$ (zu tief) $\phi_{20\%}$ , Raumlufftfeuchte: Schimmel = 2 % (akute Gefahr)	U- Wert Glas U- Wert Wand Oberflächenkoeffizient $f_{RSI}$ min. Innenoberflächentemperatur $\theta_{si}$ min $\phi_{100\%}$ Raumlufftfeuchte: Kondensat $\phi_{20\%}$ Raumlufftfeuchte: Schimmel 2.80 W/(m <sup>2</sup> ·K) 1.52 W/(m <sup>2</sup> ·K) 0.691 10.73 °C 55 % 44 %	<b>Verbesserung</b> gegenüber der Ausgangssituation: Wärmestrom $\Phi = 8.734$ W/m (19.2 %) Wärmebrücke $\Psi = 0.008$ W/m·K (schlechter, normale WB)

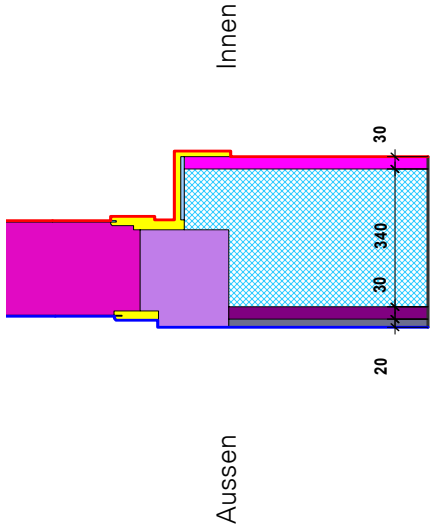
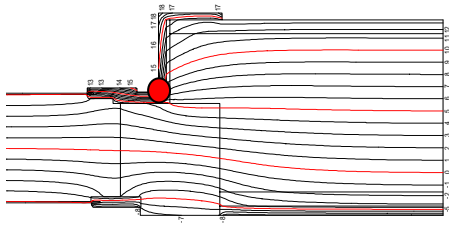
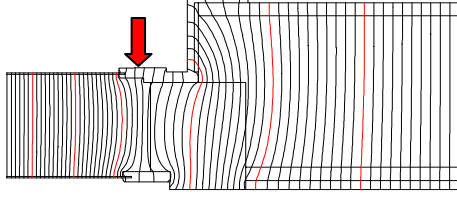


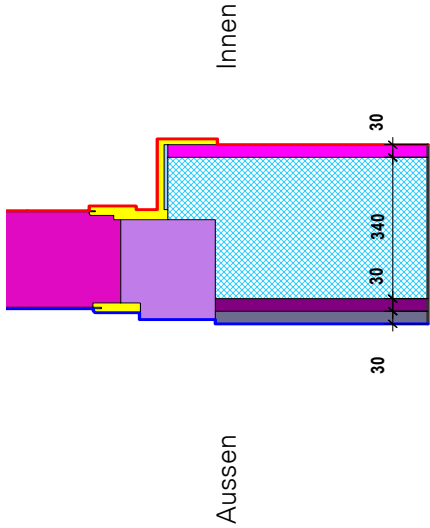
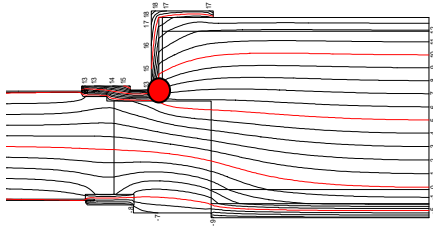
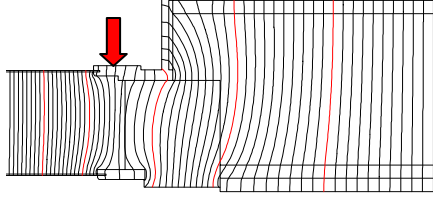
V1AC40 Sanierung mit Dichtung (A) und Wärmedämmputz (C)		
<b>Konstruktion</b> 	<b>Isotherme</b> 	<b>Wärmestromlinien / Wärmebrücke</b> 
<b>Material</b> Aussenputz Bruchstein mit Kalkmörtel Glas, 2500 Innenputz Kunststein Leicht belüftete Hohlräume Luftschicht, ruhend, 230mm Luftschicht, schwach belüftet, 50mm Schlacke Weich-Holz Wärmedämmender Putz + Falzdichtung und 30mm Wärmedämmputz	$\lambda$ [W/(m·K)] 0.870 1.300 0.810 0.700 1.300 0.900 1.278 0.556 0.310 0.130 0.200	Wärmestrom $\Phi$ Wärmebrücke $\Psi$ 36.441 W/m 0.198 W/m·K
<b>Verbesserung</b> gegenüber der Ausgangssituation: $f_{RSI} = 0.030$ (zu tief) $\phi_{20\%}$ Raumlufftfeuchte: Schimmel = 2 % (akute Gefahr)	U- Wert Glas U- Wert Wand Oberflächenkoeffizient $f_{RSI}$ min. Innenoberflächentemperatur $\theta_{si}$ min $\phi_{100\%}$ Raumlufftfeuchte: Kondensat $\phi_{20\%}$ Raumlufftfeuchte: Schimmel 2.80 W/(m <sup>2</sup> ·K) 1.41 W/(m <sup>2</sup> ·K) 0.695 10.86 °C 56 % 44 %	<b>Verbesserung</b> gegenüber der Ausgangssituation: Wärmestrom $\Phi = 9.043$ W/m (19.88 %) Wärmebrücke $\Psi = 0.000$ W/m·K (, normale WB)

