

Studienarbeit

Der Heizleistungsbedarf als Beurteilungsgrösse für die energetische Qualität der Gebäudehülle

Bericht zuhanden der Konferenz Kantonaler Energiefachstellen (EnFK)

Auftraggeberin

Konferenz Kantonaler Energiefachstellen (EnFK)
vertreten durch AWEL, Abteilung Energie, 8090 Zürich

Auftragnehmerin

MINERGIE Agentur Bau, 4132 Muttenz

Verfasser und Bearbeitung

Heinrich Huber, Leiter MINERGIE Agentur Bau
Christoph Sibold
Pascal Lüscher

Schlussbericht

8. August 2014

Inhaltsverzeichnis

1	Ausgangslage und Auftrag	3
1.1	Ausgangslage	3
1.2	Auftrag	4
2	Grundlagen	4
2.1	Energie- und Leistungsbilanz von Gebäuden	4
3	Symbole, Begriffe und Masseinheiten	6
4	Berechnung der Heizleistung	7
4.1	Berechnungsmethoden	7
4.2	Berechnung der Heizleistung aus dem Heizwärmebedarf	8
4.3	Klimadaten	8
5	Vorgehen und Methode	9
5.1	Gebäude-Sample	9
5.2	Methode und Werkzeuge	9
5.3	Das MuKEEn-Tool (Version 2.11)	9
6	Daten für die Berechnung	10
6.1	Variation der Gebäudedaten	10
6.2	Basis Gebäudestandard	11
7	Heizwärmebedarf und Heizleistungsbedarf	12
7.1	Gebäudekategorie I. Mehrfamilienhaus	12
7.2	Gebäudekategorie II: Einfamilienhaus	14
7.3	Gebäudekategorie III. Verwaltung	15
7.4	Gebäudekategorie IV. Schulen	16
7.5	Gebäudekategorie V. Verkauf	17
7.6	Gebäudekategorie IX. Industrie	18
7.7	Gebäudekategorie X. Lager	19
8	Entwicklung der Bauteile der Gebäudehülle	20
9	Wärmebrücken	23
10	Lüftungssysteme	24
11	Grenzwerte für den Heizleistungsbedarf	28
11.1	Festlegung des Grenzwerts	28
11.2	Temperaturkorrektur für den Grenzwert	32
12	Beispielgebäude: Mehrfamilienhaus	33
12.1	Gebäude	33
12.2	Heizwärmebedarf und Heizleistungsbedarf des Gebäudes	33
12.3	Kritische Räume	35
12.4	Vergleich 1: Wohnzimmer	36
12.5	Vergleich 2: Bad	37
12.6	Heizleistungsbedarf und Vorlauftemperaturen	38
13	Leistung auf Stufe Endenergie	39
14	Schlussfolgerungen und Empfehlungen	42
14.1	Heizleistungsbedarf	42
14.2	Einfluss von Lüftungsanlagen	43
14.3	Elektrische Leistung	43
A1:	Heizleistung mit und ohne Wärmegewinne	45
A2:	Variation g-Werte	49
A3:	Heizwärme-, Heizleistungsbedarf: Ergänzungen	52
A4:	Wärmebrücken	54
A5:	Leistung auf Stufe Endenergie	56

1 Ausgangslage und Auftrag

1.1 Ausgangslage

Im Rahmen der Vernehmlassung der Revision SIA 380/1 hatte die EnFK im Herbst 2013 eine Studie über die Auswirkung der geplanten Änderungen der Norm erarbeiten lassen. Eine wesentliche Erkenntnis aus dieser Arbeit ist, dass die SIA 380/1 nicht mehr als zuverlässiges Steuerinstrument für die energetische Qualität der Gebäudehülle geeignet ist. Dies traf zum Teil schon auf die Version 2009 zu, hat sich aber mit der geplanten Revision deutlich verschärft.

Problematik des Heizwärmebedarfs nach SIA 380/1

Der Heizwärmebedarf Q_h (in kWh/m²) wird berechnet mit:

$$Q_h = Q_T + Q_V - \eta_g \cdot (Q_i + Q_s)$$

wobei:

Q_T Transmissionswärmeverluste, in kWh/m²

Q_V Lüftungswärmeverluste, in kWh/m²

η_g Ausnutzungsgrad für Wärmeeinträge

Q_i interne Wärmegewinne, in kWh/m²

Q_s Solare Wärmegewinne, in kWh/m²

Der Heizwärmebedarf ist also die Differenz des Verlust-Terms $Q_T + Q_V$ und des Gewinn-Terms $\eta_g \cdot (Q_i + Q_s)$. Der Grenzwert ist unterdessen so tief, dass der Heizwärmebedarf oft um den Faktor drei bis vier kleiner ist als der Verlust-Term. Mathematisch führt dies zunehmend zu einem Problem der Differenz von grossen Zahlen. Die Berechnung beruht auf diversen Annahmen, deren Unsicherheit im Bereich des berechneten Heizwärmebedarfs liegt. Auf der Verlustseite können die Transmissionswärmeverluste zwar noch recht zuverlässig berechnet werden, die Lüftungswärmeverluste können aber je nach Benutzerverhalten (und bei der neuen SIA 380/1 je nach Lüftungssystem) um den Faktor drei oder mehr variieren. Die Gewinnseite basiert bei den internen Wärmegewinnen rein auf einer angenommenen Standardnutzung. Die Berechnung der Solargewinne setzt ebenfalls ein angenommenes Benutzerverhalten voraus und basiert zudem auf Grössen (Verschattungsfaktoren, Rahmenanteil), die in der Praxis vereinfacht und mit einer relativ hohen rechnerischen Unsicherheit erhoben werden.

Die Prognose des mutmasslichen Heizwärmebedarfs wird durch Lüftungsverluste und -gewinne mindestens so stark beeinflusst wie durch die Transmissionswärmeverluste. Oder anders gesagt: Strenge Anforderungen an den Heizwärmebedarf führen nicht zwingend zu Bauteilen mit tiefen U -Werten.

Leistungs- statt Energieanforderung?

Eine gute, einfach überprüfbare thermische Qualität der Gebäudehülle ist ein wesentlicher Bestandteil der kantonalen Energievorschriften. Wenn das Instrument der SIA 380/1 in der aktuellen Form nicht mehr geeignet ist, sollen andere Verfahren geprüft werden. Ein möglicher Ansatz stellt die Anforderung an eine Leistung dar. Der Ansatz hat folgende Vorteile:

- Am Dimensionierungstag sind die Wärmegewinne fast null, oder mindestens deutlich tiefer als die Wärmeverluste. Das Problem einer Differenz von zwei grossen Zahlen ist damit gelöst.
- Die Berechnung des Heizleistungsbedarfs muss für eine korrekte Dimensionierung der Heizungsanlage ohnehin geleistet werden. Wenn eine solche Berechnung für den Energienachweis gefordert würde, könnte dies die Qualität der Heizungsplanungen erhöhen, was sich auch energetisch positiv auswirkt.

1.2 Auftrag

Die EnFK hat die Minergie Agentur Bau beauftragt zu untersuchen, ob ein Leistungskriterium eine zuverlässige Methode ist, um die von den Kantonen angestrebte energetische Qualität der Gebäudehülle zu erreichen.

Die Datengrundlage für die Untersuchung bilden 300 Gebäude, die bereits bei der Studie zur SIA 380/1 (Herbst 2013) verwendet wurden.

2 Grundlagen

2.1 Energie- und Leistungsbilanz von Gebäuden

In diesem Abschnitt werden beispielhaft zwei Wärmeschutzkonzepte von Wohngebäuden diskutiert. Es wird davon ausgegangen, dass in beiden Fällen der gleiche Heizwärmebedarf vorhanden ist.

Die Daten sind typisch für ein mittleres Mehrfamilienhaus im schweizerischen Mittelland, das voraussichtlich die Anforderungen der MuKEn 2014 erfüllt¹.

Beschrieb der Konzepte

Gewinnmaximierung

Die Wärmedämmung ist moderat. In einem Systemnachweis SIA 380/1 werden die U-Werte der opaken Bauteile mit ca. $0.20 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ und die der Fenster mit $1.0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ eingesetzt.

Dafür werden die Solargewinne maximiert, indem möglichst grosse Südfenster mit hohen g-Werten (0.6) und Verschattungsfaktoren (0.9) geplant werden.

Tiefe U-Werte

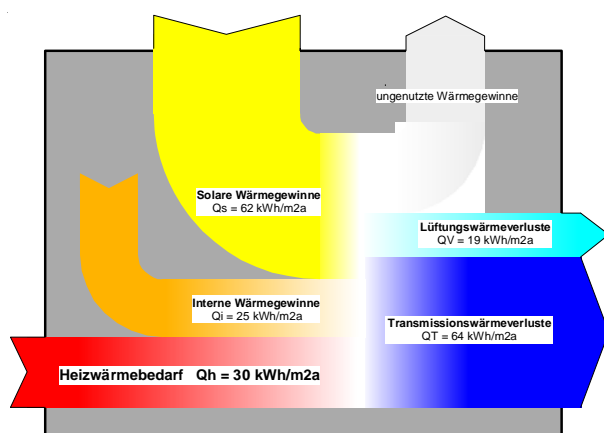
Die U-Werte der Gebäudehülle sind deutlich besser als die Einzelbauteilanforderungen der MuKEn 2014.

Die Solargewinne sind moderat eingesetzt, wie sie bei Ost-/West-Ausrichtung typisch sind. Der g-Wert (0.45) ist typisch für heutige Fenster. Der Verschattungsfaktor (0,7) ist realistisch für neue Mehrfamilienhaussiedlungen.

Heizwärmebedarf SIA 380/1

Die folgende Abbildung zeigt das Energieflussdiagramm des Heizwärmebedarfs nach SIA 380/1 für die beiden Konzepte.

Gewinnmaximierung



Tiefe U-Werte

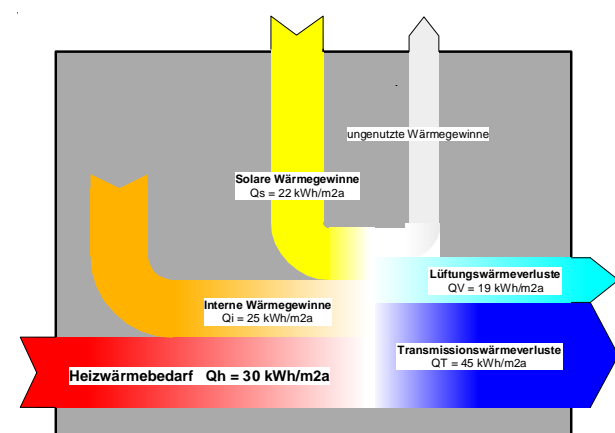


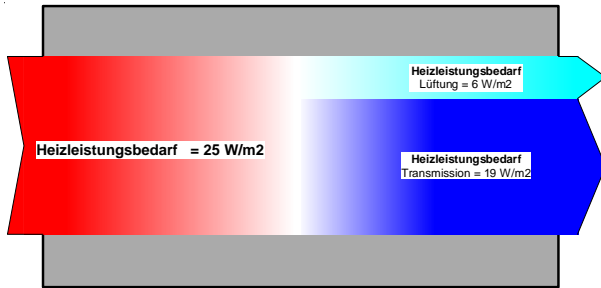
Abbildung 1: Energieflussdiagramme Heizwärmebedarf

¹ Gemäss Vernehmlassung der MuKEn 2014 vom Mai 2014 wird davon ausgegangen, dass der Heizwärmebedarf Q_h bei 85% des Grenzwertes der SIA 380/1:2009 liegt. Gebäudehüllzahl des Beispiels $A_{th}/A_E = \text{ca. } 1,7$

Heizleistungsbedarf

Der Heizleistungsbedarf versteht sich hier als die Summe der Wärmeverluste bei einer Aussentemperatur von -8°C , abzüglich der mittleren internen Wärmegewinne. Solargewinne werden hier nicht berücksichtigt. Dies entspricht dem Ansatz der Bin-Methode der SIA 384/3.

Gewinnmaximierung



Tiefe U-Werte

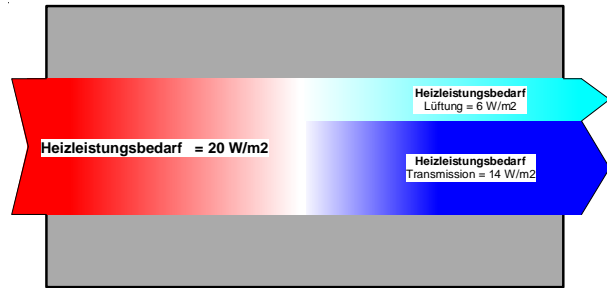


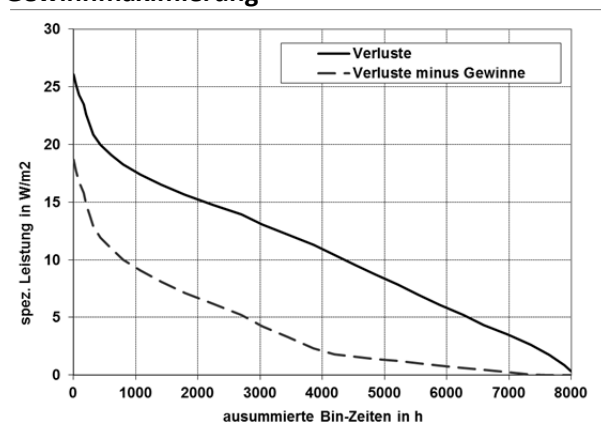
Abbildung 2: Heizleistungsbedarf im Dimensionierungsfall

Abbildung 2 zeigt, dass trotz gleichem Heizwärmebedarf, der Heizleistungsbedarf beim Konzept "Gewinnmaximierung" deutlich grösser ist als beim Konzept "Tiefe U-Werte". Im Gegensatz zum Heizwärmebedarf ist der Heizleistungsbedarf primär von der thermischen Qualität der Gebäudehülle, das heisst den U-Werten, abhängig.

Summenhäufigkeitsdiagramm Heizleistungsbedarf

Im Summenhäufigkeitsdiagramm können sowohl der Heizleistungsbedarf wie auch der Heizwärmebedarf dargestellt werden. Der Heizleistungsbedarf von Abbildung 3 entspricht der Leistung bei Stunde null. Der Heizwärmebedarf entspricht der Fläche unter der Kurve des mittleren Heizleistungsbedarfs. Beim mittleren Heizleistungsbedarf sind die Solargewinne eingerechnet.

Gewinnmaximierung



Tiefe U-Werte

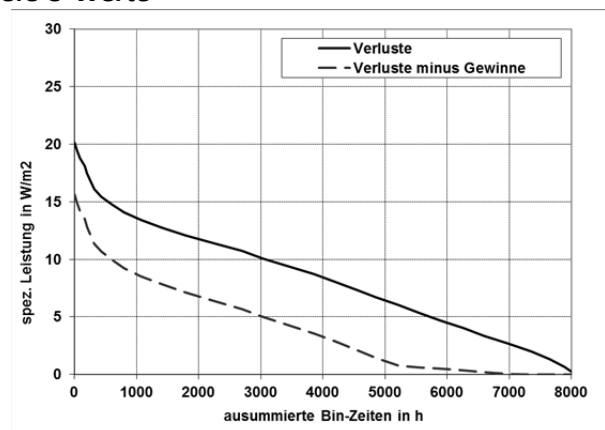


Abbildung 3: Summenhäufigkeitsdiagramme Energie und Wärmeerzeugerleistung

Der Vergleich zeigt den grossen Spielraum des heutigen Systemnachweises der SIA 380/1. Ein tiefer Heizwärmebedarf muss dabei nicht unbedingt eine Folge von tiefen U-Werten sein, sondern kann auch durch hohe Solargewinne erzielt werden.

3 Symbole, Begriffe und Masseinheiten

Q_h	Heizwärmebedarf (SIA 380/1, 2009)	[kWh/m ² a]
$Q_{h,li}$	Grenzwert Heizwärmebedarf (MuKE n 2014)	[kWh/m ² a]
Φ_{HL}	Heizleistungsbedarf	[W/m²]
H_T	Wärmeverlustkoeffizient Transmission	[W/K]
H_V	Wärmeverlustkoeffizient Lüftung	[W/K]
U	Wärmedurchgangskoeffizient (ausssen, unbeheizt, Erdreich)	[W/m ² K]
A	Fläche eines Bauteils der Gebäudehülle	[m ²]
b	Reduktionsfaktor gegen unbeheizt/Erdreich	[-]
Ψ	Linearer Wärmedurchgangskoeffizient	[W/mK]
l	Länge der linearen Wärmebrücke	[m]
\dot{V}	Aussenluftvolumenstrom, bezogen auf Energiebezugsfläche	[m ³ /m ² h]
ρ	Dichte der Luft	[kg/m ³]
c	Wärmespeicherfähigkeit der Luft	[Wh/m ³ K]
θ_i	Innentemperatur	[°C]
θ_e	Aussentemperatur	[°C]
A_E	Energiebezugsfläche (EBF)	[m ²]

4 Berechnung der Heizleistung

4.1 Berechnungsmethoden

Die folgenden SIA-Normen und die Leistungsberechnung für den Minergie-P-Standard beschreiben verschiedene Methoden der Berechnung der Heizleistung.

SIA 384.201, Ausgabe 2005 (SN EN 12831, 2003)

Heizungsanlagen in Gebäuden - Verfahren zur Berechnung der Normheizlast

Die Norm-Heizlast wird pro Raum berechnet aus den Norm-Wärmeverlusten (Transmission und Lüftung) plus der Aufheizleistung. Die Summierung aller beheizten Räume ergibt die Norm-Heizlast für das ganze Gebäude. Das Resultat dient der Auslegung des Wärmetauschers bzw. des Wärmeerzeugers

Resultat der Berechnung:

Φ_{HL}	Norm-Heizlast	[kW]
-------------	----------------------	--------

SIA 384.3, Ausgabe 2013

Heizungsanlagen in Gebäuden - Energiebedarf

Die Heizleistung wird aus dem Heizwärmebedarf mit der Bin-Methode (Summenhäufigkeitsmethode) berechnet. Dabei wird die Summenhäufigkeitskurve des Heizwärmebedarfs in Temperaturklassen (Bins) eingeteilt. Unter der Annahme, dass innerhalb eines Bins die Bedingungen (Aussenlufttemperatur, Heizwärmeleistung, Vor- und Rücklauftemperaturen) konstant sind, kann so für eine bestimmte Temperaturdifferenz innen-aussen die Heizleistung bestimmt werden.

Resultat der Berechnung:

Φ_H	Heizwärmeleistung	[kW]
----------	--------------------------	--------

Die Hauptaufgabe der Norm SIA 384.3 ist die Ermittlung des Endenergiebedarfs bei Heizungsanlagen mittels eines statischen Verfahrens.

Diese Methode kann nicht für die Bestimmung des Norm-Heizleistungsbedarfs oder zur Dimensionierung der Wärmeerzeugerleistung verwendet werden.

Leistungsberechnung für den Minergie-P-Standard

Für den Nachweis des MINERGIE-P-Standards wird eine Leistungsberechnung verlangt. Auf der Basis dieser Berechnung ermittelt das MuKEN-Tool eine Heizleistung aus Transmissions- und Lüftungswärmeverlusten und bezieht Anteile von internen und solaren Wärmegewinnen mit ein. Die Strahlungsdaten werden aus dem Merkblatt SIA 2028 übernommen.

Resultat der Berechnung:

Φ_{ME-P}	Wärmeleistung	[W/m ²]
---------------	----------------------	----------------------

Ergänzungen zu den Berechnungsmethoden und Leistungsberechnungen mit und ohne Wärmegewinne sind im Anhang A1 zu finden.

Es folgt die Beschreibung der für die weiteren Analysen gewählten Methode:

4.2 Berechnung der Heizleistung aus dem Heizwärmebedarf

In dieser Untersuchung wird als Beurteilungsgrösse der Heizleistungsbedarf aus den Eingabedaten für die Berechnung des Heizwärmebedarfs gemäss SIA 380/1:2009 Thermische Energie im Hochbau ermittelt. Es werden Transmissionsverluste und Lüftungswärmeverluste erfasst. Alle Parameter für die Berechnung sind unverändert aus der SIA380/1-Berechnung übernommen. In Anlehnung an die Bezeichnung "Heizwärmebedarf Qh" auf Nutzenergiestufe wird hier die Leistung mit "Heizleistungsbedarf" bezeichnet.

