



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Energie BFE

Schlussbericht 2. Feb. 2012

Vakuumdämmung in verputzten Fassaden

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
Forschungsprogramm Energie in Gebäuden
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Kofinanzierung:

Förderagentur für Innovation, Bundesamt für Berufsbildung und Technologie BBT

Auftragnehmer:

Empa, Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology
Abt. Bautechnologien
Ueberlandstrasse 129
CH-8600 Dübendorf

Autoren:

Dr. Samuel Brunner, Empa, samuel.brunner@empa.ch
Christoph Tanner, QC-Expert AG, Christoph.Tanner@qc-expert.ch
Dr. Karim Ghazi Wakili, Empa, karim.ghaziwakili@empa.ch

BFE-Bereichsleiter: Andreas Eckmanns

BFE-Programmleiter: Charles Filleux

BFE-Vertrags- und Projektnummer: 102945 / 153782

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

Zusammenfassung

Ein System mit Vakuumisolationspaneelen (VIP) wurde in einer verputzten Fassadendämmung integriert und anschliessend mit Hinblick auf die temperatur- und feuchtebedingte Alterung untersucht. Ein wichtiger Parameter bei der Alterungsbestimmung von VIP's ist die Zunahme des Innendruckes die eine Zunahme der Wärmeleitfähigkeit bewirkt. Die hygrothermischen Randbedingungen, d.h. die Temperatur und die Feuchte beeinflussen die Druckzunahme. Der Einfluss dieser Randbedingungen auf die VIP-Innendruckzunahme wurde mit Hilfe von Messungen, Infrarotaufnahmen und eines Alterungsmodells bestimmt. Hauptaussage der vorliegenden Untersuchung ist, dass für typische VIP's an verputzten Fassaden im schweizerischen Mittelland die Innendruckzunahme ca. 1.1 mbar/Jahr beträgt. Dieser Wert steigt an, wenn die absolute Feuchte und die Temperatur der Umgebung ansteigen, was in den „Heat Islands“ der Städte vorkommt. Umgekehrt ist in kälteren Klima (Bergregionen) eine reduzierte Innendruckzunahme zu erwarten. In der Periode 2009 - 2011 wiesen die VIP's keine relevanten, thermischen Veränderungen auf. Eine gewisse Ausfallsrate (belüftete VIP's) war schon bei den IR-Aufnahmen im ersten Jahr zu beobachten und verblieb während den folgenden zwei Jahren unverändert. Eine weitere interessante Aussage ist, dass unter gleichen aussenklimatischen Bedingungen, das Alterungsverhalten der VIP in verputzten Fassaden langsamer ist, als in bereits früher untersuchten Dach- bzw. Terrassen-Anwendung.

Abstract

A system containing vacuum insulation panels (VIP) was integrated in a façade and investigated with respect to temperature and moisture induced aging. An important parameter influencing the aging of VIP's is the internal pressure increase, which in turn induces an increase in the thermal conductivity. The hygro-thermic boundary conditions, i.e. temperature and moisture influence the inner pressure increase. The influence of these boundary conditions on internal pressure increase was determined by means of temperature and moisture measurements, infrared imaging and an aging model. The main statement of the present investigation is, that for VIP's integrated in rendered façades in the Swiss midlands show an internal pressure increase of ca. 1.1 mbar/year. This value increases when absolute humidity and temperature increase, a common occurrence in heat island of cities. On the contrary, in colder regions like mountains, a reduced internal pressure increase can be expected. In the period 2009 -2011 no relevant thermal changes were observed for the VIP's. A certain amount of failure rate was detected already during the infrared thermography in the first year and remained unchanged during the following two years. Another interesting statement is that under identical climatic conditions VIP's in rendered façades age slower than those installed in flat roof constructions which were dealt with in a previous project.

Inhaltsverzeichnis

1. Ausgangslage und Zielsetzung	5
2. Einleitung.....	5
3. Gewählter Lösungsweg.....	6
4. Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse.....	6
4.1. Theoretische U-Wert Rechnung	9
4.2. Messungen	11
4.3. Temperaturen während einer Winterperiode.....	13
4.4. Temperaturen während einer sehr kalten Periode	15
4.5. Temperaturen während einer Sommerperiode.....	15
4.6. Alterungsverhalten.....	16
4.7. Temperaturhistogramm	19
4.8. Thermohygrische Situation in der Stossfuge zwischen zwei VIP's	21
4.9. Ausfallrate	24
5. Diskussion und Schlussfolgerungen	25
6. Referenzen.....	27
7. Anhang.....	27

1. Ausgangslage und Zielsetzung

Vakuumisulationspaneele haben während einer Pionierphase der Jahre 2000 bis ca. 2004 einen starken Anstieg des Absatzes und eine Vielfalt von Anwendungen im Bausektor erfahren. Anschliessend (2004 bis 2008) hat sich ein funktionierender Markt für VIP in einigen Nischen entwickelt. Dabei ist die Anwendung in Dachterrassen mit niveaugleichem Zugang von der Wohnung dominant. Der zweitwichtigste Markt ist im Bodenbereich von Kühlräumen von Supermärkten mit Frisch- und Tiefkühlwarenangebot. Ein Hindernis für die schnelle und breitflächige Marktentwicklung ist neben dem Preis auch die Verletzlichkeit der Hülle. Bereits sind VIP's mit Deckschichten im Angebot, die einen gewissen Schutz der Hülle gewährleisten.



Figur 1: Mit dünnen Hartplatten geschütztes Vakuumisulationspaneel (VIP) für den Einsatz in Fassaden. Der seitliche Randschutz (rötlich) ist aus Phenolharzschaum (PF).



Figur 2: Gleicher Plattentyp wie Fig.1 mit entfernter seitlichem Randschutz, wodurch die silbrige VIP-Hülle sichtbar wird.

Ziel des Projektes ist die wissenschaftliche Begleitung des neuen VIP-Anwendungsbereichs "Fassaden". Es soll Schwachstellen und Risiken aufzeigen und Fassadenentwickler bei der Verbesserung ihres Systemkonzepts helfen.

Das Projekt beinhaltet:

- Planung und Durchführung von Messungen einer kompakten Prototypfassade.
- Dokumentation des Vorgehens und der Ergebnisse
- Anwendung eines Modells der Wärme-/Feuchtebelastung zur Abschätzung der Lebensdauer
- Aufzeichnung von Wärmebrücken mit Hilfe von Temperaturmessungen und Infrarotthermogrammen

2. Einleitung

Ein Vakuumisulationspaneel (VIP) ist eine Hochleistungswärmedämmung bestehend aus einem evakuierten Stützkern und einer hochdichten Hülle. Bei verschiedenen Anwendungen am Bau ist die Frage nach der Lebensdauer, die 25-30 Jahre oder mehr sein sollte, von zentraler Bedeutung. Dieser Bericht beschreibt das zu erwartende Alterungsverhalten einer

mit Vakuumisolationspaneelen gedämmten kompakten Fassade. Diese wurde im Frühling 2008 an einem freistehenden Einfamilienhaus (Ebnat-Kappel) an der Süd- und der Ostfassade angebracht. Beide Fassaden wurden mit Temperatur- und Feuchte-Sensoren ausgerüstet, um die wichtigsten Parameter der Alterung zu erfassen. Um einen Überblick über die Temperaturverteilung der gesamten Fassade zu erhalten wurden Thermographieaufnahmen im ersten und dritten Winter durchgeführt.

Der Projektpartner Swisslack hat seine Erfahrungen mit der Installation in seiner Firmenzeitschrift [1], und die ersten Messergebnisse in einem Interview [2] mit einem Empa-Mitarbeiter öffentlich bekannt gemacht. Das verwendete Produkt „Polyton Compact Vakutherm“ ist auch über den Schweizer VIP-Distributor Neofas erhältlich [3-5].

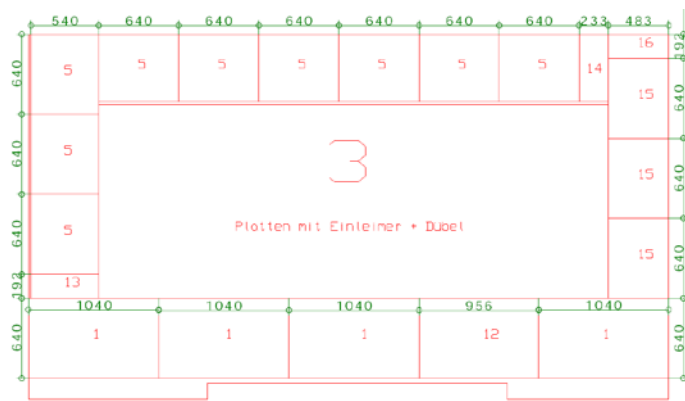
3. Gewählter Lösungsweg

- Planung der Messung an der Kompaktfassade mit dem Industriepartner bezüglich VIP-Randschutzmaterial und Deckschichten
- Installation der Messtechnik: Montage von Thermoelementen im Zentrum und Stossbereich von VIP. Kombinierte Temperatur-/ Feuchtesensoren im Stossbereich (Kompaktfassade). Die Messwerte werden durch Logger vor Ort aufgezeichnet.
- Aufnahmen Wärmebildkamera: 2008 vor, und im Januar 2009 sowie Januar 2011 nach der Fassadenerneuerung.
- Auswertung und Dokumentation der Installation und der Messdaten
- Empfehlungen für die Prüfmethodik zum Qualitätsnachweis von VIP-Fassaden mit Infrarotthermographie.
- Anwendung von Lebensdauermodellen auf die realen Daten und Berechnung von Langzeitwerten der Wärmeleitfähigkeit zur Abschätzung der Lebensdauer
- Der Einfluss von Schutzschichten und Randverkleidungen auf die effektive Wärmeleitfähigkeit des VIP enthaltenden Paneels.

4. Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

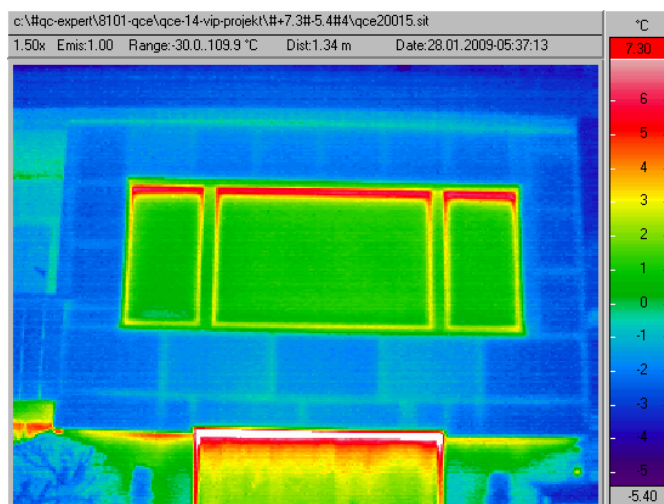
Zur Einführung in die Gesamtsituation des Hauses und der daran ausgeführten Arbeiten wird in diesem Kapitel eine Auswahl von Bildern, insbesondere einzelne Thermographieaufnahmen (IR-Bilder) des Anhanges [6] verwendet. Diese Thermographieaufnahmen waren einmal im Januar 2009 und ein zweites Mal im Januar 2011 aufgenommen wurden, und hatten zum Zweck, Wärmebrücken an den VIP-Fassaden aufzuzeigen und Aufschluss über deren zeitliche Entwicklung zu geben. Die Gegenüberstellung der beiden Aufnahmeserien mit den entsprechenden Interpretationen und Schlussfolgerungen sind im beigelegten Bericht „Thermografische Schwachstellenanalyse der Gebäudehülle“ behandelt. Zur Vereinfachung der Vergleichbarkeit wurden im Bericht für jedes Detail die Aufnahmen von 2009 und 2011 auf zwei gegenüberliegenden Seiten angeordnet. Zusammenfassend zeigt dieser Bericht, dass die VIP-Platten über die besagte Periode keinen relevanten thermischen Qualitätsverlust (Zunahme Wärmeleitfähigkeit, Minderung des R-Werts) erfahren haben.

In Figur 3 ist der Verlegeplan für die Südfassade und deren Zustand vor der energetischen Sanierung dargestellt.



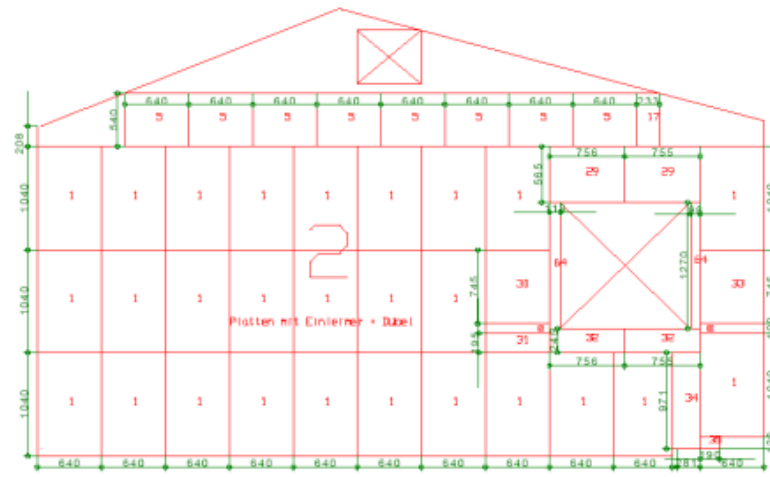
Figur 3: 1. Version des Verlegeplans der Südfassade, mit Fensteröffnung in der Mitte (links) für die noch nicht renovierte Fassade (rechts). Die später ausgeführte Version hat noch eine zusätzliche Reihe VIP zu unterst, um die Wärmebrückenwirkung der Kellerdecke zu reduzieren.

Im IR-Bild der Südfassade (Figur 4) sind die Stossfugen auch deutlich erkennbar [6,7]. Erwartungsgemäss sind die Temperaturen an der VIP Oberfläche nahe den Ecken deutlich tiefer als in der Mitte der VIP-Flächen (Wärmebrücken-Effekt). Zudem ist auch ein flächiger Unterschied zu beobachten, der durch einzelne belüftete oder teil-belüftete VIP erklärt werden kann. Auf diesen Punkt wird in der Diskussion vertieft eingegangen.



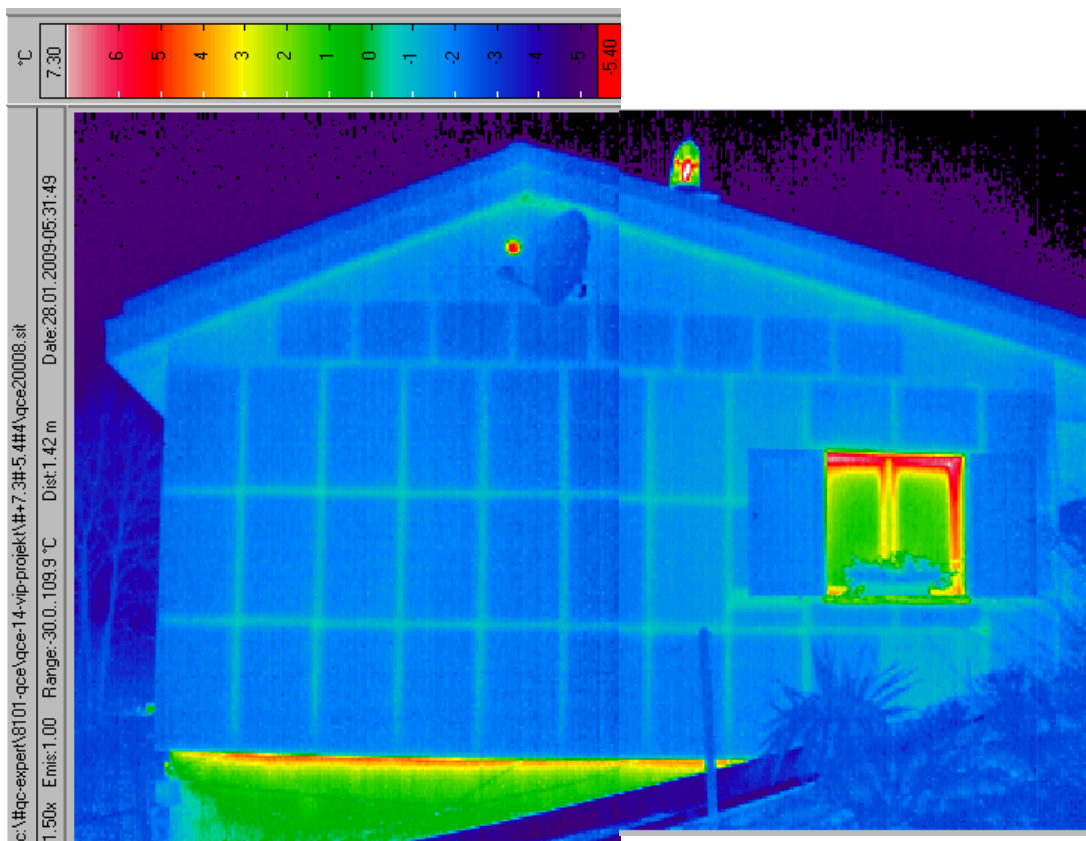
Figur 4: Infrarotaufnahme der Südfassade mit VIP im ersten Winter (28.01.2009) [6]

Figur 5a zeigt den Montageplan für die Ostfassade und in Fig. 5b ist die entsprechende Infrarotaufnahme dieser Fassade dargestellt.



Figur 5a. Montageplan der VIP der Ostfassade [7]

Auch aus Figur 5b¹ geht hervor, dass die Temperatur bei den Fugen deutlich höher ist als auf den VIP-Flächen, was eine Wärmebrücke d.h. einen linearen Wärmeverlustkoeffizienten bedeutet. Letztere kann mit Hilfe von numerischen Simulationen bestimmt werden.



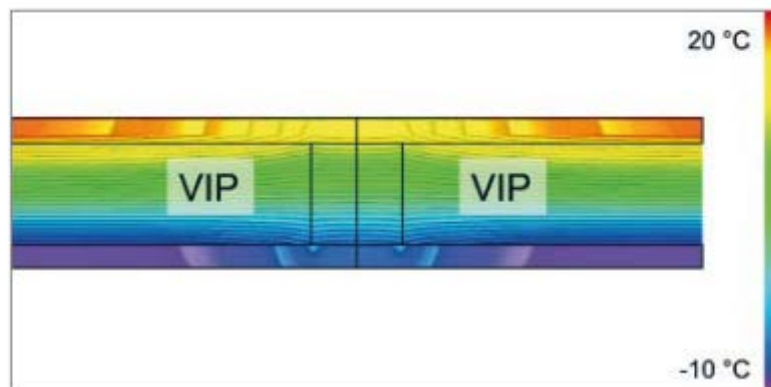
Figur 5b. Infrarotaufnahme der Ostfassade (28.01.2009) [6]

¹ Die Werte hier beruhen auf dem SIA-Deklarationswert dieser VIP von 2008 von 7 mW/m·K. Ab 2011 sind diese um 1 zu erhöhen, da der SIA-Deklarationswert nun 8 mW/ m K beträgt. Grund dafür ist Änderung der Hüllfolie (Folie Wipak und vergleichbare mit 3x 20 bis 60nm Alu und nun meist Hanita mit 3 x100nm Alu). Weiter haben aber auch die Kerneigenschaften einen Einfluss auf den SIA-Deklarationswert.

4.1. Theoretische U-Wert Rechnung

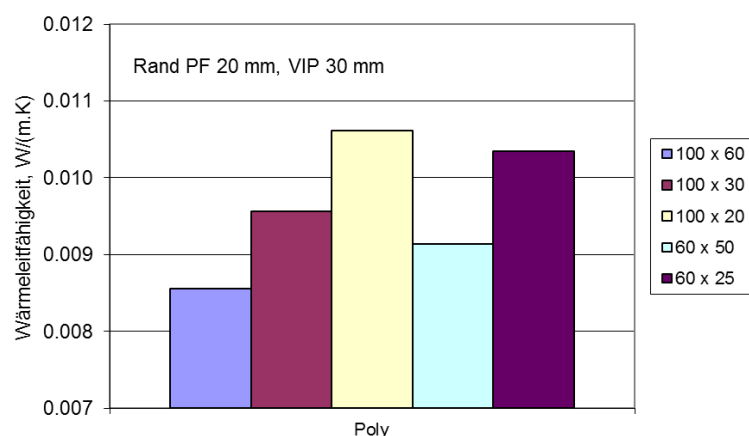
Bei der thermischen Beurteilung von Systemen mit VIP's sind neben der Wärmeleitfähigkeit im ungestörten Zentrum der einzelnen VIP auch die Einflüsse des Randes (Hülle) und der VIP-umgebenden Materialien von zentraler Bedeutung.

Zur Verdeutlichung der auftretenden Wärmebrücken an den VIP zeigt die Figur 6 die berechnete Temperaturverteilung durch den Querschnitt zweier aneinandergrenzenden Kompaktpaneelen (VIP mit Deckplatten und umlaufenden Schutzrand).



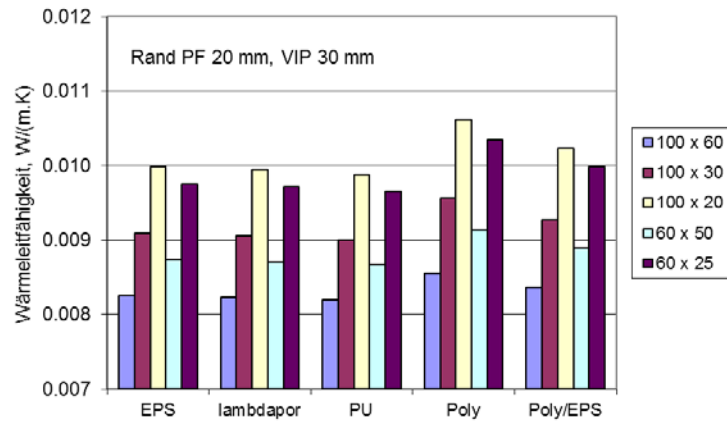
Figur 6: Isothermenbild der 2D-Berechnungen mit VIP Paneelen, Deckplatten und umlaufenden Schutzrand.

Der umlaufende Schutzrand und die VIP-Hülle führen zu einem zusätzlichen Wärmeverlust, den man als linearen Wärmeverlustkoeffizient bezeichnet (Ψ -Wert). Aus diesem Ψ -Wert und der Wärmeleitfähigkeit des ungestörten VIP-Zentrums wird eine äquivalente Wärmeleitfähigkeit bestimmt, die von den Dimensionen des VIP (Rand, Fläche und Dicke) sowie von der Hüllfolie (vor allem der Dicke der Aluminium Schichten) abhängt. Figur 7 zeigt den Einfluss der verschiedenen VIP-Dimensionen für den Fall, dass der Rand aus 20 mm Phenolharzschaum (PF) besteht. Für diese Berechnungen wurden Wärmebrückenwerte des Wipak-Laminats für die Hülle verwendet, die in [8] mit Ψ -Wert 0.0069 W/ m·K bestimmt worden war.