**V2 Ist – Situation, V2= Vertikalschnitt Brüstung**

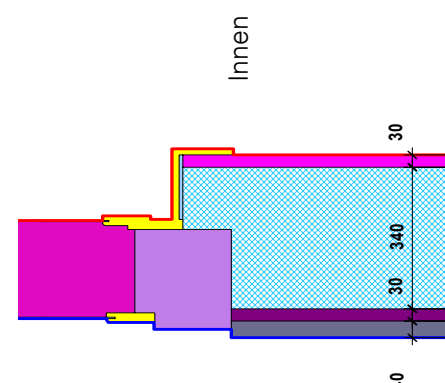
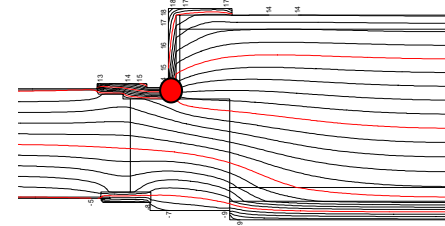
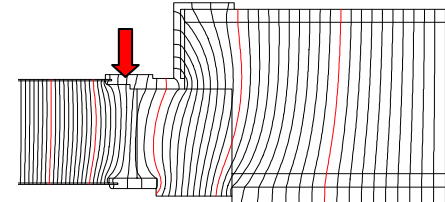
<p><b>Konstruktion</b></p>  <p><b>Material</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Aussenputz 0.870</li> <li>Bruchstein mit Kalkmörtel 1.300</li> <li>Glas, 2500 0.810</li> <li>Innenputz 0.700</li> <li>Kunststein 1.300</li> <li>Leicht belüftete Hohlräume 0.900</li> <li>Luftschicht, schwach belüftet, 230mm 2.556</li> <li>Weich-Holz 0.130</li> </ul>	<p><b>Isotherme</b></p>  <p>U- Wert Glas 3.74 W/(m²K)        U- Wert Wand 1.97 W/(m²K)        Oberflächenwiderstand <math>f_{RSI}</math> 0.71        min. Innenoberflächentemperatur <math>\theta_{si}</math> min 11.28 °C  <math>\phi_{100\%}</math> Raumluftfeuchte: Kondensat 57 %  <math>\phi_{80\%}</math> Raumluftfeuchte: Schimmel 46 %</p> <p>Hygrische Beurteilung:  <math>f_{RSI} = 0.71</math> (ganz leicht zu tief)        57 % Raumfeuchte: Tauwassergefahr        46 % Raumfeuchte: Schimmelgefahr (Gefahr)</p>	<p><b>Wärmestromlinien / Wärmebrücke</b></p>  <p>Wärmestrom <math>\Phi</math> 70.560 W/m        Wärmebrücke <math>\Psi</math> -0.069 W/m-K</p> <p>Thermische Beurteilung:        Negative Wärmebrücke</p>
<p>Sanierungsmöglichkeiten:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Falzdichtung (S. 36)</li> <li>Wärmedämmputz + 20mm, 30mm, 40mm (S. 37 - 39)</li> <li>Kombinationen (S. 40 - 41)</li> </ul>		

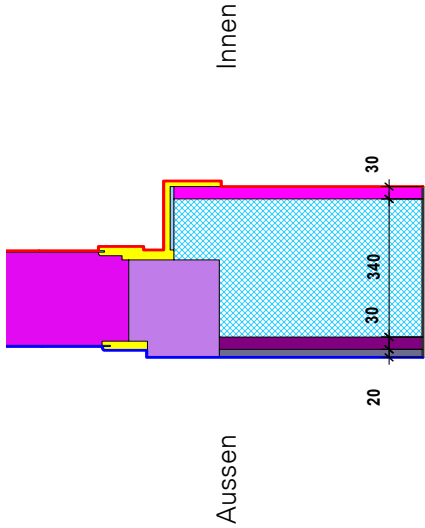
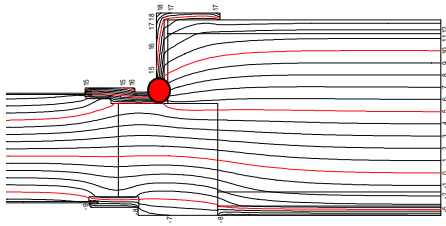
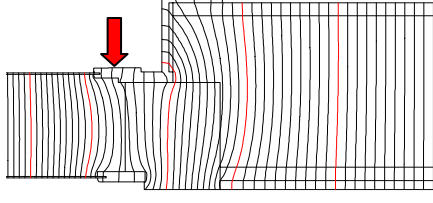
V2A Sanierung mit Dichtung (A)		
<p><b>Konstruktion</b></p> 	<p><b>Isotherme</b></p> 	<p><b>Wärmestromlinien / Wärmebrücke</b></p> 
<p><b>Material</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Aussenputz 0.870</li> <li>Bruchstein mit Kalkmörtel 1.300</li> <li>Glas, 2500 0.810</li> <li>Innenputz 0.700</li> <li>Kunststein 1.300</li> <li>Leicht belüftete Hohlräume 0.900</li> <li>Luftschicht, ruhend, 230mm 1.278</li> <li>Weich-Holz 0.130</li> </ul>	<p>U- Wert Glas 2.80 W/(m²K)          U- Wert Wand 1.97 W/(m²K)          Oberflächenkoeffizient f<sub>RSI</sub> 0.72          min. Innenoberflächentemperatur <math>\theta_{si}</math> min 11.50 °C  <math>\phi_{100\%}</math> Raumluftfeuchte: Kondensat 58 %  <math>\phi_{20\%}</math> Raumluftfeuchte: Schimmel 46 %</p>	<p>Wärmestrom <math>\Phi</math> 63.121 W/m          Wärmebrücke <math>\Psi</math> -0.029 W/m·K</p>
<p>+ Falzdichtung</p>	<p><b>Verbesserung</b> gegenüber der Ausgangssituation:  <math>f_{RSI} = 0.010</math> (ausreichend)  <math>\phi_{20\%}</math> Raumluftfeuchte: Schimmel = 0 % (Gefahr)</p>	<p><b>Verbesserung</b> gegenüber der Ausgangssituation:          Wärmestrom <math>\Phi = 7.439</math> W/m (10.54 %)          Wärmebrücke <math>\Psi = 0.040</math> W/m·K (schlechter, negative WB)</p>

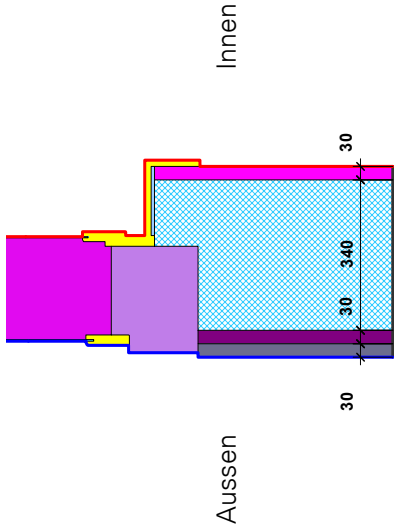
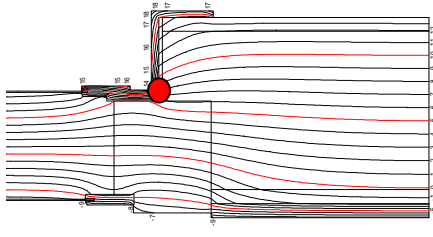
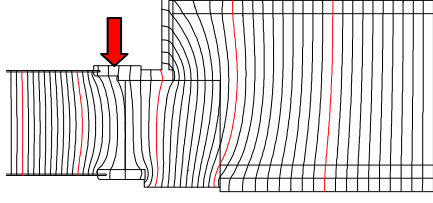
<b>V2C20 Sanierung mit Wärmedämmputz (C)</b>		
<p><b>Konstruktion</b></p> 	<p><b>Isotherme</b></p> 	<p><b>Wärmestromlinien / Wärmebrücke</b></p> 
<p><b>Material</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Aussenputz 0.870</li> <li>Bruchstein mit Kalkmörtel 1.300</li> <li>Glas, 2500 0.810</li> <li>Innenputz 0.700</li> <li>Kunststein 1.300</li> <li>Leicht belüftete Hohlräume 0.900</li> <li>Luftschicht, schwach belüftet, 230mm 2.556</li> <li>Weich-Holz 0.130</li> <li>Wärmedämmender Putz 0.200</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>U- Wert Glas 3.74 W/(m²K)</li> <li>U- Wert Wand 1.64 W/(m²K)</li> <li>Oberflächenkoeffizienten <math>f_{RSI}</math> 0.726</li> <li>min. Innenoberflächentemperatur <math>\theta_{si}</math> min 11.77 °C</li> <li><math>\phi_{100\%}</math> Raumluftfeuchte: Kondensat 59 %</li> <li><math>\phi_{20\%}</math> Raumluftfeuchte: Schimmel 47 %</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wärmestrom <math>\Phi</math> 66.190 W/m</li> <li>Wärmebrücke <math>\Psi</math> -0.005 W/m·K</li> </ul>
<p>+ 20mm Wärmedämmputz</p>	<p><b>Verbesserung</b> gegenüber der Ausgangssituation:  <math>f_{RSI} = 0.016</math> (ausreichend)  <math>\phi_{20\%}</math> Raumluftfeuchte: Schimmel = 1 % (Gefahr)</p>	<p><b>Verbesserung</b> gegenüber der Ausgangssituation:        Wärmestrom <math>\Phi = 4.37</math> W/m (6.2 %)        Wärmebrücke <math>\Psi = 0.064</math> W/m·K (schlechter, negative WB)</p>