Φ_{HL}	Heizleistungsbedarf	[W/m²]
-------------	----------------------------	----------------------------

Transmissionswärmeverluste

$$H_T = \sum U \times A + \sum U \times A \times b + \sum \Psi \times l \quad [W/K]$$

Lüftungswärmeverluste

$$H_V = \dot{V} \left[\frac{m^3}{m^2 h} \right] \times \rho \left[\frac{kg}{m^3} \right] \times c \left[\frac{Wh}{m^3 h} \right] \quad [W/K]$$

Heizleistungsbedarf

Zur Berechnung des Heizleistungsbedarfs werden die Verlustkoeffizienten mit der Temperaturdifferenz zwischen Innen- und Aussenraum multipliziert und auf die Energiebezugsfläche A_E bezogen

$$\Phi_{HL} = \frac{(H_T + H_V) \times (\theta_i - \theta_e)}{A_E} \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

4.3 Klimadaten

Die relevanten Parameter für die Definition des Klimas sind aus dem Merkblatt SIA 2028 entnommen. Diese Daten wurden auch in die Berechnung mit dem MuKE-Tool eingesetzt.

Raumtemperatur

Die Raumtemperatur θ_i wird für alle Gebäude aus der Standardnutzung gemäss SIA 380/1 übernommen.

Klimadaten

Die Klimadaten (Aussentemperatur) werden gemäss Merkblatt SIA 2028 eingesetzt.

Berechnung der Wärmeverluste

Der Wärmeleistungsbedarf Φ_{HL} wird berechnet mit der Norm-Aussentemperatur gemäss SIA 2028 (tiefstes 4-Tages Mittel der Aussentemperatur der letzten 20 Kalenderjahre). In Abhängigkeit der spezifischen Wärmekapazität des Gebäudes erfolgt eine Absenkung der Aussentemperatur um bis maximal 3K.

5 Vorgehen und Methode

5.1 Gebäude-Sample

Die Untersuchungen werden an 300 realisierten Bauten durchgeführt. Typen, Alter und energetische Qualität der Gebäude sind in den Berichten zu den früheren Auswertungen im Zusammenhang mit dem Entwurf der neuen Norm SIA 380/1 beschrieben. Die folgende Tabelle zeigt Anzahl und Summe der Energiebezugsflächen der betrachteten Gebäude.

Gebäudekategorie gemäss SIA 380/1	Anzahl	EBF in m ²
I Wohnen Mehrfamilienhaus	74	216'849
II Wohnen Einfamilienhaus	73	18'817
III Verwaltung	59	253'826
IV Schulen	8	66'065
V Verkauf	27	156'376
VI Restaurants	1	5776
IX Industrie	39	83'402
X Lager	18	69'754
XI Sportbauten	1	6401
Total	300	877'266

Tabelle 1: Übersicht Gebäudesample 300 Gebäude

5.2 Methode und Werkzeuge

Die Basis für diese Analyse bildet die Berechnung der Energiebilanz der 300 Gebäude.

5.3 Das MuKE-Tool (Version 2.11)

Das MuKE-Tool liegt in der Version 2.11 vor. Es ermöglicht die gleichzeitige Berechnung einer Gebäudeauswahl oder aller 300 Gebäude und liefert die Berechnungsergebnisse für Heizwärmebedarf, Heizleistungsbedarf und Endenergiewerte.

Die Berechnungsmethoden werden aus folgenden Normen übernommen:

- SIA 380/1:2009 Thermische Energie im Hochbau (Berechnung Heizwärmebedarf Q_h)
- SIA 384.201:2005 Heizungsanlagen in Gebäuden - Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast
- SIA 384.3:2013 Heizungsanlagen in Gebäuden - Energiebedarf

Für die Berechnung der Heizlast mit solarem Wärmegewinn wird die Methode aus SIA 384.201 mit der Berechnung der spezifischen Heizleistung für MINERGIE-P-Bauten kombiniert.

6 Daten für die Berechnung

6.1 Variation der Gebäudedaten

Die für die Energiebilanz relevanten Parameter der 300 Gebäude stehen als "Originaldaten" (wie gebaut) im MuKEN-Tool zur Verfügung. Um die Vergleichbarkeit der Resultate zu gewährleisten und um Auswirkungen von Massnahmen am Gebäude zuverlässig abzubilden, können verschiedene Parameter für eine Gebäudeauswahl angepasst und die Systemnachweise erstellt werden. Das folgende Bild aus dem MuKEN-Tool zeigt die Variationsmöglichkeiten. Insbesondere können die U-Werte der Einzelbauteile, die g-Werte der Gläser, der Wärmerückgewinnungsgrad einer Lüftungsanlage und Nutzungsgrade verschiedener Wärmeerzeuger variiert werden.

2. Änderung von Daten der ausgewählten Gebäude, Eingabe Haustechnik sowie weitere Eingaben

Klimastation: Gebäudekategorie:

U- und g-Werte:

Bauteil:	Bauteil gegen:	U-Werte: Aussenklima oder < 2 m im Erdreich	U-Werte unbeheizte Räume oder >= 2 m im Erdreich	g-Werte
opake Bauteile (Decke, Wand, Boden)	<input checked="" type="checkbox"/>	0.17	<input checked="" type="checkbox"/> 0.22	
opake Bauteile mit Flächenheizungen	<input checked="" type="checkbox"/>	0.17	<input checked="" type="checkbox"/> 0.22	
Fenster, Fenstertüren und Türen	<input checked="" type="checkbox"/>	1.00	<input checked="" type="checkbox"/> 1.30	<input checked="" type="checkbox"/> 0.45
Fenster mit vorgelagerten Heizkörpern	<input checked="" type="checkbox"/>	1.00		<input checked="" type="checkbox"/> 0.45
Tore (Türen grösser als 6 m ²)	<input checked="" type="checkbox"/>	1.20		<input checked="" type="checkbox"/> 0.45
Storenkasten	<input checked="" type="checkbox"/>	0.50		

Wärmeerzeugung:

Wärmeerzeugungsart	Nutzungsgrad (η , JAZ) [-]	Deckungsgrad [%]	
		Heizung	Warmwasser
Wärmepumpe Heizung	2.70	100	
Wärmepumpe Warmwasser	2.20		100
Holz	0.85		
Öl/Gas	0.92		
Fernwärme	1		
Elektrisch direkt	1		
Solar thermisch	1		
Kontrollsumme:		100	100

Lüftung:

WRG Wirkungsgrad [-]	<input type="text" value="0%"/>	(Falls keine Lüftung: Null eingeben!)
Stromverbrauch höchste Stufe [W/m ² _{EBF}]	<input type="text" value="0.5"/>	

Abbildung 4: MuKEN-Tool 2.11: Blatt Grenzwert-Untersuchung: Eingabemaske zur Anpassung der Berechnungsparameter

6.2 Basis Gebäudestandard

Als Vergleichsbasis wird ein energetischer Basis-Standard für alle Gebäudekategorien definiert: Dieses Standardgebäude hat U-Werte gemäss Einzelbauteilanforderungen der MuKE n 2014, es steht im Klima Zürich MeteoSchweiz, und es ist keine Lüftungsanlage vorhanden (WRG = 0%). Für die Betrachtung des Endenergiebedarfs wird bei Wärmepumpen mit mittleren COP für Heizung und Warmwasser bei Auslegungstemperatur gerechnet. Wenn nicht anders erwähnt, werden die Standardnutzungsdaten gemäss SIA 380/1, 2009 der jeweiligen Gebäudekategorie eingesetzt.

Gebäudekategorie		I. Wohnen MFH	
Klimastation		Zürich MeteoSchweiz	
U-Werte		MuKE n 2014	
opake Bauteile	Aussenluft	0.17	W/m ² K
	unbeheizt / Erdreich	0.25	W/m ² K
Fenster	U-Wert U _w	1.00	W/m ² K
	g-Wert		0.45
Lüftung	Standardluftwechsel	WRG	0%
Heizung	Wärmepumpe Luft/Wasser	COP Heiz	2.70
Warmwasser	Wärmepumpe Luft/Wasser	COP WW	2.20

Abbildung 5: Daten Standardgebäude

7 Heizwärmebedarf und Heizleistungsbedarf

In erster Näherung werden Heizwärmebedarf und Heizleistungsbedarf der Gebäudekategorien einander gegenübergestellt. Folgende Daten wurden in die Berechnung eingesetzt:

Gebäudekategorien		I.	II.	III.	IV.	V.	IX.	X.
Klimastation		Zürich MeteoSchweiz						
U-Werte		MuKE n 2014						
opake Bauteile	Aussenluft	0.17	W/m ² K					
	unbeheizt / Erdreich	0.25	W/m ² K					
Fenster	U-Wert U _w	1.00	W/m ² K					
	g-Wert	0.45						
Lüftung	Standardluftwechsel	WRG	0%					

7.1 Gebäudekategorie I. Mehrfamilienhaus

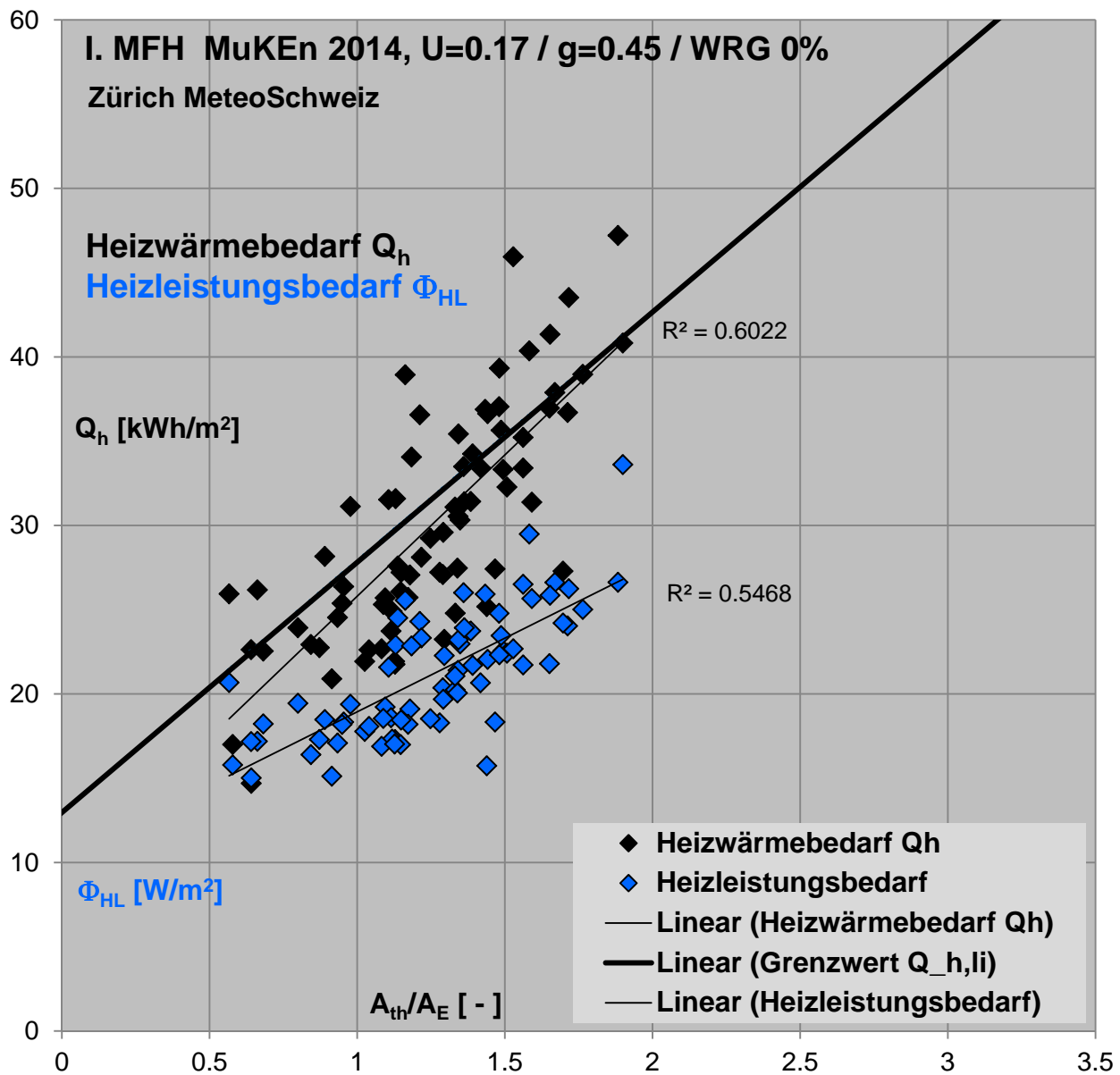


Abbildung 6: Kategorie I. Mehrfamilienhaus: Berechnung Heizwärmebedarf SIA 380/1 / Heizleistungsbedarf SIA 384.201 und Grenzwert $Q_{h,li}$. Datenbasis: 74 MFH, MuKE n 2014, Klimastation Zürich MeteoSchweiz

Heizwärmebedarf

Der resultierende Heizwärmebedarf der Gebäude mit Einzelanforderungen an die Bauteile gemäss der neuen MuKE 2014 zeigt eine grosse Streuung. Neben der starken Abhängigkeit von der Gebäudehüllzahl bewirken die berechneten Energiegewinne eine starke Varianz der Resultate. Während die internen Gewinne Elektrizitätsanwendung und Personen die Resultate mit konstanten Werten nach unten korrigieren, wirken sich die solaren Wärmegegewinne sehr unterschiedlich auf das Resultat aus. Verschiedene, zum Zeitpunkt der Berechnung oft unbekannte Faktoren beeinflussen das Resultat: Detailkonstruktionen (Wärmebrücken), Materialeigenschaften (g-Werte der Gläser), Berechnungsannahmen (Verschattungsfaktoren) und Haustechnikanlagen (Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung). Sie lassen einen Handlungsspielraum bei der Dateneingabe und bieten eine von den U-Werten unabhängige, rechnerische Optimierungsmöglichkeit. Damit ist die Abhängigkeit des Heizwärmebedarfs von der effektiven Gebäudehüllenqualität nur teilweise gegeben.

Heizleistungsbedarf

Der Heizleistungsbedarf berücksichtigt im einfachen Fall nur Transmissions- und Lüftungswärmeverluste. Damit ist die Abhängigkeit von den U-Werten deutlich stärker als beim Heizwärmebedarf. Es ist nicht möglich, eine "schlechte" Gebäudehülle mit hohen U-Werten durch Einflussfaktoren bei den Energiegewinnen zu kompensieren.

Der Heizleistungsbedarf zeigt einerseits die Qualität eines Gebäudes an einem kalten Wintertag und dürfte so näher an den Dimensionierungswerten der Wärmeabgabe eines Gebäudes liegen, andererseits bleibt aber eine wichtige Qualität der Gebäudehülle unbeachtet: Die passivsolare Wärmenutzung. Energierrelevante Qualitäten der Architektur (Situation, Ausrichtung des Gebäudes zur Sonne, Gebäudegeometrie, Fensteranordnung, usw.) haben keinen Einfluss auf die Erfüllung der Anforderungen.

7.2 Gebäudekategorie II: Einfamilienhaus

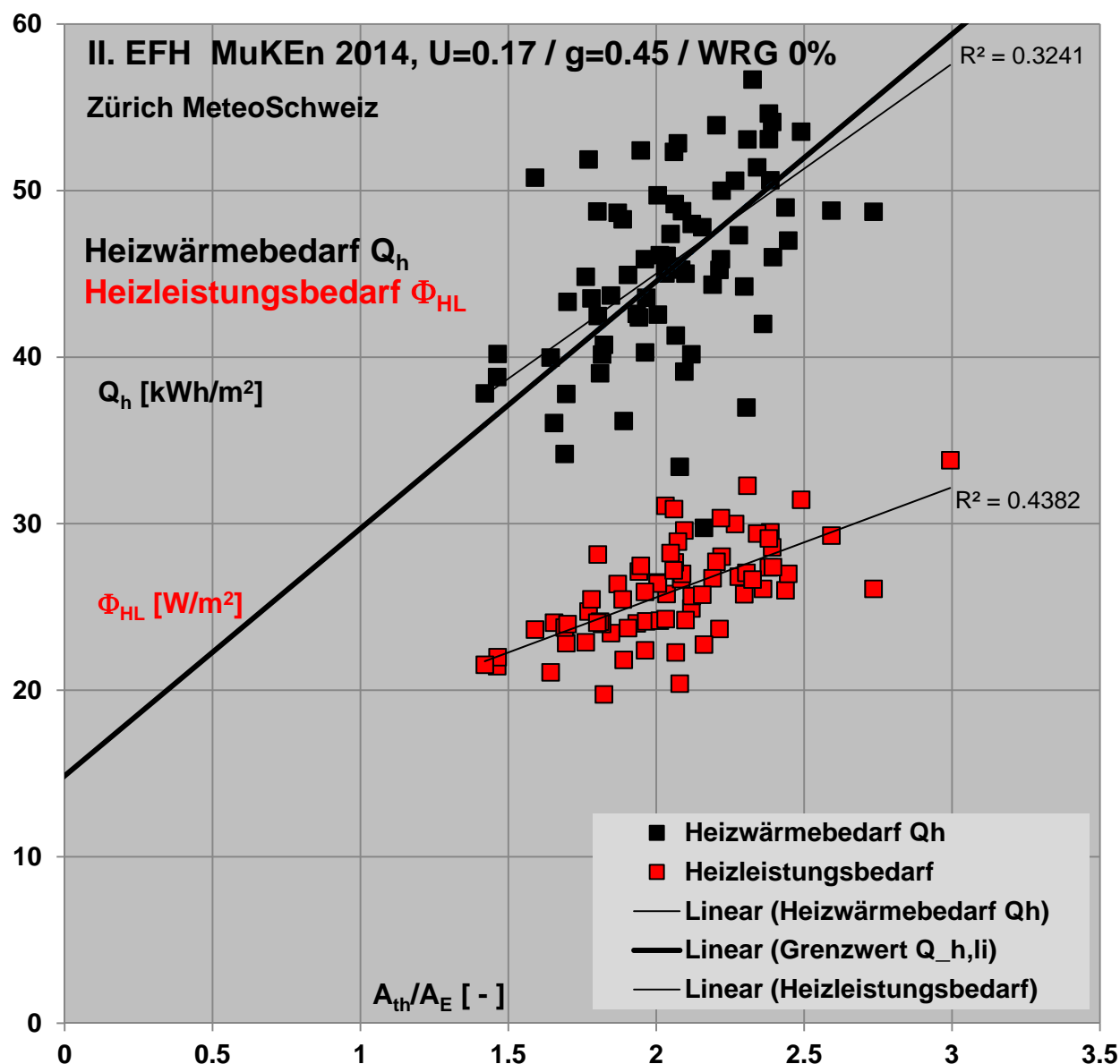


Abbildung 7: Kategorie II. Einfamilienhaus: Berechnung Heizwärmebedarf SIA 380/1 / Heizleistungsbedarf SIA 384.201 und Grenzwert $Q_{h,li}$.
Datenbasis: 73 Einfamilienhäuser, MuKE n 2014, Klimastation Zürich MeteoSchweiz

Der Unterschied zwischen Heizwärmebedarf und Heizleistungsbedarf ist bei den Einfamilienhäusern gut erkennbar. Der Streubereich ist bei der Leistung ohne Berücksichtigung der Wärmegewinne deutlich kleiner als beim Heizwärmebedarf.