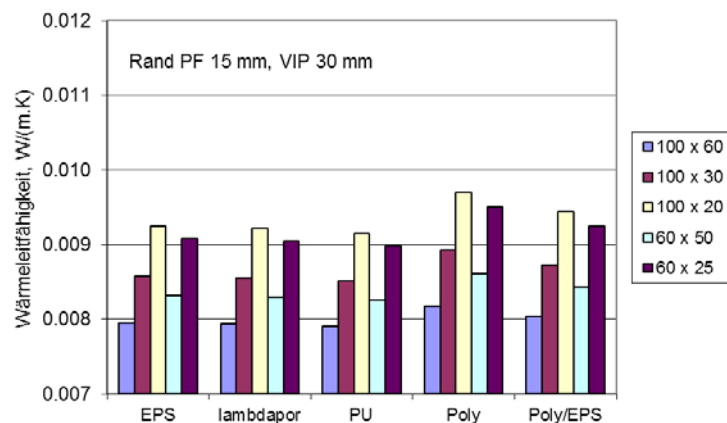


Figur 7: Äquivalente Wärmeleitfähigkeit der „POLYTON Compact Vakutherm-Platten“ mit Deckschichten aus „Polyton“, Randschutz aus Phenolharzschaum (PF) für verschiedene Masse (Längen/Breiten) der VIP bei 30mm Dicke.

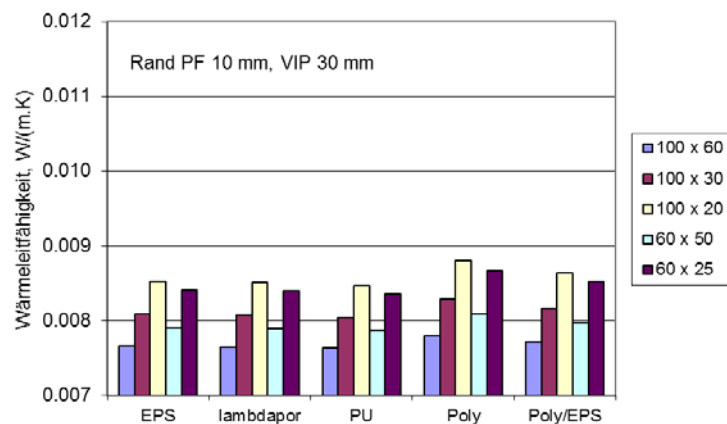
Ein allgemeiner Überblick zum Einfluss verschiedener Deckplatten und Materialien des Schutzrandes wurde bereits in [9] für VIP von 20mm Dicke behandelt und die entsprechenden Wärmebrückeneffekte quantifiziert. Für die vorliegende Studie wurden ganz spezifisch für VIP- Dicken von 30mm mit den Wärmebrückenangaben des EMPA Berichts 440411-1/1A vom März 2007 gerechnet. Eine weitere Einflussgrösse ist dabei das Material der Deckschicht (Siehe Figur 8a bis c).



Figur 8a: Äquivalente Wärmeleitfähigkeit für verschiedene Deckschichten und Dicke der Schutzrandzonen



Figur 8b: Äquivalente Wärmeleitfähigkeit für verschiedene Deckschichten und Dicke der Schutzrandzonen



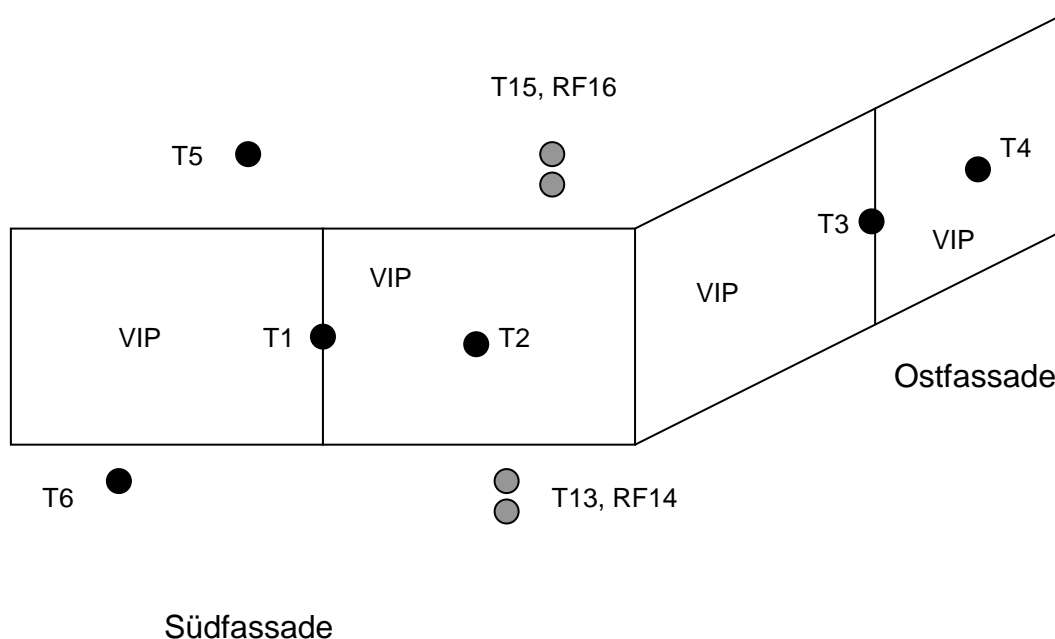
Figur 8c: Äquivalente Wärmeleitfähigkeit für verschiedene Deckschichten und Dicke der Schutzrandzonen

Für das untersuchte Objekt wurde zum besseren Schutz der VIP die härtere Deckschicht ausgewählt und dabei thermische Nachteile (grössere effektive Wärmeleitfähigkeit) in Kauf genommen.

4.2. Messungen

An den kompakten VIP Fassaden des freistehenden Einfamilienhauses wurden folgende Temperatur- und Feuchtesensoren angebracht (Figur 9), um Einblick in das thermisch-hygrische Verhalten der Fassade zu erhalten, aber auch, die daraus ermittelbare Alterung der VIP abzuschätzen (die in den normalen Fällen durch die Permeation, messbar über die Zunahme des Innendruckes, dominiert wird):

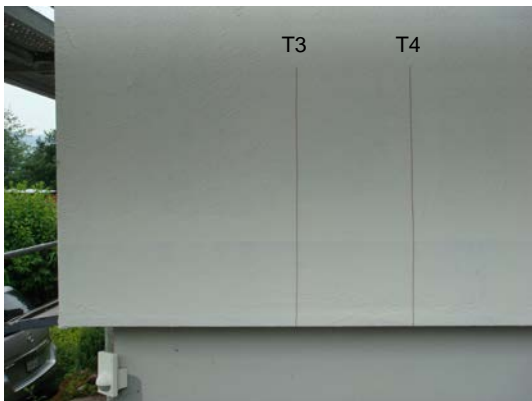
- T1 Oberflächentemperatur auf der Fuge, Südfassade
- T2 Oberflächentemperatur auf der VIP Platte, Südfassade
- T3 Oberflächentemperatur auf der Fuge, Ostfassade
- T4 Oberflächentemperatur auf der VIP Platte, Ostfassade
- T5 Oberflächentemperatur in der Garage
- T6 Aussenlufttemperatur
- T13, RF14 Lufttemperatur und -feuchte in der Fuge (rotronic)
- T15, RF16 Lufttemperatur und -feuchte Garage (rotronic)



Figur 9: Platzierung der Sensoren an der Kompaktfassade (Ebnet Kappel)

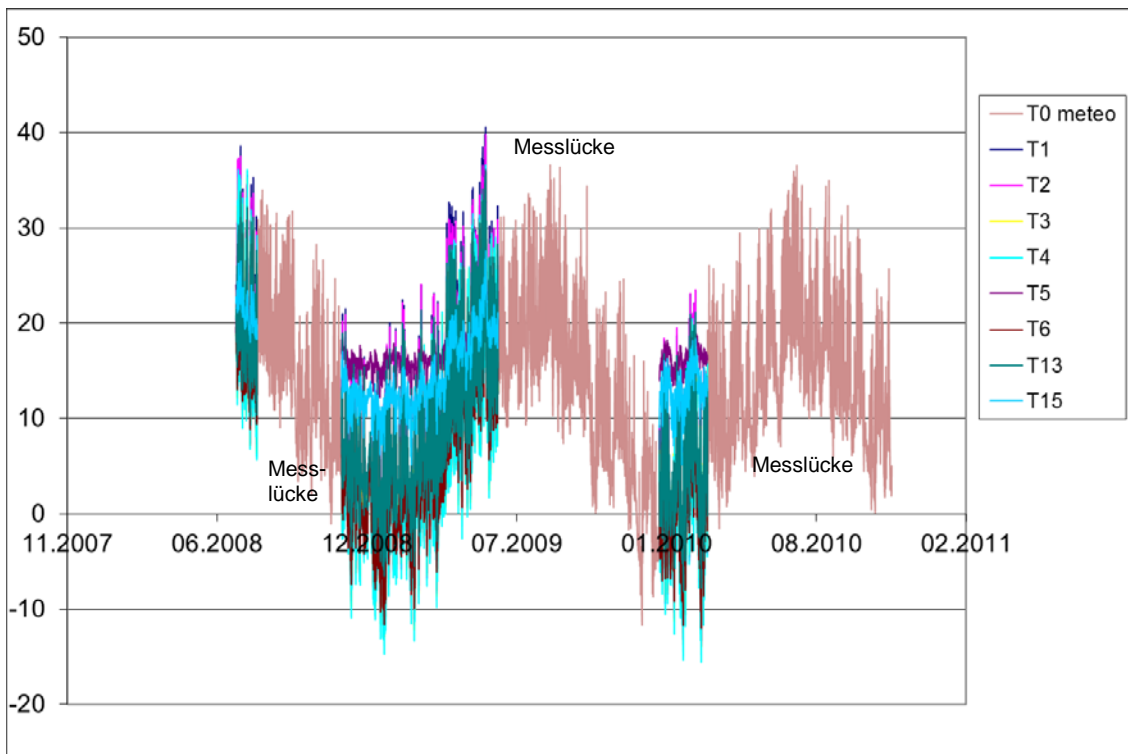


Figur 10: Montage der Sensoren an der Südfassade am 26.6.2008



Figur 11: Montage der Sensoren an der Ostfassade am 26.6.2008

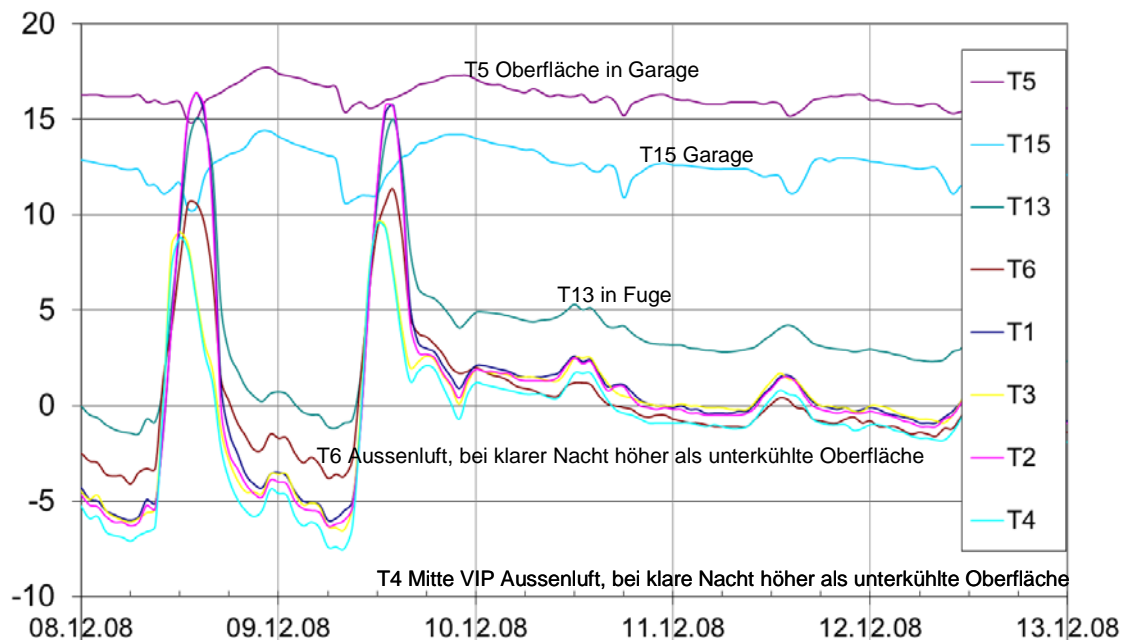
Die erfassten Temperaturen sind in Figur 12 dargestellt. Über die zweijährige Periode ist die Temperatur (und Feuchte) der von der Empa aufgestellten Meteo-Station vollständig erfasst worden (T0 meteo). Bei den Werten am Haus fehlen Herbst und Frühling, da die Stromversorgung 3-mal über längere Zeit unterbrochen war, entleerte sich die Stützbatterie und keine weiteren Daten konnten gespeichert werden. Um erneut einen solchen Verlust von Daten zu vermeiden, ist für laufende und zukünftige Projekte „Wireless monitoring“ (z.B. Empa-Spin-off decentlab.com) vorgesehen.



Figur 12: Erfasste Stundenwerte der Temperaturen. Ein ganzer Winter, zwei Sommer und grosse Unterbrüche. (T0 meteo ohne Unterbruch)

4.3. Temperaturen während einer Winterperiode

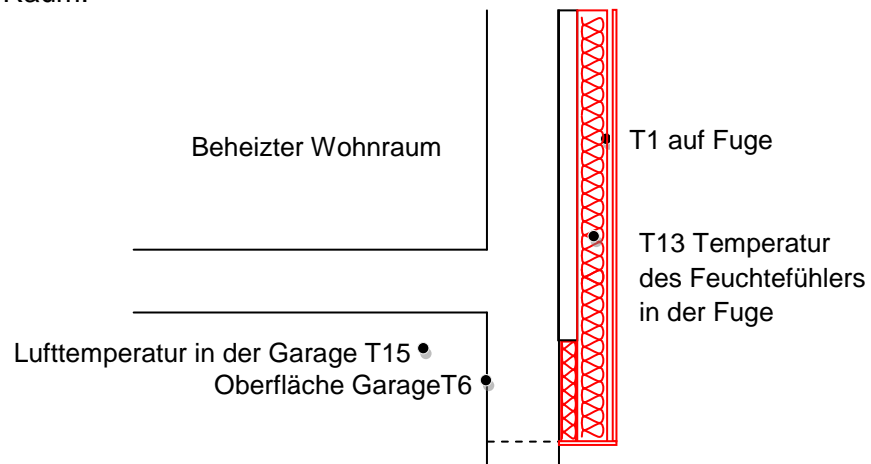
Als Winterfall wird im Folgenden näher auf einige Tage im Dezember 2008 eingegangen. In Figur 13 ist die Periode vom 8.12. bis 13.12.08 dargestellt.



Figur 13: Temperaturverlauf der Messstellen im Dezember 2008

Die Aussenluft T6 deutet mit den beiden Peaks am 8. und 9. Dezember auf zwei sonnige Tage hin. Die Temperaturen an der Südfassade T1 und T2 zeigen die stärksten Peaks, da

sie eine ganztägige Sonnenbestrahlung erfahren, während die Temperaturen an der Ostfassade T3 und T4 kleinere Peaks aufweisen, die durch den Wegfall der direkten Sonnenstrahlung ab ca. 13:00 zu erklären sind. Zwischen diesen Sonnentagen ist eine klare Nacht mit unterkühlter Fassadenoberfläche erkennbar (T1 bis T4 alle tiefer als T6). Die folgenden 3 Tage zeigen keine starken Peaks tagsüber und keine Unterkühlung in der Nacht, wie es für einen mehrheitlich bedeckten Himmel typisch ist. T1 und T3 auf der Fuge zeigen erwartungsgemäss leicht höhere Temperaturen als T2 und T4 die mittig auf den Paneelen sind (Wärmebrücke des Stosses). Die Innentemperatur wurde nicht aufgezeichnet, aber kann mit 21°C als typisch für eine Wohnung angenommen werden. Die Lufttemperatur in der Garage (T15) bewegt sich zwischen 10 und 15°C in dieser kalten Periode des Jahres und liegt tiefer als die Temperatur (T5) an der Wand-Innenoberfläche in den betrachteten Dezembertagen mit über 15°C, was auf einen Wärmefluss vom darüber liegenden beheizten Wohnraum zurückzuführen ist (Figur 14). Dies ist eine typische Wärmebrücke im Dämmperimeter zu einem unbeheizten Raum.



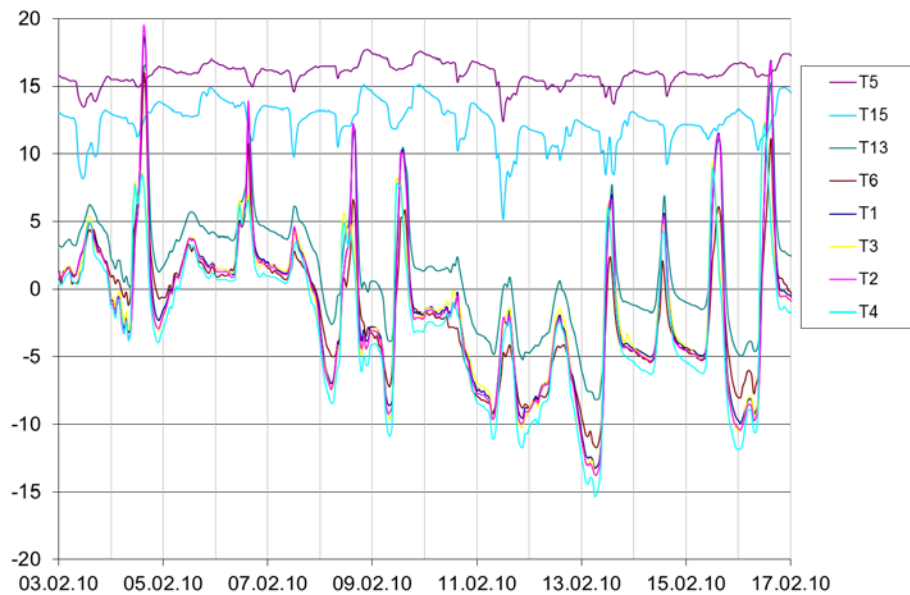
Figur 14: Skizze Temperatursensoren (nicht massstäblich)



Figur 15: Südseite mit teilweise montierten Platten 28.5.2008. Nachträglich angebrachte unterste Reihe mit teils überdeckender Schraffur angedeutet. Weiter sind die Stösse der Hartplatte sichtbar, die das VIP schützen.

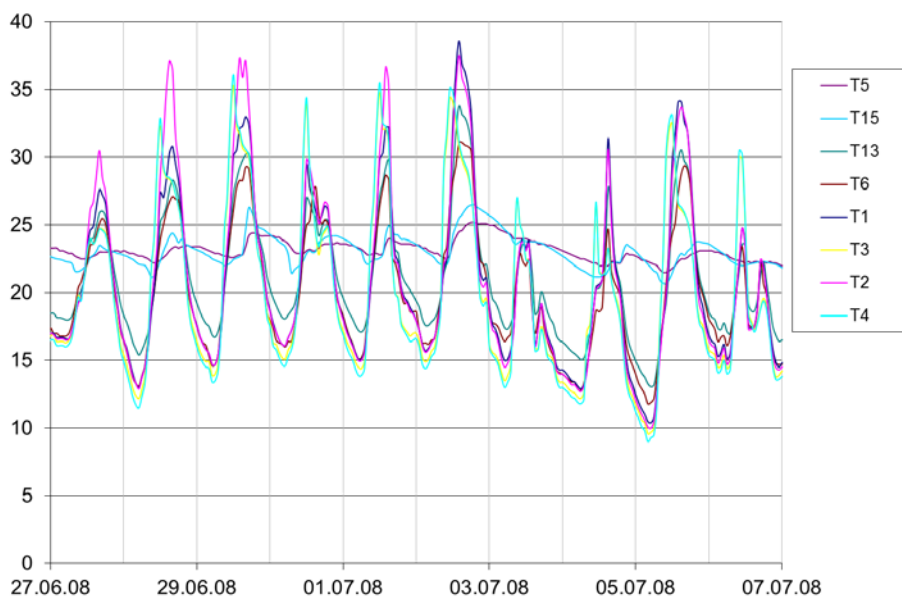
4.4. Temperaturen während einer sehr kalten Periode

Im Februar 2010 wurden sehr kalte Temperaturen bis unter -15°C an der Ostfassade (T4) gemessen. Figur 16 stellt alle gemessenen Temperaturen dieser Zeitperiode dar. An klaren sonnigen Tagen kann die VIP Aussenseite eine Temperatur von über 15°C erreichen (Tag/Nachtunterschied ca. 25°C). Auch in dieser Periode ist die Temperatur an der Aussenoberfläche in der VIP-Mitte (T4) tiefer als in der VIP-Fuge (T3). Das Garagentor wurde zwischen diesen Perioden durch ein neues, mit deutlich geringeren Wärmeverlusten ersetzt, so dass T15 nun näher an T5 ist. (Der Wechsel zu einem besseren Garagentor ist weiter hinten im Text behandelt).



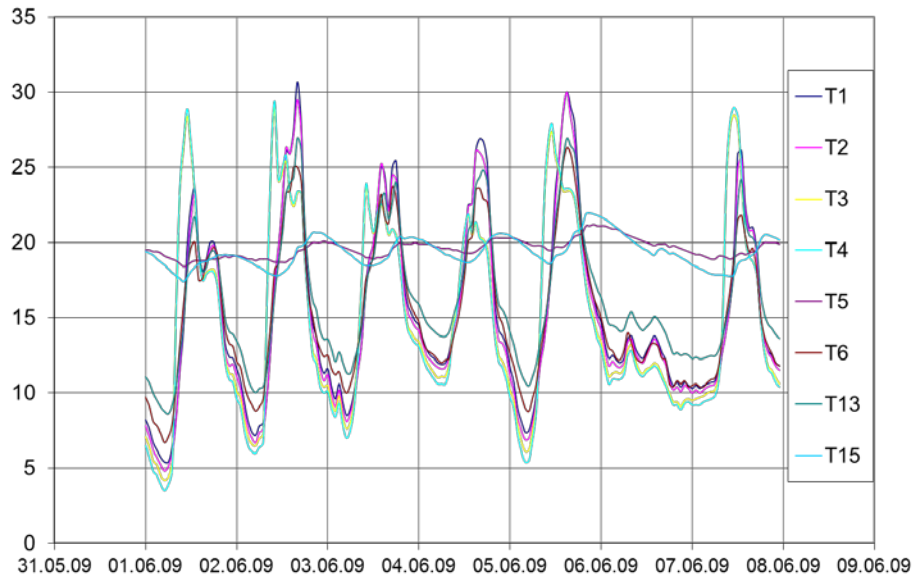
Figur 16: Temperaturverlauf der Messstellen im Februar 2010

4.5. Temperaturen während einer Sommerperiode



Figur 17: Gemessene Temperaturen im Sommer 2008

Die Temperaturen bei T2 und T4, mitten auf der VIP-Oberfläche bilden, die Maxima. T3 auf der Fuge der Ostfassade steigt fast auf dieselben Werte wie T4 mittig auf dem VIP. T1 hingegen steigt nicht so hoch wie T2, nicht nur wegen der Wärmebrücke, sondern auch weil eines der benachbarten VIP kein Vakuum mehr hat, wie das IR-Bild (Figur 4) zeigt. Eine Temperaturdifferenz zwischen Fuge und Mitte ist also nur an der Ostfassade von T3-T4 verwertbar. Der Tag/Nachtunterschied an der VIP-Aussenoberfläche T4 beträgt ca. 22°C für diese Sommerperiode.