<b>V2C30 Sanierung mit Wärmedämmputz (C)</b>		
<p><b>Konstruktion</b></p> 	<p><b>Isotherme</b></p> 	<p><b>Wärmestromlinien / Wärmebrücke</b></p> 
<p><b>Material</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Aussenputz 0.870</li> <li>Bruchstein mit Kalkmörtel 1.300</li> <li>Glas, 2500 0.810</li> <li>Innenputz 0.700</li> <li>Kunststein 1.300</li> <li>Leicht belüftete Hohlräume 0.900</li> <li>Luftschicht, schwach belüftet, 230mm 2.556</li> <li>Weich-Holz 0.130</li> <li>Wärmedämmender Putz 0.200</li> </ul>	<p>U- Wert Glas 3.74 W/(m²K)          U- Wert Wand 1.52 W/(m²K)          Oberflächenwiderstand <math>f_{RSI}</math> 0.731          min. Innenoberflächentemperatur <math>\theta_{si}</math> min 11.92 °C  <math>\phi_{100\%}</math> Raumluftfeuchte: Kondensat 60 %  <math>\phi_{50\%}</math> Raumluftfeuchte: Schimmel 48 %</p>	<p>Wärmestrom <math>\Phi</math> 64.791 W/m          Wärmebrücke <math>\Psi</math> 0.030 W/m·K</p>
<p>+ 30mm Wärmedämmputz</p>	<p><b>Verbesserung</b> gegenüber der Ausgangssituation:  <math>f_{RSI} = 0.021</math> (ausreichend)  <math>\phi_{50\%}</math> Raumluftfeuchte: Schimmel = 2 % (Gefahr)</p>	<p><b>Verbesserung</b> gegenüber der Ausgangssituation:          Wärmestrom <math>\Phi = 5.769</math> W/m (8.17 %)          Wärmebrücke <math>\Psi = 0.099</math> W/m·K (schlechter, kleine WB)</p>

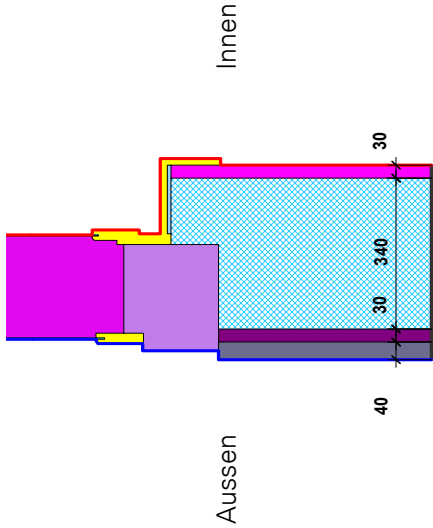
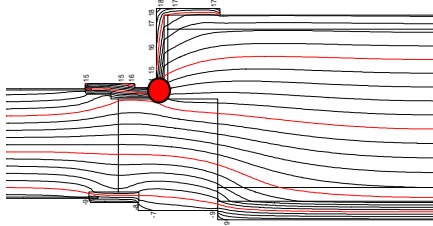
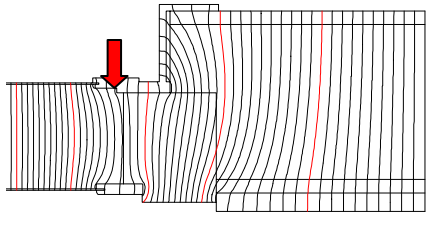
**V2C40 Sanierung mit Wärmedämmputz (C)**

<p><b>Konstruktion</b></p> 	<p><b>Isotherme</b></p> 	<p><b>Wärmestromlinien / Wärmebrücke</b></p> 
<p><b>Material</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Aussenputz 0.870</li> <li>Bruchstein mit Kalkmörtel 1.300</li> <li>Glas, 2500 0.810</li> <li>Innenputz 0.700</li> <li>Kunststein 1.300</li> <li>Leicht belüftete Hohlräume 0.900</li> <li>Luftschicht, schwach belüftet, 230mm 2.556</li> <li>Weich-Holz 0.130</li> <li>Wärmedämmender Putz 0.200</li> </ul> <p><b>λ [W/(m·K)]</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>U- Wert Glas 3.74 W/(m²K)</li> <li>U- Wert Wand 1.41 W/(m²K)</li> <li>Oberflächenkoeffizient f<sub>RSI</sub> 0.735</li> <li>min. Innenoberflächentemperatur θ<sub>si min</sub> 12.04 °C</li> <li>φ<sub>100%</sub> Raumlufffeuchte: Kondensat 60 %</li> <li>φ<sub>50%</sub> Raumlufffeuchte: Schimmel 48 %</li> </ul>	<p>Wärmestrom φ 63.673 W/m</p> <p>Wärmebrücke Ψ 0.062 W/m·K</p>
<p>+ 40mm Wärmedämmputz</p>	<p><b>Verbesserung</b> gegenüber der Ausgangssituation:        f<sub>RSI</sub> = 0.025 (ausreichend)        φ<sub>50%</sub> Raumlufffeuchte: Schimmel = 2 % (Gefahr)</p>	<p><b>Verbesserung</b> gegenüber der Ausgangssituation:        Wärmestrom φ = 7.187 W/m (10,19 %)        Wärmebrücke Ψ = 0.131 W/m·K (schlechter, kleine WB)</p>

<b>V2AC20 Sanierung mit Dichtung (A) und Wärmedämmputz (C)</b>		
<b>Konstruktion</b>	<b>Isotherme</b>	<b>Wärmestromlinien / Wärmebrücke</b>
		