7.3 Gebäudekategorie III. Verwaltung

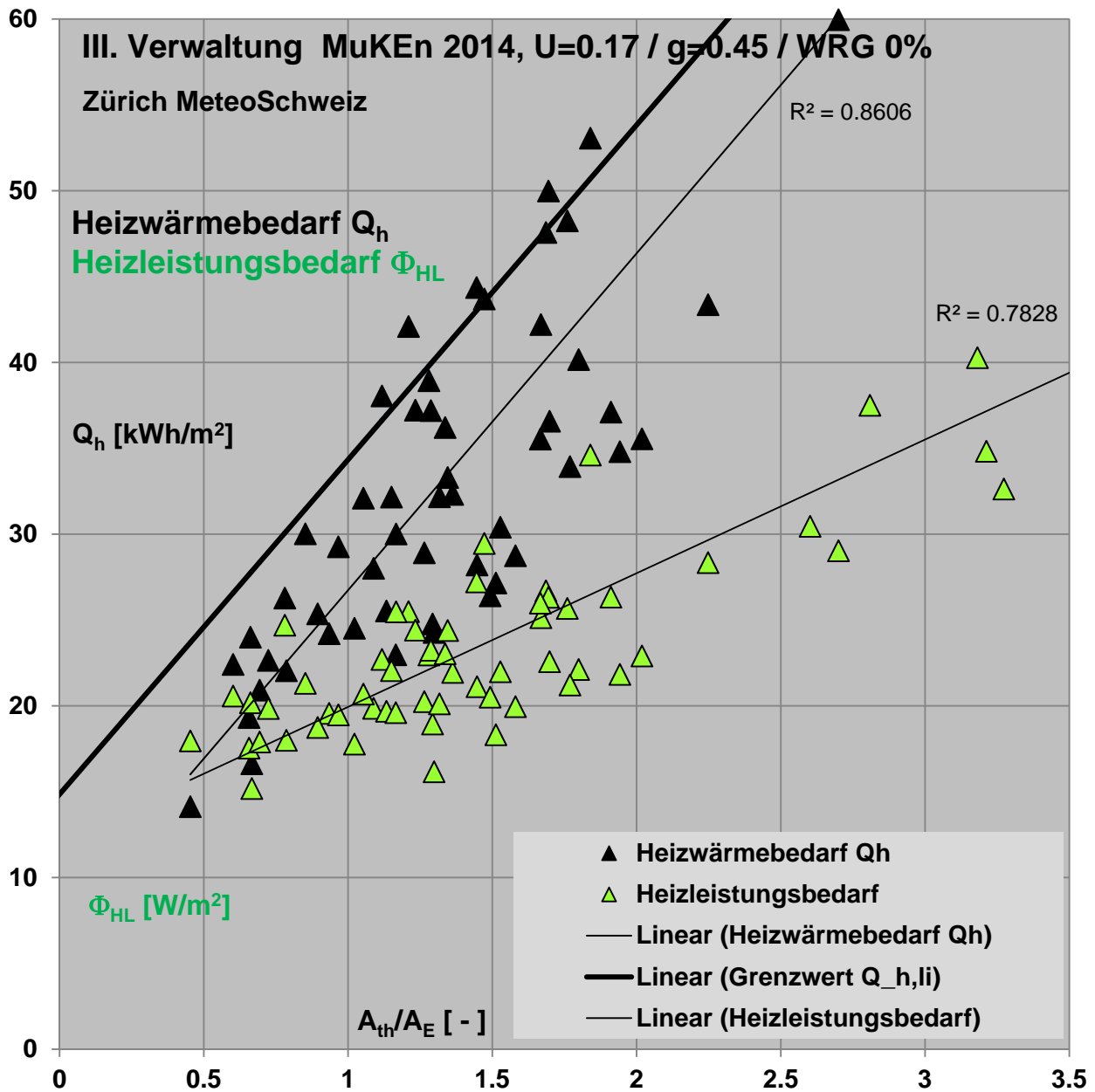


Abbildung 8: Kategorie III. Verwaltung: Berechnung Heizwärmebedarf SIA 380/1 / Heizleistungsbedarf SIA 384.201 und Grenzwert $Q_{h,li}$.
 Datenbasis: 59 Verwaltungsbauten, MuKEn 2014, Klimastation Zürich MeteoSchweiz

7.4 Gebäudekategorie IV. Schulen

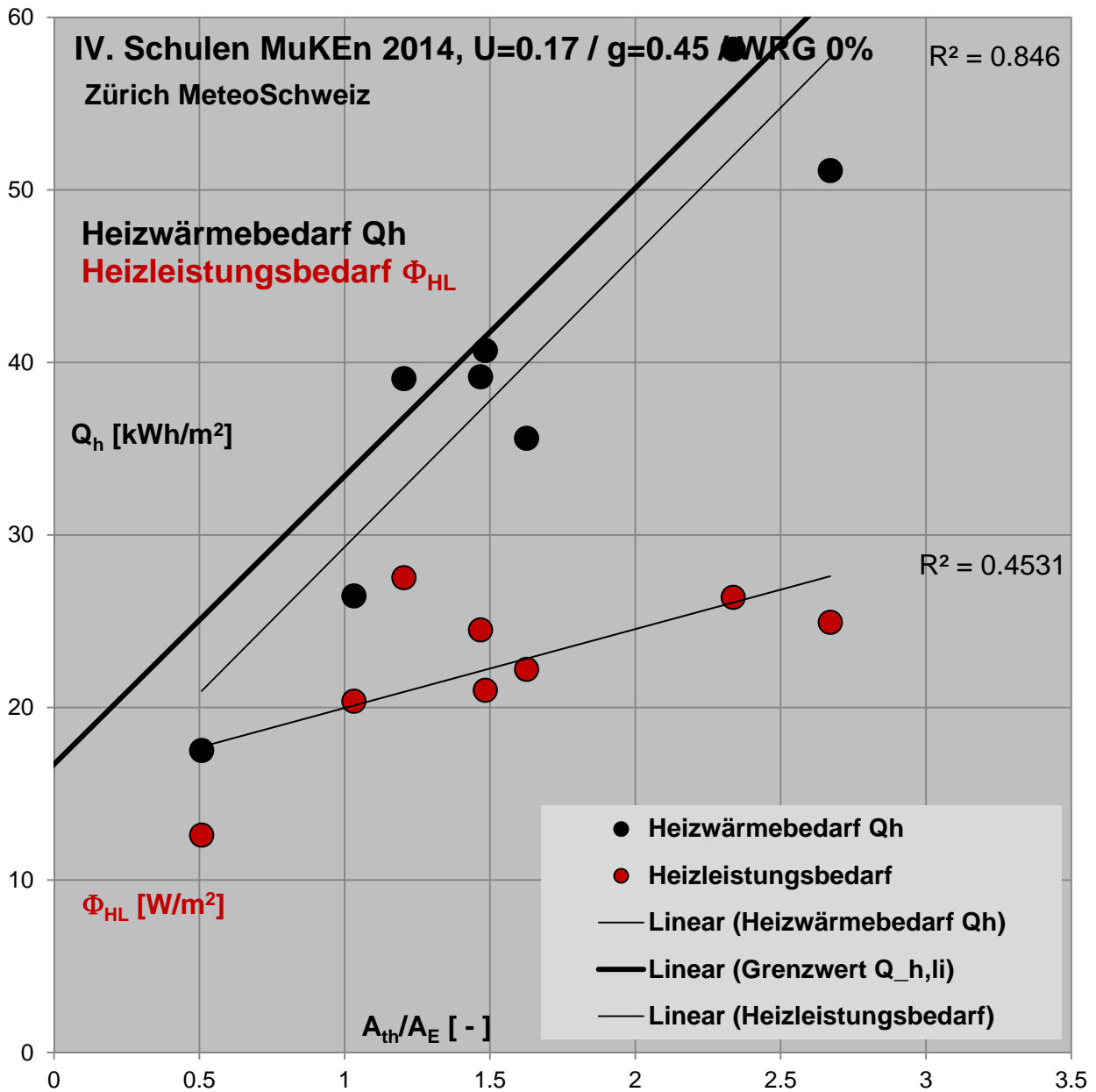


Abbildung 9: Kategorie IV. Schulen: Berechnung Heizwärmebedarf SIA 380/1 / Heizleistungsbedarf SIA 384.201 und Grenzwert $Q_{h,li}$.
Datenbasis: 8 Schulen, MuKE n 2014, Klimastation Zürich MeteoSchweiz

7.5 Gebäudekategorie V. Verkauf

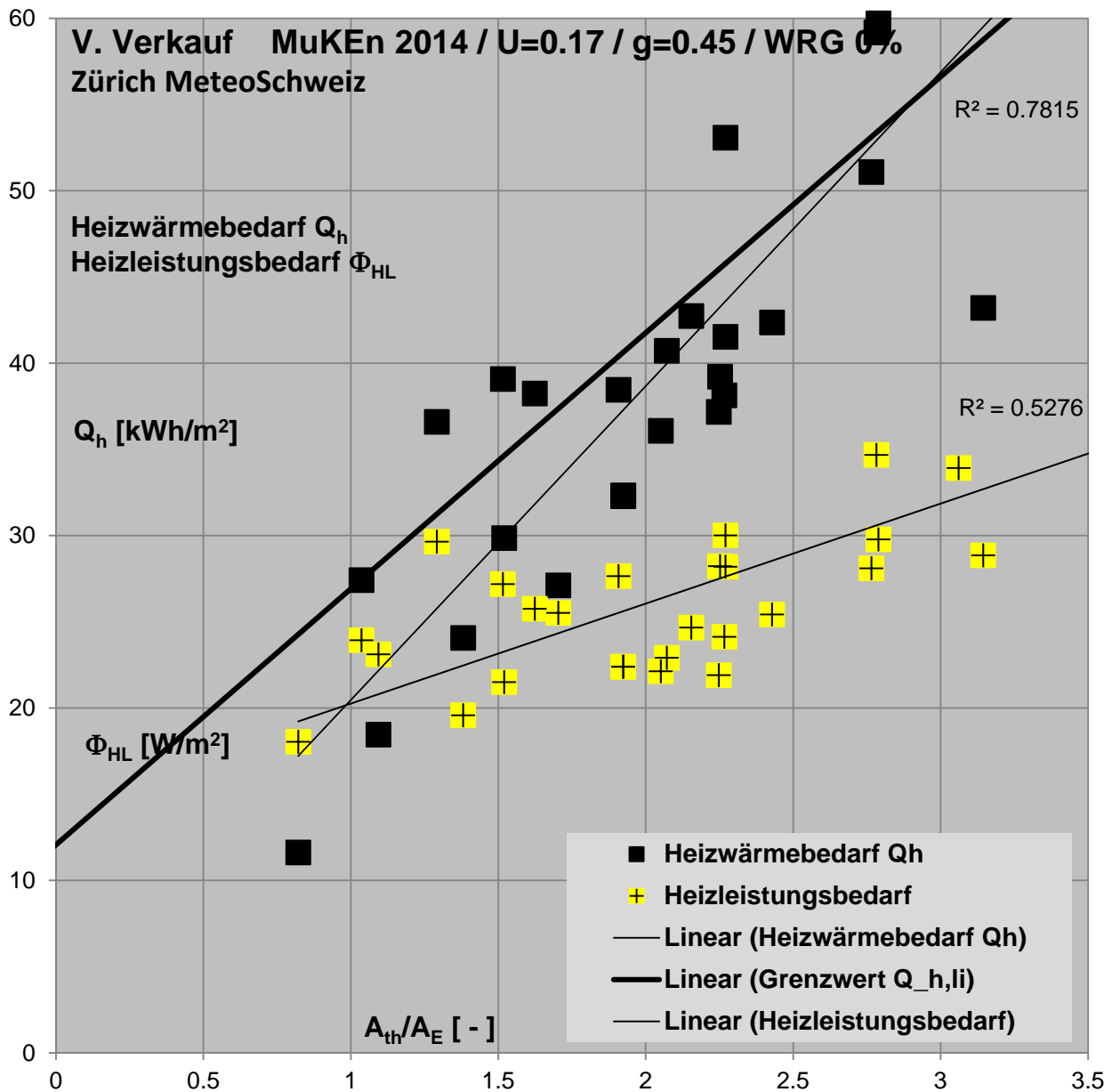


Abbildung 10: Kategorie V. Verkauf: Berechnung Heizwärmebedarf SIA 380/1 / Heizleistungsbedarf SIA 384.201 und Grenzwert $Q_{h,li}$.
Datenbasis: 24 Bauten, MuKEn 2014, Klimastation Zürich MeteoSchweiz

7.6 Gebäudekategorie IX. Industrie

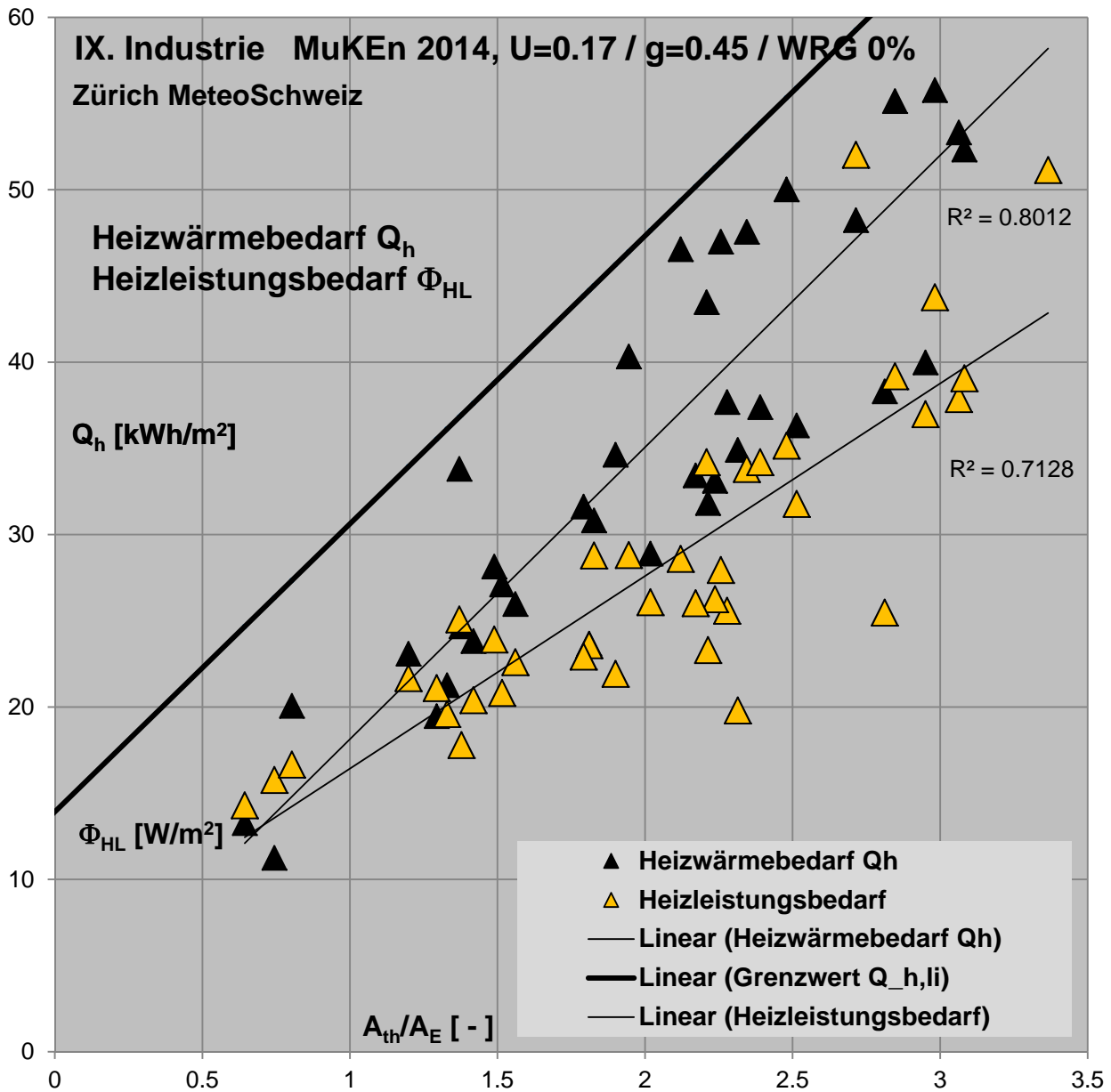


Abbildung 11: Kategorie IX. Industrie: Berechnung Heizwärmebedarf SIA 380/1 / Heizleistungsbedarf SIA 384.201 und Grenzwert $Q_{h,li}$.
Datenbasis: 39 Industriebauten, MuKE n 2014, Klimastation Zürich MeteoSchweiz

7.7 Gebäudekategorie X. Lager

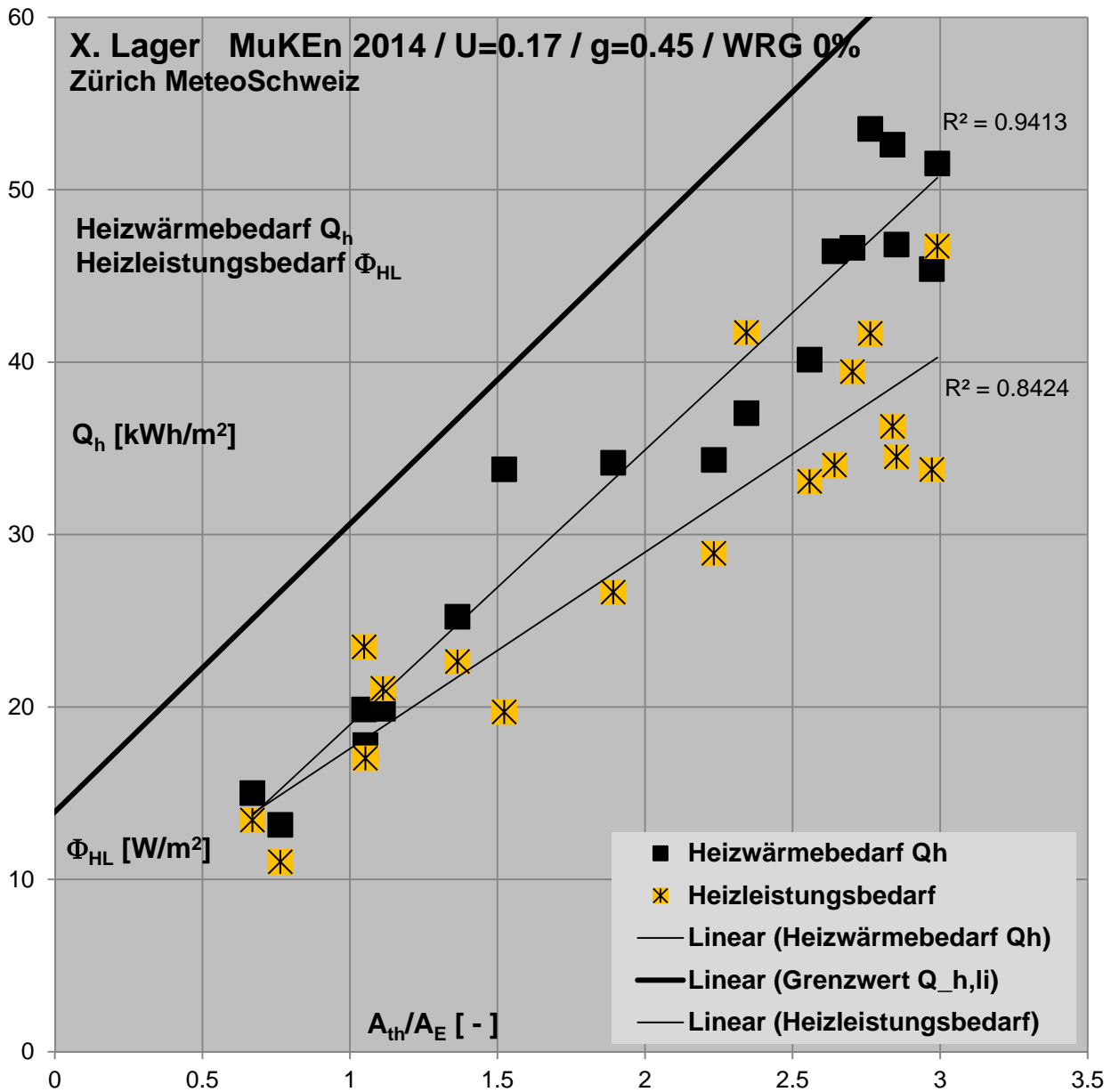


Abbildung 12: Kategorie X. Lager: Berechnung Heizwärmebedarf SIA 380/1 / Heizleistungsbedarf SIA 384.201 und Grenzwert $Q_{h,li}$.
 Datenbasis: 18 Bauten, MuKEn 2014, Klimastation Zürich MeteoSchweiz

8 Entwicklung der Bauteile der Gebäudehülle

In diesem Abschnitt wird gezeigt, wie sich die Bauteile seit dem Jahr 2000 entwickelt haben, und wie sich die jeweilige thermische Qualität im Vergleich zu einem fixen Grenzwert der Heizleistung darstellt. Für die Eingabe von 5 Standards der Bauteile wurden folgende Daten in die Berechnung eingesetzt:

Gebäudekategorie		I. Wohnen MFH						
Klimastation		Zürich MeteoSchweiz						
U-Werte		MuKE n	2000	2008	2014	Minergie, -P		
opake Bauteile	Aussenluft		0.30	0.20	0.17	0.15	0.10	W/m ² K
	unbeheizt / Erdreich		0.35	0.25	0.25	0.22	0.20	
Fenster	U-Wert Uw		1.60	1.30	1.00	1.00	0.80	W/m ² K
	g-Wert		0.60	0.55	0.55	0.55	0.65	
Lüftung	Wärmerückgewinnung	WRG	0%	0%	0%	0%	0%	