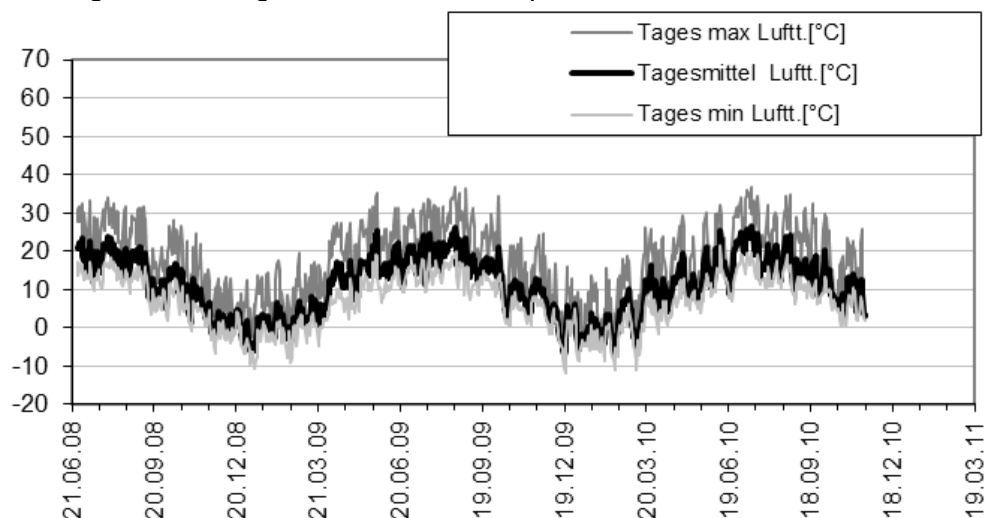


Figur 18: Gemessene Temperaturen im Juni 2009

In Figur 18 wird der Unterschied der Süd- (T1 und T2) und der Ostfassade (T3 und T4) deutlich. Die Sonnenstrahlung erwärmt die Ostfassade jeweils früher am Tag.

4.6. Alterungsverhalten

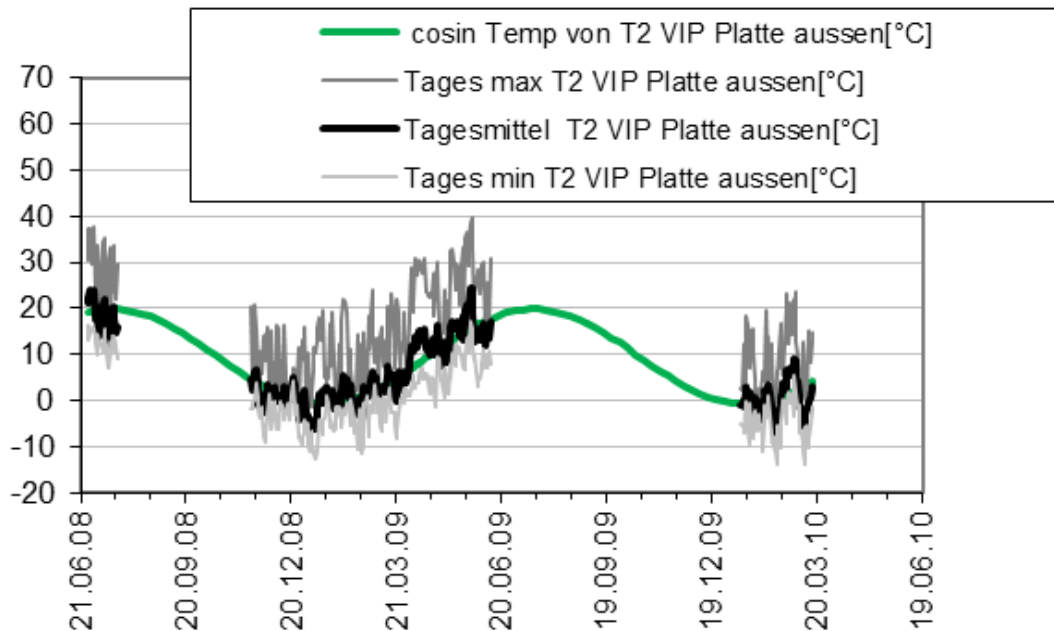
Analog zur Publikation über das Alterungsverhalten der VIP [10] werden zum besseren Überblick anstelle von Stundenwerten, Tagesmittelwerte sowie Tagesminima und Tagesmaxima dargestellt. In Figur 19 ist die Lufttemperatur der Meteostation in dieser Art dargestellt.



Figur 19: Tageswerte der gemessenen Temperatur der Meteostation (aufgestellt neben dem Haus)

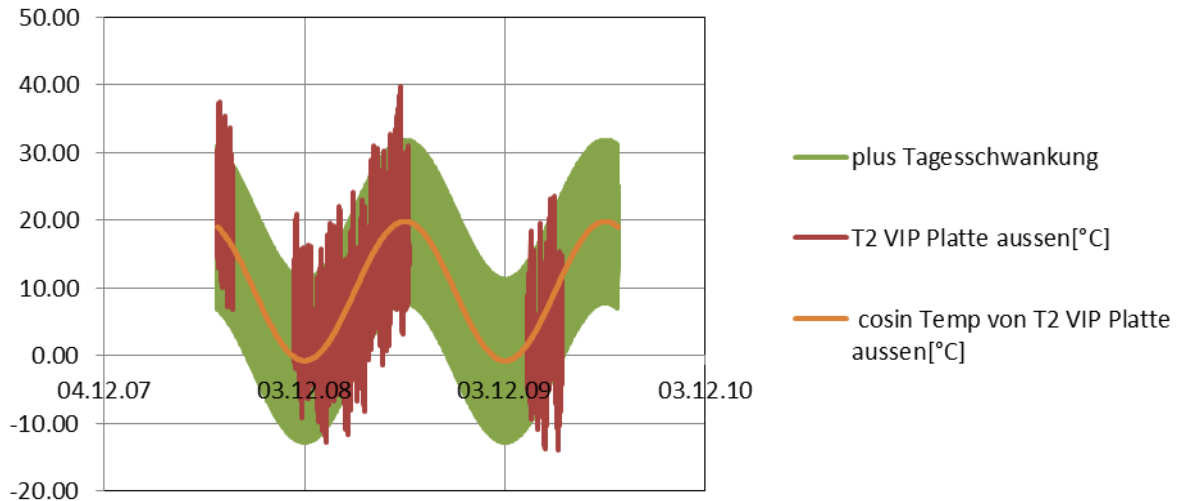
Die Tagesmittelwerte von Figur 19 wurden im vorliegenden Fall mit einer Sinuskurve gefittet. Der Zeitpunkt der Minima der Sinuskurve wurde bestimmt (16. Januar) und hilft die Erfassungslücken der anderen Temperaturen zu überwinden.

Wichtig für die Beurteilung der VIP ist auch die Temperatur des beheizten Innenraumes (Fig. 14), die hier mir 21°C angenommen wird. Diese geht in die Alterungsrechnung als Randbedingung auf der VIP Innenseite ein.



Figur 20: Tageswerte der Temperaturen an der VIP-Aussenseite der Südfassade. Maximale Temperaturen um 40°C .

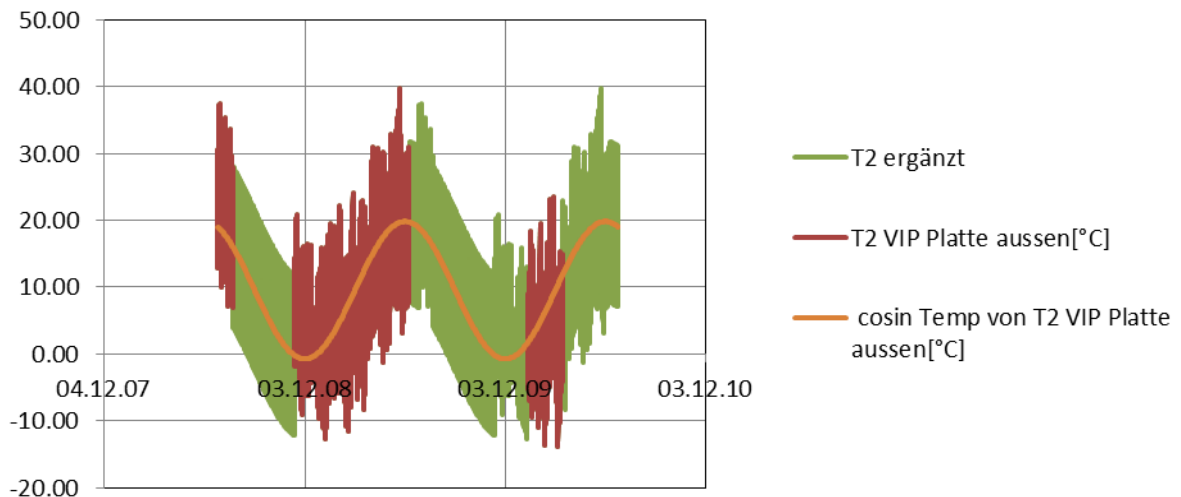
Figur 20 zeigt die Messstelle T2 (Südfassade) an der Aussenseite der VIP. Weiter wird eine Cosinus-Funktion (in grün) dargestellt. Diese stellt eine Approximation zu Überwindung der Messlücken dar. Die Amplitude und der Mittelwert dieser Funktion sind an die Daten des Tagesmittels angepasst (Methode der kleinsten Quadrate). Die Phase hingegen ist mit Hilfe der Daten der Meteostation (Figur 19) bestimmt worden. Hierzu wurde eine Cosinus-Funktion in die Daten der Figur 19 gelegt und mit der Methode der kleinsten Quadrate der Tag mit der niedrigsten Aussentemperatur auf den dieser Kurve, d.h. der 16. Januar bestimmt. Die mittlere Temperatur und die Amplitude der Cosinus-Funktion betragen 9.5°C bzw. 10.3 K . Um auch die Tagesschwankungen in grober Näherung zu berücksichtigen, wird eine zweite Cosinus Funktion dazugerechnet, wie es in Figur 21 dargestellt ist.



Figur 21: Gemessene Daten (T2) und approximative Cosinus-Funktionen zur Füllung der Messlücken

Wegen den grossen Messlücken wurde mit vereinfachten Annahmen gearbeitet. Jahres Cosinus und Tagescosinus wurden schon erwähnt. Im Zeitfenster der vorhandenen Daten wurden mit der Minimierung kleinster Quadrate ein Jahresmittel von 9.5°C und eine Jahresschwankung von 10.3 K (orange) ermittelt. Auch für diese Cosinus-Funktion wurde der 16. Januar als Minimum verwendet. Rein graphisch wurde noch eine Tagesschwankung hinzugelegt, die ein tägliches von 14 K (grün) hat.

Um eine aussagekräftigere Approximation zu erhalten, wurde ein Teil der Datenlücken durch Kopieren aus dem Vorjahr ausgefüllt (Figur 22). Zudem wurde dabei das tägliche $\Delta T/2$ von 14°C auf 12°C reduziert, um den überproportionierten Einfluss der Extremal-Temperaturen zu reduzieren. Durch dieses Vorgehen sank der Jahresmittelwert von 9.5 °C auf 7.5°C.

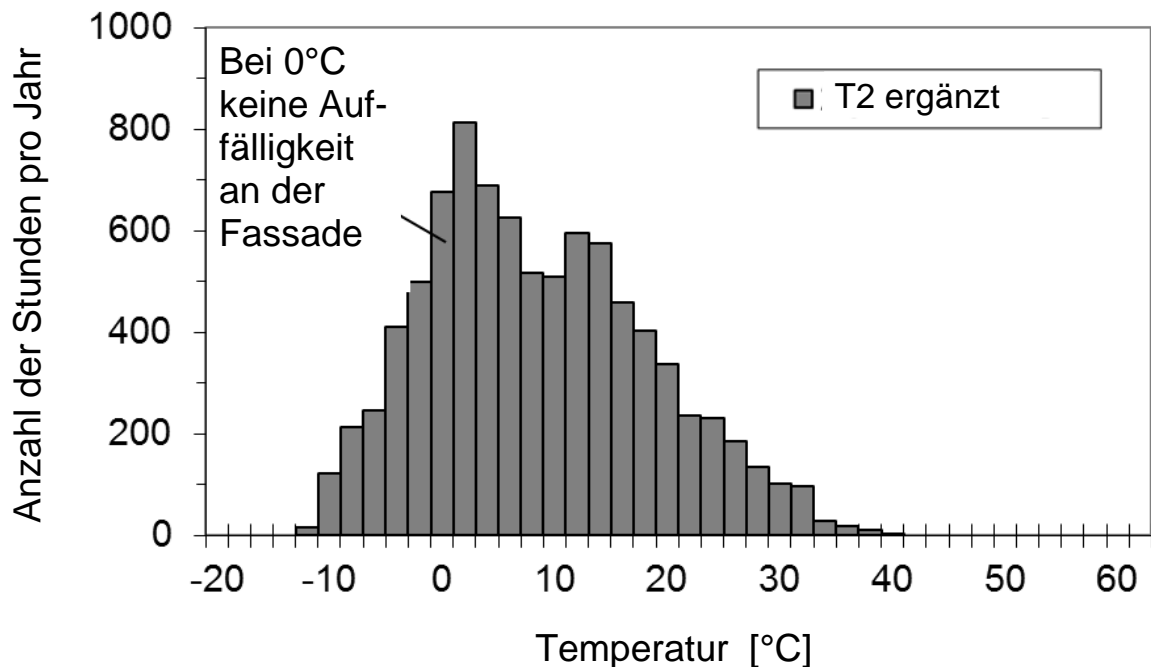


Figur 22: Gemessene Daten (T2) und durch Vorjahresdaten ergänzte Lücken (eine gegenüber Fig. 21 verbesserte Art der Füllung der Messlücken, um die geforderte Alterung der VIP abzuschätzen).

Als Schlussfolgerung lässt sich daraus die mittlere Temperatur der VIP Oberfläche wegen des Messausfalls nur auf 2°C genau schätzen.

4.7. Temperaturhistogramm

Ein Histogramm ist die Darstellung der Häufigkeitsverteilung messbarer Werte. Dazu werden die Daten in Klassen eingeteilt, die in diesem Falle eine Breite von 2 K aufweisen. Die dargestellten Balken zeigen in ihrer Fläche die relative Klassenhäufigkeit.



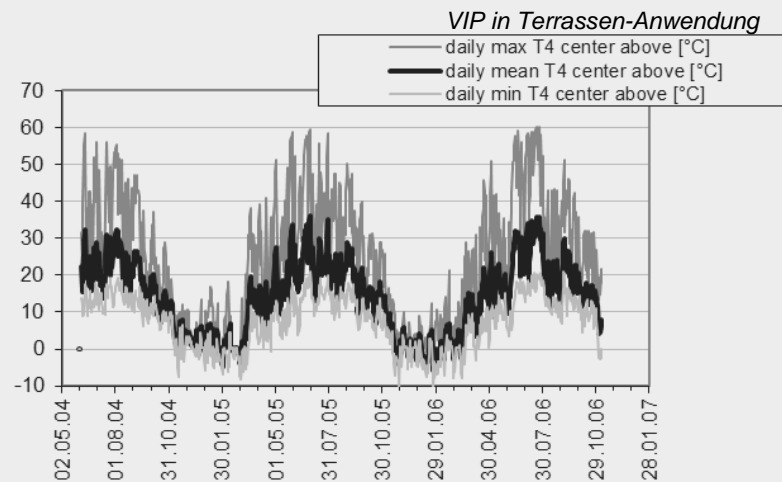
Figur 23: Histogramm der Temperaturwerte (T2 ergänzt) aus Figur 23

Figur 23 stellt ein solches Histogramm für die Temperatur „T2 ergänzt“ an der Aussenoberfläche der Südfassade dar, die wie vorangehend beschrieben, ermittelt worden ist. Die Maximal- und Minimaltemperatur darin sind glaubwürdig, da sowohl Sommer- als auch Wintermessdaten verwendet wurden. Die Häufigkeit ohne Messlücken kann leicht von der obigen abweichen. Histogramme können aber auch von Jahr zu Jahr unterschiedlich ausfallen. Dieses Histogramm wird als Eingabe für das in [11] beschriebene Alterungsmodell verwendet. Diese macht eine Aussage über den Innendruckanstieg über 25 Jahre und über die Zunahme der Wärmeleitfähigkeit in diesen Zeitraum. Danach werden beide kontinuierlich weiter ansteigen, bis durch schwer voraussagbare Effekte wie Hydrolyse des PU-Klebers des Laminates, aber auch sturmbedingte Schäden oder weitere Alterungseffekte an der Gebäudehülle die Lebensdauer zu Ende geht.

Einschub: Alterungsverhalten der VIP bei Dachanwendungen Im Vergleich zur Kompaktfassade

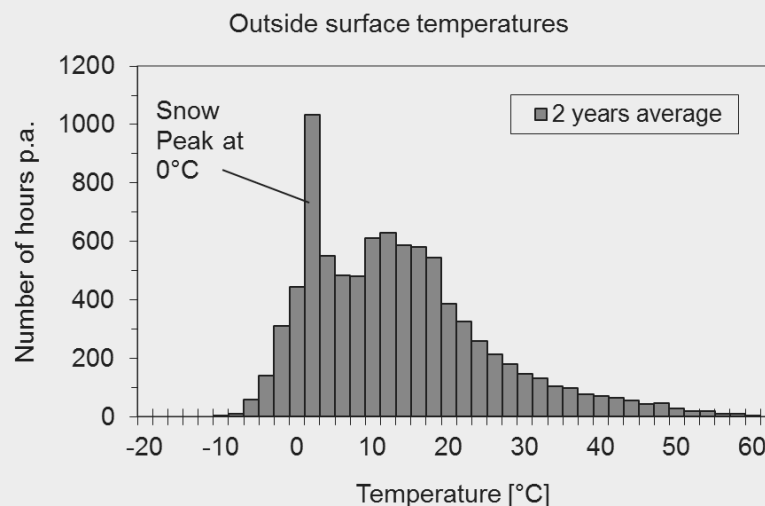
Zum Vergleich der hier untersuchten Kompaktfassade ist es interessant, die Resultate eines vorangehenden BFE Projektes über die Anwendung von VIP in Terrassen, einem Flachdachtyp, heranzuziehen. Dabei werden für die Alterung die Temperaturen auf beiden Seiten des VIP's betrachtet. Die permeationsbedingte Alterung ist stark Temperaturabhängig, wie [12] zeigt. Für die Berechnungen in jenem Projekt wurde die Raumtemperatur auf der Innenseite

über das ganze Jahr bei 23 °C als konstant angenommen². Die gemessene Temperatur an der Aussenseite der VIP ist in Figur 24 dargestellt und weist im Winter ca. -8°C und im Sommer ca. 60°C auf. Die oft genannten Spitzentemperaturen von 80°C und mehr an Dächern (oder Fassaden) kommen nur kurzzeitig vor und wirken sich kaum auf die Permeationsbedingte Alterung. Die gemessene Jahresmitteltemperatur ist deutlich tiefer als die genannten 23°C auf der Innenseite und massgebend dafür, dass die Temperatur auf der Innenraumseite der VIP's die Alterung dominiert.³



Figur 24: Vergleichend zu diesem Projekt sind die Temperaturen gezeigt, die auf der äusseren Seite der VIP bei einer Terrassen-Anwendung gemessenen wurden [10]. Dabei traten Temperaturen bis 60°C auf (in späteren Jahren sogar bis 65°C). Das VIP war dabei auch Feuchtelasten von über 80%.r.F. ausgesetzt.

Das Histogramm der Temperatur an der Aussenseite der VIP (Figur 25) zeigt bei 0°C eine Starke Häufung der gemessenen Stundenwerte die vom liegendebliebenen Schnee verursacht wird.



Figur 25: Histogramm der Stundenwerte der Temperatur eines Daches [10] mit VIP.

² Eigentlich aber erhöht sich die Temperatur im Sommer auch in Innenräumen, z.B. auf 26°C.

³ Bei höherer Jahresmitteltemperatur, könnte der Effekt umkehren, und auch andere temperaturbedingte Materialveränderungen sind zu beachten.

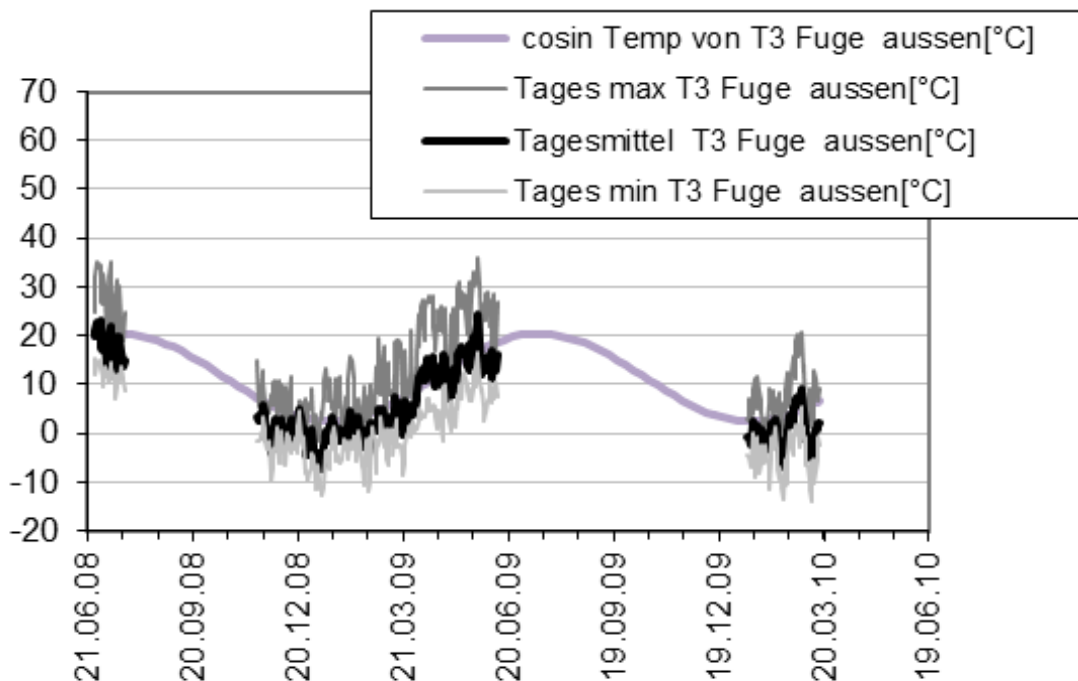
Vergleicht man die Resultate der Kompaktfassade mit denjenigen des obigen Einschubes, können folgende Aussagen gemacht werden. Die Figur 20 zeigt die deutlich niedrigeren Messwerte der Temperatur an der Aussenseite des VIP's in der weiss gestrichen Südfassade im Vergleich zur derselben Temperatur T_{mittel} von 11.9°C in der Dachanwendung (Figur 24). Die unterschiedlichen Standorte der beiden Gebäude in Ebnat-Kappel und Kloten erklären nicht den Temperaturunterschied von 20 K, denn Orientierung (Nord-, Süd-Fassade, Flachdach) und Farbton haben einen grösseren Einfluss. Der dunklere Kies und die horizontale Ausrichtung führen zu höheren Temperaturen.