<b>Material</b> Aussenputz Bruchstein mit Kalkmörtel Glas, 2500 Innenputz Kunststein Leicht belüftete Hohlräume Luftschicht, ruhend, 230mm Weich-Holz Wärmedämmender Putz	$\lambda$ [W/(m·K)] 0.870 1.300 0.810 0.700 1.300 0.900 1.278 0.130 0.200	Wärmestrom $\Phi$ Wärmebrücke $\Psi$ 58.691 W/m 0.033 W/m·K
+ Falzdichtung und 20mm Wärmedämmputz	<b>Verbesserung</b> gegenüber der Ausgangssituation: $f_{RSI} = 0.024$ (ausreichend) $\phi_{100\%}$ Raumlufffeuchte: Schimmel = 2 % (Gefahr)	<b>Verbesserung</b> gegenüber der Ausgangssituation: Wärmestrom $\Phi = 11.869$ W/m (16.82 %) Wärmebrücke $\Psi = 0.102$ W/m·K (schlechter, kleine WB)

V2AC30 Sanierung mit Dichtung (A) und Wärmedämmputz (C)		
<b>Konstruktion</b> 	<b>Isotherme</b> 	<b>Wärmestromlinien / Wärmebrücke</b> 
<b>Material</b> Aussenputz Bruchstein mit Kalkmörtel Glas, 2500 Innenputz Kunststein Leicht belüftete Hohlräume Luftschicht, ruhend, 230mm Weich-Holz Wärmedämmender Putz	U- Wert Glas U- Wert Wand Oberflächenkoeffizient $f_{RSI}$ min. Innenoberflächentemperatur $\theta_{si}$ min $\phi_{100\%}$ Raumluftfeuchte: Kondensat $\phi_{20\%}$ Raumluftfeuchte: Schimmel	Wärmestrom $\Phi$ Wärmebrücke $\Psi$
$\lambda$ [W/(m·K)] 0.870 1.300 0.810 0.700 1.300 0.900 1.278 0.130 0.200	2.80 W/(m <sup>2</sup> K) 1.52 W/(m <sup>2</sup> K) 0.739 12.17 °C 61 % 48 %	57.270 W/m 0.067 W/m·K
+ Falzdichtung und 30mm Wärmedämmputz	<b>Verbesserung</b> gegenüber der Ausgangssituation: $f_{RSI} = 0.029$ (ausreichend) $\phi_{20\%}$ Raumluftfeuchte: Schimmel = 2 % (Gefahr)	<b>Verbesserung</b> gegenüber der Ausgangssituation: Wärmestrom $\Phi = 13.29$ W/m (18.84 %) Wärmebrücke $\Psi = 0.136$ W/m·K (schlechter, kleine WB)



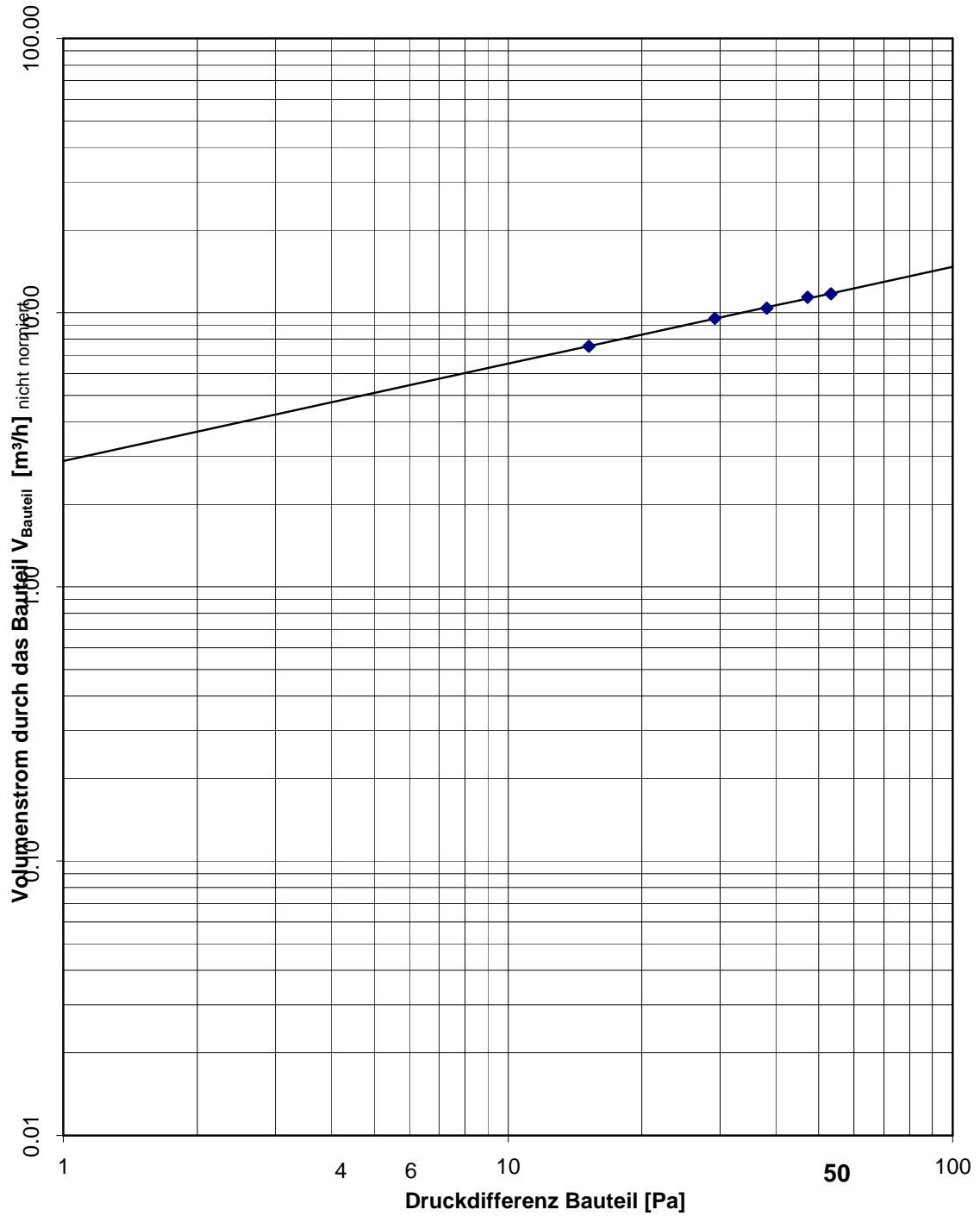
<b>V2AC40 Sanierung mit Dichtung (A) und Wärmedämmputz (C)</b>		
<b>Konstruktion</b>	<b>Isotherme</b>	<b>Wärmestromlinien / Wärmebrücke</b>
		