Basisstandard: MuKE n 2014

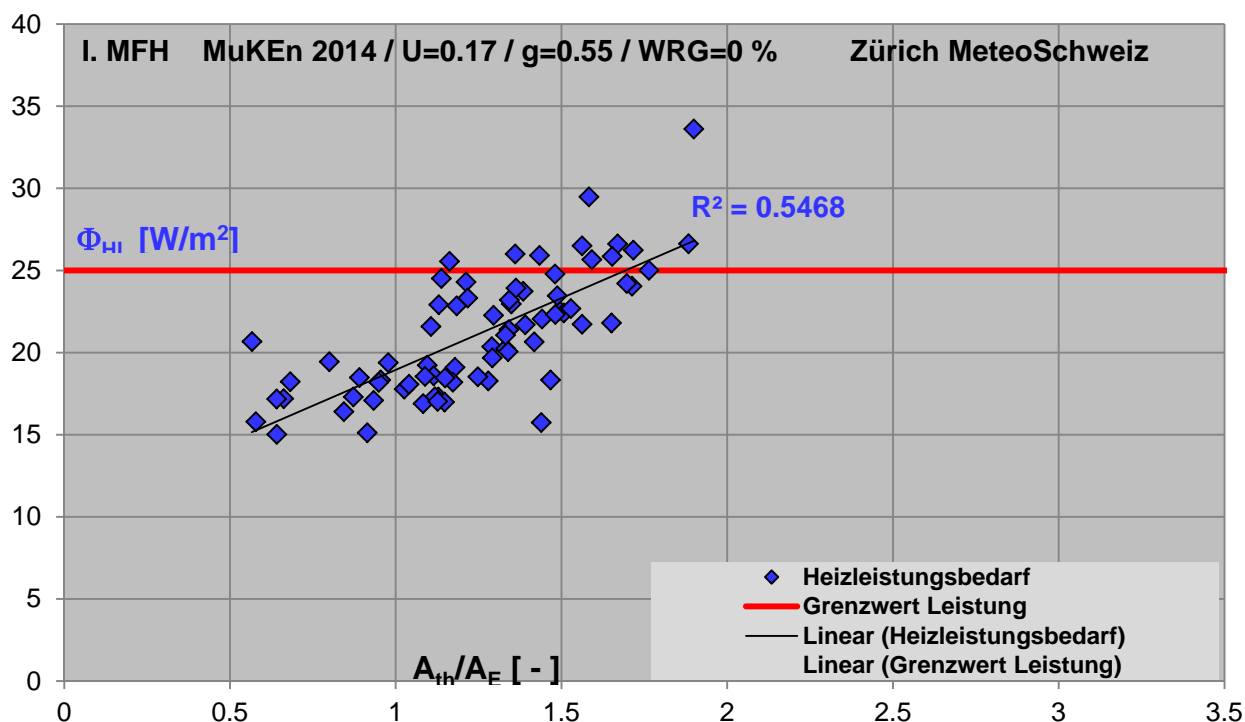


Abbildung 13: Kategorie I. Mehrfamilienhaus: Berechnung Heizleistungsbedarf und Grenzwert Leistung. Datenbasis: 74 Mehrfamilienhäuser, Klimastation Zürich MeteoSchweiz

Standard: MuKE n 2000

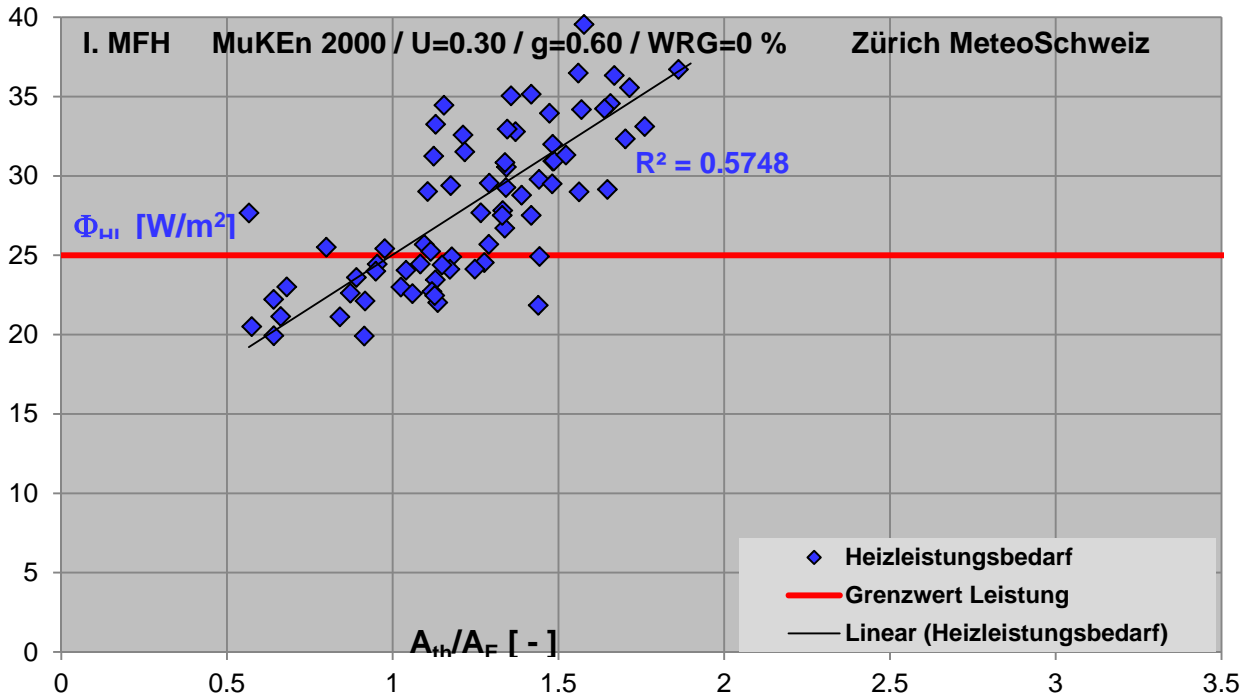


Abbildung 14: Kategorie I. Mehrfamilienhaus: Berechnung Heizleistungsbedarf und Grenzwert Leistung.
 Datenbasis: 74 Mehrfamilienhäuser, Klimastation Zürich MeteoSchweiz

Standard: MuKE n 2008

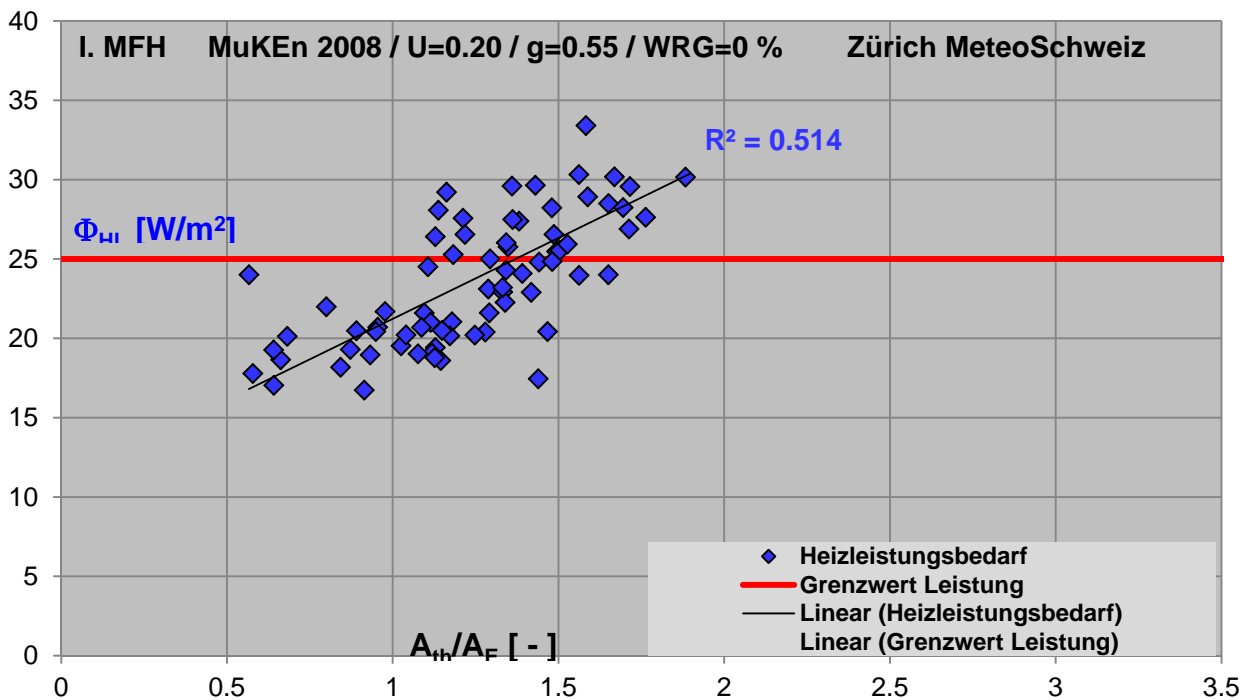


Abbildung 15: Kategorie I. Mehrfamilienhaus: Berechnung Heizleistungsbedarf und Grenzwert Leistung.
 Datenbasis: 74 Mehrfamilienhäuser, Klimastation Zürich MeteoSchweiz

Standard: MuKen 2014

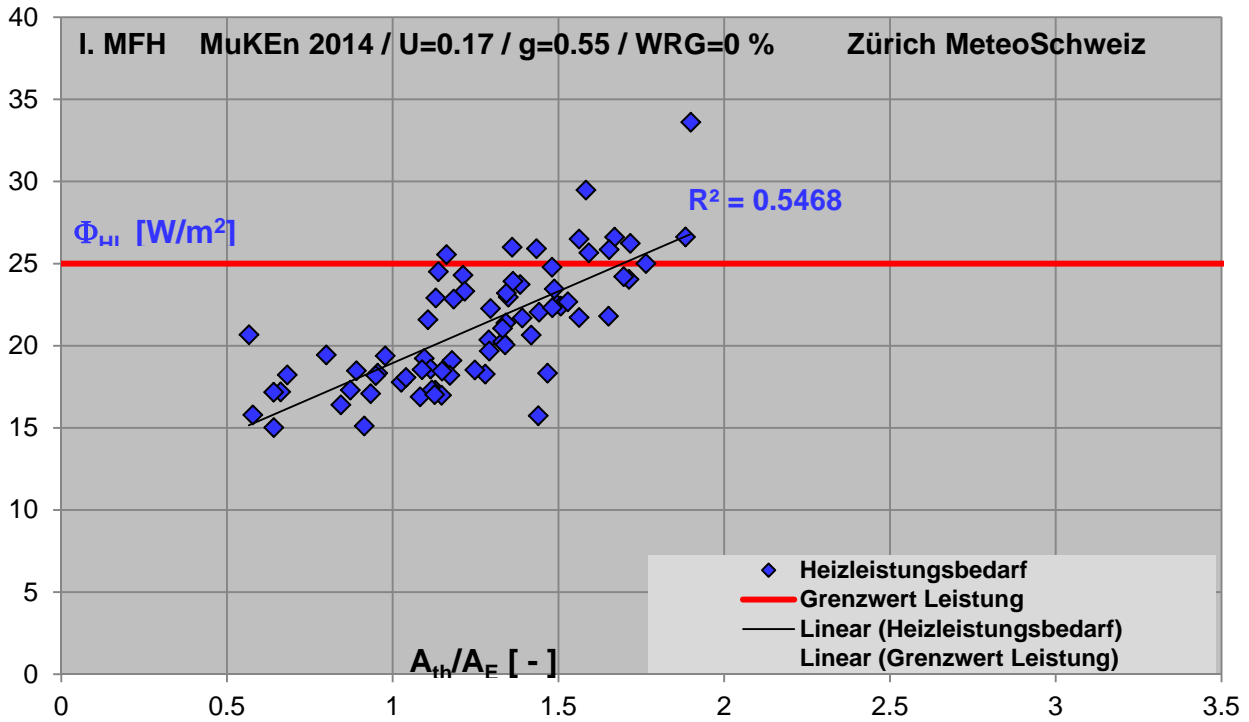


Abbildung 16: Kategorie I. Mehrfamilienhaus: Berechnung Heizleistungsbedarf und Grenzwert Leistung. Datenbasis: 74 Mehrfamilienhäuser, Klimastation Zürich MeteoSchweiz

Standard: MINERGIE-P

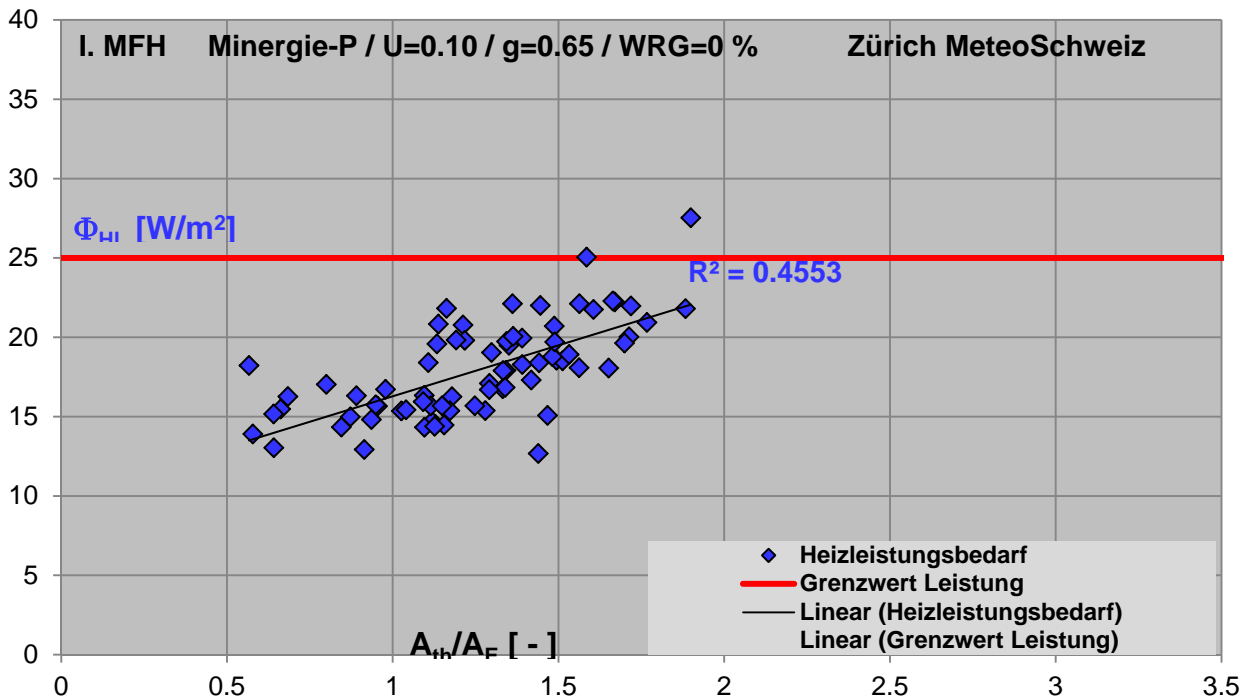


Abbildung 17: Kategorie I. Mehrfamilienhaus: Berechnung Heizleistungsbedarf und Grenzwert Leistung. Datenbasis: 74 Mehrfamilienhäuser, Klimastation Zürich MeteoSchweiz

9 Wärmebrücken

Es ist zu erwarten, dass die Wärmebrücken einen entscheidenden Einfluss auf die Grösse des Heizleistungsbedarfs ausüben. Für die Berechnungen wurden die Originaldaten für Psi-Werte (Ψ in W/mK) und Längenausdehnung übernommen. Um den Wärmebrückeneffekt darzustellen wird die Heizleistung mit und ganz ohne Wärmebrückenverluste berechnet:

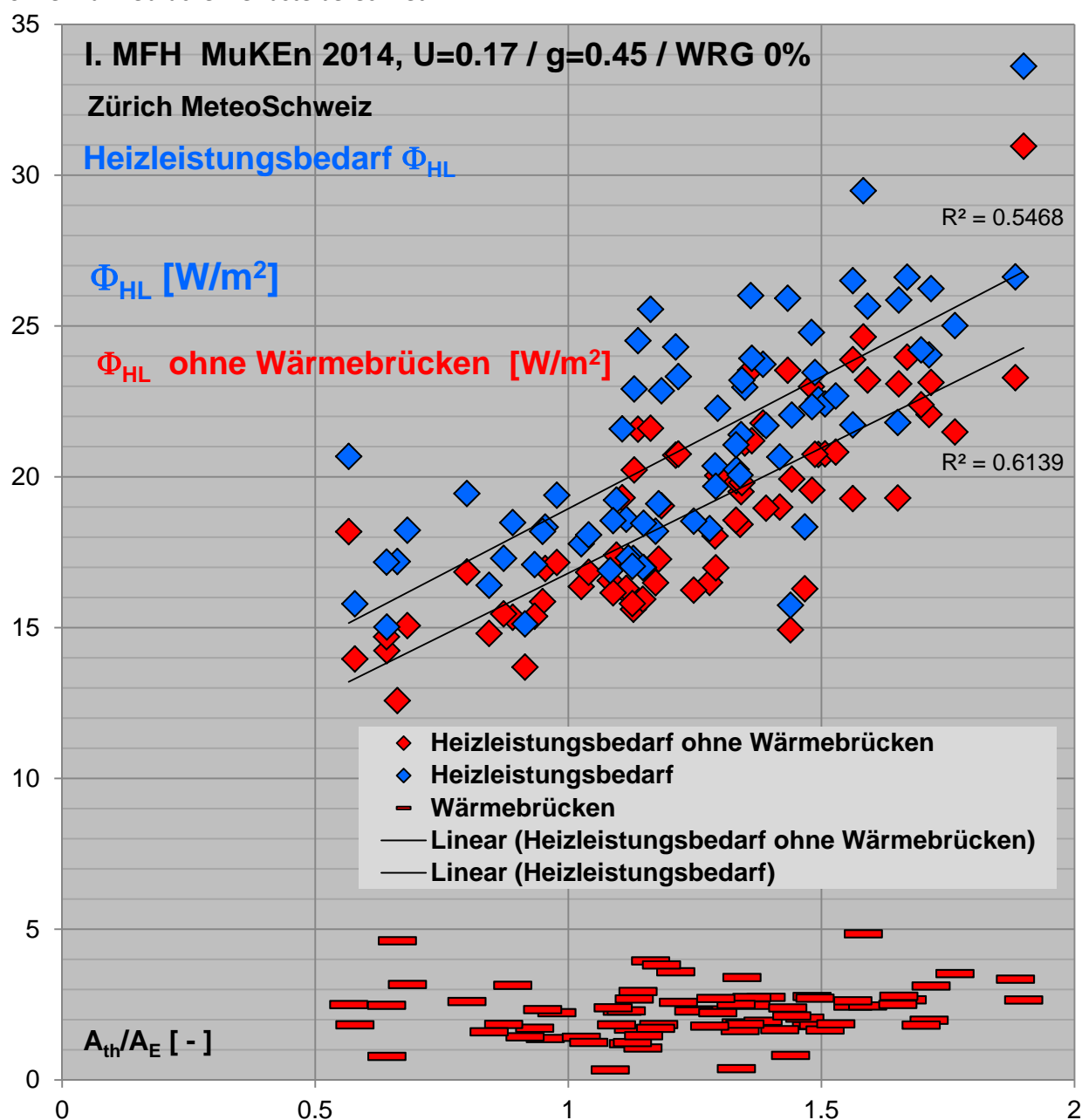


Abbildung 18: Kategorie I. Mehrfamilienhaus: Berechnung Heizleistungsbedarf mit und ohne Wärmebrücken.
Datenbasis: 74 Mehrfamilienhäuser, Klimastation Zürich MeteoSchweiz

In Abhängigkeit der Gebäudegeometrie, der Detailkonstruktion und der Qualität der Datenerfassung liegt der erforderliche Heizleistungsbedarf für Wärmebrücken bei Mehrfamilienhäusern im Bereich von 0 bis 5 W/m^2 . Tendenziell sind grössere Gebäudehüllzahlen mit grösseren Wärmebrückenverlusten verbunden, und bei Holzständer- und Holzelementbauten dürften der grösste Teil der Wärmebrücken in den homogenen U-Werten enthalten sein.

Wie bei der Heizwärme ist auch bei der Heizleistung der Anteil der Wärmebrückenverluste beträchtlich. Die Wärmebrücken sind damit ein entscheidendes Kriterium für eine energieeffiziente Gebäudehülle.

