

Minimale Wärmebrücken und erdbebensicheres Bauen

Bei modernen, sehr gut wärmedämmten Gebäuden (z.B. MINERGIE-P-Standard etc.) können Wärmebrücken bis zu etwa 40% der Heizenergieverluste verursachen. Wärmebrücken führen zudem immer wieder zu Feuchteschäden wie Verfärbungen oder Schimmelpilz in Folge von Kondensat. Deshalb sollen sie vermieden oder in ihrer Wirkung minimiert werden.

Bei höheren Gebäuden mit mehr als zwei Geschossen kommt die Statik der Wärmebrückenfreiheit oft in die Quere – die heutigen hohen Anforderungen an Erdbebensicherheit verursachen zusätzliche Wärmebrücken. Dies besonders im Untergeschoss beim Übergang von beheizten zu unbeheizten Bereichen (mit Treppenhaus/Lift), beim Anschluss an eine Tiefgarage und bei Stützen sowie bei Auskragungen. Einige davon sind in der Skizze unten aufgezeigt.

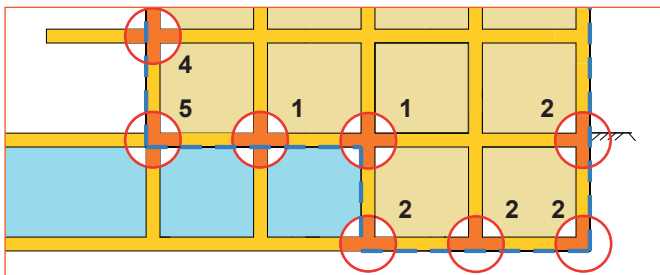


Abb.: Gebäudeschnitt mit Orten an denen Wärmebrücken/Erdbebensicherheits-Konflikte auftreten (Nummern entsprechen Wärmebrückentypen in der Tabelle)

Auf dem Markt sind bereits viele Spezialelemente erhältlich. Zudem sind zahlreiche konstruktive Massnahmen wirksam. Ziel dieses Merkblatts ist es, am Beispiel eines 6-geschossigen Gebäudes die Zusammenhänge zu beleuchten und Lösungsansätze aufzuzeigen. Es richtet sich an Bauingenieure und Energieplaner und soll der Sensibilisierung von Architekten, Behörden und Bauträgerschaften (die weibliche Form ist selbstverständlich immer auch eingeschlossen) dienen. Das Merkblatt beschränkt sich auf Massivbauten und konzentriert sich auf Wärmebrücken, die in direkter Verbindung mit der Statik respektive Erdbebensicherheit stehen.

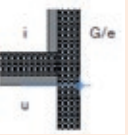
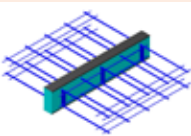
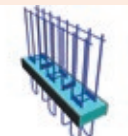
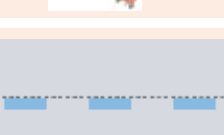


Abb.: Wandarmierung mit wärmedämmten Anschlusselementen auf Betonplatte

Das Wichtigste in Kürze:

Bei modernen, sehr gut wärmedämmten Gebäuden können Wärmebrücken grosse Heizenergieverluste verursachen. Der Konflikt aus wärmebrückenfreier Konstruktion und statischer Sicherheit des Gebäudes lässt sich aber durch sorgfältige Planung konstruktiv, sowie mit modernen Produkten der Bauindustrie lösen. Die Minimierung der horizontalen Wärmebrücken muss gemeinsam mit dem Bauingenieur und dem Bauphysiker geplant werden. In der Regel haben nur

wenige Bauteile derart hohe statische Beanspruchungen, dass keine Massnahmen zur Reduktion der Wärmebrücke möglich sind. Dieses Merkblatt zeigt zahlreiche Lösungsansätze auf und illustriert an einem Beispiel deren Wirkung. Die thematisierten Wärmebrücken lassen sich dadurch signifikant verbessern und reduzieren den Heizwärmebedarf im Beispiel um über 30%.