<p><b>Material</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Aussenputz 0.870</li> <li>Bruchstein mit Kalkmörtel 1.300</li> <li>Glas, 2500 0.810</li> <li>Innenputz 0.700</li> <li>Kunststein 1.300</li> <li>Leicht belüftete Hohlräume 0.900</li> <li>Luftschicht, ruhend, 230mm 1.278</li> <li>Weich-Holz 0.130</li> <li>Wärmedämmender Putz 0.200</li> </ul>	<p>U- Wert Glas 2.80 W/(m²K)</p> <p>U- Wert Wand 1.41 W/(m²K)</p> <p>Oberflächenkoeffizienten <math>f_{RSI}</math> 0.743</p> <p>min. Innenoberflächentemperatur <math>\theta_{si}</math> min 12.30 °C</p> <p><math>\phi_{100\%}</math> Raumluftfeuchte: Kondensat 61 %</p> <p><math>\phi_{50\%}</math> Raumluftfeuchte: Schimmel 49 %</p>	<p>Wärmestrom <math>\Phi</math> 56.134 W/m</p> <p>Wärmebrücke <math>\Psi</math> 0.098 W/m·K</p>
<p>+ Falzdichtung und 40mm Wärmedämmputz</p>	<p><b>Verbesserung</b> gegenüber der Ausgangssituation:</p> <p><math>f_{RSI} = 0.033</math> (ausreichend)</p> <p><math>\phi_{50\%}</math> Raumluftfeuchte: Schimmel = 3 % (Gefahr)</p>	<p><b>Verbesserung</b> gegenüber der Ausgangssituation:</p> <p>Wärmestrom <math>\Phi = 14.426</math> W/m (20.445 %)</p> <p>Wärmebrücke <math>\Psi = 0.167</math> W/m·K (schlechter, kleine WB)</p>



### C Messprotokolle Luftdichtigkeitstest

Originalzustand

#### Messprotokoll Leckagekurve: MFH

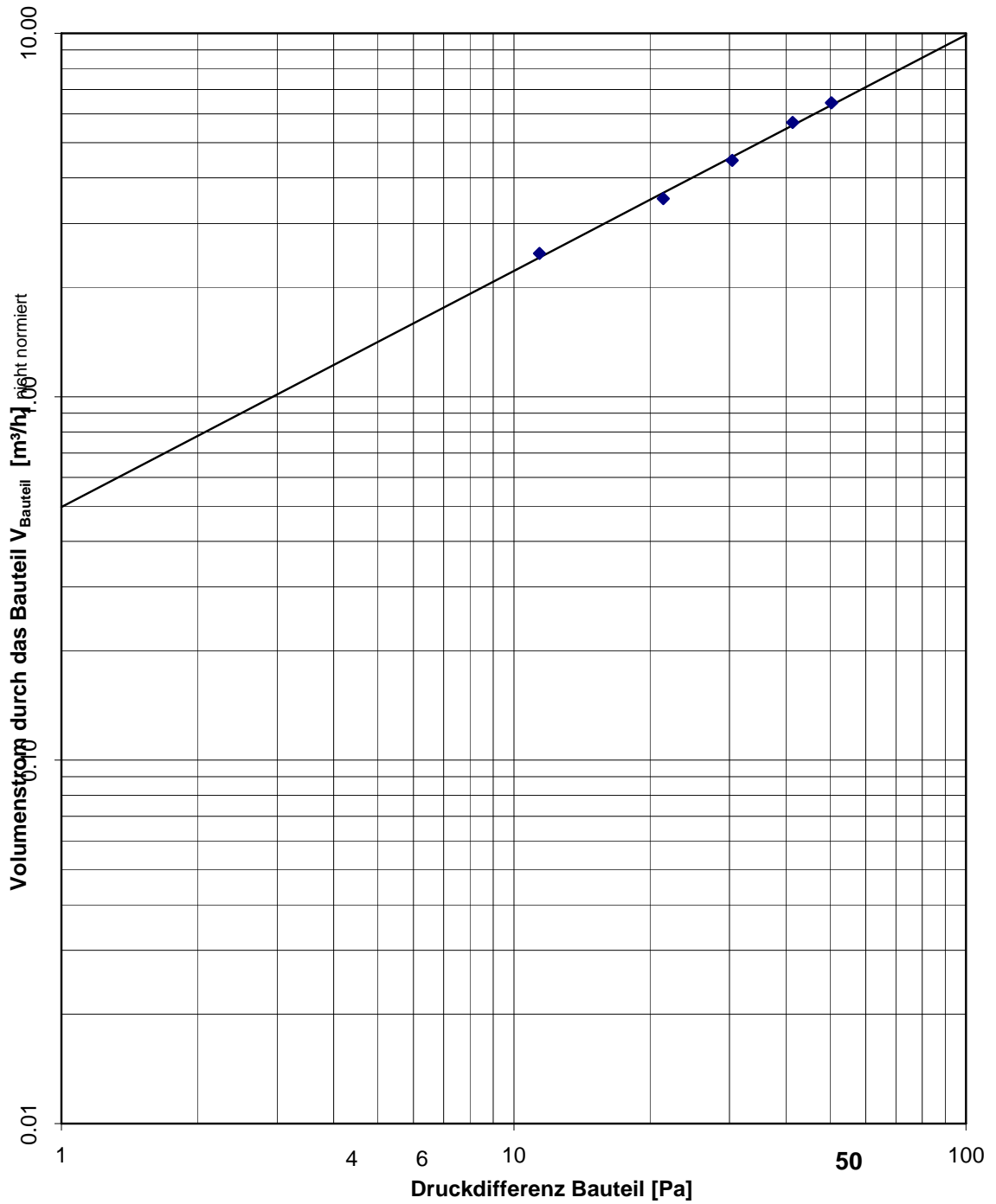


◆ Volumenstrom Unterdruck [m³/h]

— Regressionsgerade Unterdruck [m³/h]