10 Lüftungssysteme

Gebäudekategorie		I. Wohnen MFH	
Klimastation		Zürich MeteoSchweiz	
U-Werte		MuKE n 2014	
opake Bauteile	Aussenluft	0.17	W/m ² K
	unbeheizt / Erdreich	0.25	W/m ² K
Fenster	U-Wert Uw	1.00	W/m ² K
Fenster	g-Wert	0.45	
Lüftung	WRG:	0% / 50% / 70% / 80%	

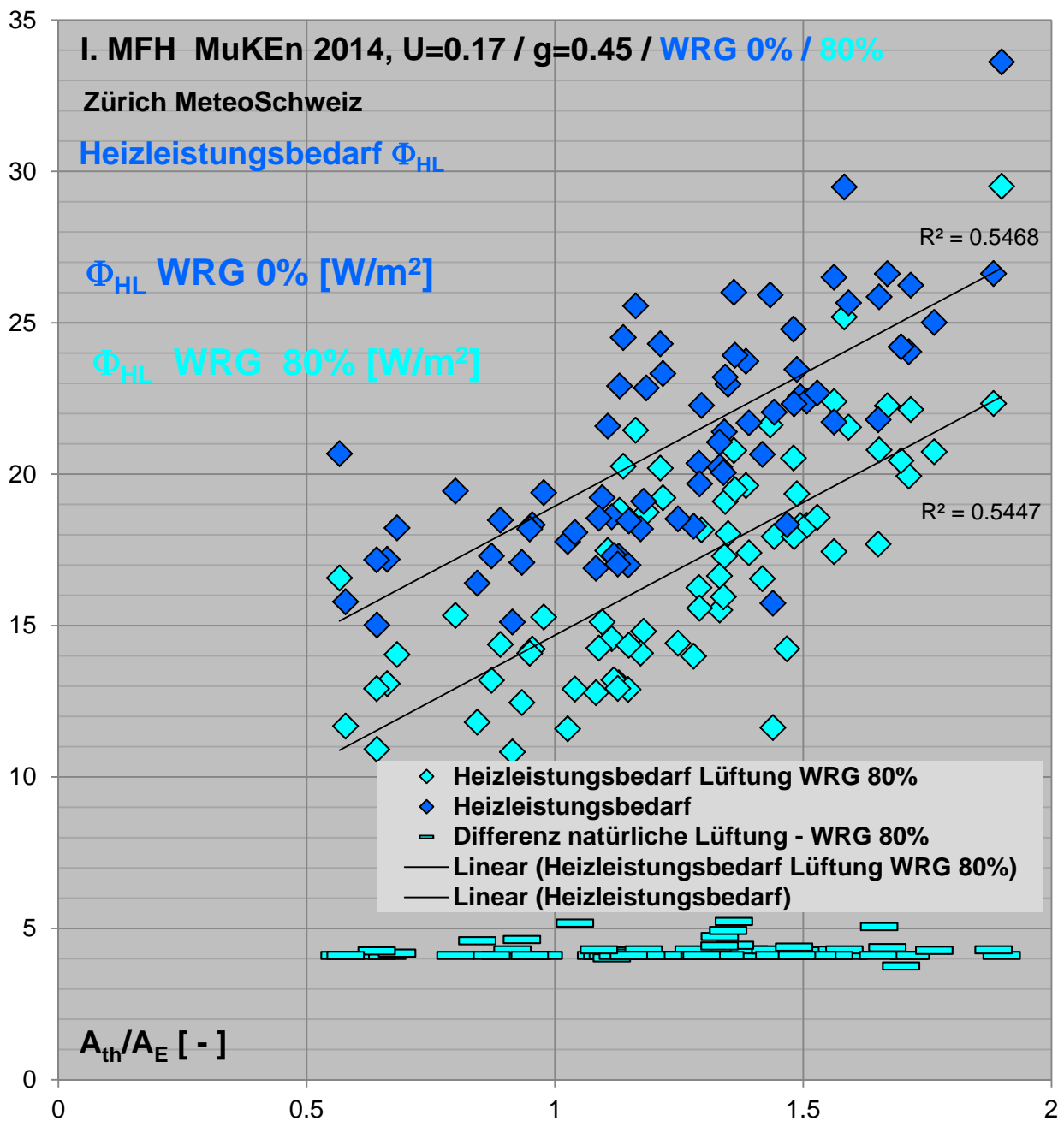


Abbildung 19: Kategorie I. Mehrfamilienhaus: Berechnung Heizleistungsbedarf und Grenzwert Leistung. Datenbasis: 74 Mehrfamilienhäuser, Klimastation Zürich MeteoSchweiz

Eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung von 80% bringt eine Reduktion des Heizleistungsbedarfs um 4 bis 5 W/m².

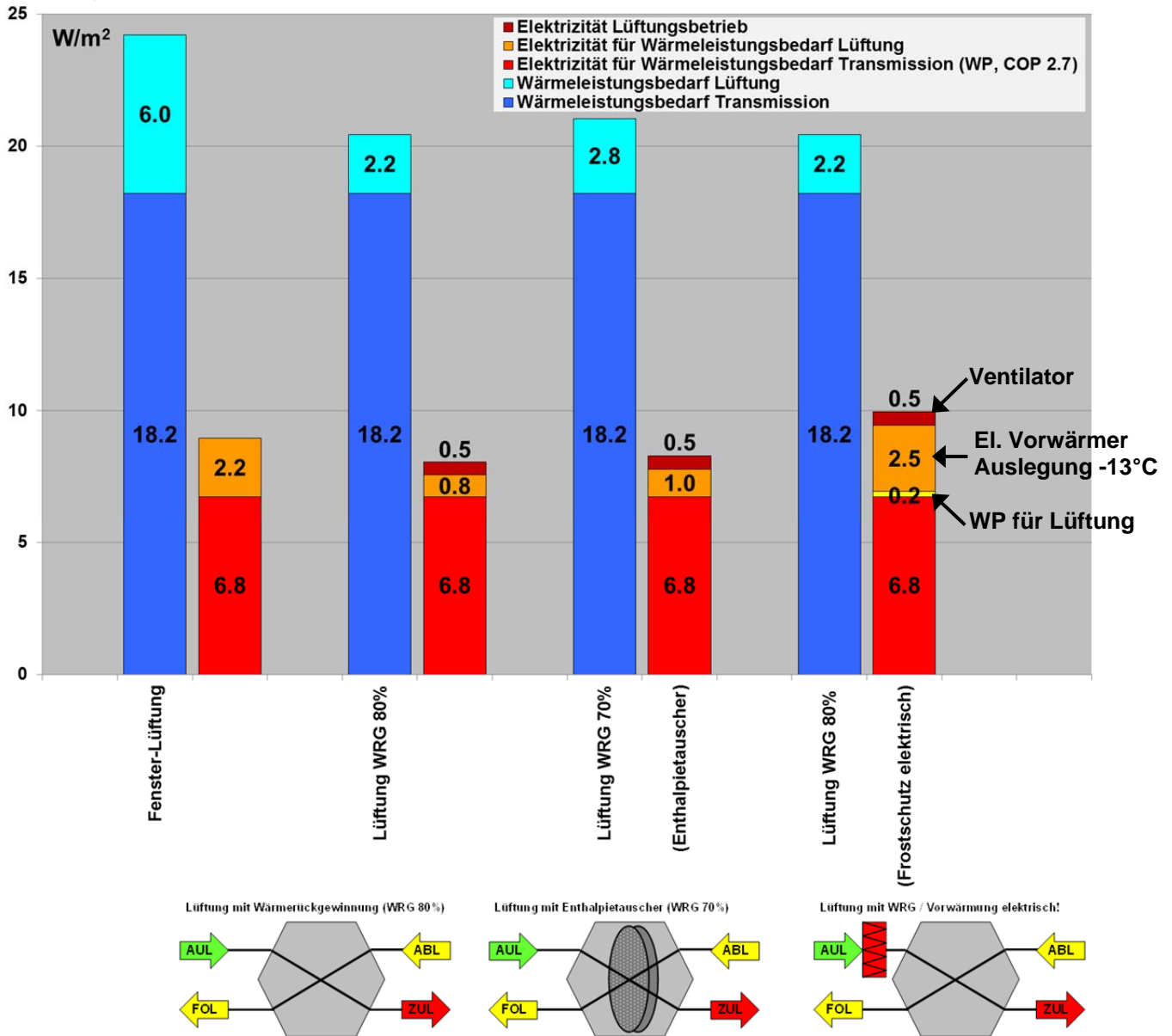


Abbildung 20: Gebäudebeispiel Mehrfamilienhaus: Heizleistung bei verschiedenen Wärmetauscherkonzepten

Basisstandard: Fensterlüftung

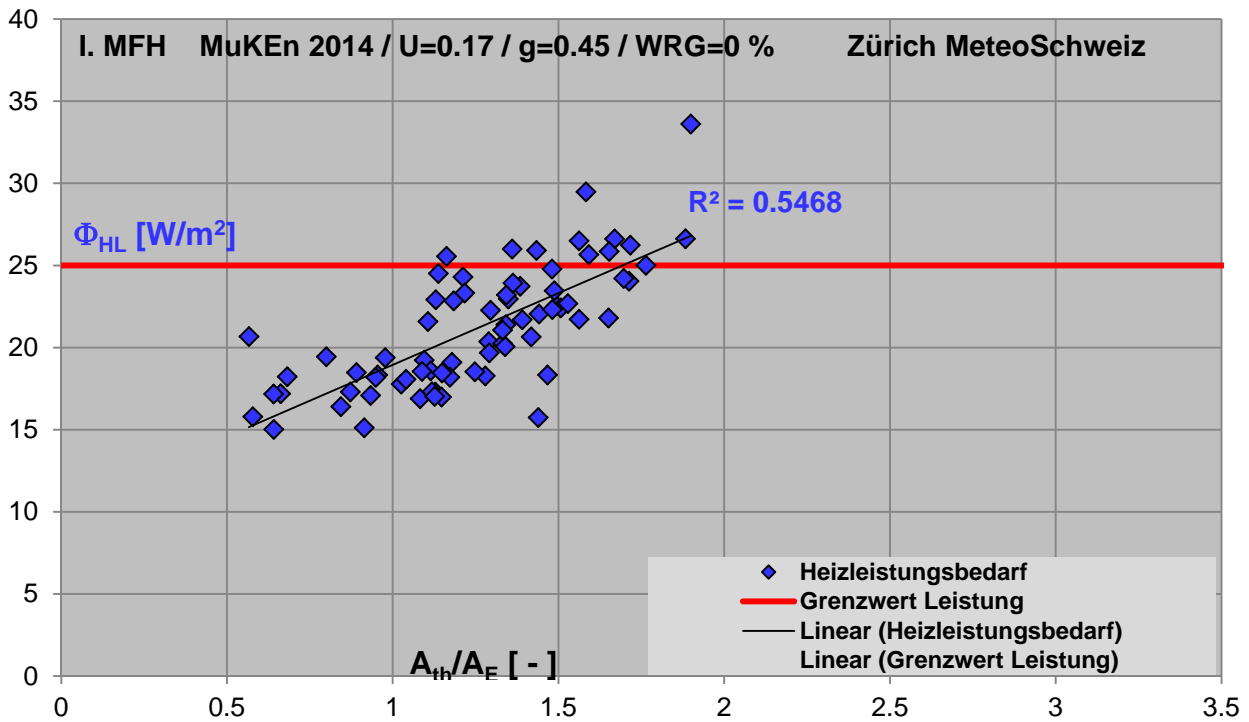


Abbildung 21: Kategorie I. Mehrfamilienhaus: Berechnung Heizleistungsbedarf und Grenzwert Leistung. Datenbasis: 74 Mehrfamilienhäuser, Klimastation Zürich MeteoSchweiz

Wärmerückgewinnung: WRG 50%

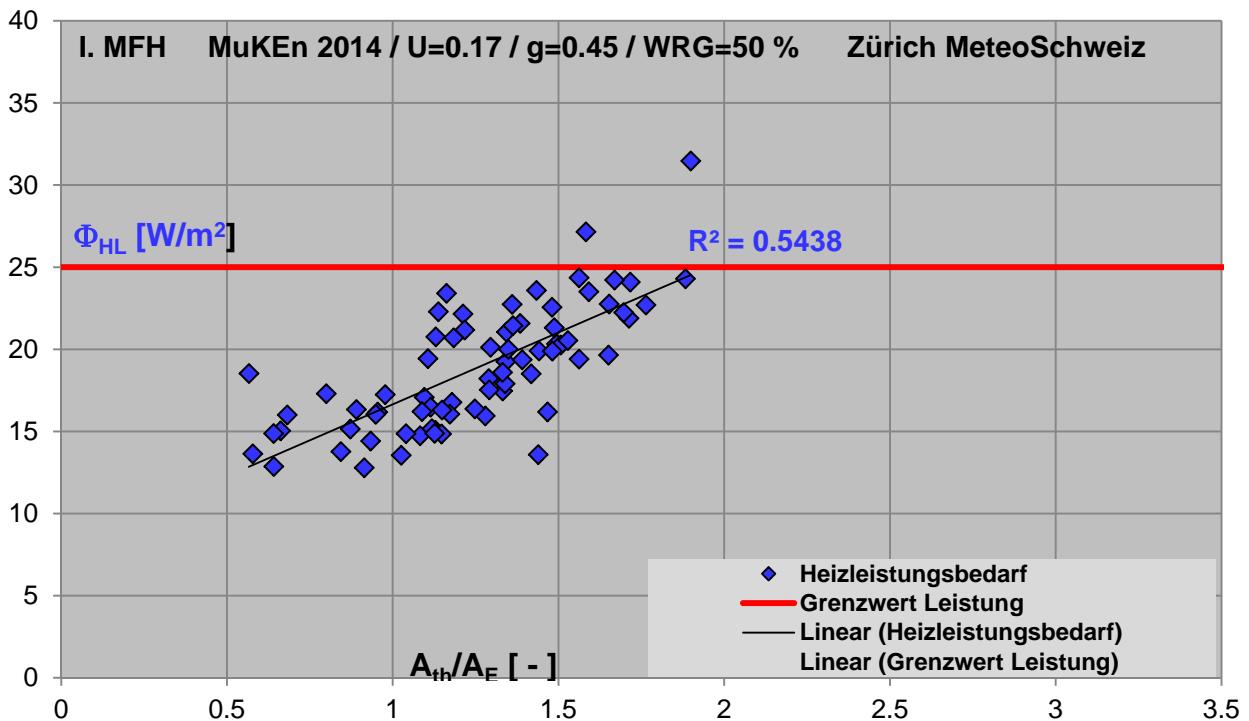


Abbildung 22: Kategorie I. Mehrfamilienhaus: Berechnung Heizleistungsbedarf und Grenzwert Leistung. Datenbasis: 74 Mehrfamilienhäuser, Klimastation Zürich MeteoSchweiz

Wärmerückgewinnung: WRG 70%

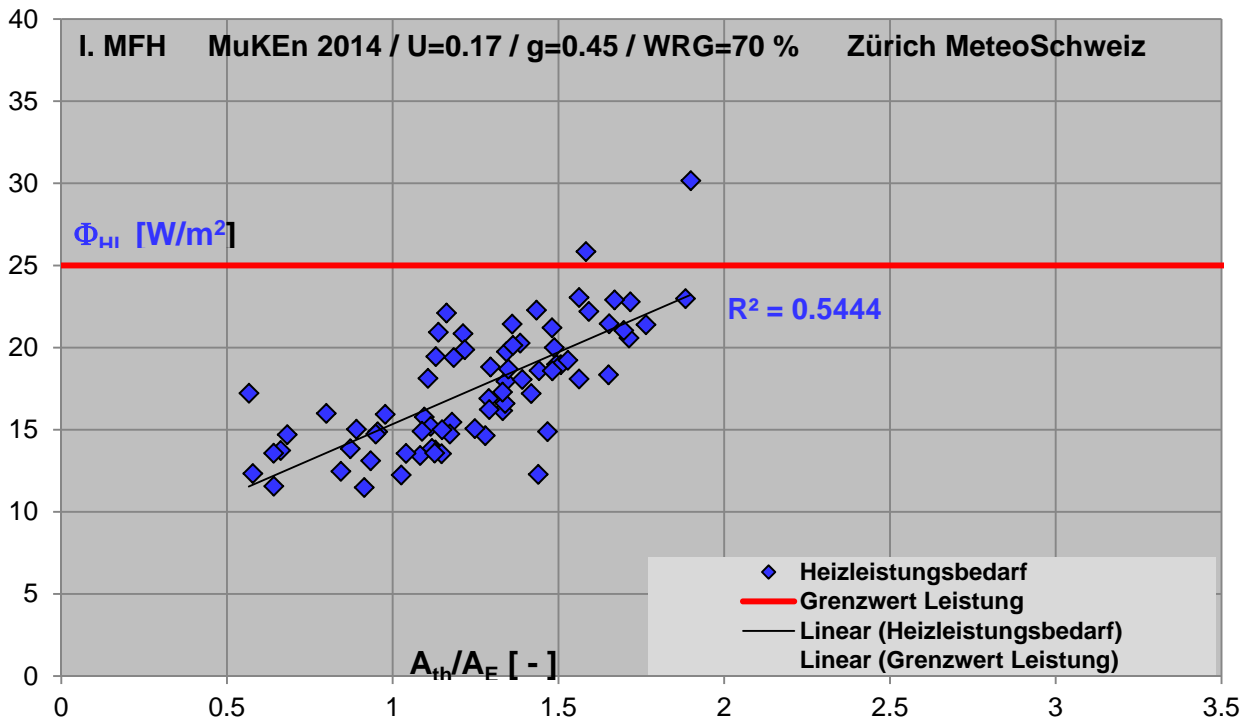


Abbildung 23: Kategorie I. Mehrfamilienhaus: Berechnung Heizleistungsbedarf und Grenzwert Leistung. Datenbasis: 74 Mehrfamilienhäuser, Klimastation Zürich MeteoSchweiz

Wärmerückgewinnung: WRG 80%

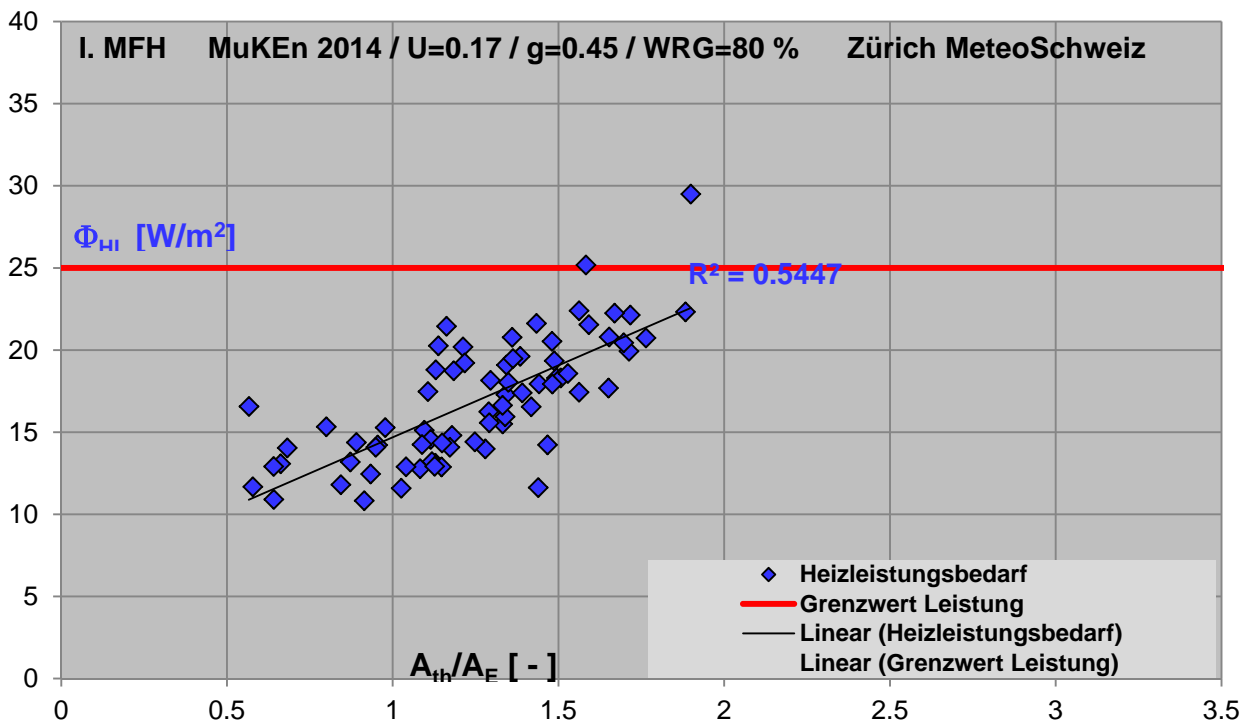


Abbildung 24: Kategorie I. Mehrfamilienhaus: Berechnung Heizleistungsbedarf und Grenzwert Leistung. Datenbasis: 74 Mehrfamilienhäuser, Klimastation Zürich MeteoSchweiz

11 Grenzwerte für den Heizleistungsbedarf

Die gewünschte Wirkung auf die zu realisierende Qualität der Gebäudehüllen ist in grossem Mass abhängig von der Festlegung der Grenze für den Heizleistungsbedarf. Zwei Prinzipien zur Grenzwertlegung werden verglichen:

11.1 Festlegung des Grenzwerts

11.1.1 A: Konstanter Wert als Obergrenze

Mit einem konstanten Grenzwert für die Heizleistung ohne Gewinne entsteht Druck auf die Gebäudhüllzahl. Grosse und kompakte Bauten mit kleinem Verhältnis von thermischer Gebäudhüllfläche zu Energiebezugsfläche können den Grenzwert besser einhalten.