	Durchgehender Stahlbeton Wände sowie Geschossdecken aus Beton, vollumfänglich durchbetoniert.	Ψ Ψ Ψ
	Kragplattenanschluss Armierte und gedämmte INOX-Anschlusselemente, die auskragende Bauteile mit dem Gebäude statisch verbinden.	✓ ✓ ✓
	Armierungsanschluss Inox Der isolierende Armierungsanschluss aus INOX-Stahl verbindet statisch belastete Stahlbetonwände mit der Boden- oder Deckenplatte und spannt das Bauteil dabei ein. Auch höhere Horizontalkräfte, z.B. aus Erdbeben, können übertragen werden.	✓ ✓ ✓
	Isolierender Wandanschluss für Stahlbetonwände Der isolierende Wandanschluss verbindet statisch belastete Stahlbetonwände mit der Boden- oder Deckenplatte und baut auf dem Konzept eines gelenkigen Druckanschlusses auf.	✓ ✓ ✓
	Betonwand mit Mauerfusselement Unten oder oben an einer Betonwand wird ein Spezialelement aus Wärmedämmung und einem druckfesten Raster eingesetzt	✓ ✗ ✗
	Wenig wärmeleitender Beton Spezial-Wandsystem: Doppelschaliger wärmedämmender Beton mit zwischenliegender Dämmung bei Aussenwänden. Die Erdbebensicherheit wird durch konstruktiven Massnahmen im Innenraum gewährleistet.	✓ ✓ ✓
	Fundamentplatte mit Dämmung im Erdreich Statt Streifenfundament (durchdringt Dämmung unter der Bodenplatte) wird eine vollflächige Dämmung unter der Fundamentplatte angeordnet.	✓ ✓ ✓
	Flankendämmung Die Flanken des Bauteils dämmen. Die Flankendämmung kann im Beton eingelegt werden oder am Bauteil nachträglich aufgebracht werden.	✓ ✓ ✓
	Mauerwerk mit oder ohne Mauerfusselement Beton wird durch Mauerwerk ganz oder teilweise ersetzt. (Mit einem Mauerfusselement kann der Ψ-Wert weiter verbessert werden.)	✓ ✓ ✗
	Bauteil abgetrennt Das Bauteil ist thermisch getrennt. Achtung: die Lasten auf diesen Bauteilen müssen an anderer Stelle abgetragen werden.	✓* ✓* ✓*

■ tiefe Lasten

■ mittlere Lasten

■ hohe Lasten

✓ = sinnvoll

✗ = statisch nicht möglich

Ψ = energetisch nicht sinnvoll

* Nur wenn die Lasten anderswo abgetragen werden können.

Statik

Die Ψ -Werte der Massnahmen hängen von den statischen Erfordernissen ab. Im Rahmen des Merkblatts werden drei Laststufen für Wandanschlüsse unterschieden: **tief, mittel, hoch**. Die erreichbaren Ψ -Werte sind laststufenabhängig. Alle drei Laststufen können in einem Gebäude vorkommen, sie sind wie folgt definiert:

(Bei Fundamenten und Bodenplatten sind Flächen- und Horizontallasten, und bei Auskragungen Biegemomente massgebend. Die Statik muss deshalb im Einzelfall geklärt werden.)

Laststufe	Druck (-kN/m)	Zug (+kN/m)	H-Schub (+kN/m)	V-Schub (+kN/m)
1-tief	<350	<30	<30	<30
2-mittel	350 - 750	30 - 100	30 - 100	30 - 100
3-hoch	>750	>100	>100	>100

Alle im Merkblatt aufgezeigten Wärmebrücken wurden anhand eines Referenzgebäudes bestimmt, welches für die Schweiz typisch ist. Der Wärmedämmperimeter wurde zwischen EG und UG gelegt, mit Ausnahme der Treppen-/ Liftzone, welche bis ins UG zum Warmbereich gehört. Dieses Gebäude wurde bereits bis auf die Wärmebrücken energetisch optimiert. Die Berechnungen gehen von der sogenannten „Null-Lösung“ aus; d.h. Bauteile durchgehend aus Stahlbeton. Wärmebrücken, die von der Statik nur wenig oder gar nicht beeinflusst sind, (wie Dachrand, Fenster, etc.) werden hier nicht betrachtet. Unter „Auskragungen“ sind sowohl Balkone als auch beispielsweise aussenliegende Treppenhäuser, auskragende Tiefgaragendecken usw. zu verstehen. Die meisten der bearbeiteten Wärmebrücken befinden sich entweder im Untergeschoss oder beim Übergang Erd- zu Untergeschoss. Die Referenz bilden die Ψ -Werte der Null-Lösung.

Alle Wärmebrücken werden nach Schweizer Normen mit einer geeigneten FEM (finite element method) Software berechnet. Die Materialisierung und Konstruktionen sind so aufgebaut, dass sie dem heutigen Stand der Technik entsprechen und weiteren Anforderungen genügen (Brand-schutz, Wasserbeständigkeit, etc.).