Vorfenster abgedichtet

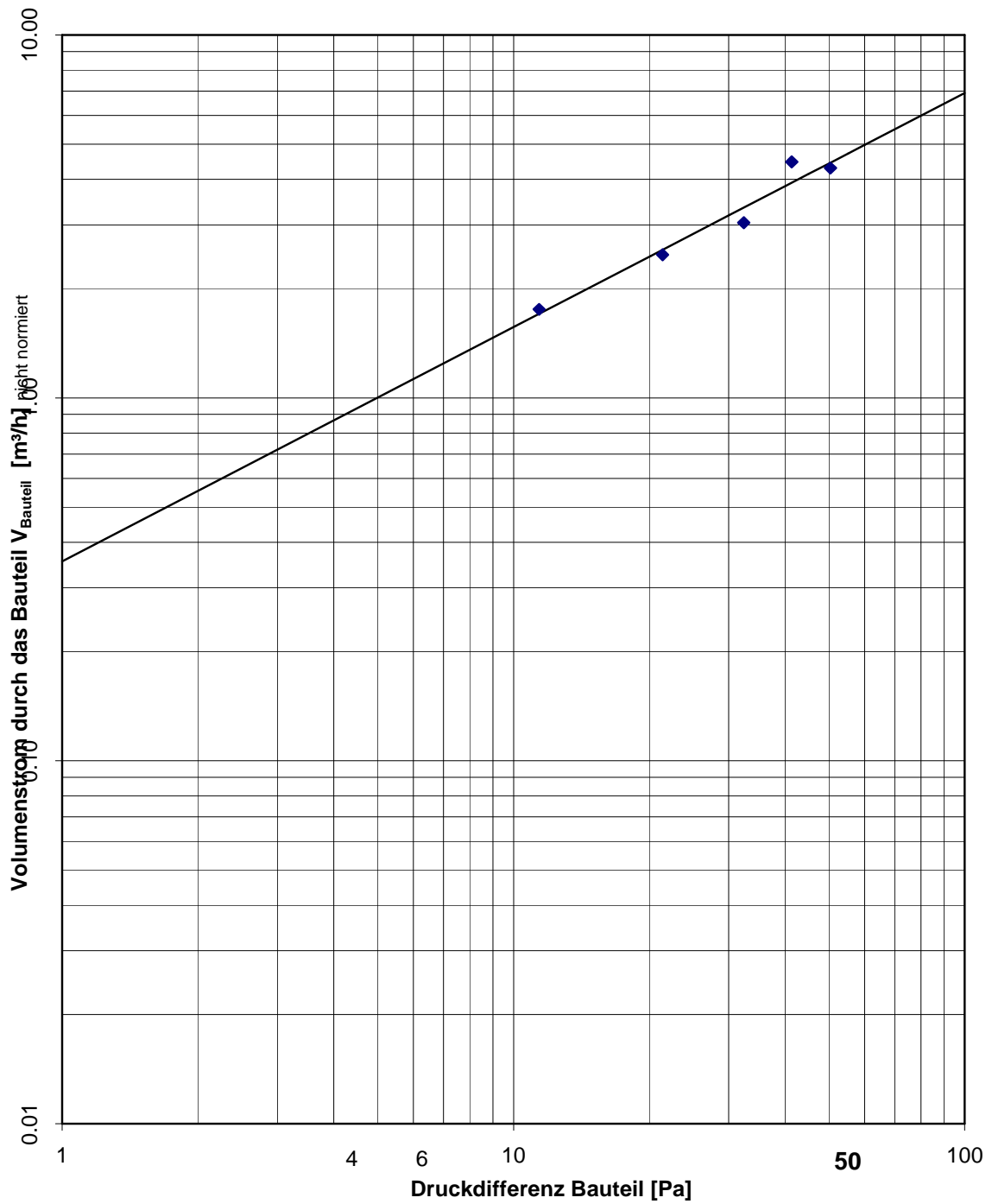
Messprotokoll  
Leckagekurve: MFH



◆ Volumenstrom Unterdruck [m³/h]

— Regressionsgerade Unterdruck [m³/h]

Innenfenster abgedichtet

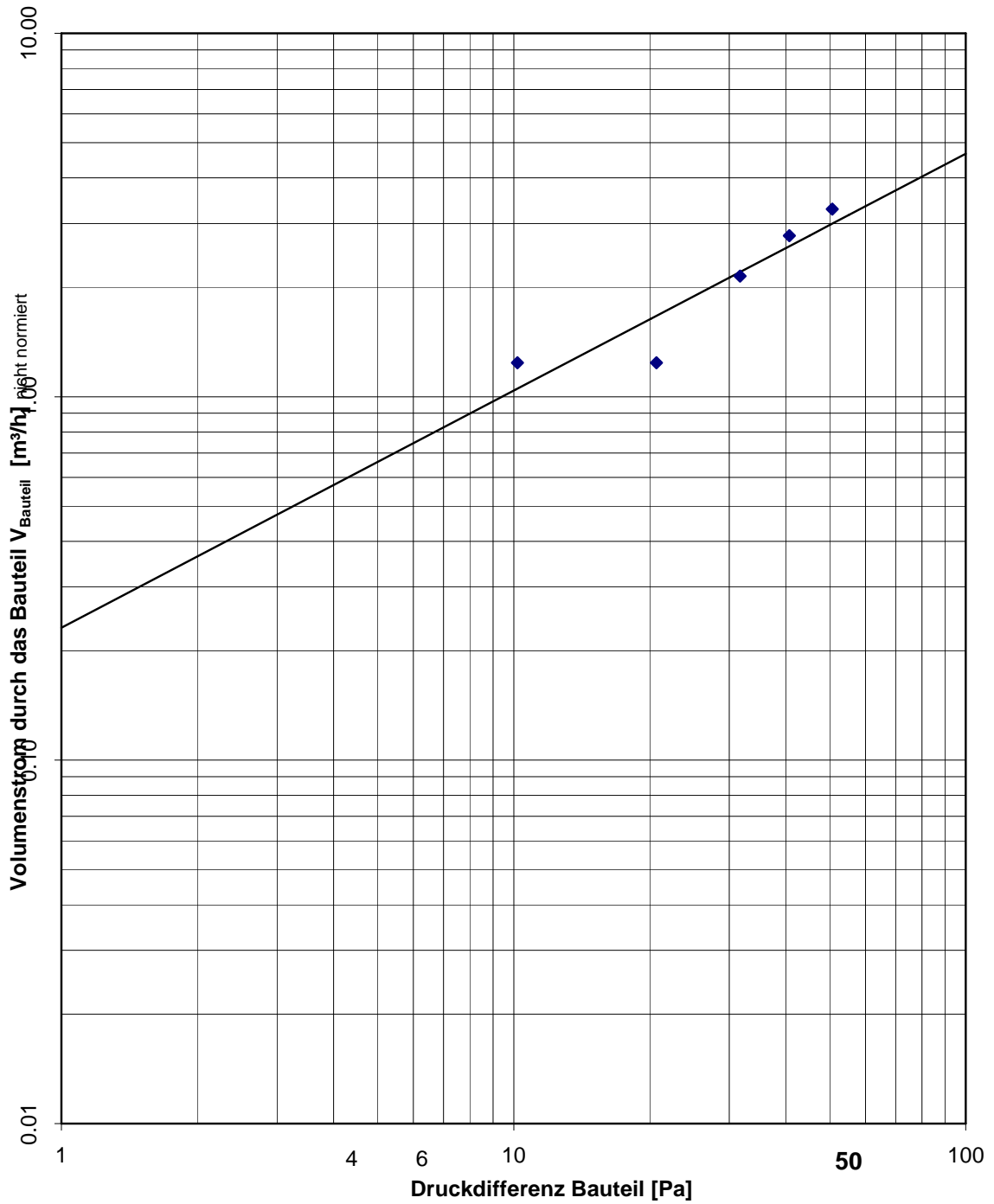
Messprotokoll  
Leckagekurve: MFH

◆ Volumenstrom Unterdruck [m³/h]

— Regressionsgerade Unterdruck [m³/h]