11.1.2 B: Grenzwert korrigiert mit Ath/AE

Analog dem Heizwärmebedarf wird mit diesem Prinzip der Grenzwert für den Heizwärmebedarf abhängig von der Gebäudhüllzahl gesetzt. Die Grenzwertgerade erhält eine Steigung und der Einfluss der Kompaktheit der Gebäude ist geringer.

Der kritische Faktor für die Einhaltung des Grenzwerts liegt bei A und B bei den Fensterflächen mit hohen Transmissionsverlusten.

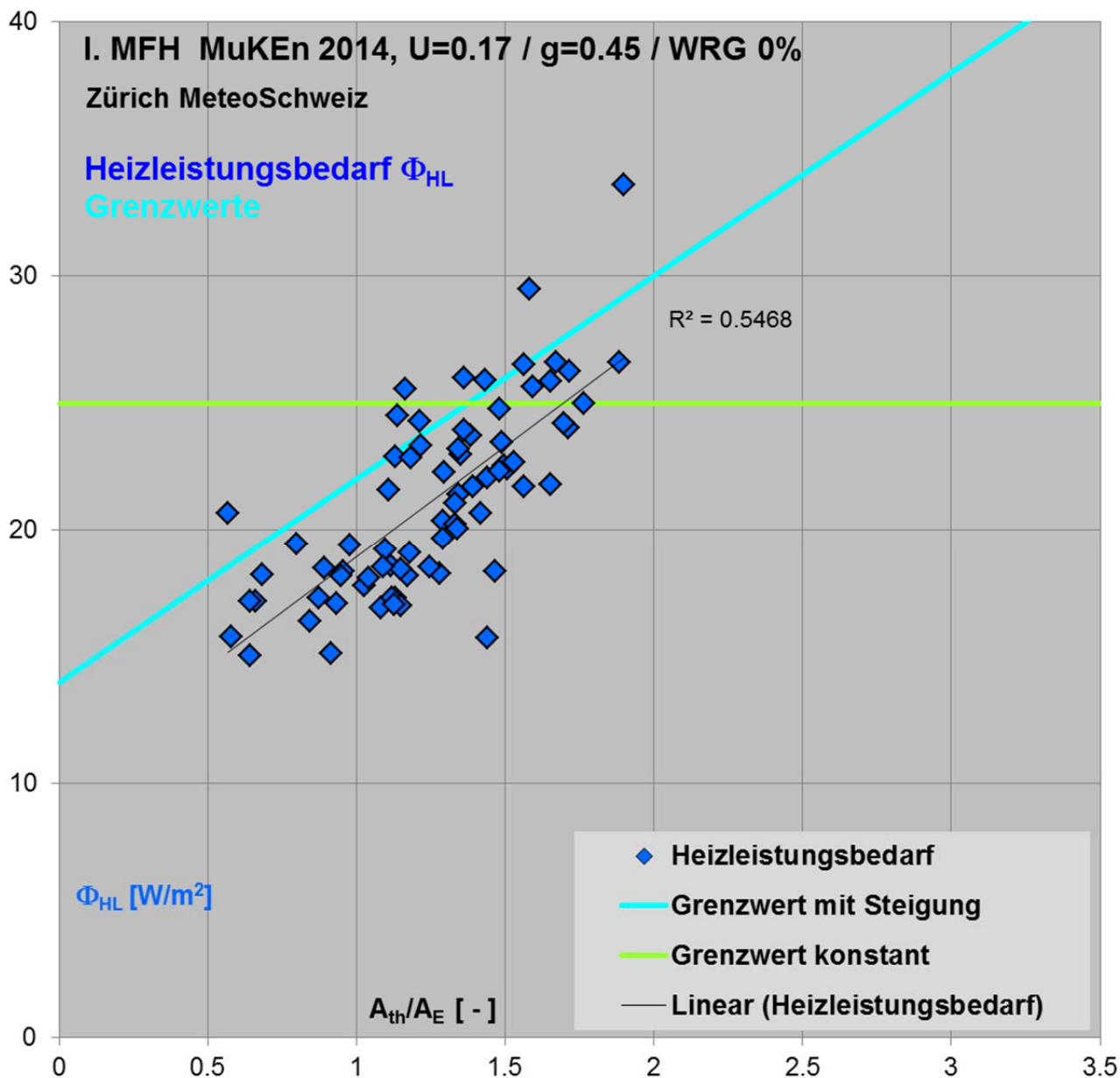


Abbildung 25: Kategorie I. Mehrfamilienhaus: Berechnung Heizleistungsbedarf und Vorschlag Grenzwerte Leistung.
 Datenbasis: 74 Mehrfamilienhäuser, Klimastation Zürich MeteoSchweiz

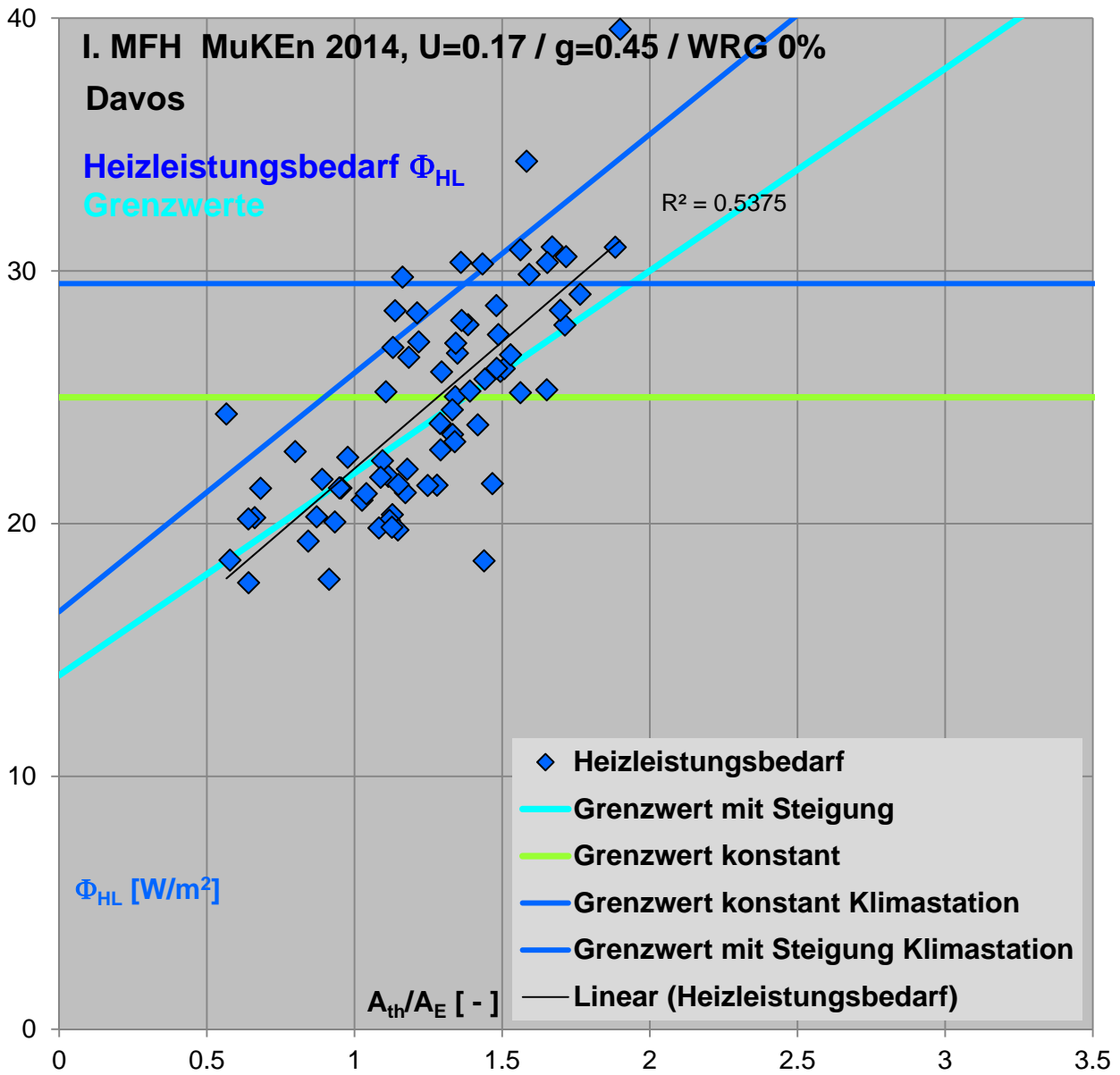


Abbildung 26: Kategorie I. Mehrfamilienhaus: Berechnung Heizleistungsbedarf und Vorschlag Grenzwerte Leistung.
 Datenbasis: 74 Mehrfamilienhäuser, Klimastation Davos

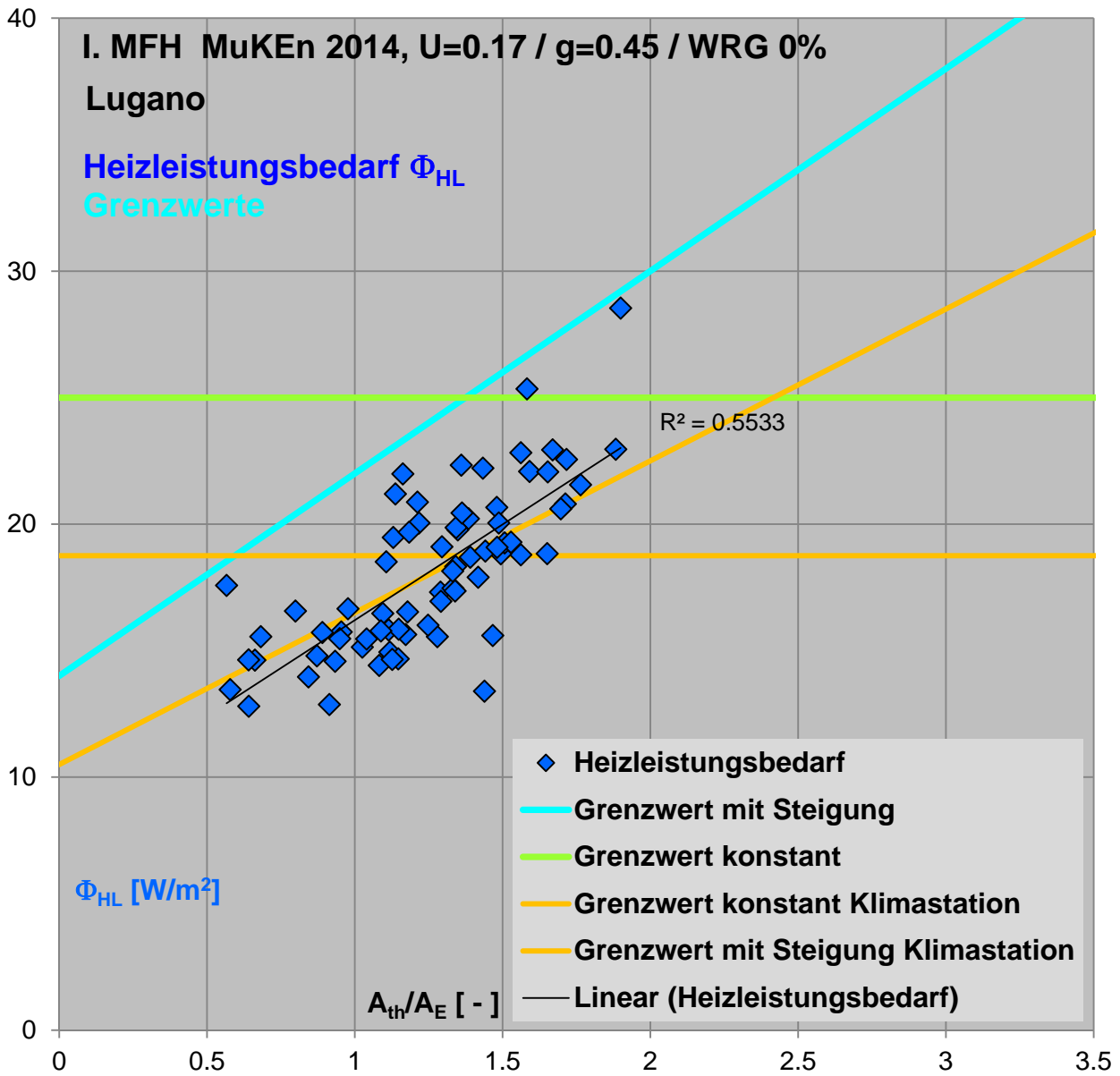


Abbildung 27: Kategorie I. Mehrfamilienhaus: Berechnung Heizleistungsbedarf und Vorschlag Grenzwerte Leistung.
Datenbasis: 74 Mehrfamilienhäuser, Klimastation Lugano

11.2 Temperaturkorrektur für den Grenzwert

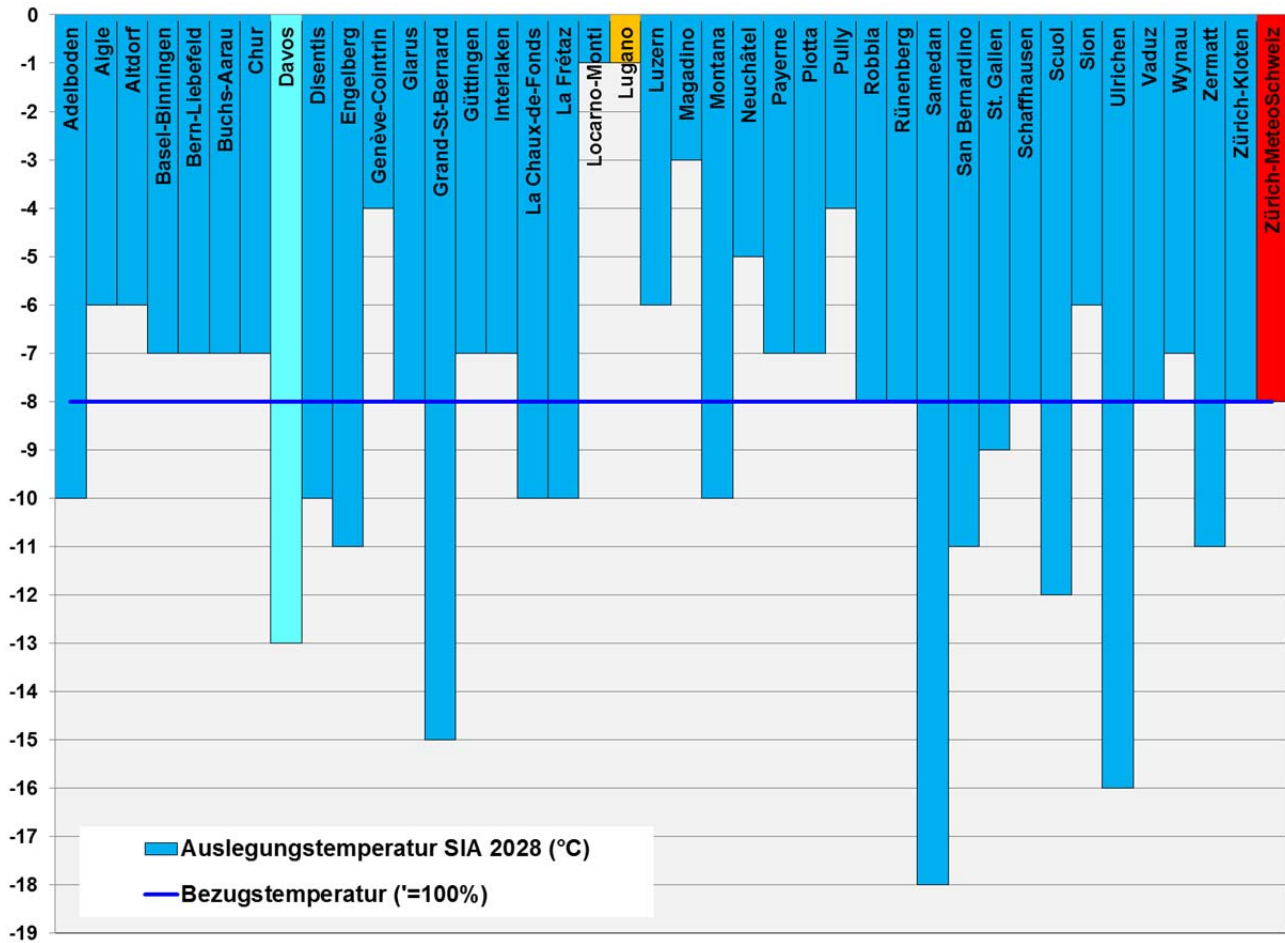


Abbildung 28: Auslegungstemperaturen der Klimastationen gemäss SIA 2028

In erster Näherung wurde als Temperaturkorrektur die Temperaturdifferenz zum Auslegungszeitpunkt eingesetzt. Das führte bei mildem Klima (Lugano) nicht zum erwünschten Erfolg. Die Berechnung muss überprüft werden.

12 Beispielgebäude: Mehrfamilienhaus

An einem aus dem Gebäude-Sample des MuKE-Tool ausgewählten Mehrfamilienhaus werden einige Resultate dieser Untersuchung beispielhaft illustriert:

12.1 Gebäude



Gebäudebeispiel: Mehrfamilienhaus			# 226
Energiebezugsfläche	AE	689	m ²
Gebäudehüllzahl	Ath/AE	1.70	-
Fensterfläche	Aw	234.5	m ²
Fensteranteil zu AE	Aw/AE	34	%

Abbildung 29: Beispielgebäude: Mehrfamilienhaus

12.2 Heizwärmebedarf und Heizleistungsbedarf des Gebäudes

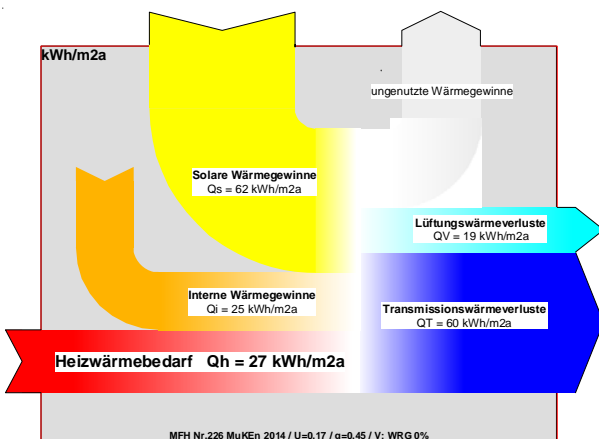


Abbildung 30: MFH Beispiel: Heizwärmebedarf

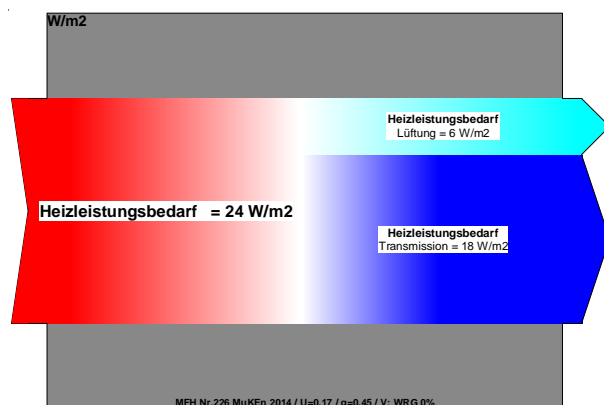


Abbildung 31: MFH Beispiel: Heizleistungsbedarf ohne Gewinne

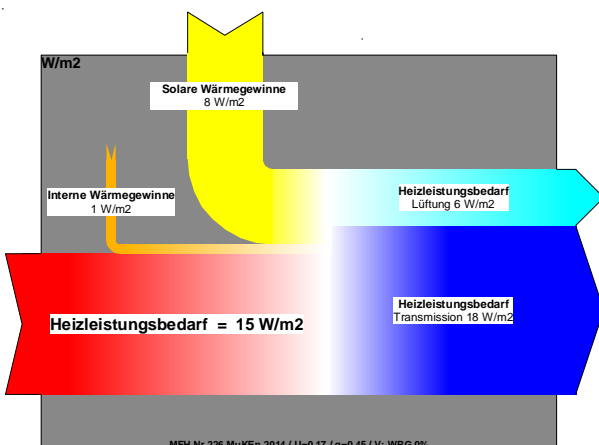


Abbildung 32: MFH Beispiel: Heizleistungsbedarf (Klima A: kalt)

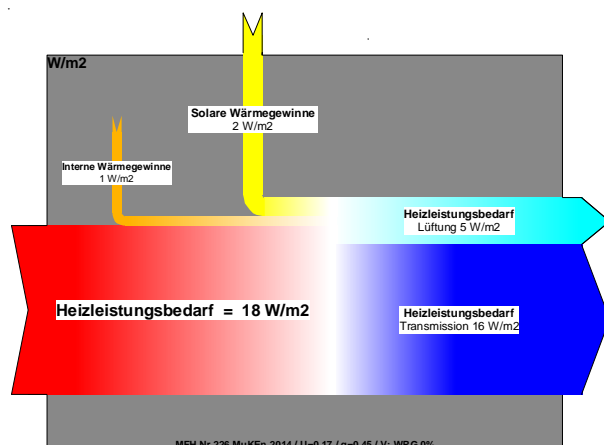


Abbildung 33: MFH Beispiel: Heizleistungsbedarf (Klima B: trüb)