In diesem Beispiel werden die Varianten Dämmung oberhalb



Abb.: Visualisierung Referenzgebäude

oder unterhalb der Boden/Decke UG und eine Raumtemperatur im Untergeschoss von entweder 10 °C oder 0 °C (entspricht ungefähr einem unbeheizten Keller resp. einer natürlich belüfteten Tiefgarage) angenommen. Es wurde von einer Fussbodenheizung als Wärmeabgabesystem ausgegangen, da dies in der Schweiz häufig der Fall ist und bei den meisten Wärmebrücken zu einem höheren Ψ -Wert führt. Die Vorlauftemperatur wurde mit 30 °C angenommen.

Die vorliegenden Wärmebrücken und die resultierenden Ψ -Werte der Massnahmen sind in der Tabelle auf den nächsten beiden Seiten dargestellt.

Die Laststufen und Wärmebrücken beim Erdgeschoss und Untergeschoss des Referenzgebäudes sind unten abgebildet.

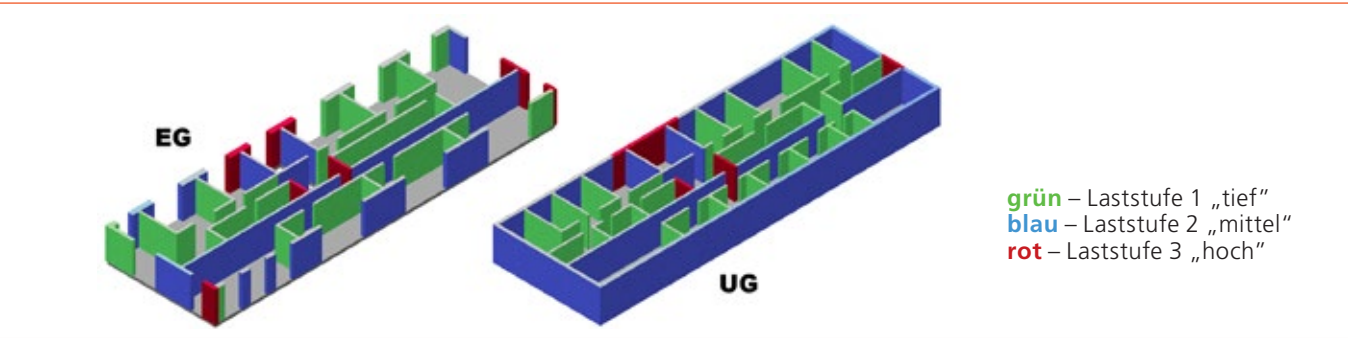


Abb.: Grundrisse Erd- und Untergeschoss des Referenzgebäudes mit Laststufen

Nr.	Skizze	Randbedingungen	Durchgehender Stahlbeton (W/mK)	Länge (m) Wärmebrücke	Länge Wärmebrücke Laststufe (m)	Laststufen	Kragplattenanschluss ⁽¹⁾	Armierungsanschluss INOX ⁽²⁾	Isolierender Wandanschluss für Stahlbetonwände ⁽³⁾	Betonwand mit Mauerflusselement ⁽⁴⁾	Wenig wärmeleitender Beton ⁽⁵⁾	Fundamentplatte mit Dämmung im Erdreich ⁽⁶⁾	Flanken-dämmung 2/60 cm	Flanken-dämmung 4 cm	40% Mauerwerk mit oder ohne Mauerflusselement	60% Mauerwerk mit oder ohne Mauerflusselement	100% Mauerwerk mit oder ohne Mauerflusselement	40% Bauteil abgetrennt	60% Bauteil abgetrennt	100% Bauteil abgetrennt		
1 Innenwand an Boden/Decke																						
1.1		- Schnitt - T _u = 10 °C - mit FBH	0.69	120	84	L1	na	0.10 - 0.25	0.12	0.32	na	na	0.50	0.42	0.53	0.46	0.30	0.41	0.28	0.00		
					30	L2		0.25 - 0.40	0.24	X			0.50	0.42	0.53	X	X					
					6	L3		0.40 - 0.55	0.38	X			X	0.42	X	X	X					
1.2		- Schnitt - T _u = 0 °C - mit FBH	1.00	120	84	L1	na	0.10 - 0.25	0.14	0.39	na	na	0.46	0.38	0.69	0.53	0.22	na	na	na		
					30	L2		0.25 - 0.40	0.28	X			0.46	0.38	0.69	X	X				X	
					6	L3		0.40 - 0.55	0.49	X			X	0.38	X	X	X					
1.3		- Schnitt - T _u = 0 °C - mit FBH	0.53	12	0	L1	0.10 - 0.40	na	na	0.47	na	na	0.38	0.22	0.50	0.48	0.45	0.32	0.21	0.00		
					12	L2				X			0.38	0.22	0.50	X	X				X	
					0	L3				X			X	0.22	X	X	X					
1.4		- Schnitt - T _u = 0 °C - T _g = 5 °C - mit FBH	1.07	12	0	L1	na	0.10 - 0.25	0.06	0.61	na	na	0.56	0.79	0.66	0.98	0.94	0.85	na	na	na	
					12	L2		0.25 - 0.40	0.12	X			0.56	0.79	0.66	0.98	X	X				
					0	L3		0.40 - 0.60	0.21	X			0.56	X	0.66	X	X	X				