4.8. Thermohygrische Situation in der Stossfuge zwischen zwei VIP's

Eine interessante Situation ist die Stossfuge zweier Paneele. Das Auftreten von Feuchte und deren Häufigkeit ist neben der Temperaturverteilung eine weitere Aufgabe der bauphysikalischen Beurteilung. Dabei geht es um die Vermeidung von Kondensations- und Schimmel bedingter Schäden.

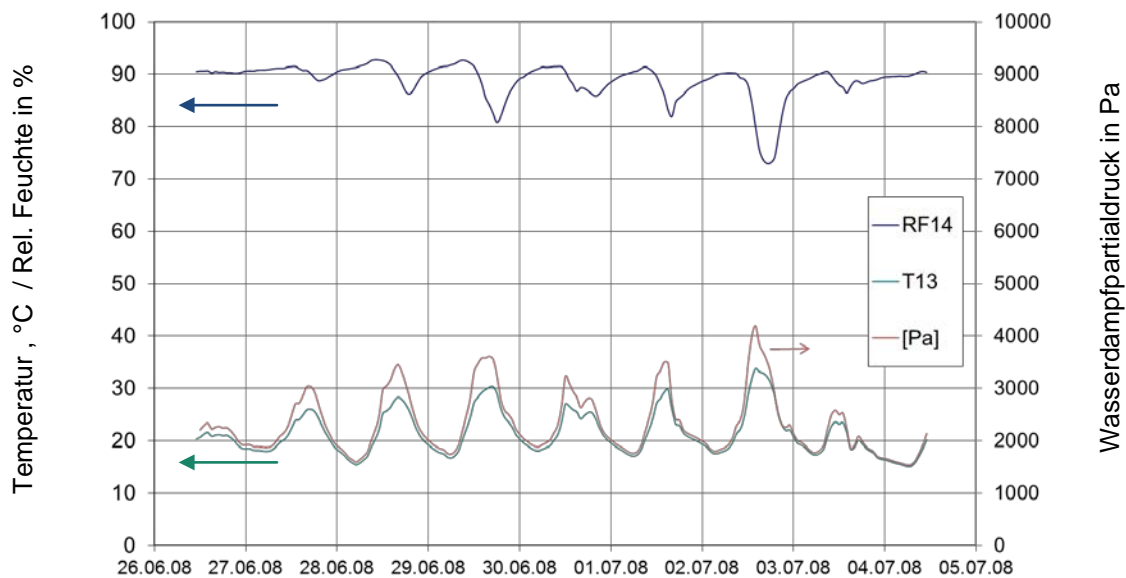
Für die VIP-Hülle und deren permeationsbedingte Alterung ist neben der Temperatur auch der Wasserdampf, d.h. die absolute Feuchte von Bedeutung. Diese wird aus der gemessenen relativen Feuchte und der Temperatur bestimmt. Bei einer Stossfuge zwischen zwei VIP's herrscht ein starkes Temperaturgefälle. In einem kleinen abgeschlossenen Raum, wie der Stossfuge tritt keine Konvektion auf, trotz starkem Temperaturgefälle.

Figur 26 zeigt die Temperaturen in einer Stossfuge auf der Ostfassade während der Messperiode. Da es sich um einen kleinen abgeschlossenen Raum handelt kann der Wasserdampfpartialdruck in der Stossfuge als konstant angenommen werden.

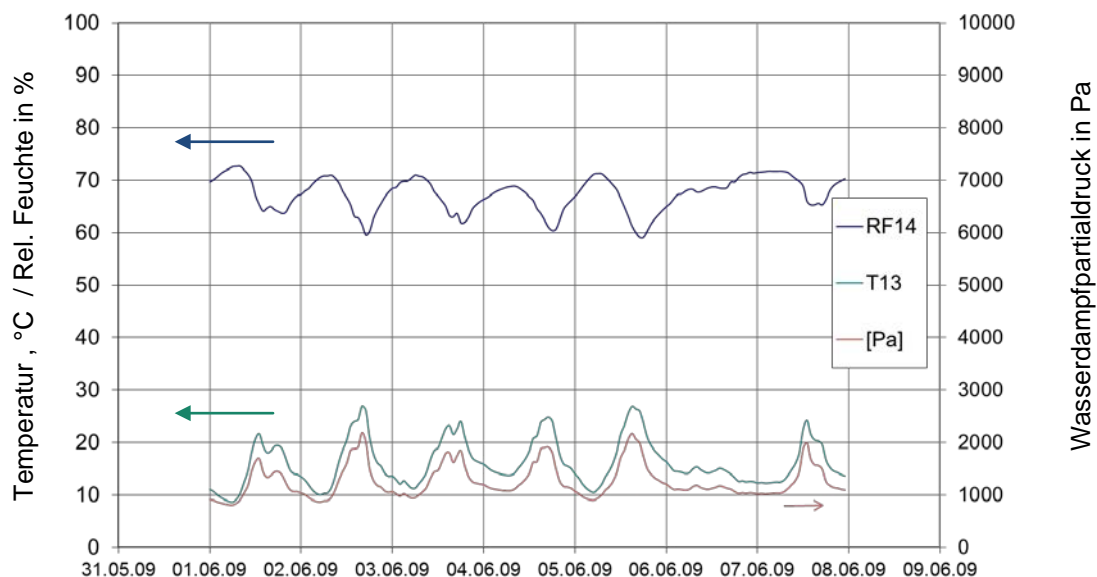


Figur 26: Tageswerte der Temperaturen in der Stossfuge zwischen zwei VIP's der Ostfassade

Ein Ausschnitt von 10 Tagen im ersten Sommer 2008 und im zweiten Sommer 2009 mit den Werten der relativen Feuchte (RF14), der Temperatur (T13) und der absoluten Feuchte sind in den Figuren 27 bzw. 28 dargestellt.



Figur 27: Gemessene Feuchte in der Stossfuge zweier mit PF-umrandeter VIP im **1-sten Sommer** (RF14 in %, linke Skala) an der Ostfassade sowie die an derselben Stelle gemessenen Temperatur T13 [°C] und der daraus errechnete Wasserdampfpartialdruck p_{H_2O} in [Pa]



Figur 28: Gemessene Feuchte in der Stossfuge zweier mit PF- umrandeter VIP im **2-ten Sommer** (RF14 in %, linke Skala) an der Ostfassade sowie die an derselben Stelle gemessenen Temperatur T13 [°C] und der daraus errechnete Wasserdampfpartialdruck p_{H_2O} in [Pa]

Im ersten Sommer ist die „Entstehungsfeuchte“ vom Mörtel durch das Aufkleben der Paneele noch vorhanden. Dies erklärt die hohe Feuchtebelastung (um 90% r.F.). Bildung von Kondensat in der Stossfuge kann in dieser Periode nicht ausgeschlossen werden.

Im Gegensatz zum ersten Jahr, ist im zweiten Jahr eine deutlich tiefere Feuchte in der Stossfuge gemessen worden (Figur 28). Im zweiten Jahr reduziert sich diese Feuchte durch Austrocknung der Erwähnten Entstehungsfeuchte (die Baufeuchte beim Erstellen eines Neubaus braucht länger um vollständig auszutrocknen).

Um einen direkten Vergleich der Innendruckzunahme zwischen Fassade- und Dachanwendung erstellen zu können, müssen die Parameter VIP-Typ, Temperatur und umgebende Feuchte einzeln betrachtet werden, da sie für die beiden untersuchten Objekte nicht identisch waren. Um die Südfassade mit dem Flachdach vergleichen zu können, wird die Zunahme des Innendruckes bedingt durch die Temperatur an der Südfassade für den VIP-Typ der Dachanwendung [10] berechnet:

Tabelle 1: Errechnete Innendruckzunahme basierend auf dem Alterungsmodell [11] für 80% r.F.

VIP -Typ	Vaku-Isotherm 2009	Typ wie [11].	Typ wie [11]
Randbedingung	Fassade "T2 ergänzt"	Fassade "T2 ergänzt"	Dach
T_{mittel}	7.5 °C	7.5 °C	11.9 °C
T_{max}	39.8 °C	39.8 °C	44.1 °C
T_{equiv}	11.5 °C	11.5 °C	16.0 °C
Innendruckzunahme	dp/a (T_{equiv})	dp/a (T_{equiv})	dp/a (T_{equiv})
VIP Grösse 25x25x2	1.2 (mbar/a)	1.51 (mbar/a)	2.7 (mbar/a)
VIP Grösse 50x50x2	0.9 (mbar/a)	1.13 (mbar/a)	2.0 (mbar/a)

Diese **1.13** mbar/a für die weisse Fassade ist deutlich niedriger als derselbe VIP-Typ in der Dachanwendung mit einem Innendruckanstieg von 2.0 mbar/a [10].

Beim untersuchten Objekt wurden anders als in [11] und [10] (geschützte) VIP-Paneele des Projektpartners Neofas (Produkte von Vaku-Isotherm, Deutschland) verwendet. Dabei handelt es sich um ein Produkt, mit einem leicht anderen Füllmaterial und einer anderen Hülle als die VIP, die in der Dachanwendung untersucht wurden. An der Empa Dübendorf wurde im Jahre 2009 eine Messserie der Alterungsparameter an diesen VIP-Typen durchgeführt (im Rahmen des BFE-Projekt Nr. 152687 „*Vakuumdämmung im Baubereich - Deklaration und Auslegung*“).

Bei der Bestimmung der Zunahme des Innendruckes unter den Randbedingungen der Südfassade erhält man für diesen VIP-Typ den Wert von 0.9 mbar/a (verglichen mit 1.13 mbar/a). Dieser Effekt ist vor allem auf eine dichtere Hülle und eine verbesserte Nahttechnik (geringere Nahtlänge) zurückzuführen.

Ein weiterer Faktor der die Alterung beeinflusst, ist die Qualität des Kernmaterials. Und dessen Zunahme der Wärmeleitfähigkeit als Funktion der Druckzunahme. In der obigen Tabelle 1 ist dieser Faktor nicht einbezogen da er nicht Gegenstand dieser Untersuchung ist. Der tiefere Wert der Innendruckzunahme bei den VIP's der untersuchten Fassade im Vergleich zur Anwendung im Dach [11] ist zum grössten Teil auf die tiefere Feuchte und Temperatur und zu einem kleineren Teil auf die bessere Qualität der VIP-Hülle zurück zu führen.

Messungen an VIP [12] zeigten die Abhängigkeit des Alterungsprozesses von der Feuchte. Bei einer klimatischen Bedingung von 23°C 50% r.F. wurde eine Innendruckzunahmen von 1.0 mbar/Jahr und bei 23°C 80% r.F. ein entsprechender Wert von 1.3 bar/Jahr gemessen.⁴ Für eine Fassade mit 70% relativer Feuchte während der Nutzungsdauer können die Werte entsprechend reduziert werden.

⁴ Eine zweite Art Abhängigkeit des Alterungsprozesses von der Feuchte ist in diesem Zusammenhang weniger relevant, es ist die der Hydrolyse der Klebschichten des VIP-Laminates. Die an IVIS2013 in Ottawa gezeigte Verbesserung dieser Eigenschaft (Vortrag Y. Carmi, Hanita) hat das Potential die aktuellen Alterungsvoraussagen nicht nur wie bisher auf 25 (oder 30) Jahre für spezifische Anwendungen zu machen, sondern das Permeationsbedingte Alterungsverhalten evtl. auch auf 50 Jahre zu extrapolieren.

4.9. Ausfallrate

Neben den Alterungseigenschaften hat auch die Ausfallrate einen Einfluss auf die Lebensdauer. Die Alterungseigenschaften sind hier von der Permeation bestimmt, während die Ausfallrate durch Produktionsdefekte und mechanischer Beschädigung beeinflusst wird. Die hier verwendeten VIP's haben 3 Nähte und waren 2009 im BFE-Projekt „Deklaration und Qualitätssicherung von VIP's“ untersucht worden und wiesen eine hohe Ausfallrate auf.

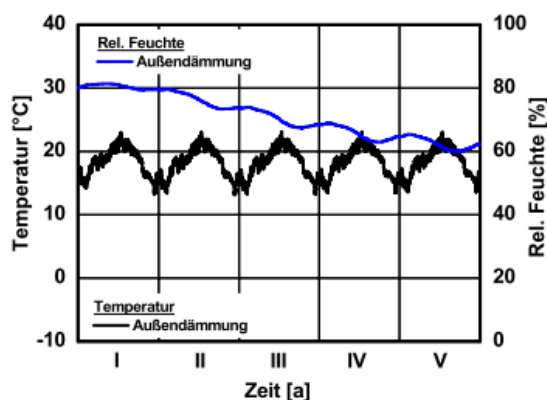
Die anfangs erwähnte Thermografie (siehe Anhang) lässt Rückschlüsse auf die Ausfallrate zu. Mit Hilfe dieser Methode wird die Anzahl belüfteter VIP an der Südfassade auf ca. 2 von 27 Paneelen geschätzt. Eine davon grenzt an die Temperaturposition T1 (Stossfuge an der Südfassade), deshalb wurde diese Position messtechnisch nicht ausgewertet. Da sie die Aussagen verfälschen würde. Bei der Ostfassade sind von 42 Paneelen ca. 2 belüftet (vgl. Anhang). Gesamthaft sind es also 4 belüftete VIP aus einem Total von 69, was eine „Ausfallrate von 6%“ nach Einbau bedeutet. Es wurde kein Hinweis auf ein Ansteigen dieser Zahl gefunden.

5. Diskussion und Schlussfolgerungen

Der Alterungsprozess von VIP's ist Temperatur- und Feuchteabhängigkeit. Die gemessenen Daten bezüglich Temperaturen erfassen nicht alle Monate der Messperiode. Um trotzdem Aussagen zum Alterungsverhalten über die kommenden 25 bis 40 Jahre zu machen zu können, sind vereinfachte Annahmen bezüglich Temperaturen und Feuchte notwendig. Dies bedeutet eine Cosinus-förmige Jahrestemperatur, die mit einer Cosinus-förmigen Tageschwankung überlagert wurde. Die Kurvenparameter hierzu wurden aus den Messwerten abgeleitet.

An der Aussenseite der VIP-Paneele der hier gemessenen Fassade, ist über zwei Sommer die maximale Temperatur von 40°C (T_{max}) gemessen worden. Auf Kompaktfassaden im urbanen Bereich sind generell Temperaturen bis 80°C zu erwarten, vor allem bei dunklen Farbtönen der Oberfläche. Bei hellen Farbtönen sind hingegen Maximal Temperaturen bis 60°C zu erwarten. Tiefere Temperaturen wie sie in diesem Projekt sind je nach Fassadenorientierung und vom Standort möglich. Das untersuchte Gebäude liegt nicht in einer Stadt (heat island) und hat zudem einen guten Luftaustausch zur kälteren Umgebung (Berge).

Nach einer Austrocknungsphase des Klebemörtels (1Jahr) wurden bei diesen Temperaturen Feuchtwerte von 70% r.F. gemessen. Während die Alterungsvoraussagen für die kommenden 25 Jahre einer Flachdachanwendung [11] bei konstanter 80% r.F. berechnet wurden, ist bei dieser Fassade eine tiefere Feuchte einzusetzen. Für die weisse Fassade in Ebnat-Kappel ist also eine langsamere Alterung als bei der Flachdachanwendung zu erwarten⁵. Bezüglich der Feuchteverteilung in Fassaden mit VIP ist die Lage noch wenig erforscht. Modelle werden an der Empa im CCEM-Project SuRHib im Laufe der nächsten Jahre entwickelt. Auch andere Institute [13] haben mit solchen Aktivitäten begonnen, wobei der Feuchtetransport in VIP-Stossfugen berücksichtigt werden soll. Einfachere Simulationen von Feuchte in Fassaden mit VIP [14] prognostizieren bei einer Aussenisolation eine sinkende relative Feuchte auf 60% im 5ten Jahr (Figur 36). Diese sinkende Tendenz ist im Ansatz auch in Figur 28 im Vergleich mit Figur 27 sichtbar⁶.



Figur 29 : Zeitlicher Verlauf der Temperatur- und Feuchteverhältnisse in der Oberflächenschicht des Ziegelmauerwerks direkt an der Grenze zwischen Mauerwerk und Dämmung. Basierend auf einer 1-dimensionalen Berechnung der Temperatur- und Feuchteverteilung für eine Konstruktion mit Aussendämmung [14]

⁵ Die geografische Breite liegt bei 47°. Bei hohen geografischen Breiten, wie in Skandinavien, kann sich dieser Effekt umkehren. Werkzeuge wie Meteonorm könnten dazu eingesetzt werden.

⁶ Weiter ist im folgenden Winter wieder erhöhte Feuchte gemessen worden (Fig. 30). Fig. 36 zeigt zwar auch Anstiege im Winter, aber „gedämpfter“, denn dort ist die betrachtete Stelle zwischen VIP und bestehender Mauer.

An der Fassade sind nur einige Tage nach einem Regenereignis hohe Feuchten zu erwarten. Dies im Gegensatz zu dauerhaften Feuchte im Fall der Dachanwendung (VIP durch Bitumen eingeschlossen). Im Allgemeinen sind also günstigere Alterungswerte an Fassaden zu erwarten.

Eine gewisse Ausfallrate bei VIP an Fassaden ist zu erwarten. Dies zeigte die deutsche Studie VIP-Prove [15, 16] mit einer Ausfallrate 12.8% über alle Anwendungen und Hersteller gerechnet. „Dabei fielen drei Objekte in der statistischen Auswertung besonders aus dem Rahmen. Lässt man diese drei Objekte in der Auswertung begründet unberücksichtigt - es lagen jeweils konkrete Hinweise für Fehler in der Ausführung vor -, so reduziert sich der Anteil auffälliger Paneele auf insgesamt 4,9%.“[16]. Für die hier behandelte Fassadenanwendung erscheint eine 90 bis 95% Zuverlässigkeit als vertretbare Annahme.

Die Verwendung von Vakuumisolation birgt vielschichtige Herausforderungen. Einerseits ist auf der Nutzenseite ein klarer Vorteil gegeben. Andererseits ist die Montage ein oft diskutiertes Thema, das hier mit Aufkleben gelöst ist. Dass dabei nicht-alkalische Kleber für die VIP zu verwenden sind, ist bekannt.

Im Allgemeinen sind für VIP an Fassaden günstigere Alterungswerte zu erwarten. Dies ist auf die tieferen Temperaturen und Feuchten zurückzuführen.

6. Referenzen

- [1] Martin Frei, Leiter Technik FT, Swisslack, in der firmeneigenen Zeitschrift "Spektrum" Okt 2008
www.swisslack.ch/inhalt/pdf/spectrum_2008_03_d.pdf
- [2] Interview mit dem Empa-Mitarbeiter H. Simmer in "Spektrum", der Firmenzeitschrift von Swisslack Jan 2009
www.swisslack.ch/inhalt/pdf/kundeninfo/kundeninfo_09_01_d.pdf
- [3] <http://www.neofas.ch/produkte/vakutherm/polyton-compact-vakutherm.html>
- [4] http://www.neofas.ch/uploads/media/Polyton_Compact_Vakutherm_allgemeine_Informationen.pdf
- [5] http://www.neofas.ch/uploads/media/Datenblatt_Polyton_Compact_Vakutherm.pdf
- [6] QC-Expert AG Energiecheck, Berichtsnummer Q-14, 2009
- [7] Martin Frei, Neue verputzte Aussenwärmedämmung mit VIP, Vortrag am 4. Treffen der Arbeitsgruppe "Kompaktfassade" vom 26. März 2008 [http://www.energie-cluster.ch/bereiche/wtt/ag-kompaktfassade_kf -> \(pdf, 180 kB\)](http://www.energie-cluster.ch/bereiche/wtt/ag-kompaktfassade_kf_-_pdf_180_kB) bzw. http://ecweb.redcor.ch/bereiche/wtt/ag-kompaktfassade_kf/index_html/Energie%20Cluster%20Neofas%20-%20SWLA.pdf
- [8] K. Ghazi Wakili, R. Bundi, B. Binder, "Effective thermal conductivity of vacuum insulation panels", Building Research and Information 32 (2004) 293–299
- [9] Reto Bundi, Vakuumisolierte Paneele, Fassade • Façade 3/2003, 19-22
- [10] S. Brunner, H. Simmler, In situ performance assessment of vacuum insulation panels in a flat roof construction, Vacuum 82 (2008) 700–707.
- [11] H. Simmler, S. Brunner, Vacuum insulation panels for building application, basic properties, aging mechanisms and service life, Energy and Buildings 37 (2005) 1122–1131.
- [12] Hans Simmler, Samuel Brunner, Ulrich Heinemann, Hubert Schwab, Kumar Kumaran, Phalguni Mukhopadhyaya, Daniel Quénard, Hébert Sallée, Klaus Noller, Esra Kücükpinar-Niarchos, Cornelia Stramm, Martin Tenpierik, Hans Cauberg, Markus Erb, Vacuum Insulation Panels - Study on VIP-components and Panels for Service Life Prediction of VIP in Building Applications, Annex 39 "HiPTI – High Performance Thermal Insulation" of IEA/ECBCS-Implementing Agreement, Report on Subtask A, 2005
- [13] R. Plagge, Planung von Vakuumisolationen aus bauphysikalischer Sicht, „Vakuumisulationspaneele (VIP) in Baupraxis“, Berlin 2011 ISBN 978-3-87994-694-5
- [14] K. Lenz, Ph. Leistner, K. Sedlbauer, N. König, Vakuumisulationspaneele aus hygrothermischer und akustischer Sicht, in: VIP-Bau (Ed.), [2. Fachtagung VIP-BAU](#) - Evakuierte Dämmungen im Bauwesen, Wismar, Deutschland, 16–17 June, 2005, E1–E13, 2005.
- [15] Ulrich Heinemann, Ronny Kastner, VIP - PROVE Vakuumisulationspaneele - Bewährung in der Baupraxis - wissenschaftliche Begleitforschung – http://www.vip-bau.de/d_pages/monitoring/monitoring.htm
- [16] Vortrag Heinemann, "VIP-PROVE – Vacuum insulation for buildings in the practical application" IVIS 2009, 9th International Vacuum Insulation Symposium, 18-19 Sept. 2009, London

7. Anhang

Bericht Chr. Tanner, QC-Expert AG, „Thermografische Schwachstellenanalyse der Gebäudehülle“, Bericht Nr. 11'011 vom 29. Sept 2011

Thermografische Schwachstellenanalyse der Gebäudehülle

Auftraggeber

Empa Abteilung 118, Bautechnologien
Dr. Karim Ghazi Wakili
Überlandstrasse 129
8600 Dübendorf

BEF-Projekt-Nr.:

102'945

BEF-Vertrag-Nr.:

153'782

Objekt:

EFH Frei, Horben, 9642 Ebnat-Kappel.