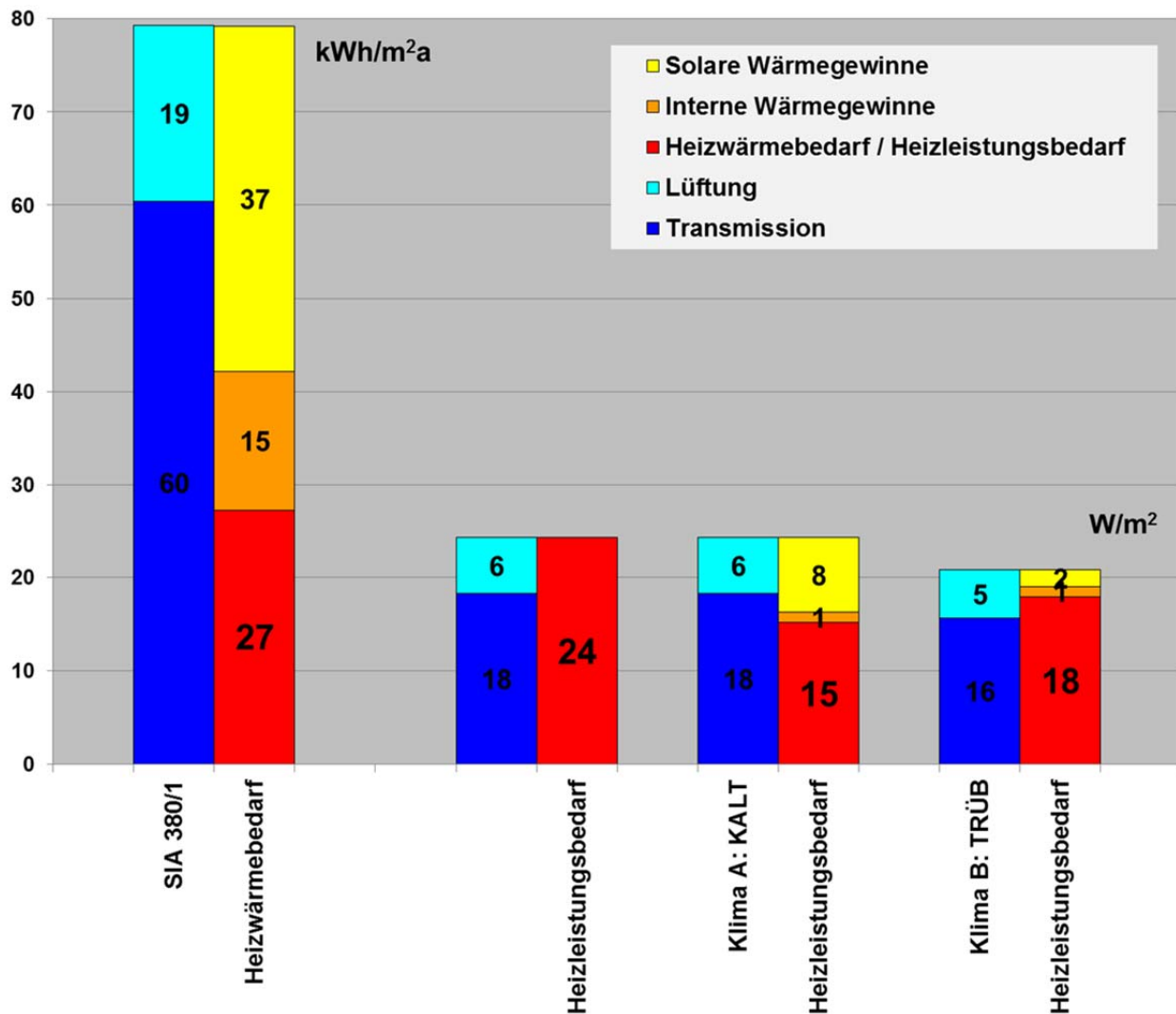


Abbildung 34: MFH Beispiel: Heizwärmebedarf und Heizleistungsbedarf ohne und mit Gewinne

Das Balkendiagramm mit Gegenüberstellung von Heizwärmebedarf und Heizleistungsbedarf mit und ohne Gewinne zeigt die Thematik der Berücksichtigung der Wärmegewinne: mit der Verbesserung einzelner Parameter wie den g-Wert der Verglasungen kann das Resultat entscheidend beeinflusst werden. Beim Heizleistungsbedarf ohne Gewinne ist das nicht möglich und bei der Berücksichtigung der Gewinne an einem kalten oder trüben Tag sind die Gewinne zwar reduziert, aber auch hier können Wärmeverluste durch die Gebäudehülle durch theoretische solare Wärmegewinne kompensiert werden.

12.3 Kritische Räume

An zwei typischen Räumen im Obergeschoss wird der Vergleich der Heizleistung mit dem Gebäude angestellt. Die zu installierende Heizleistung für eine Bodenheizung und die Verlegedichte in Abhängigkeit der Vorlauftemperatur werden abgeschätzt.

Genauer betrachtet werden das gegen Südwesten orientierte Wohnzimmer mit grossen Fensterflächen und das Bad auf der Nord-Ost-Seite im Obergeschoss des Gebäudes. Mit der Dachfläche sind die lokalen Gebäudehüllzahlen der beiden Räume höher als für das gesamte Gebäude.

Gebäudebeispiel:		Wohnzimmer		Gebäudebeispiel:		Bad	
Energiebezugsfläche	AE	28.3	m ²	Energiebezugsfläche	AE	8.5	m ²
Gebäudehüllzahl	Ath/AE	2.11	-	Gebäudehüllzahl	Ath/AE	2.01	-
Fensterfläche	Aw	14.9	m ²	Fensterfläche	Aw	0.9	m ²
Fensteranteil zu AE	Aw/AE	52	%	Fensteranteil zu AE	Aw/AE	10	%

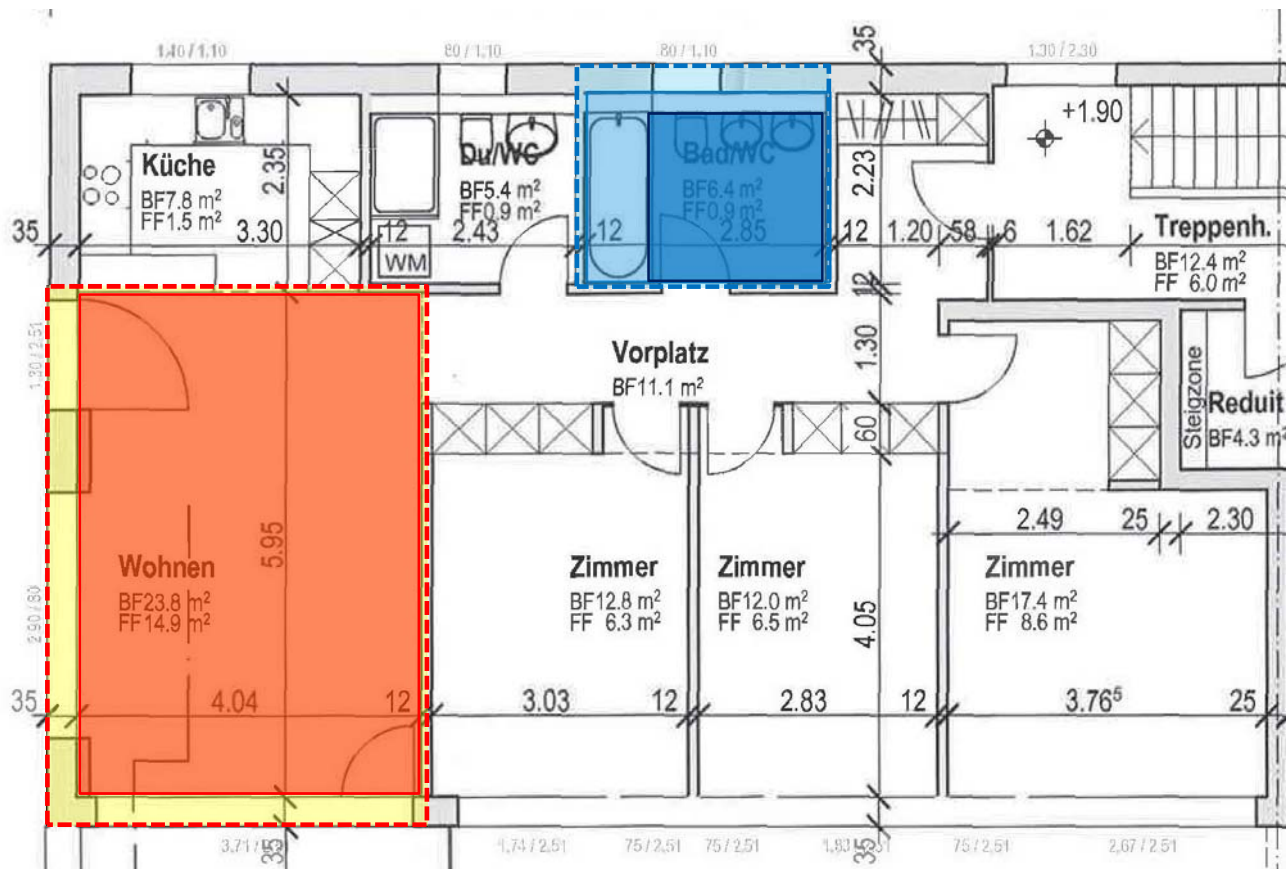


Abbildung 35: Gebäudebeispiel: Mehrfamilienhaus, Grundriss 4.5-Zimmer-Wohnung im Obergeschoss

12.4 Vergleich 1: Wohnzimmer

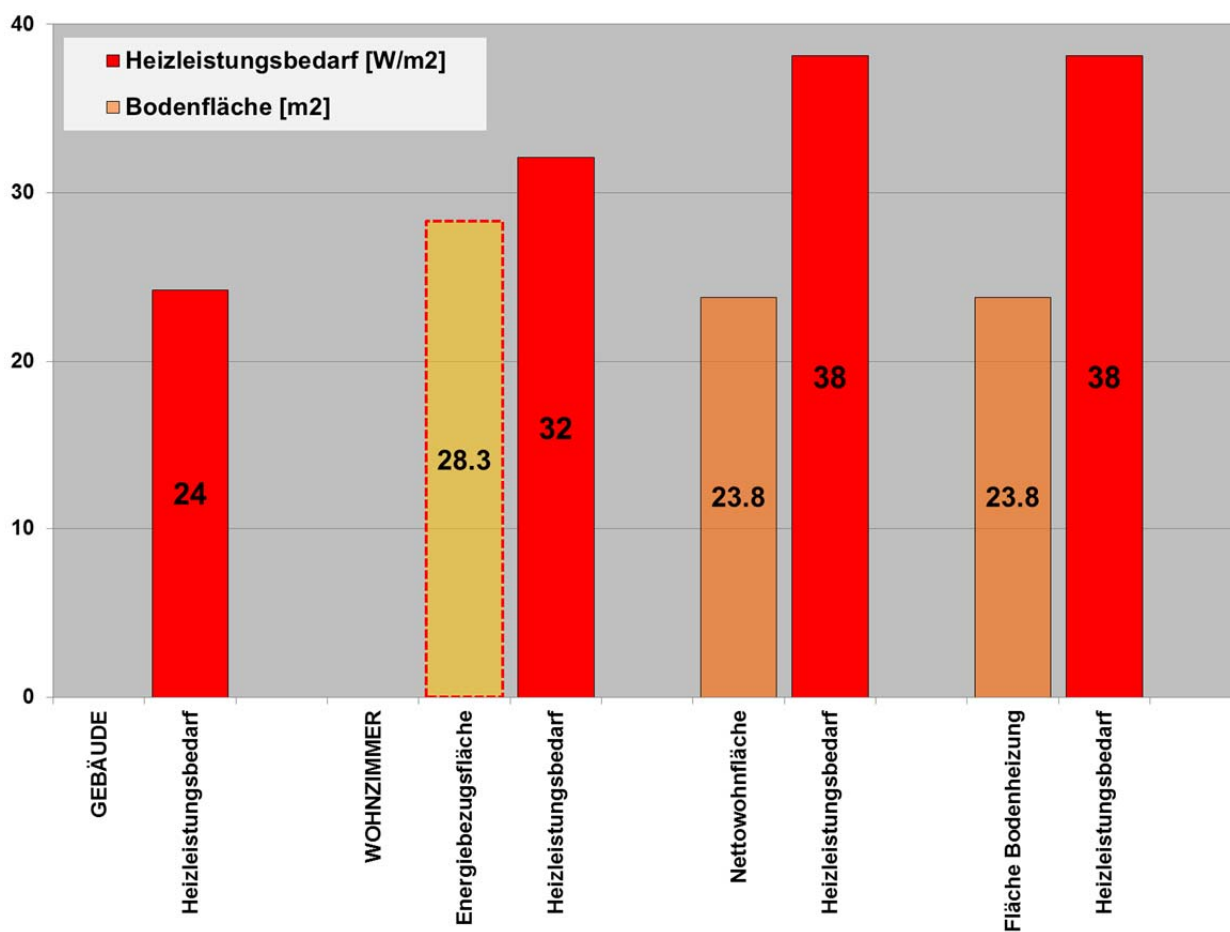


Abbildung 36: Heizleistungsbedarf Wohnzimmer

Der berechnete Heizleistungsbedarf für das ganze Gebäude im Klima Zürich MeteoSchweiz beträgt 24W/m^2 . Im Bereich des Wohnzimmers ist eine Leistung von 32W/m^2 erforderlich. Hauptgründe für den erhöhten Wert sind einerseits die grössere Oberfläche des Raums in der Gebäudeecke und mit Dachfläche und der Wärmeverlust durch die grosse Fensterfläche. Soll diese Leistung mit einer Bodenheizung erbracht werden, müssen bezogen auf die Nettowohnfläche 38W/m^2 installiert werden. Da die ganze Wohnfläche genutzt werden kann, entspricht die Nettowohnfläche der Fläche für die Bodenheizung.

12.5 Vergleich 2: Bad

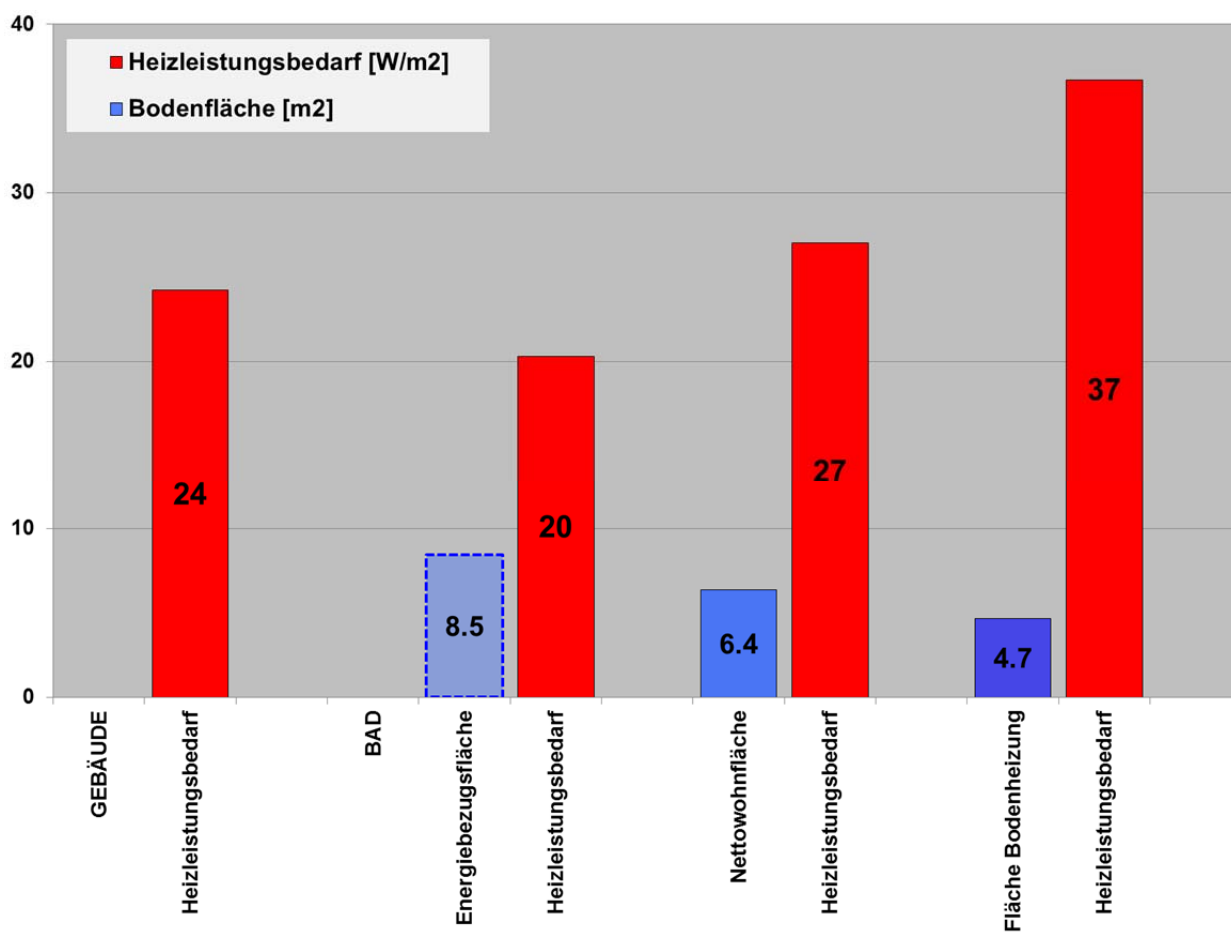


Abbildung 37: Heizleistungsbedarf Bad

Beim kleinen Badezimmer mit wenig Wärmeverlustfläche nach aussen und geringem Fensterflächenanteil ist der Heizleistungsbedarf um 4W/m^2 geringer als beim gesamten Gebäude. Bezogen auf die im Verhältnis stark reduzierte Nettowohnfläche wird die Heizleistung aber deutlich grösser, und auf der für die Bodenheizungsinstallation verbleibenden Bodenfläche (ohne Badewanne und Vorwandinstallation) ist ein Heizleistungsbedarf von 37W/m^2 erforderlich.

Bemerkung: Entsprechend der Korrigenda C1 zur SIA 384.201 wird für die Dimensionierung der Wärmeabgabe im Bad und im Wohnzimmer eine Raumtemperatur von 21°C eingesetzt.

12.6 Heizleistungsbedarf und Vorlauftemperaturen

Als Grundlage für die Abklärung des Zusammenhangs zwischen Heizleistungsbedarf, Vorlauftemperaturen und Verlege-Abstand der Bodenheizungsrohre dient eine Arbeit von Arthur Huber aus dem Jahr 2005 (Energiepraxis-Seminar Oktober 2005). Die Grafik wird hier vereinfacht für 4 Temperaturbereiche von Vor-Rücklauf der Bodenheizung bei einer Raumtemperatur von 21°C wiedergegeben.