1.5		- Schnitt - T _u = 0 °C - T _g = 5 °C - mit FBH	0.83	12	0	L1	na	0.10 - 0.25	0.09	0.31	na	na	0.58	0.15	0.62	0.51	0.30	na	na	na		
					12	L2		0.25 - 0.40	0.18	X			0.58	0.15	0.62	X	X				X	
					0	L3		0.40 - 0.55	0.40	X			X	0.15	X	X	X					
2 Boden/Decke an Aussenwand																						
2.1		- Schnitt - T _e = -10 °C - T _u = 10 °C - T _g = -5 °C - mit FBH	1.02	46	0	L1	na	0.10 - 0.25	0.13	0.68	na	na	0.58	0.42	0.90	0.85	0.73	na	na	na		
					43	L2		0.25 - 0.40	0.26	X			0.58	0.42	0.90	X	X				X	
					3	L3		0.40 - 0.55	0.44	X			X	0.42	X	X	X					
2.2		- Schnitt - T _e = -10 °C - T _u = 10 °C - T _g = -5 °C - mit FBH	0.72	46	0	L1	na	0.10 - 0.25	0.08	0.30	na	na	0.64	0.62	0.48	0.37	0.13	na	na	na		
					43	L2		0.25 - 0.40	0.16	X			0.64	0.62	0.48	X	X				X	
					3	L3		0.40 - 0.55	0.39	X			X	0.62	X	X	X					
2.3		- Schnitt - T _e = -10 °C - T _u = 10 °C - T _g = -5 °C - mit FBH	0.94	4	0	L1	na	0.10 - 0.25	0.11	0.60	na	na	-0.05	0.67	0.61	0.82	0.76	0.64	0.56	0.38	0.00	
					0	L2		0.25 - 0.40	0.22	X			-0.05	0.67	0.61	0.82	X	X				X
					4	L3		0.40 - 0.55	0.40	X			-0.05	X	0.61	X	X	X				
2.4		- Schnitt - T _e = -10 °C - T _u = 10 °C - T _g = -5 °C - mit FBH	0.74	4	0	L1	na	0.10 - 0.25	0.07	0.28	0.03	na	0.31	0.16	0.48	0.36	0.10	na	na	na		
					0	L2		0.25 - 0.40	0.14	X	0.03		0.31	0.16	0.48	X	X				X	
					4	L3		0.40 - 0.55	0.37	X	0.03		X	0.16	X	X	X					
3 Wand an Wand																						
3.1		- Grundriss - T _u = 0 °C	0.79	12	6	L1	0.10 - 0.40	na	na	na	na	na	0.53	0.47	0.63	0.54	0.38	0.47	0.32	0.00		
					6	L2							0.53	0.47	0.63	X	X				X	
					0	L3							X	0.47	X	X	X				X	
4 Auskragend über Boden																						
4.1		- Schnitt - T _e = -10 °C - mit FBH	1.10	90	30	L1	0.10 - 0.40	na	na	0.86	na	na	0.74	0.61	1.03	0.99	0.92	0.66	0.44	0.00		
					30	L2				X			0.74	0.61	1.03	X	X				X	
					30	L3				X			0.74	0.61	X	X	X					
5 Auskragend im Bodenbereich (Tiefgarage)																						
5.1		- Schnitt - T _e = -10 °C - T _{u1} = 10 °C - T _{u2} = 0 °C - mit FBH	0.70	30	0	L1	na	0.10 - 0.25	0.08	0.28	na	na	0.28	0.14	0.47	0.35	0.12	na	na	na		
					30	L2		0.25 - 0.40	0.16	X			0.28	0.14	0.47	X	X				X	
					0	L3		0.40 - 0.60	0.35	X			X	0.14	X	X	X					
5.2		- Schnitt - T _e = -10 °C - T _{u1} = 10 °C - T _{u2} = 0 °C - mit FBH	1.17	30	0	L1	0.6 - 0.9	0.80 - 0.90	0.94	1.03	na	na	0.99	0.97	0.88	0.74	0.45	0.70	0.47	0.00		
					30	L2		0.90 - 1.00	0.99	X			0.99	0.97	0.88	X	X				X	
					0	L3		1.00 - 1.10	1.04	X			X	0.97	X	X	X					