Vor- und Innenfenster  
abgedichtet

Messprotokoll  
Leckagekurve: MFH

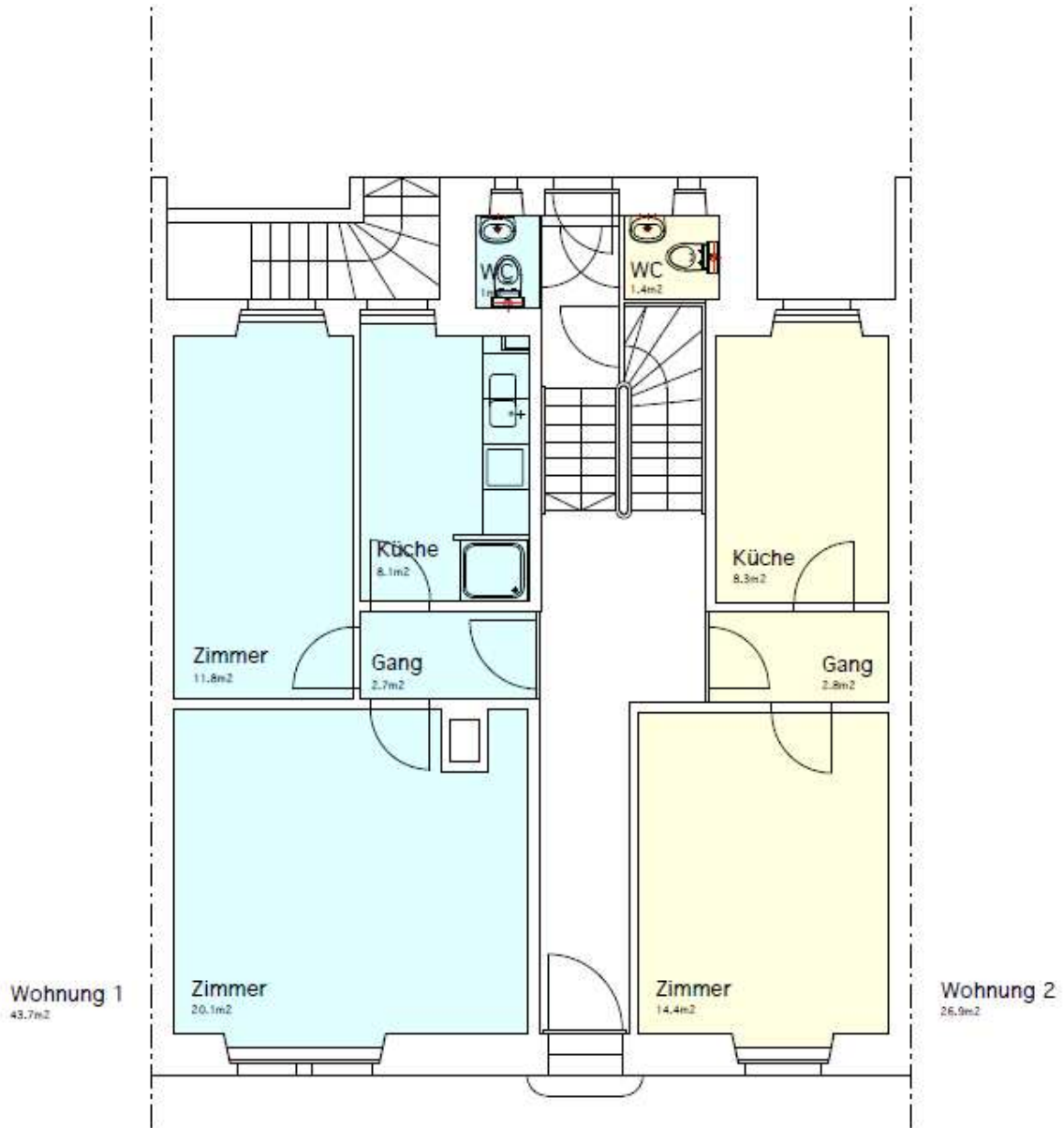


◆ Volumenstrom Unterdruck [m³/h]

— Regressionsgerade Unterdruck [m³/h]



## D Planunterlagen



Mülhauserstrasse 82

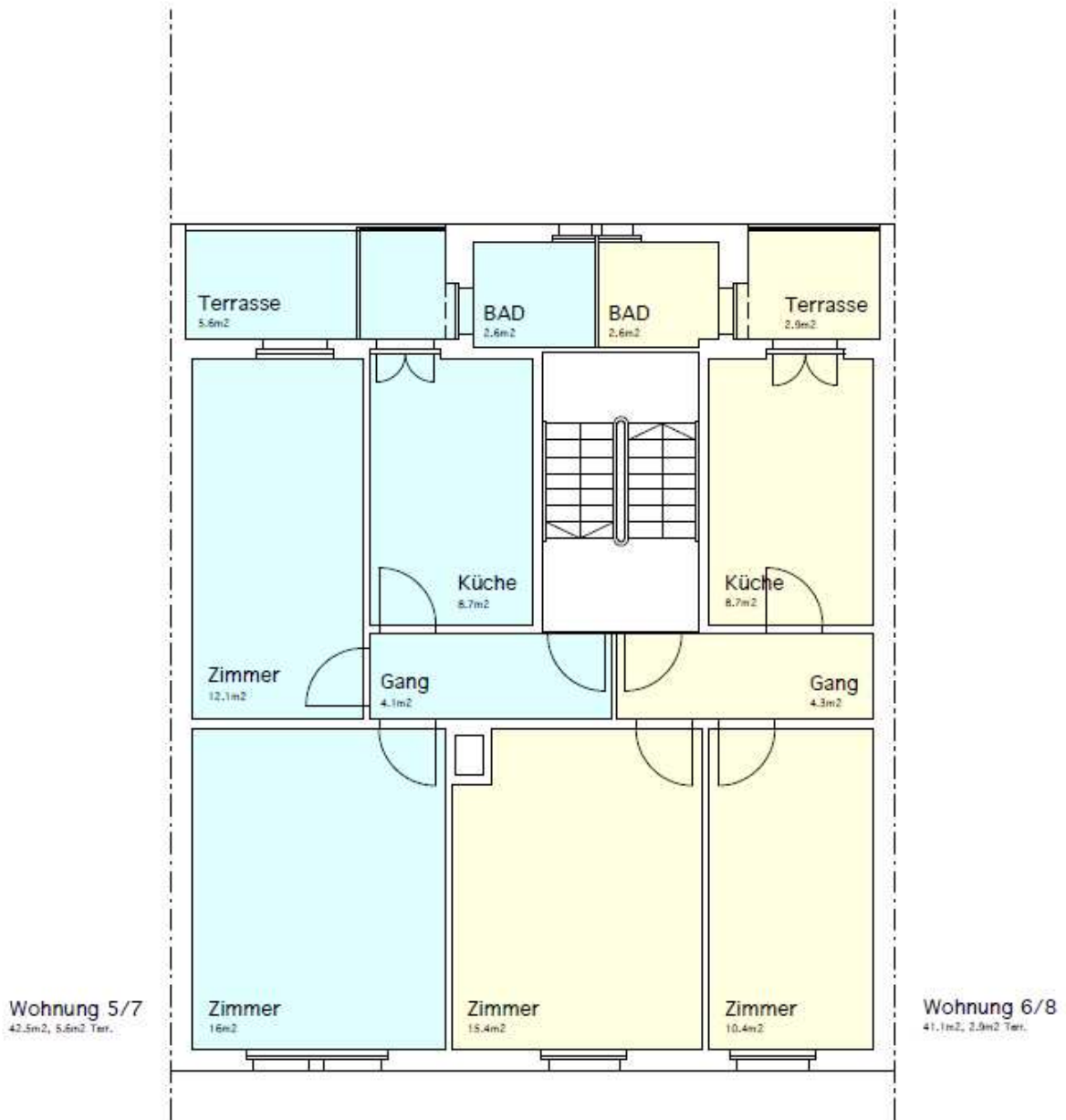
Grundriss EG

Masstab 1:100

11.6.2008

Mermet + Burckhardt Architekten AG Dipl. Architekten ETH/SIA Hardstrasse 45 4020 Basel 061 311 34 35