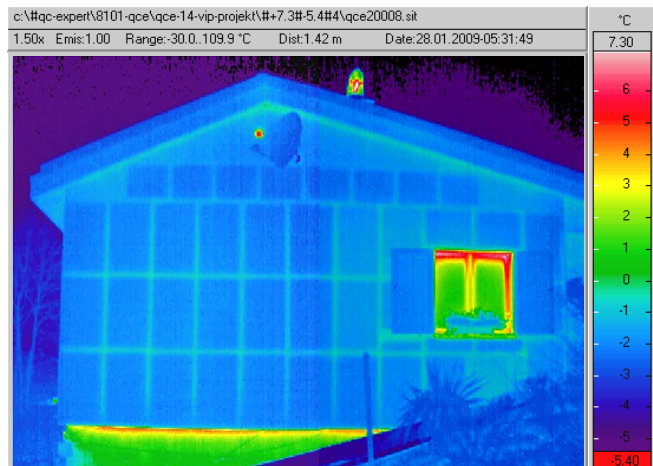
QC-Expert-Auftrags-Nr.:

11'011

IR-Aufnahmen vom

26.01.2011 durch:

Christoph Tanner, QC-Expert AG



Dübendorf, 29.09.2011

Christoph Tanner
Thermografieexperte

Roland Büchli
Experte / Geschäftsführer

Tel. direkt: 044 824 35 05
christoph.tanner@qc-expert.ch

Die Bearbeitung dieses Auftrages erfolgt nach bestem Wissen und Gewissen, basierend auf dem aktuellen Stand der Technik, bzw. der Kenntnisse im Bereich Gebäudethermografie. Trotzdem kann QC-Expert AG und die von ihr beauftragten Personen weder belangt noch in irgendeiner Form haftbar gemacht werden für die Aussagen und Beurteilungen im vorliegenden Dokument. Davon ausgenommen sind Fälle grober Fahrlässigkeit.

Impressum:

Datum: 29.09.2011

Autor: Christoph Tanner, dipl. Arch. HTL / FH

Dokument: Bericht-11011-ct.rev-9.09.2011 -15nov ohne C .doc

© Copyright: für die kommerzielle Verwendung des Inhaltes liegt das Copyright bei QC-Expert AG

Inhaltsverzeichnis

1. Erläuterungen zum Auftrag.....	4
2. Angaben zum untersuchten Gebäude	5
3. Verwendete IR-Ausrüstung und Software	5
4. Farbkeileinstellungen und Beurteilung der IR-Bilder ...	6
5. Zusammenfassung	8
6. IR-Bilder	9
7. Bedingungen für die IR-Aufnahmen.....	26

Anhang: Fotos des Gebäudes



Dokumentation mit Erläuterungen zu IR-Bildern von Gebäuden auf die in den folgenden Bildinterpretationen Bezug genommen wird.

„Infrarotaufnahmen von Gebäuden“

Erläuterungen und Hintergründe zu den am meisten beobachteten Problemstellen bei Wärmebildern von Gebäude-Aussenaufnahmen.

Bezugsquelle: www.theCH.ch

© by theCH.ch

1 Erläuterungen zum Auftrag

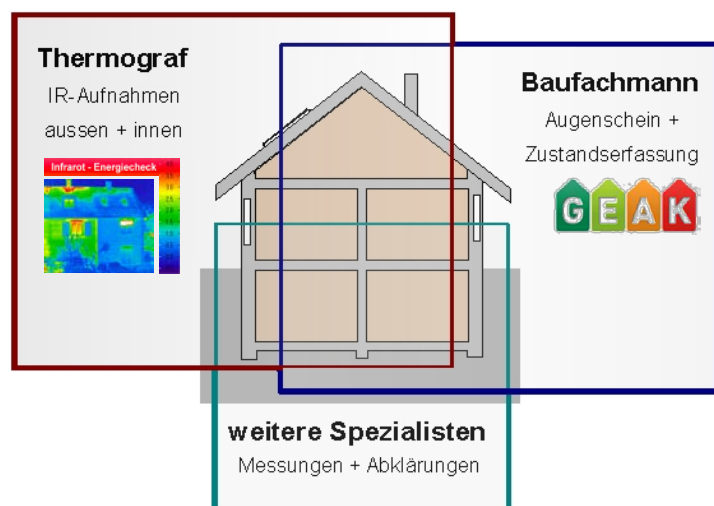
Beim vorliegenden Auftrag handelt es sich um eine 2. Überprüfung des EFH Frei in Ebnat-Kappel, welches im Rahmen eines BFE-Forschungsprojektes untersucht wird.

BFE Projekt-/Vertrag-Nummer Nr. 102945 / 153782, Projektleiter Dr. Karim Ghazi Wakili, Empa 118. Das Gebäude wurde 2008 mit einer verputzten Aussenwärmendämmung mit VIP saniert. Im Rahmen des BFE-Projektes erfolgte dann im Januar 2009 eine erste thermografische Kontrolle von aussen, um die Wärmebrückenwirkung der Plattenstösse und allfällig belüftete VIP-Platten ausfindig machen zu können. Jetzt, 2 Jahre später wird die selbe Kontrolle noch einmal ausgeführt, um zu sehen, ob sich Veränderungen ergeben haben (z.B. belüftete VIP-Platten).

Der folgende Bericht zeigt deshalb die neuen Thermografieaufnahmen immer als Gegenüberstellung zwischen den Aufnahmen von 2009 und 2011.

Grundsatzinformationen zu Thermografieaufnahmen von QC-Expert AG:

Ziel der Infrarot-Schwachstellenanalyse ist es, interessierten Hauseigentümern mit Wärmebildern (auch Infrarotbilder oder Thermogramme genannt) eine bildliche, primär qualitative Darstellung des energetischen Zustands ihrer Gebäudefassaden zu geben. Daraus ist ablesbar, wo grosse Wärmeverluste auftreten und wo sich die thermischen Schwachstellen befinden.



Die IR-Thermografie deckt aber nur einen Teil der Analysemöglichkeiten ab. Eine andere Möglichkeit besteht darin, dass ein Baufachmann (Architekt/Bauphysiker) mit guten Kenntnissen im Energiebereich einen Rundgang durch das Gebäude macht und den Zustand der Gebäudehülle vor Ort überprüft (z.B. GEAK).

Im Fall eines Altbaus können Infrarotaufnahmen als visuelle Grundlage und Entscheidungshilfe für ein Sanierungskonzept dienen. Im Fall eines Neubaus oder nach einer Sanierung dienen Infrarotaufnahmen als energetische Qualitätskontrolle mit sichtbarem Beleg.

Die genaue Ursache von Wärmeverlusten kann aufgrund von Infrarotbildern nicht immer angegeben werden. Je nach Situation sind zusätzlich Detailuntersuchungen der Gebäudehülle oder Messungen in den Innenräumen erforderlich.

Alle Methoden, sowohl Wärmebilder, als auch ein Augenschein und Messungen im Gebäude, liefern normalerweise gute Informationen, die zum grossen Teil überschneidend sind (siehe Grafik oben), in wesentlichen Punkten aber auch ergänzend. Am aussagekräftigsten ist die Kombination, indem die Wärmebilder für den Baufachmann als Grundlage zum Augenschein bereit liegen.

Die Infrarotaufnahmen werden von QC-Expert AG nach den Qualitätsansprüchen des Thermografieverbandes Schweiz (www.thech.ch) resp. in Anlehnung an die Norm EN 13187 ausgeführt. Die Bildauswertungen erfolgen nach „QualiThermo®“, einer speziellen Methode von QC-Expert AG. Damit die Auftraggeber/Hauseigentümer die Wärmebilder besser einschätzen können, liegt dem Bericht die Dokumentation „Infrarotaufnahmen von Gebäuden“ bei. In dieser Dokumentation finden sich Musterbilder von Objekten, an denen die am häufigsten zu beobachtenden Schwachstellen repräsentativ erläutert werden.

2 Angaben zum untersuchten Gebäude

Gebäudetyp, Adresse

EFH Frei, Horben, 9642 Ebnat-Kappel

Luftbild



Quelle: www.google.ch

3 Verwendete IR-Ausrüstung und Software

IR-Kameratyp:

- nec TH 7700
- UFPA (ungekühlt)
- 8 bis 14 μm
- 320 x 240 Pixel

Einstellungen (Umgebungskompensation):

- Umgebungstemperatur 0 °C
- r. F. 80% auf 15m
(weitere Informationen siehe IR-Bildkopfzeilen)



Auswertungssoftware

PicWin-IRIS (ebs), Version 7.1

Auswertungsverfahren

Programm QualiThermo®, Version 2.2

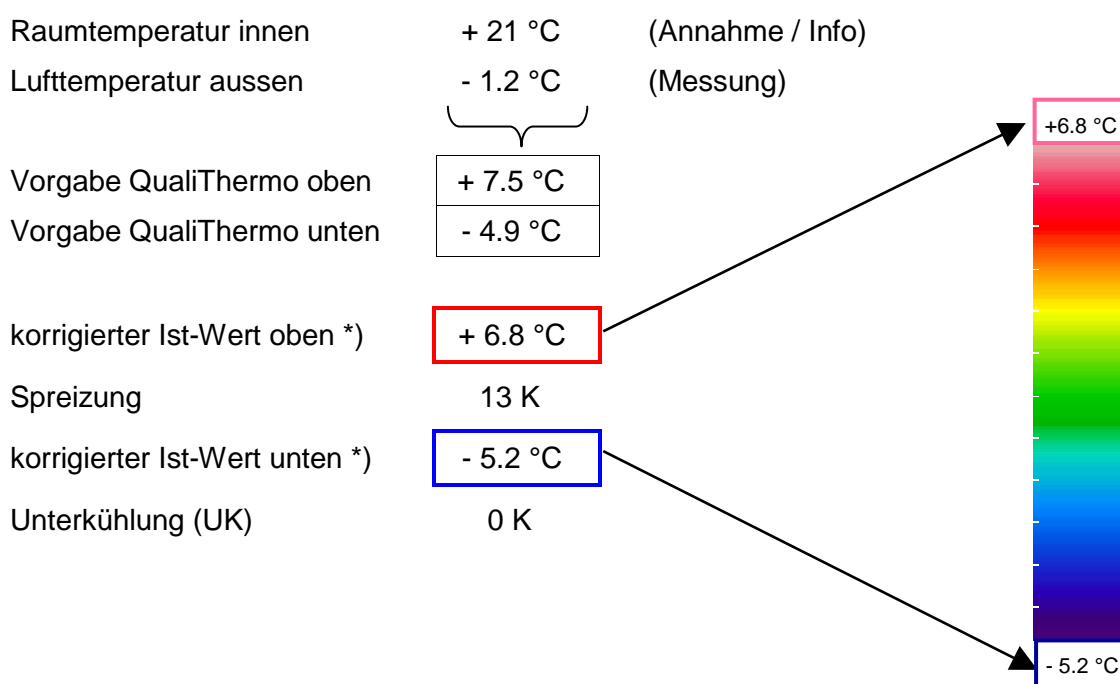
4 Farbkeileinstellungen und Beurteilung der IR-Bilder

4.1 Methode QualiThermo®

QualiThermo® wird ein IR-Tool genannt, mit dem Thermografieaufnahmen von Gebäuden standardisiert und nachvollziehbar dargestellt werden können. Damit werden Vergleiche von IR-Bildern möglich, die unter verschiedenen Temperaturbedingungen aufgenommen wurden. Die Genauigkeit des Verfahrens wird allerdings von verschiedenen Randbedingungen stark beeinflusst, allen voran von den Meteobedingungen vor- und während den IR-Aufnahmen.

IR-Farbkeileinstellungen nach der Methode QualiThermo®, (Version 2.2)

Obere und untere Temperatureinstellung für eine vergleichbare Darstellung der IR-Bilder



*) Anpassungen des Farbkeils

Je nach Meteobedingungen, Gebäudekonstruktion und Nutzungszustand ist eine Korrektur sinnvoll.

Am meisten vorkommend bei klarem Nachthimmel (Unterkühlung → Untergrenze wird tiefer gesetzt.)

Detaillierte Datengrundlagen siehe Kapitel 7.

Hier wurde die Anpassung in Folge der eher starken Windanströmungen und für die möglichst gute Vergleichbarkeit der IR-Bilder mit den Aufnahmen von 2009 vorgenommen.

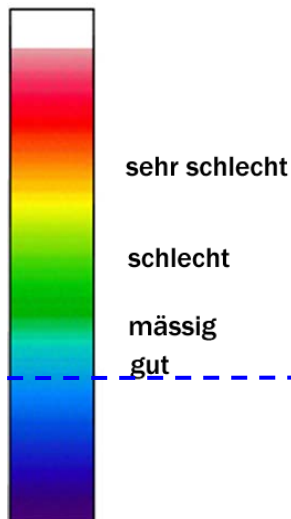
4.2 Beurteilung von Bauteilen und Schwachstellen

Mit der standardisierten Darstellung der Methode QualiThermo® können bei IR-Aufnahmen einige Bauteile anhand der Farben bezüglich Energieverluste eingeordnet werden. Der dazu notwendige „Interpretationsschlüssel“ ist unten abgebildet.

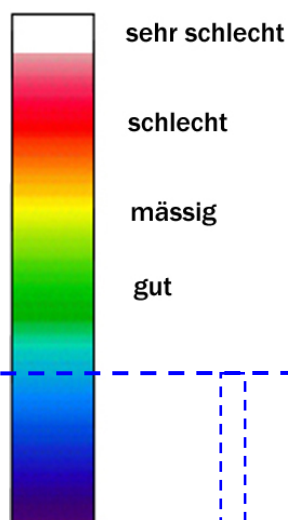
Aber Vorsicht! In gewissen Situationen können diese Ableitungen fehlerhaft werden. Beispiele: Spiegelungen in den Fenstern (vgl. Doku S. 14) oder Unterkühlungen (vgl. Doku S. 38).

Bewertung der Bauteile und Schwachstellen

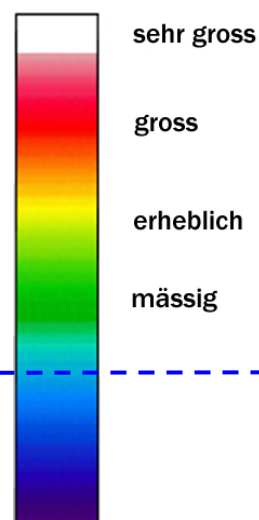
Wärmedämmung
Aussenwände



Wärmedämmung
Fenster (Gläser)



Schwachstellen
Wärmebrücken Luftdurchtritte



Aussentemperatur

Was kälter ist, ist unterkühlt
oder spiegelt evtl. den Himmel.

**Je näher die Oberflächentemperatur bei der Aussentemperatur liegt,
desto ungenauer wird eine Aussage über den Wärmeverlust des Bauteils!**

5 Zusammenfassung

Die Wärmebilder des Gebäudes wurden primär für die Beurteilung der VIP-Platten aufgenommen. Zwischen den Thermogrammen vom Januar 2009 und denen vom Januar 2011 zeigen sich keine relevanten, thermischen Veränderungen der Platten.

In den IR-Bildern von 2009 sind die Wärmebrücken der Plattenränder etwas stärker und die Unterschiede der Oberflächentemperaturen der mutmasslich belüfteten VIP-Platten etwas grösser als in den Bildern von 2011. Die Ursache dieser Unterschiede dürfte bei den Meteobedingungen vor- und während den Aufnahmen liegen, weil vor allem die Windgeschwindigkeit vor Ort bei den Aufnahmen 2011 klar höher war als 2009, was zu den beobachteten Unterschieden führen kann.

Details zu den Aufnahmebedingungen: Siehe Kapitel 7.

Weitere Informationen zu den Auswirkungen der Meteo-Randbedingungen und zu Interpretationen von Wärmebildern werden im BFE-Projekt Nr. 102850, "Energetische Beurteilung von Gebäuden mittels IR-Bildern (QualiThermo®)" abgehandelt. Dieses Projekt der Hochschule Luzern wird Ende 2011 abgeschlossen (Projektleitung Ch. Tanner).

6 IR-Bilder

Auf den folgenden Seiten sind die aufbereiteten IR-Aufnahmen dargestellt. Von verschiedenen Bauteilen und auffällige Stellen führen Markierungen zu einzelnen Boxen. Darin ist - soweit möglich -, eine verbale Beurteilung der Schwachstelle angegeben.

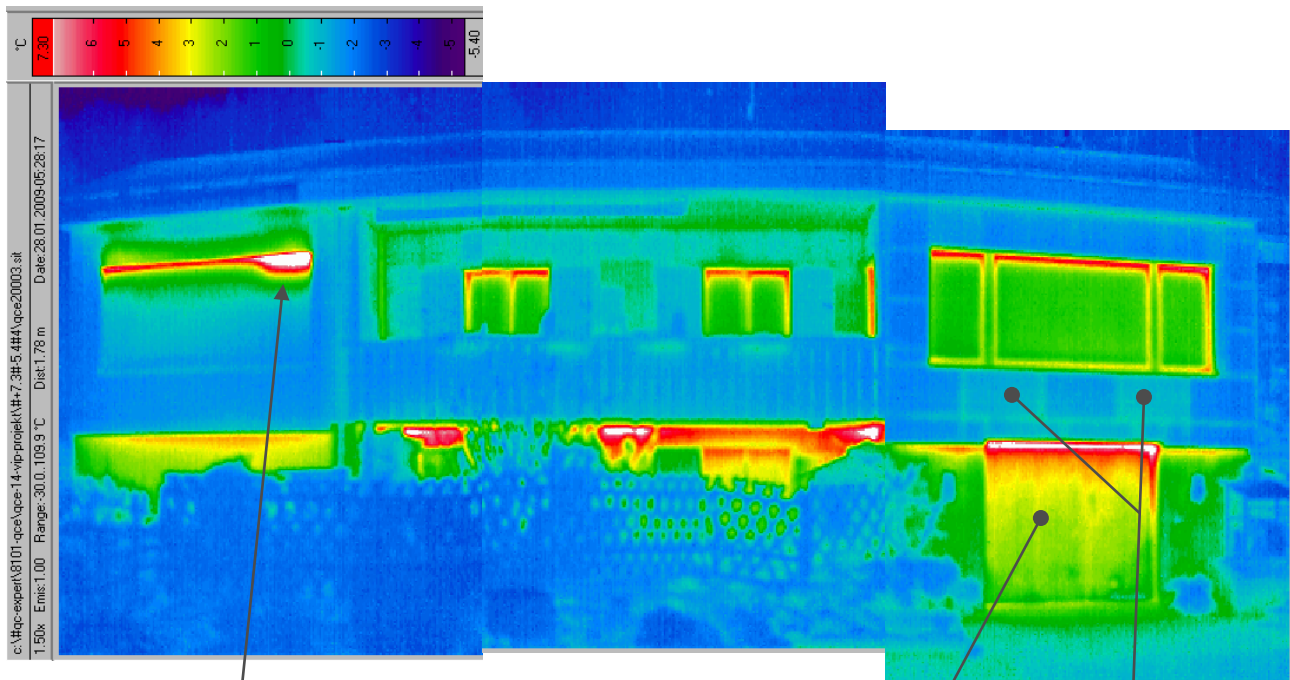
Die Beurteilungen des Experten basieren auf den visualisierten Wärmeverlusten in den IR-Bildern zum Aufnahmezeitpunkt. Diese Wärmeverluste können nicht ohne weiteres mit der Dämmqualität des Bauteils und damit mit dem U-Wert (= Wärmedurchgangswert) gleichgesetzt werden. Nur wenn gesicherte Werte über Innentemperaturen, Meteorodaten, Konstruktion und Benutzereinflüsse bekannt sind, können Abschätzungen der Dämmqualität vorgenommen werden.

Die Beurteilung ist eine grundsätzlich subjektive Beurteilung des IR-Experten. Er versucht, die oben beschriebenen Faktoren - soweit vorhanden - zu berücksichtigen und zu gewichten, ist aber auch auf Erfahrungswerte und Vergleichsbeispiele angewiesen (siehe theCH-Dokumentation, „Infrarotaufnahmen von Gebäuden“ Bezugsquelle: www.theCH.ch).

Die Beurteilung erfolgt nach den im vorangehenden Kapitel 4.2 aufgezeigten Grundlagen der farblichen Erscheinungsbilder der einzelnen Bauteile. Wo Abweichungen auftreten, erfolgt dies auf Grund von Erfahrungswerten in ähnlichen Fällen.

Das folgende Kapitel zeigt die neuen Thermografieaufnahmen immer als Gegenüberstellung zu den Aufnahmen von 2009 (vgl. Info Kap. 1).

2009 IR-Bild 01 bis 03: Südfassade

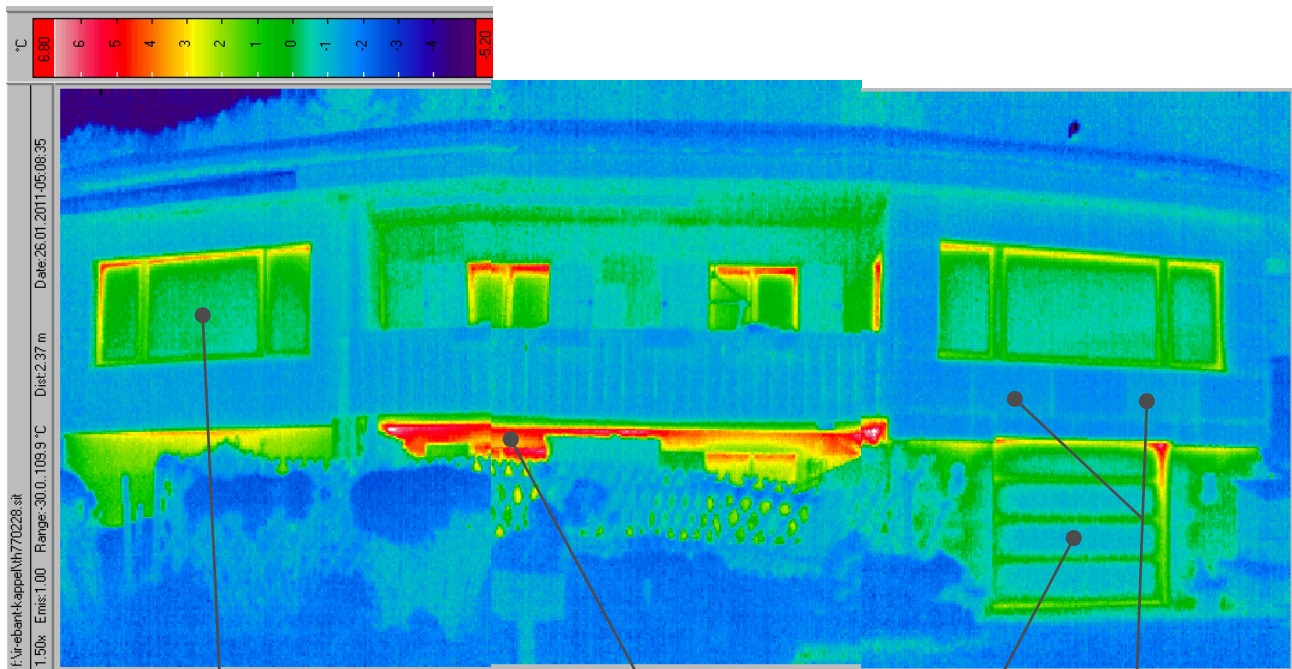


Offenes Fenster hinter Rollläden
Wärmeluftabfluss durch gekipptes Fenster
Weitere Infos siehe theCH-Dokumentation
„Infrarotaufnahmen von Gebäuden“, Kap. 4.4

Garage
Grosser Wärmeabfluss oben am Tor, meist der Fall, wenn keine Deckendämmung vorhanden ist.
Weitere Infos siehe theCH-Dokumentation Kap. 1.1

Aussenwand mit VIP
2 VIP mit deutlich wärmerer Oberfläche. Diese sind wahrscheinlich belüftet. Details dazu siehe S. 14 - 17
Unterschiede gedämmt / ungedämmt siehe theCH-Dokumentation Kapitel 6.1

2011 IR-Bild 226 bis 228: Südfassade



siehe folgende Bilder

Fenster

Fenster mit Wärmeschutz (2-IV mit WS)

Weitere Infos siehe theCH-Dokumentation Kap. 4.1

Garage

Neues Garagentor mit deutlich geringeren Wärmeverlusten.