Laststufen 1 - 3 gelten nicht

Vertiefte Abklärung mit Hersteller wichtig

Gegebenenfalls zusätzliche Armierung

X Statisch nicht machbar

na Nicht anwendbar

Laststufen 1 - 3 gelten nicht

Vertiefte Abklärung mit Hersteller wichtig

Gegebenenfalls zusätzliche Armierung

X Statisch nicht machbar

na Nicht anwendbar

Ergänzungen/Erklärungen zur Tabelle:

- „nicht anwendbar“ sind Massnahmen, die bei der konkreten Wärmebrücke nicht umsetzbar sind.
- „Statisch nicht machbar“ sind Massnahmen, die bei einer Wärmebrücke auf Grund der Belastungen nicht eingesetzt werden können.
- Die Massnahme „Bauteile abtrennen“ muss vom Statiker genau überprüft werden, damit die Lasten an anderer Stelle abgetragen werden.
- Bei der Wärmebrücke 5.2 sind zwei Wärmebrücken vorhanden: unten an der Aussenwand und beim Deckenanschluss. Bei einzelnen Massnahmen kann mitunter nur eine Konstruktion verbessert werden. Dieser Fall ist wenn möglich immer zu vermeiden, ansonsten sind Massnahmen zu kombinieren.
- Die Massnahmen „Flankendämmung“, „Mauerwerk mit oder ohne Mauerfusselement“ und „Bauteil abgetrennt“ sind in der Tabelle unterteilt:
 - Flankendämmung:** entweder auf 60 cm Länge, 2 cm im Beton eingelegt oder mit 4 cm entlang des Bauteils vorgesetzt
 - Mauerwerk mit oder ohne Mauerfusselement:** bei 40, 60 und 100% Mauerwerkanteil (Ergänzung Beton) gewichtete Ψ -Mittelwerte
 - Bauteil abgetrennt (analog zu Mauerwerk):** bei 40, 60 und 100% abgetrennt (Ergänzung Beton)

Anwendungen am Bau

Massnahmen können kombiniert werden. Die Kombination ist bei verschiedenen Wärmebrücken-Typen möglich. Das heisst, dass zum Beispiel bei Innenwänden mit Laststufe 1 Mauerwerk eingesetzt werden kann. Bei den restlichen

Innenwänden mit Laststufe 2 und 3 kann eine Bauteilabtrennung kombiniert mit einem Spezialelement (wie in den beiden Abbildungen) eingesetzt werden.



Abb.: Beispiel Spezialelement (isolierender Wandanschluss)



Abb.: Beispiel Einbau eines Armierungsanschlusses kombiniert mit einer Bauteilabtrennung (hier Schaumglas)

Dieses Beispiel ist für folgenden Fall gerechnet:

Fussbodenheizung, Dämmung oberhalb der Decke des UG und unterhalb der Bodenplatte beim Treppenhaus, $T_u = 0^\circ\text{C}$. Es wurden die aus der Tabelle entsprechenden Ψ -Werte eingerechnet. Bei der Null-Lösung mit den entsprechenden Ψ -Werten hat das Referenzgebäude einen Gesamtwärmebedarf nach SIA 380/1 von $Q_h = 104 \text{ MJ/m}^2$, was für ein energieeffizientes Gebäude zu hoch ist. Um z.B. die Primäranforderungen für MINERGIE-P (maximal 60% von $Q_{h,li}$) zu erfüllen, dürfte der Heizwärmebedarf des

Beispiels nicht mehr als 72 MJ/m^2 betragen. Damit wird deutlich, dass die Null-Lösung in diesem Fall nicht genügt. Verschiedene Varianten von Massnahmen wurden überprüft und in der folgenden Tabelle dargestellt. Nur die Ψ -Werte mit den abgetrennten Bauteilen wurden nicht betrachtet, da sie die Lastverteilung beeinflussen. Bei der Minimallösung (2) wurden die Massnahmen mit den schlechtesten Ψ -Werten bei allen Wärmebrücken gewählt.