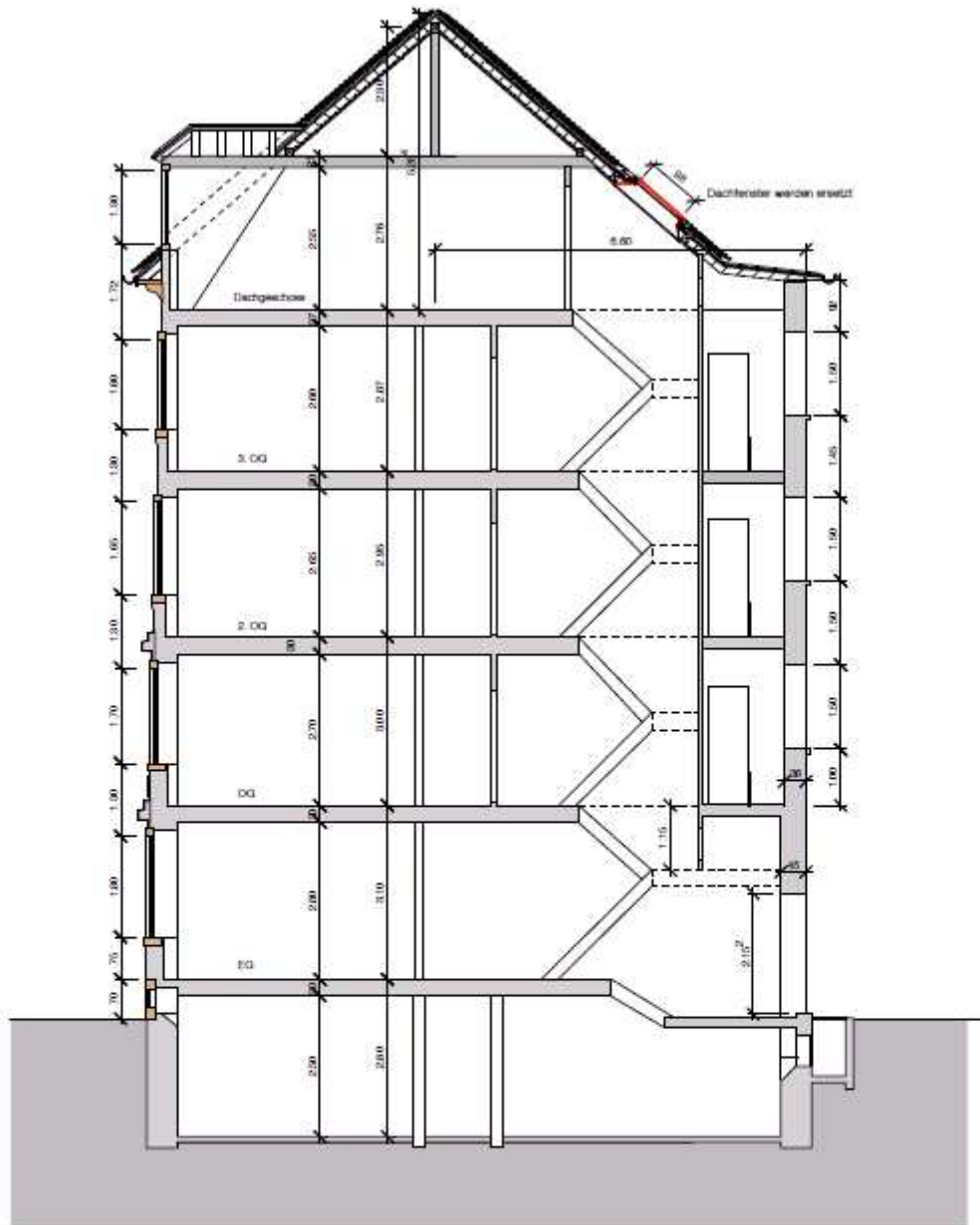
Mülhauserstrasse 82

## Grundriss 2. und 3. OG

28.10.2008

Masstab 1:100

Mermet + Burckhardt Architekten AG Dipl. Architekten ETH/SIA Hardstrasse 45 4020 Basel 061 311 34 35



Bauherr  
**mermet + burckhardt**  
architekten ag dipl. architekten eth/isa

Fassadensanierung  
Mülhauserstr. 82 4056 Basel

Schnitt  
A-A

Planungsstand	Baueingabe	Gez.	bbr	Dat.	21.04.2010
Mst.	1:100	Planlage	A4	Rev. Dat.	-

FB EG=+- 0.00= - 0.M Fixp.= - - m.0.M= -

herstrasse 45 4020 basel 1 061 311 34 35 - 1 061 311 25 40  
info@mermetburckhardt.ch www.mermetburckhardt.ch

Bauherr

Architekt



## **E** Berichte, Technische Unterlagen

## Minimaler Oberflächentemperaturfaktor in Basel

### Klimastation: Basel - Binningen

Monat	Aussenluft		Raumluft		Innere Oberfläche		Sättigungstemperatur $f_{RSI,min}$
	Temperatur $\Theta_{e,m}$ °C	abs. Feuchte $V_{e,m}$ g/m <sup>3</sup>	Dampfdruck $P_{e,m}$ Pa	Temp Innen $\Theta_j$ °C	Dampfdruck $P_{i,max}$ Pa	Dampfdruck + $P_{i,max}^+$ Pa	
Oktober	10.8	8.03	1052.6	20	1454.0	1554.4	17 0.674
November	5.1	5.67	728.3	20	1262.7	1396.3	15.4 0.691
Dezember	2.6	4.82	613.6	20	1186.5	1329.7	14.6 0.690
Januar	1.2	4.29	543.3	20	1145.9	1296.5	14.2 0.691
Februar	1.7	4.25	539.2	20	1160.2	1315.5	14.4 0.694
März	6.1	5.26	678.1	20	1294.5	1448.6	15.9 0.705
April	9.1	6.13	798.7	20	1394.4	1543.4	16.9 <b>0.716</b>

Schritte	1	2	3	4	5	6	7
----------	---	---	---	---	---	---	---

SIA Dokumentation 0166 S.80

### Bemerkungen:

Der grösste Oberflächentemperaturfaktor, bestimmt aus den Wintermonaten Oktober bis April, ist der massgebende Wert.

$f_{RSI,vorhanden}$  muss grösser oder gleich  $f_{RSI,min}$  sein

$\Theta_{s,i,min}$  Muss von Hand eingegeben