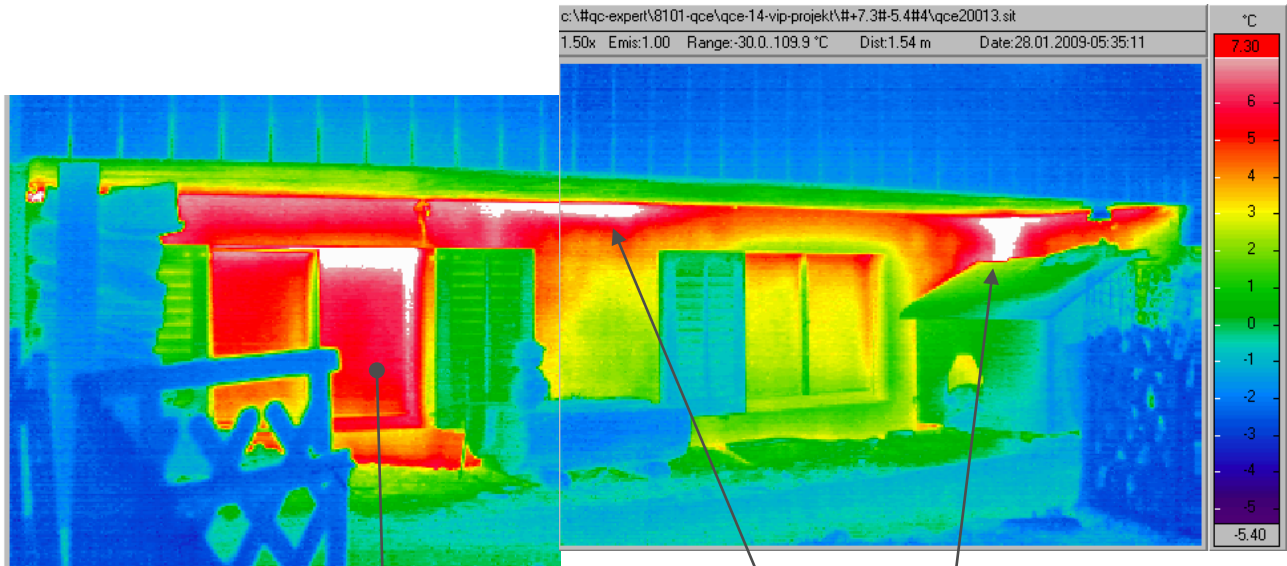
Weitere Infos siehe theCH-Dokumentation Kap.1.1

Aussenwand mit VIP

Die wärmeren Platten sind nur noch knapp zu erkennen.
Wahrscheinliche Ursache: wegen erhöhtem Windeinfluss.
Details dazu siehe S. 14 - 17

Weitere Infos siehe theCH-Dokumentation Kapitel 6

2009 IR-Bild 12 und 13: Südfassade, Gartengeschoss, Mittelteil



Alte Fenster ohne IR-Beschichtung (Büro)

Grosse Wärmeverluste. Beim Fenster ist eine Heizquelle und es herrschen erhöhte Raumtemperaturen gegenüber dem Raum rechts.

Linke Scheibe: Mit äusserem Fliegengitter.

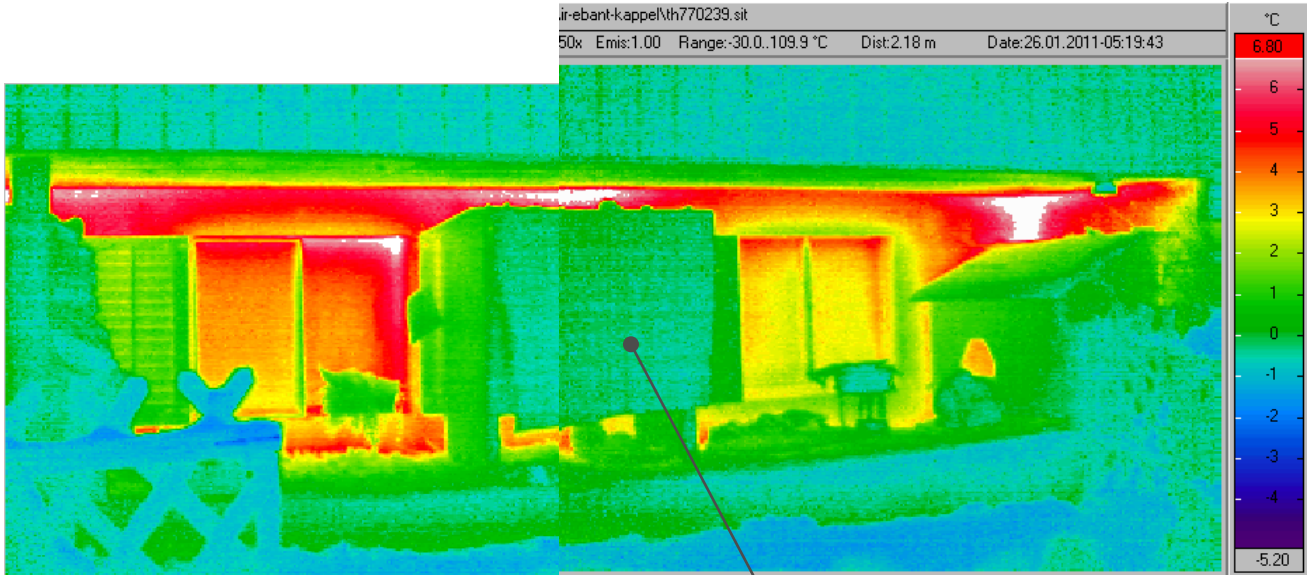
Weitere Infos siehe theCH-Dokumentation Kap. 4.1

Wärmebrücken

Grosse lokale Wärmebrücken.
Ursache unbekannt.

Weitere Infos siehe theCH-Dokumentation Kap. 7

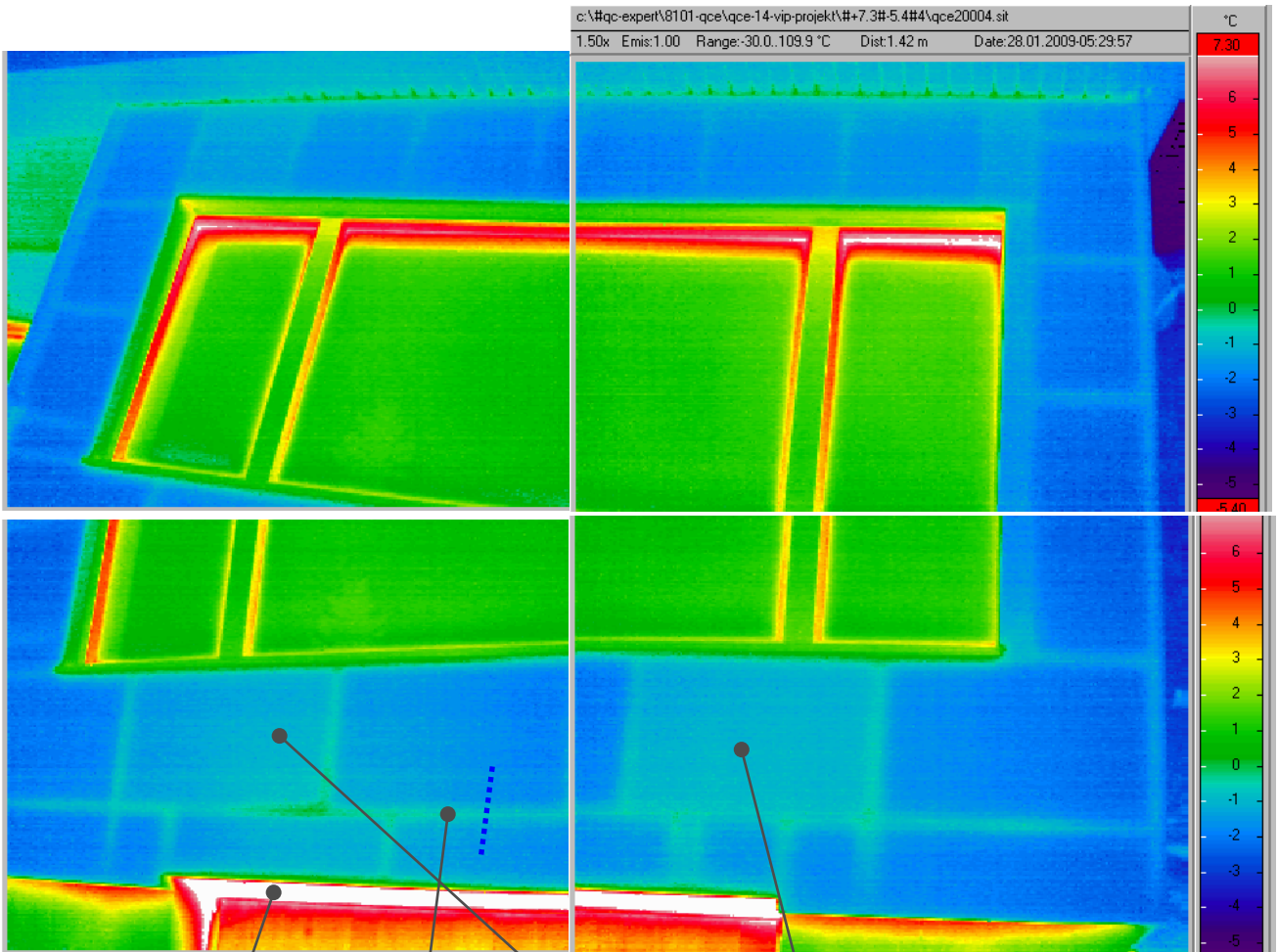
2011 IR-Bild 239 und 240: Südfassade, Gartengeschoss, Mittelteil



Praktisch gleiche Situation wie 2009

Neu: Vorgelagertes Gartenhaus

2009 IR-Bild 04 bis 07: Südfassade, Detail VIP-Fassade



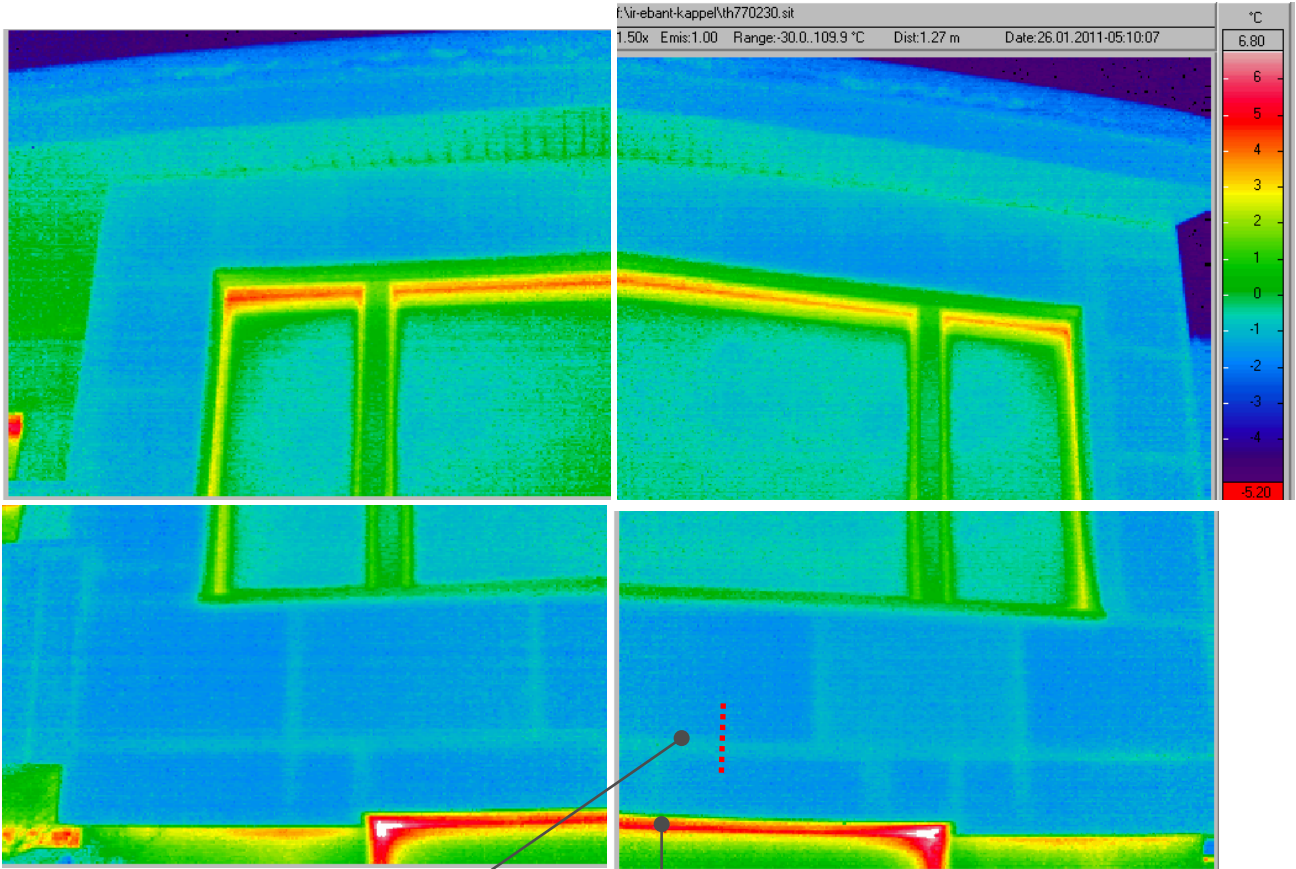
Fenster (Wohnzimmer)
 Fenster mit Wärmeschutz (2-IV mit WS).
 Weitere Infos siehe theCH-Dokumentation Kap. 4.1

Wärmebrücken
 Wärmebrücken durch VIP-Plattenränder.
Schnitt siehe Diagramm folgende Seite.
 Weitere Infos siehe theCH-Dokumentation Kap. 7

Aussenwand mit VIP
 2 VIP mit deutlich wärmerer Oberfläche.
 Wahrscheinlich belüftet.
 Weitere Details siehe S. 16 / 17
 Unterschiede gedämmt / ungedämmt siehe theCH-Dokumentation Kapitel 6.1

Garage
 Altes Garagentor mit hohen Wärmeverlusten am oberen Torrand. Garage ohne Deckendämmung.
 Weitere Infos siehe theCH-Dokumentation Kap. 1.1

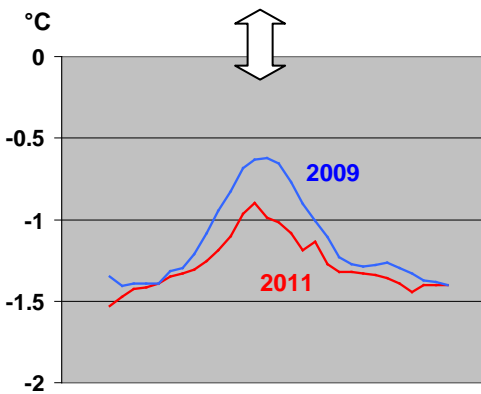
2011 IR-Bild 229 bis 232: Südfassade, Detail VIP-Fassade



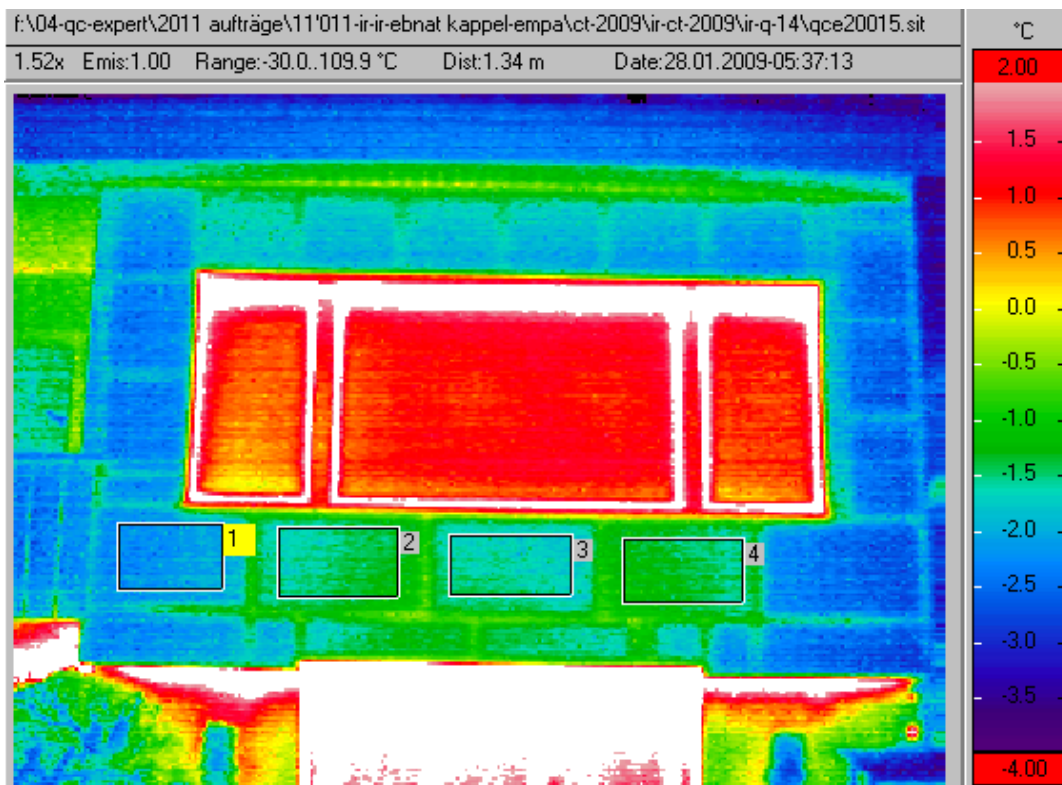
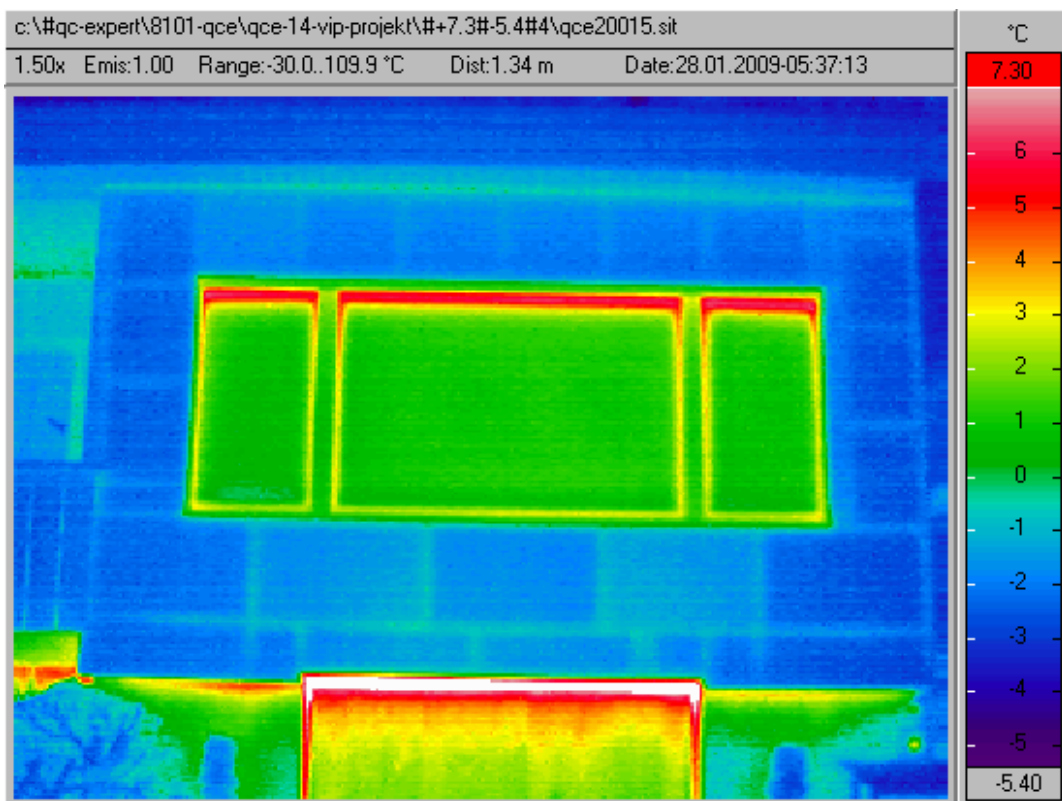
Wärmebrücken
 Wärmebrücken durch VIP-Plattenränder.
 Schnitt 2009 / 2011 siehe Diagramm unten.
 Weitere Infos siehe theCH-Dokumentation Kap. 7

Fenster (Wohnzimmer)
 Fenster mit Wärmeschutz (2-IV mit WS). Hier
 kühler als im Bild 2009 wegen stärkerem Wind.
 Weitere Infos siehe theCH-Dokumentation Kapitel 4.1

Garage
 Neues Garagentor mit geringeren Wärmeverlusten am
 oberen Torrand
 Weitere Infos siehe theCH-Dokumentation Kapitel 1.1