Tabelle: Verbesserungen des Heizwärmebedarfs (Q_h)

Nr.	Massnahmen	Q_h (MJ/m ²)	Verbesserung des Q_h
1	Null-Lösung (alle Wände und Decken/Böden durchbetoniert)	104	-
2	Minimallösung; Massnahme mit schlechtesten Ψ -Wert gewählt	89	14%
3	60% von $Q_{h,li}$ für Beispiel (Grenzwert MINERGIE-P)	72	31%
4	Bestmöglicher Ψ -Wert bei allen Wärmebrücken gewählt	56	46%

Obige Massnahmen zeigen mögliche Verbesserungen des Wärmebedarfs auf Grund der Anwendung der verschiedenen Massnahmen, ohne auf weitere Kriterien (wie z.B. Feuchteschutz) zu berücksichtigen. Sie zeigen somit die Vielfalt von möglichen Lösungen auf, den Wärmebedarf eines Gebäudes zu reduzieren. Für Bauherren bzw. Architekten bedeutet dies Freiheit und Flexibilität in ihrer Auswahl von machbaren Kombinationen. Wichtig ist vor allem, dass solche Massnahmen auch wirklich umgesetzt werden und deren fachgerechte Ausführung auf der Baustelle kontrolliert wird.

Wichtige Hinweise

In diesem Merkblatt werden bei Wärmebrücken nur die Ψ -Werte, sprich der Wärmeverlust in Hinsicht auf die in Konflikt stehende Statik betrachtet. Bei Wärmebrücken kommen aber auch weitere Überlegungen hinzu. Die Wichtigste ist der Feuchteschutz. Die Anforderungen der SIA 180 „Wärmeschutz, Feuchteschutz und Raumklima in Gebäuden“ gelten grundsätzlich. Weitere Kriterien wie Schallschutz, Luft- und/oder Wasserdichtigkeit, Brandschutz und graue Energie sind im konkreten Fall ebenfalls zu beachten.

Fazit

Die Vielfalt der Lösungsmöglichkeiten gibt Planern die Freiheit ein sehr energieeffizientes Gebäude auf verschiedene Arten zu bauen. Die Grundregel lautet: Nur dort durchbetonieren, wo dies von der Statik und Wasserdichtigkeit unbedingt erforderlich ist. Mit den heutigen Technologien ist sehr vieles möglich. Entscheidend ist die Kommunikation und Zusammenarbeit der verschiedenen Planer in einer frühen Phase der Planung und eine fachgerechte Ausführung.

Bericht zum Merkblatt

Ein ausführlicher Bericht mit detaillierten Berechnungen und Auswertungen der verschiedenen Wärmebrücken ist auf der Website der EnergieSchweiz zum kostenlosen Download erhältlich. Sowie unter www.sustech.ch > Downloads

Literatur

- Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser. (2007). Wärmebrücken und Tragwerksplanung - die Grenzen des wärmebrückenfreien Konstruierens. Darmstadt: Dr. Wolfgang Feist; Passivhaus Institut.
- Infomind GmbH. (2002). Wärmebrückenkatalog. Ittigen: Bundesamt für Energie BFE.
- Notter, G., Menti, U.-P., & Ragonesi, M. (2008). Wärmebrückenkatalog für Minergie-P-Bauten. Ittigen: Bundesamt für Energie BFE.

Jegliche Haftungsansprüche aufgrund dieser Untersuchung werden abgelehnt.

Dieses Merkblatt wurde im Auftrag von EnergieSchweiz und dem Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL) Kanton Zürich unter Mithilfe der Industriepartner erarbeitet.

Industriepartner

Debrunner Acifer AG
Misapor AG
Spaeter Zug AG (ebea)
Stahlton Bauteile AG

Autoren

Werner Hässig und Sara Wyss, hässig sustech GmbH
Markus Buchmann und Alen Sandmann, Buchmann Partner AG

Debrunner Acifer

klöckner & co multi metal distribution

MISAPOR
SCHAUMGLASSCHOTTER

ebea
Kompetenz für Technik am Bau

stahlton