2009 IR-Bild 15 / 15a: Südfassade, Detail VIP-Fassade (anderes Blickfeld)

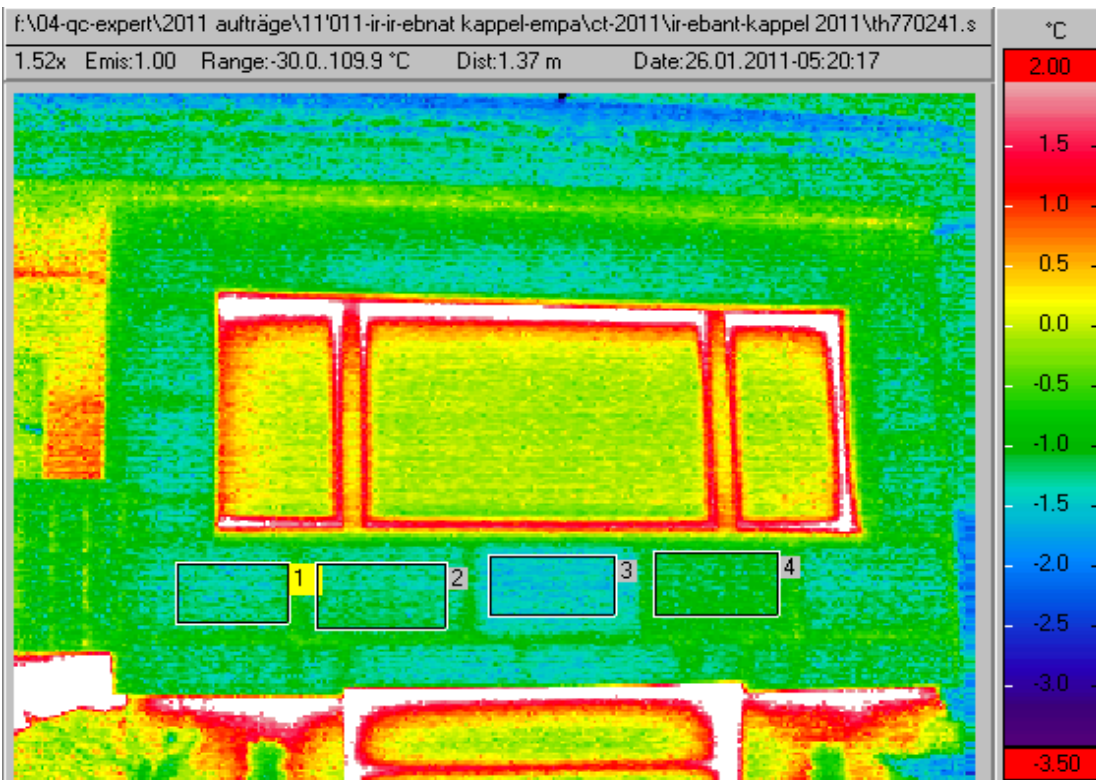
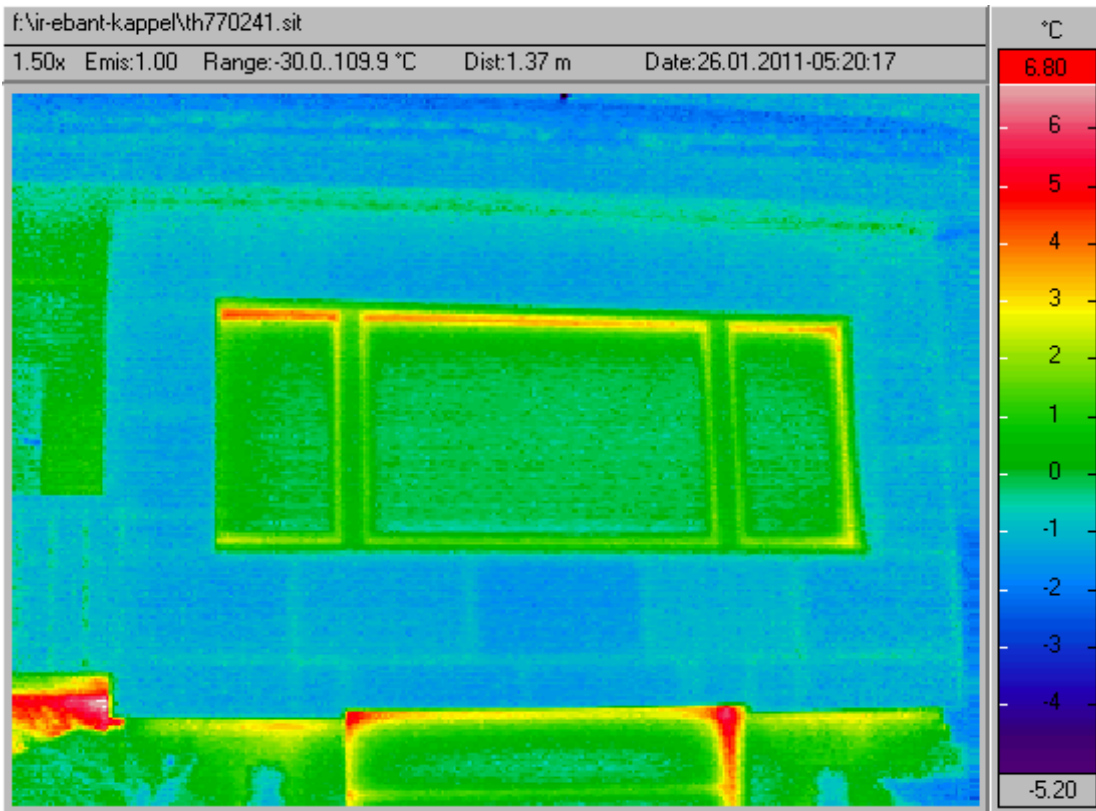


Gleiches Bild wie oben, aber Darstellung mit erhöhter Empfindlichkeit

Auswertung der Boxen 1 bis 4 siehe unter dem Bild.

Nr.:(Box)	1	2	3	4	
Min.:	-2.6	-1.8	-2.0	-1.8	
Mwt.:	-2.1	-1.4	-1.6	-1.3	Mittelwert der Box
Max.:	-1.6	-0.9	-1.1	-0.8	

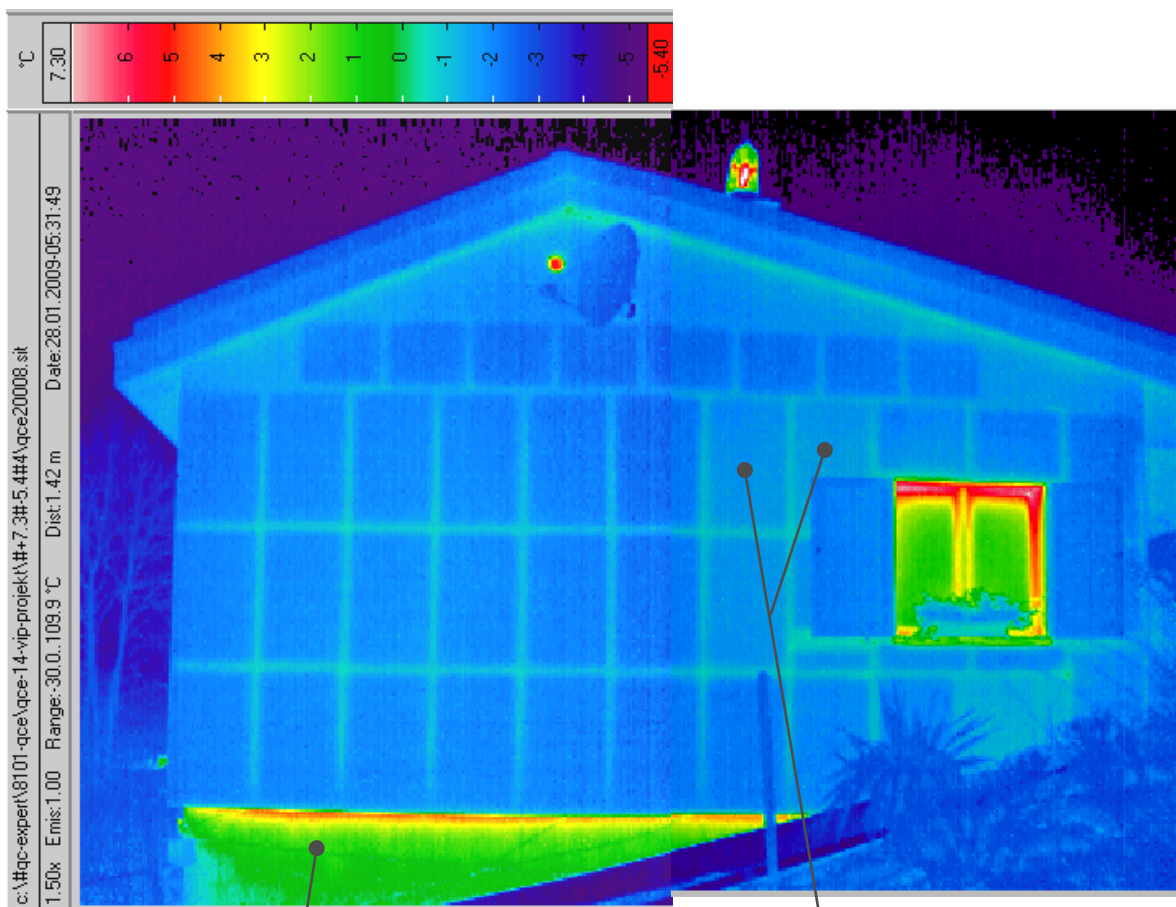
2011 IR-Bild 241 / 241a: Südfassade, Detail VIP-Fassade (anderes Blickfeld)



Analog Bild links von 2009
 Auswertung der Boxen 1 bis 4 siehe unter dem Bild.

Nr.:	1	2	3	4	
Min.:	-1.8	-1.6	-1.9	-1.5	
Mwt.:	-1.2	-1.1	-1.4	-1.0	Mittelwert der Box
Max.:	-0.6	-0.7	-0.9	-0.5	

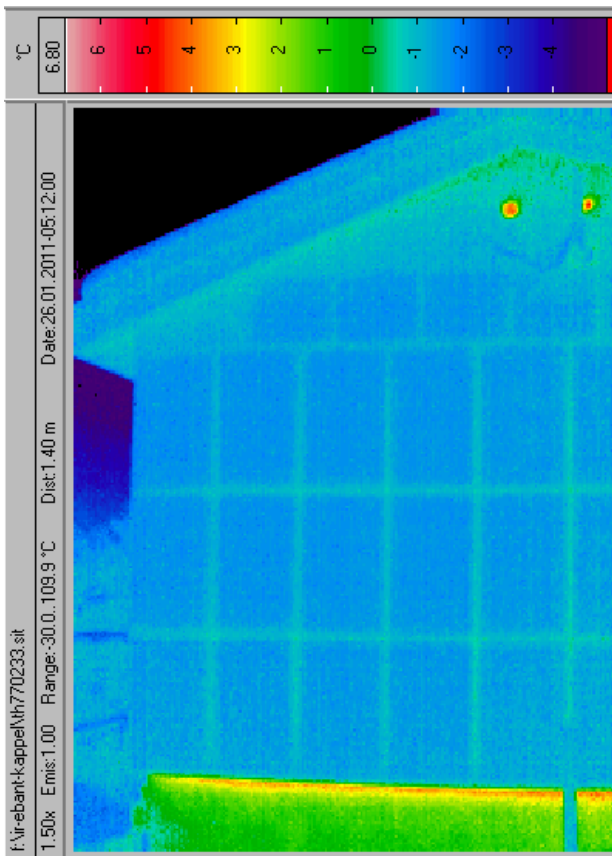
2009 IR-Bild 08 und 09: Ostfassade



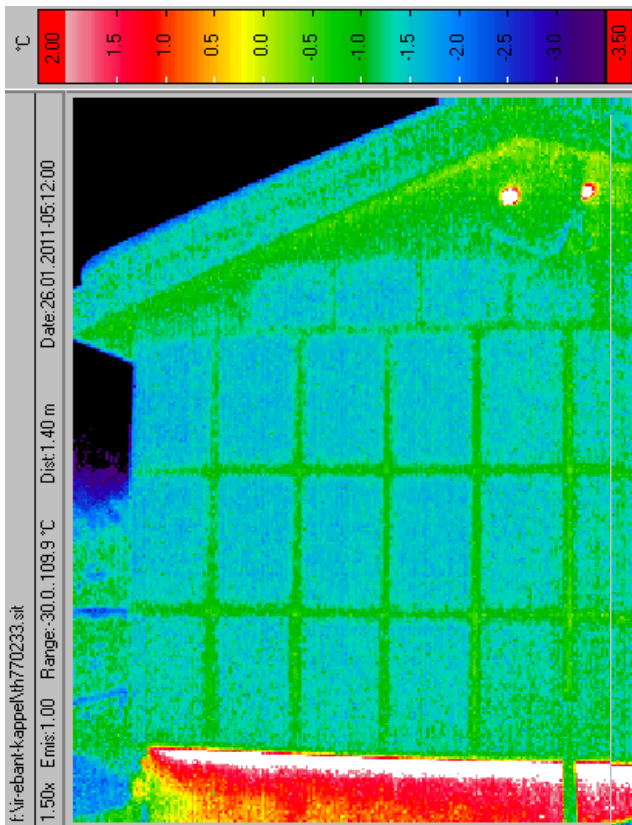
Kellergeschoss / Sockel
Erhöhte Wärmeverluste am Gebäudesockel.
Weitere Infos siehe theCH-Dokumentation Kap. 2.2

Aussenwand mit VIP
2 VIP mit leicht wärmerer Oberfläche. Evtl. belüftet.
Unterschiede gedämmt / ungedämmt siehe theCH-Dokumentation
Kapitel 6.1

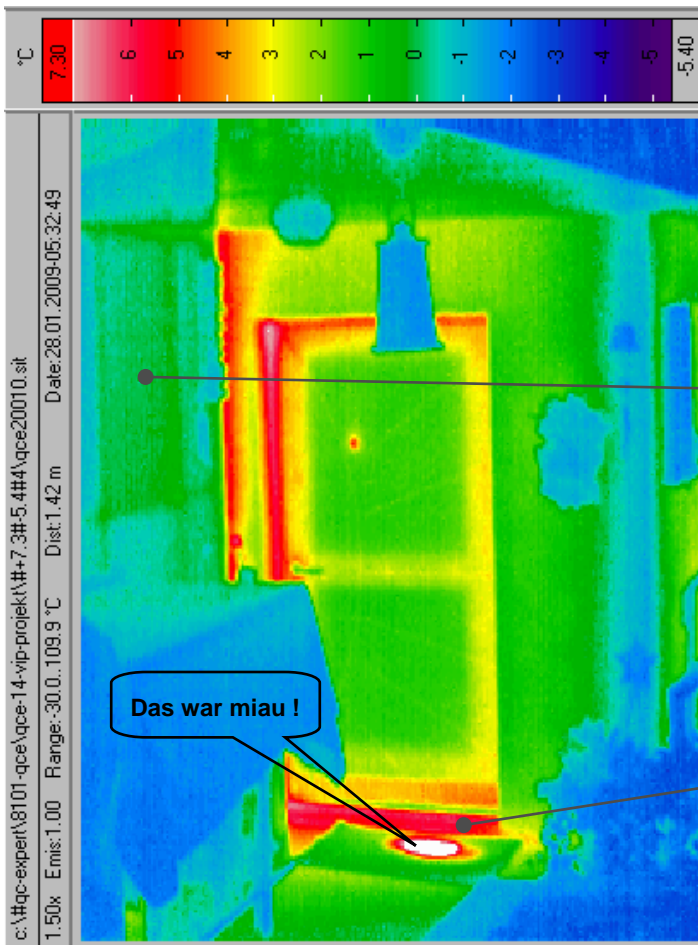
2011 IR-Bild 233 / 233a und 234 / 234a: Ostfassade



Gleiche Situation und Bewertung wie links (2009).
Unten: Bild wie oben, aber Darstellung mit erhöhter Empfindlichkeit



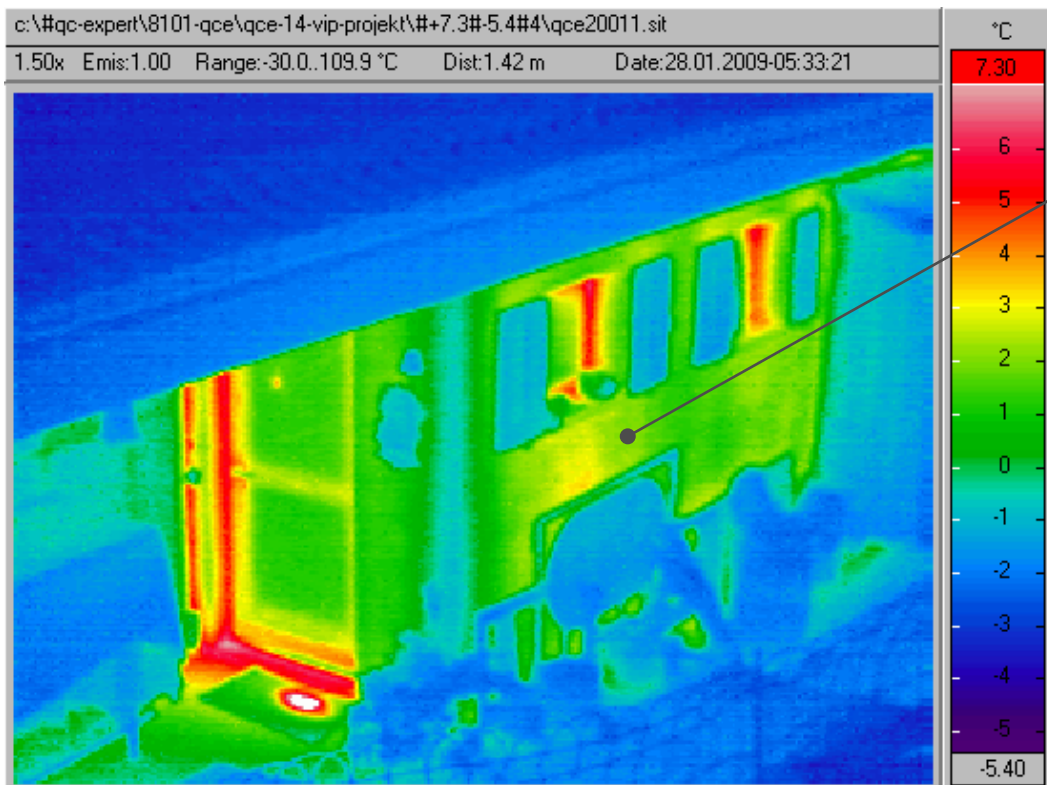
2009 IR-Bild 10 und 11: Hauseingang Nordseite



Hauseingang
 Mässige Wärmeverluste.
 Weitere Infos siehe theCH-Dokumentation Kap. 3

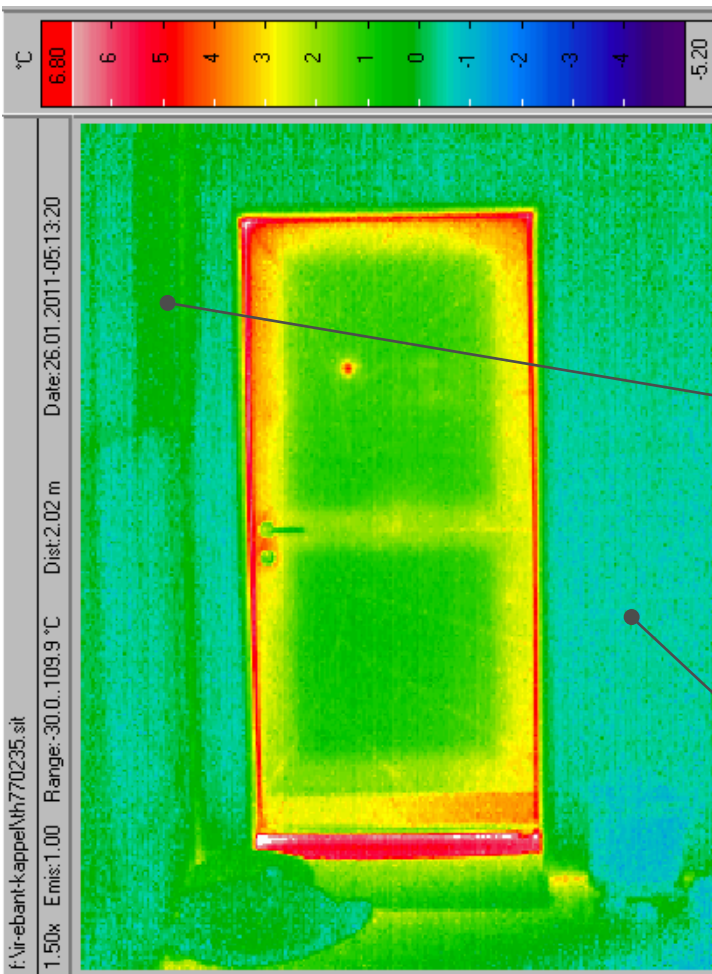
Aussenwand mit VIP
 Wärmere Oberfläche = belüftete Platte.
 Unterschiede gedämmt / ungedämmt siehe theCH-Dokumentation Kapitel 6.1

Wärmebrücke
 Erhebliche lokale Wärmeverluste.
 Weitere Infos siehe theCH-Dokumentation Kap. 3.1
 Text zu Bild Mitte



Aussenwand
 Alte, ungedämmte Aussenwand
 Weitere Infos siehe theCH-Dokumentation Kap. 6.1

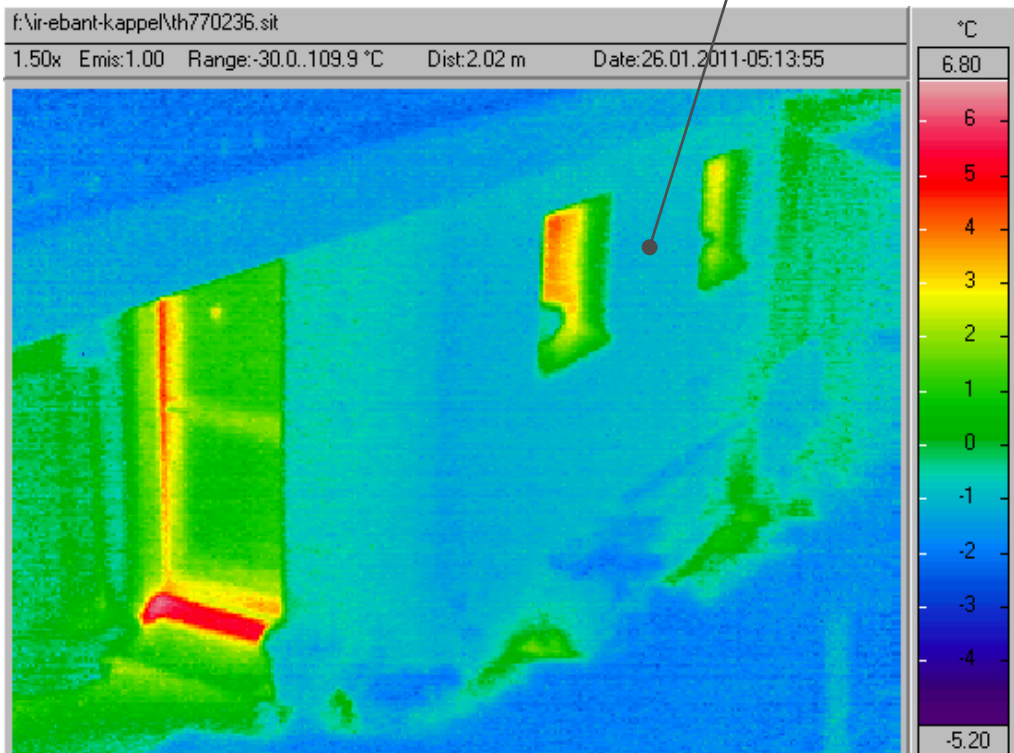
2011 IR-Bild 235 und 236: Hauseingang Nordseite



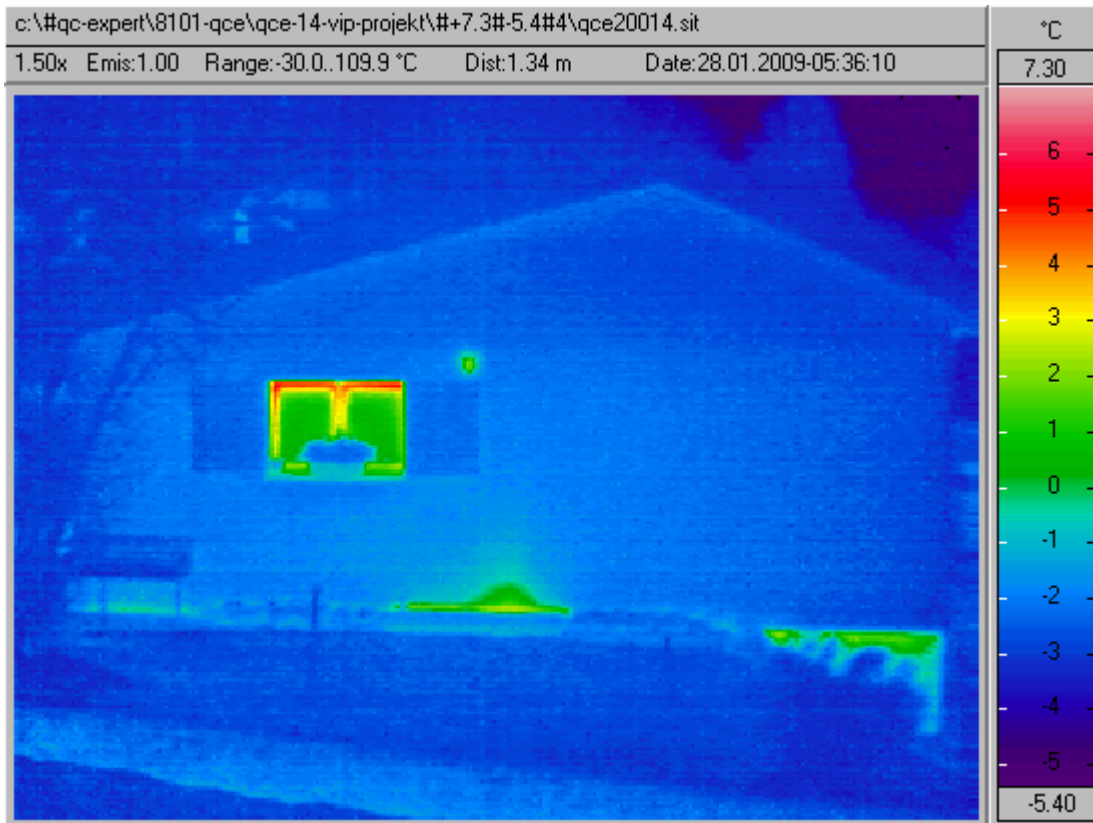
Hauseingang
 Mässige Wärmeverluste.
 Weitere Infos siehe theCH-Dokumentation Kap. 3

Aussenwand mit VIP analog 2009
 Wärmere Oberfläche = belüftete Platte.
 Unterschiede gedämmt / ungedämmt siehe theCH-Dokumentation Kapitel 6.1

Aussenwand
 Neu gegenüber 2009: Gedämmte Aussenwand. Erhebliche Reduktion der Wärmeverluste!
 Weitere Infos siehe theCH-Dokumentation Kap. 6.1



2009 IR-Bild 14: Westfassade

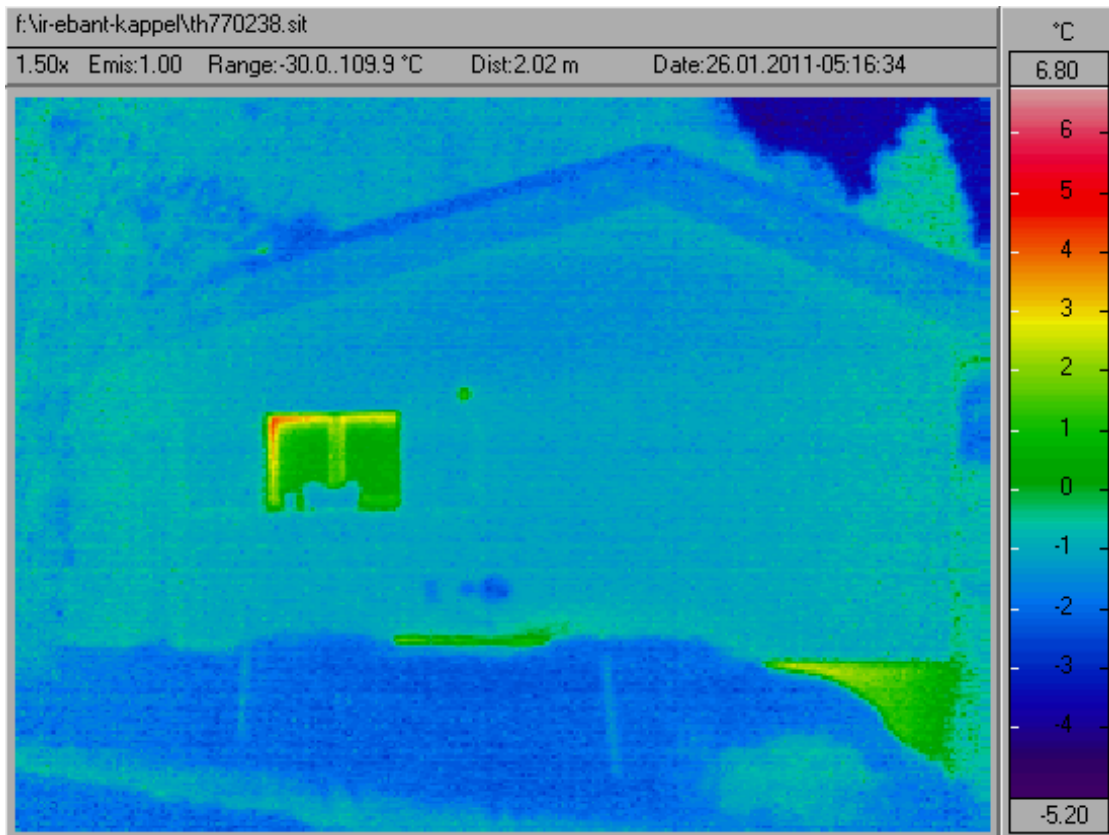


Aussenwand

Wenig Wärmeverluste. Aussenwärmedämmung mit 120 mm Steinwolle.

Weitere Infos siehe theCH-Dokumentation Kap. 6.1

2011 IR-Bild 238: Westfassade

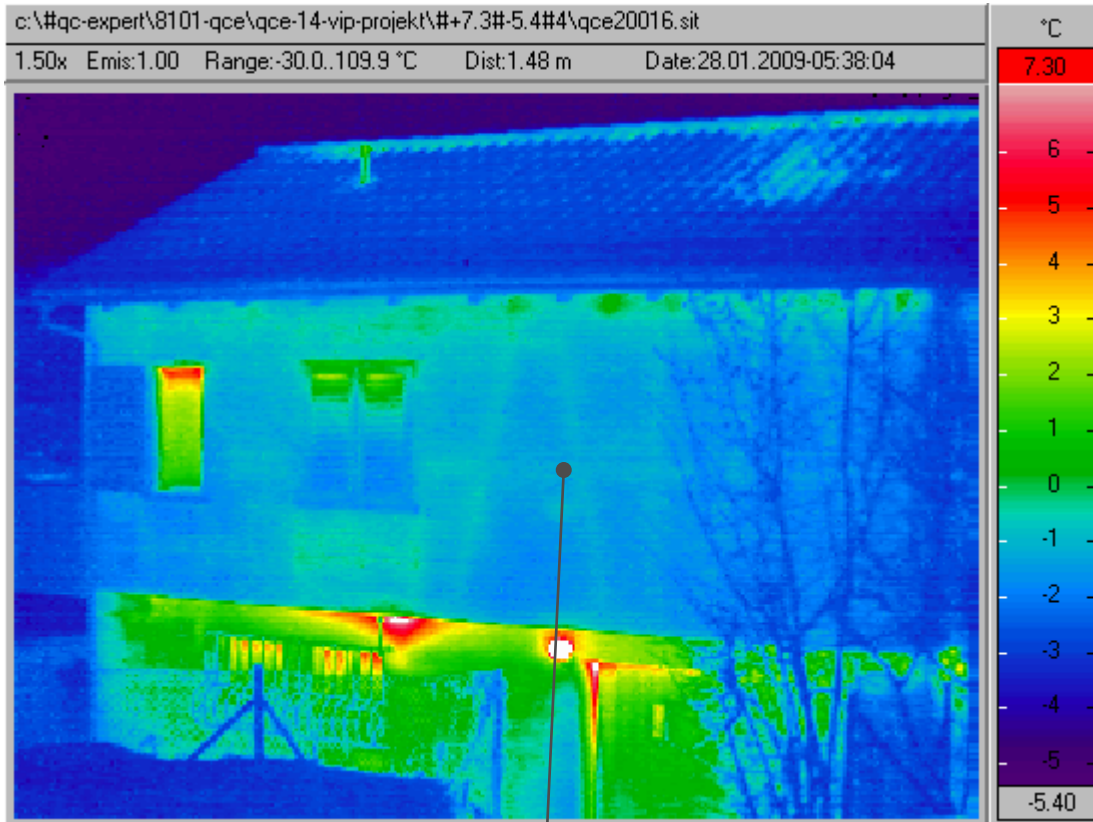


Aussenwand

Analog 2009 (links).

Weitere Infos siehe theCH-Dokumentation Kap. 6.1

2009 IR-Bild 16: Nachbarhaus, Nordfassade

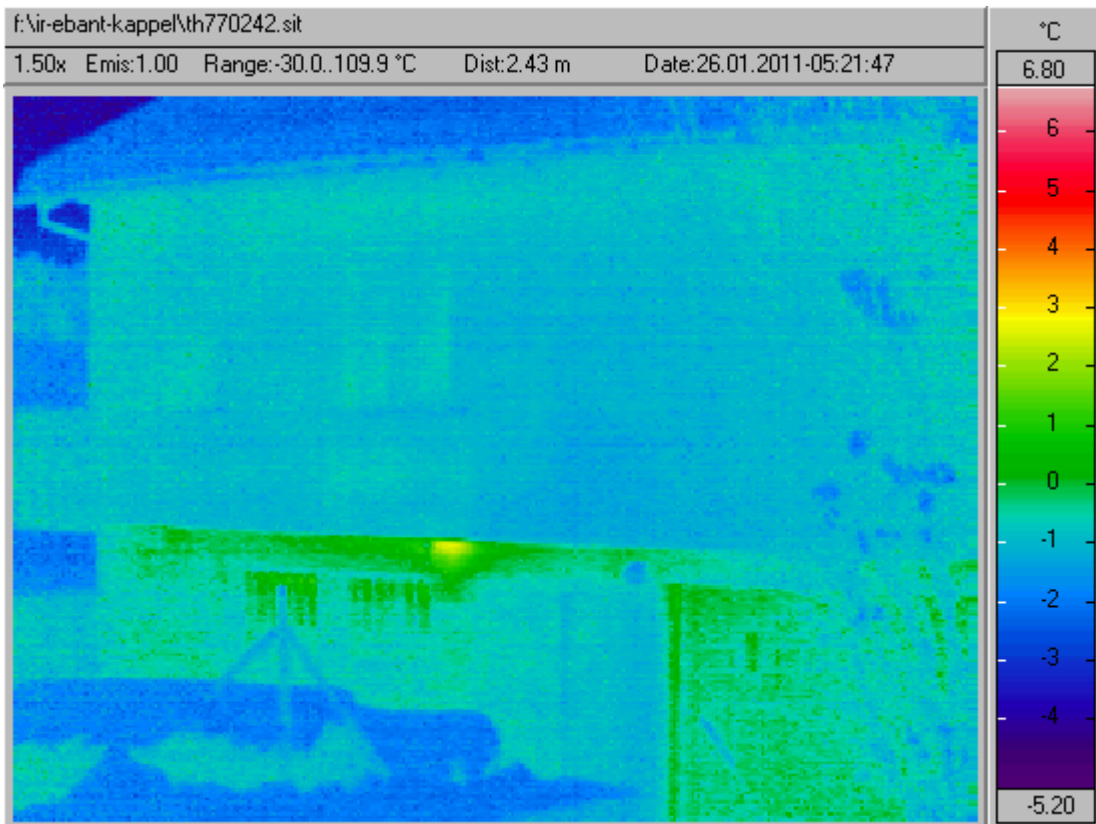


Zum Vergleich: Nachbarhaus südlich

Eternitfassade mit schwach erkennbaren Riegelstrukturen.

Weitere Infos siehe theCH-Dokumentation Kap. 6.3

2011 IR-Bild 242: Nachbarhaus, Nordfassade



Zum Vergleich: Nachbarhaus südlich

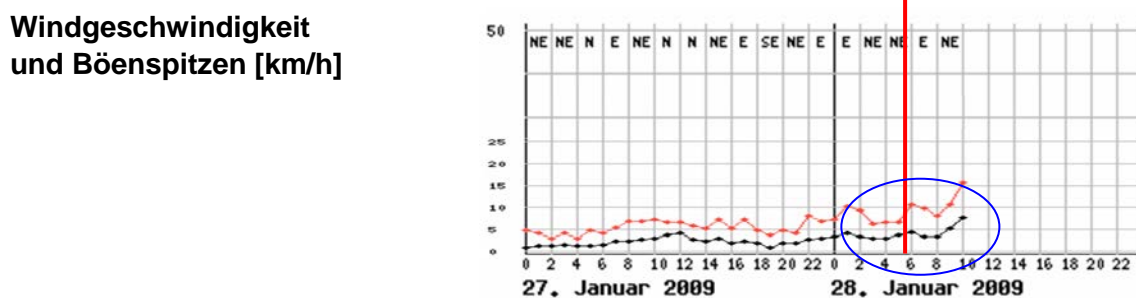
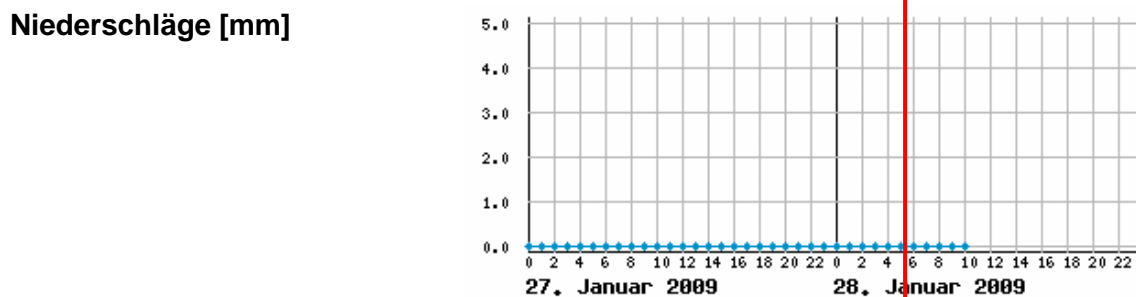
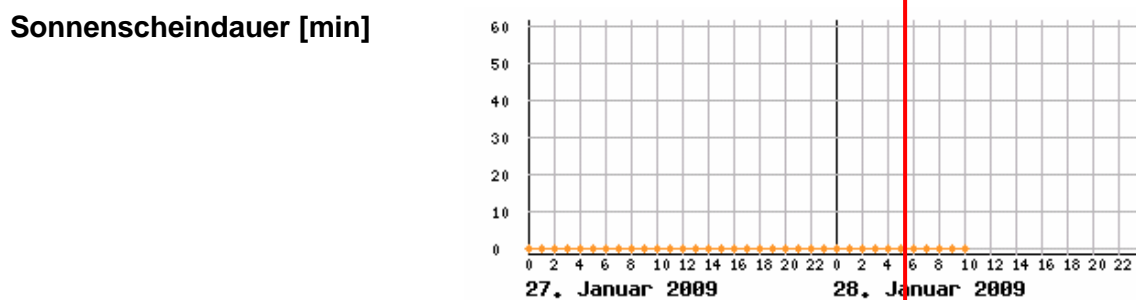
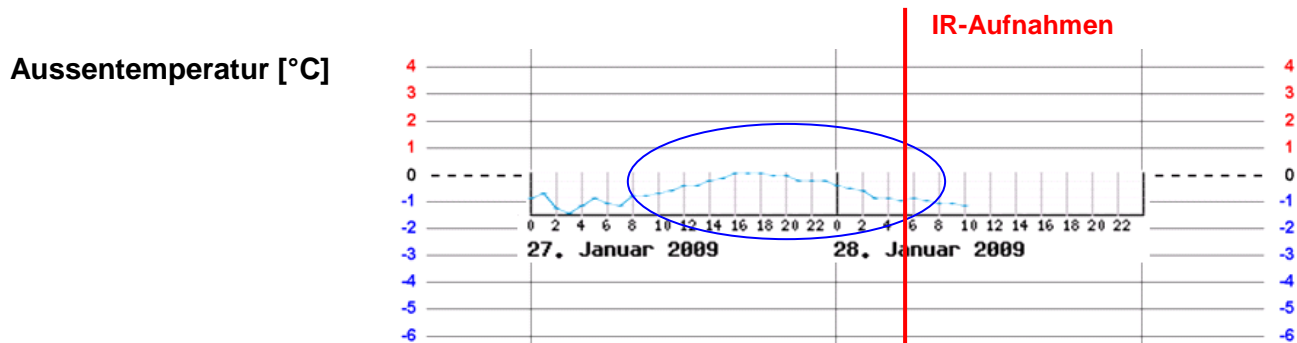
Situation 2011: Momentan wenig oder unbeheizt!
Leerstand wegen Bewohnerwechsel.

Weitere Infos siehe theCH-Dokumentation Kap. 12.3

7a Bedingungen für die IR-Aufnahmen 2009

24h-Entwicklung der Meteo-Daten bis zu den IR-Aufnahmen ab nächstgelegener Messstation:
Wädenswil, Stationshöhe: 463 m ü.M. *)

Quelle: <http://www.meteoschweiz.admin.ch/web/de/wetter.html>

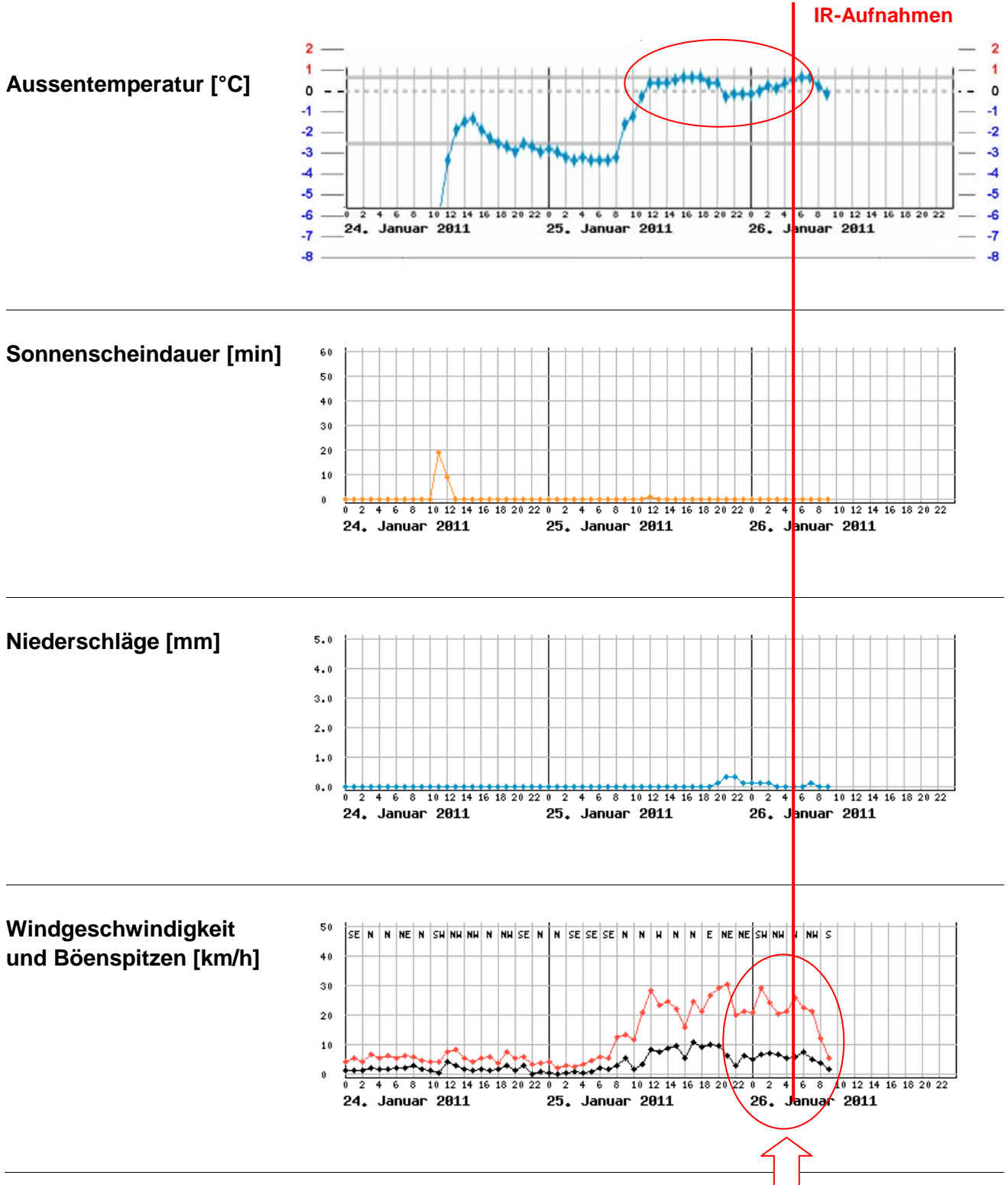


*) Achtung: 2009 gab es in Ebnet-Kappel noch keine automatische Wetterstation!

7a Bedingungen für die IR-Aufnahmen 2011

24h-Entwicklung der Meteo-Daten bis zu den IR-Aufnahmen ab nächstgelegener Messstation:
Ebnat-Kappel, Stationshöhe: 620 m ü.M.

Quelle: <http://www.meteoschweiz.admin.ch/web/de/wetter.html>



2011 herrschten höhere Windgeschwindigkeiten, was die Thermogramme beeinflusst.

Beobachtungen vor Ort, unmittelbar nach den IR-Aufnahmen (2011):

Datum, Zeit 26.01.2011 ca. 05.25 Uhr

Meteo:

IR-Aussenlufttemperatur	(Messung)	- 1.2 °C
IR-Hintergrundtemperatur	(Messung)	- 5.5°C (Mittelwert Himmel, 45 °)
Differenz IR-Luft - Hintergrund	(Berechnung)	ca. 4.3 K
Bewölkung	(Beobachtung)	8/8
Niederschläge	(Beobachtung)	leichter Schneefall
Windstärke	(Abschätzung)	bis 2 m/s

Bewertung der Temperaturentwicklung: sehr gut / gut / mässig / schlecht
Bewertung des Strahlungsaustausches: sehr gut / gut / mässig / schlecht
(Detaillierte Informationen zu den Meteo-Aufnahmebedingungen siehe Doku S. 55).

Umgebungsverhältnisse:

Zustand Dachflächen	(Beobachtung)	kein Schnee auf Dach
Zustand Wandoberflächen	(Beobachtung)	trocken
Besonderes		etwas zu viel Wind

Bewertung der Verhältnisse vor Ort: sehr gut / gut / mässig / schlecht

Anhang

Fotos vom Eigentümer (Martin Frei)



EFH Frei, West- und Südfassade



EFH Frei, Süd- und Ostfassade