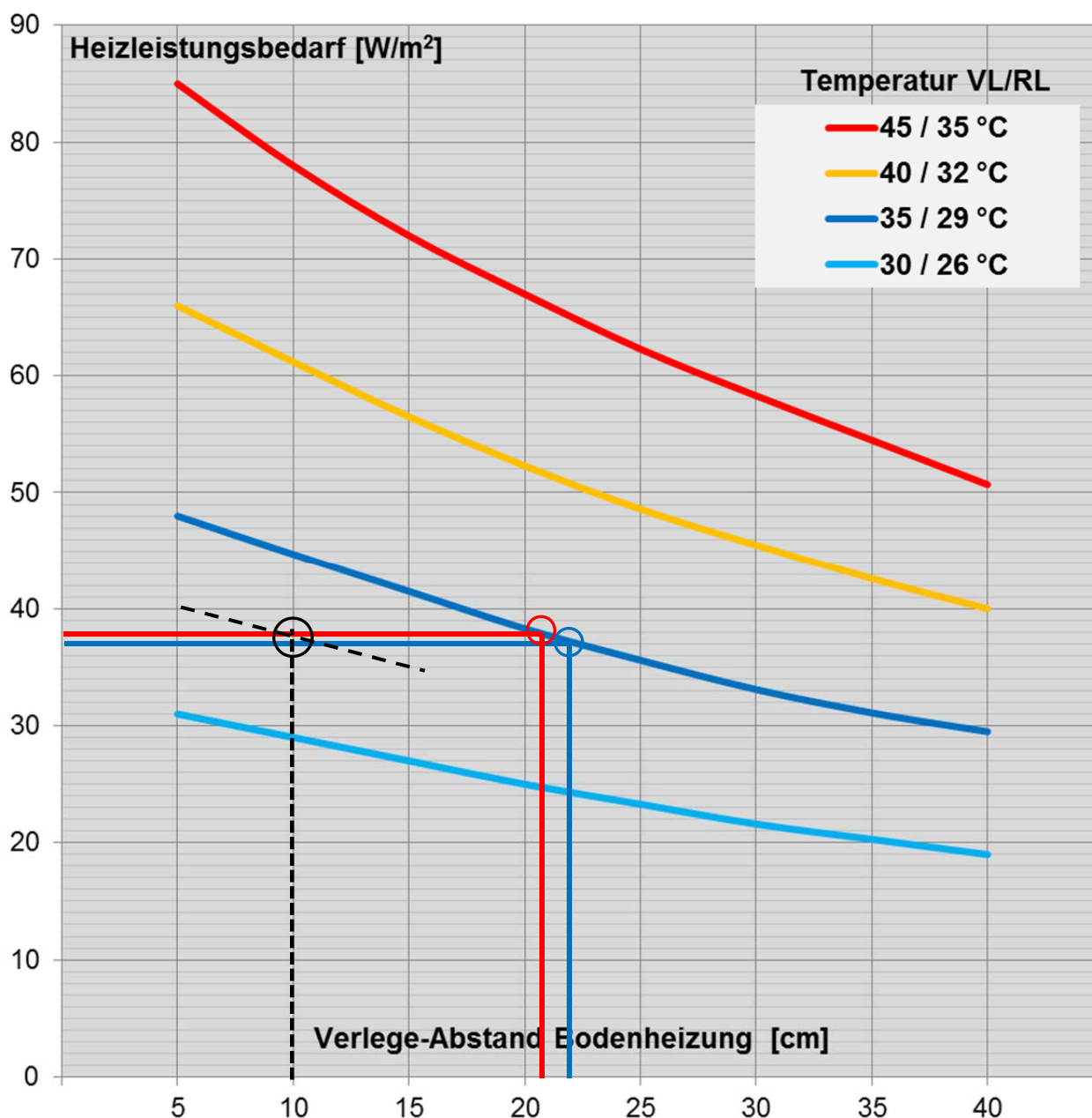


Abbildung 38: Grafik: Heizleistungsbedarf, Vorlauftemperatur und Verlege-Abstand der Bodenheizung

Für Wohnzimmer und Bad ist bei der vorliegenden Gebäudequalität gemäss MuKEn 2014 eine Vorlauftemperatur von 30°C nicht ausreichend. Grob geschätzt kann bei einem minimalen Verlege-Abstand von 10cm eine Vorlauftemperatur von ca. 33°C erreicht werden. Bei Vorlauf 35°C und Rücklauf 29°C wird gemäss dieser Analyse mit einem theoretischen Verlegeabstand von 21cm die geforderte spezifische Heizleistung von 38W/m² erreicht.

13 Leistung auf Stufe Endenergie

In Ergänzung zum Wärmeleistungsbedarf wurde auch die Leistung auf Stufe Endenergie untersucht. Insbesondere bei rein elektrisch beheizten Gebäuden ist so auch die Definition eines Grenzwerts für die elektrische Leistung mit starkem Bezug mit der energetischen Qualität des Gebäudes denkbar.

Untersucht wurden Luft-Wasser- und Sole-Wasser-Wärmepumpen an den Klimastationen: Zürich MeteoSchweiz, Lugano und Davos

Die Wärmepumpen-Daten stammen aus den Messungen des Wärmepumpen-Testzentrums in Buchs.

Die folgenden Grafiken zeigen einen Ausschnitt der Resultate der Endenergie-Berechnung für die Mehrfamilienhäuser.

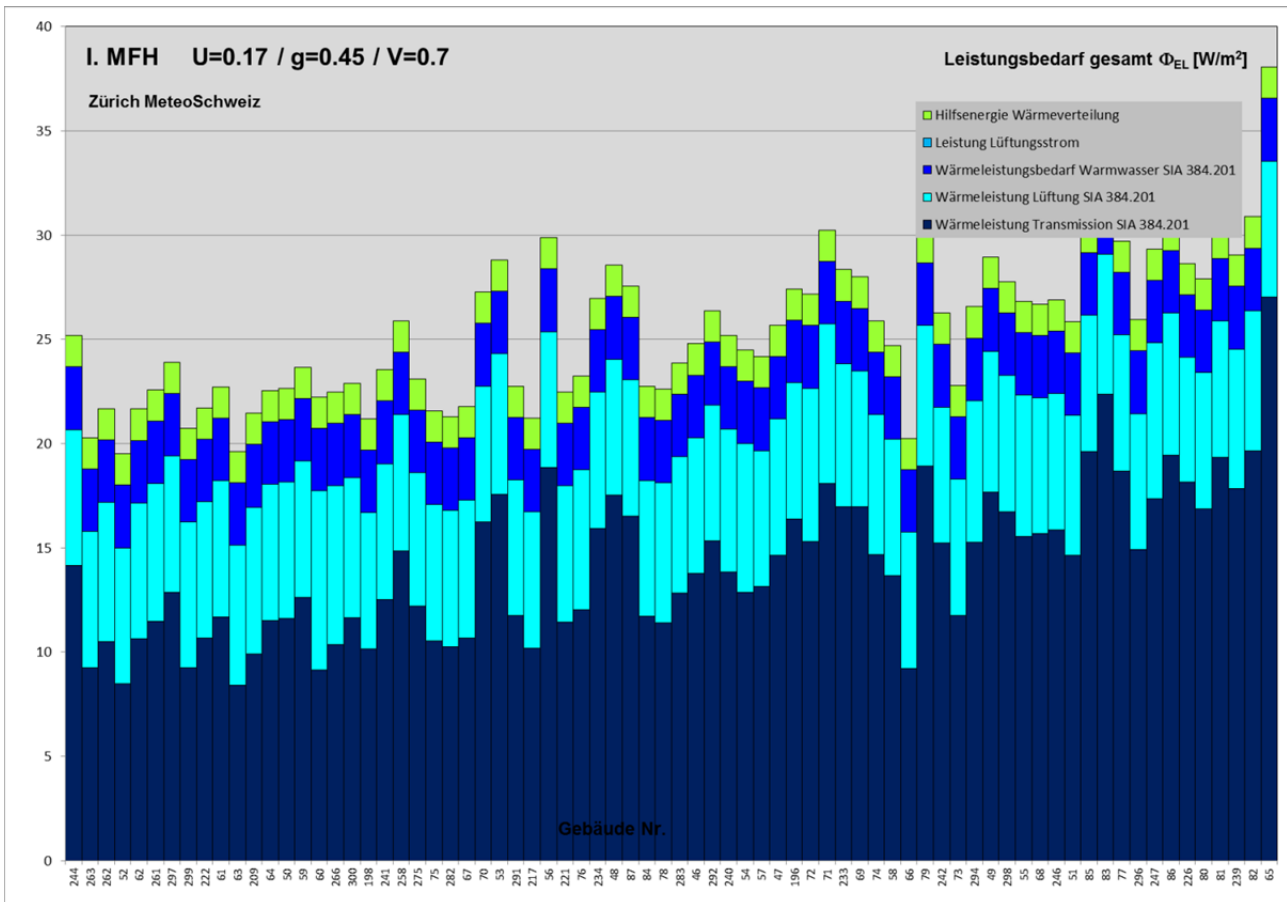


Abbildung 39: Kategorie I. Mehrfamilienhaus: Berechnung Leistungsbedarf
 Datenbasis: 74 MFH, MuKE n 2014, Klimastation Zürich MeteoSchweiz, Ordnung: Gebäudehüllzahl aufsteigend

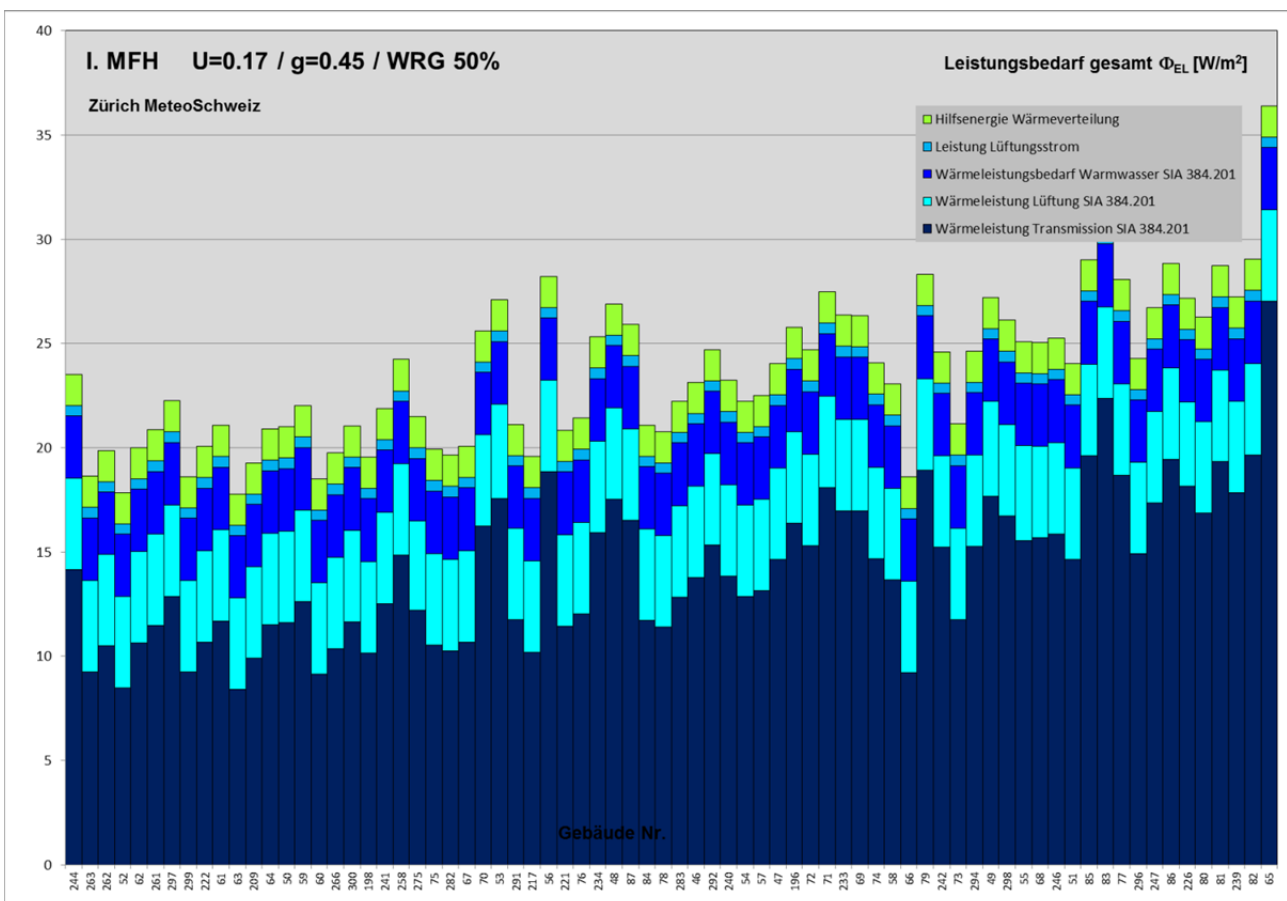


Abbildung 40: Kategorie I. Mehrfamilienhaus: Berechnung Leistungsbedarf: Lüftung mit WRG 50%
 Datenbasis: 74 MFH, MuKE n 2014, Klimastation Zürich MeteoSchweiz, Ordnung: Gebäudehüllzahl aufsteigend

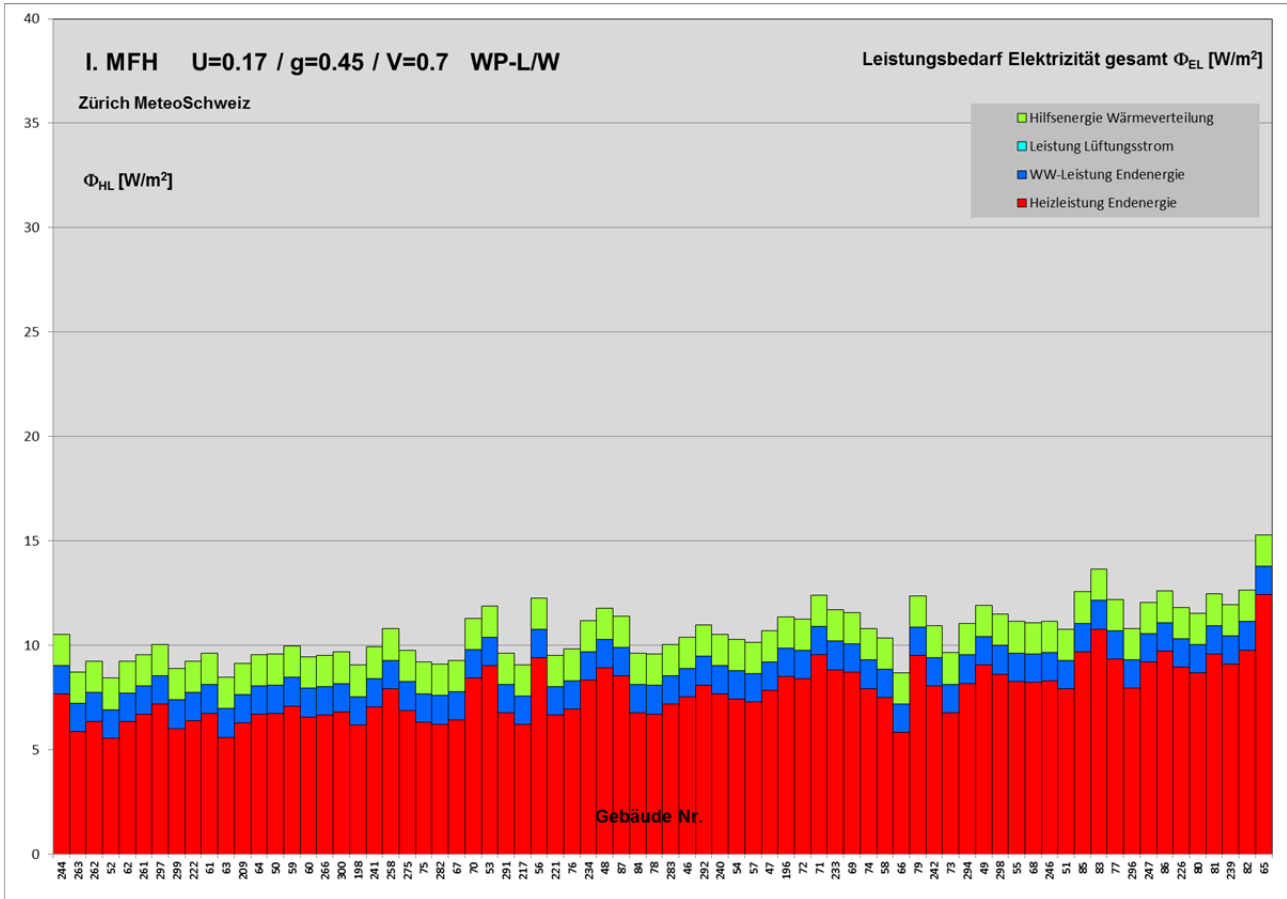


Abbildung 41: Kategorie I. Mehrfamilienhaus: Berechnung Leistungsbedarf Elektrizität
 Datenbasis: 74 MFH, MuKEn 2014, Klimastation Zürich MeteoSchweiz, Ordnung: Gebäudehüllzahl aufsteigend

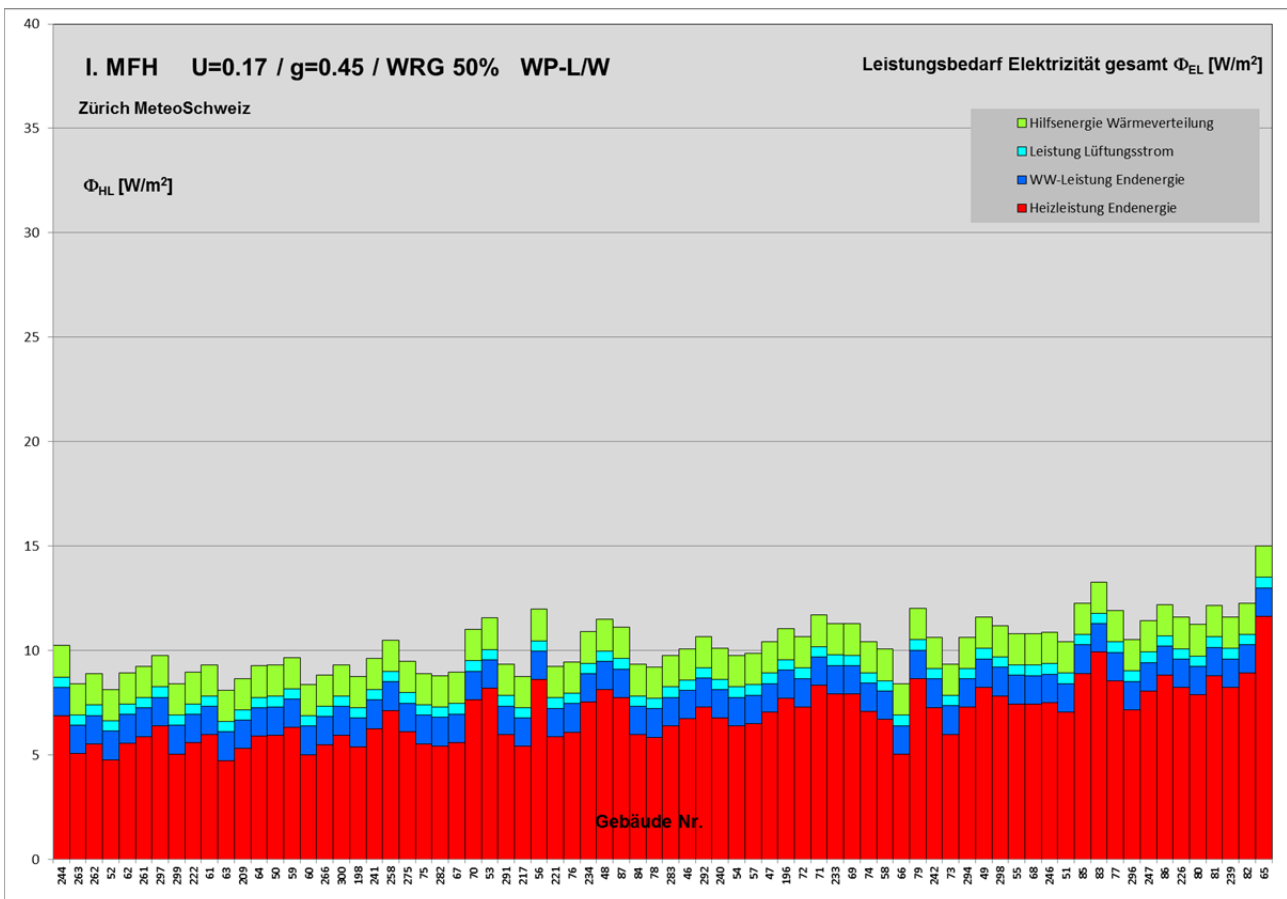


Abbildung 42: Kategorie I. Mehrfamilienhaus: Berechnung Leistungsbedarf Elektrizität: Lüftung mit WRG 50%
 Datenbasis: 74 MFH, MuKEn 2014, Klimastation Zürich MeteoSchweiz, Ordnung: Gebäudehüllzahl aufsteigend

14 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

14.1 Heizleistungsbedarf

14.1.1 Beurteilung der SIA-Normen

Die Norm SIA 384.201 regelt die Berechnung des Heizleistungsbedarfs (Norm-Heizlast) von einzelnen Räumen. Diese Norm dient damit in erster Linie zur Dimensionierung der Wärmeabgabe, das heisst von Heizkörpern und Fussbodenheizungen.

Die Summe des Heizleistungsbedarfs aller Räume ist oft grösser als der Heizleistungsbedarf des ganzen Gebäudes. Ein Grund ist, dass bei der Dimensionierung der Wärmeabgabe teilweise gebäudeinterne Wärmeflüsse (z.B. vom Bad gegen ein Schlafzimmer) eingesetzt werden. Ein weiterer Grund ist, dass die Summe der Lüftungswärmeverluste der einzelnen Räume grösser ist als der Lüftungswärmeverlust des ganzen Gebäudes (Gleichzeitigkeit).

Die Norm SIA 384/1 beschreibt, wie auf Basis der SIA 384.201 plus Zuschläge für die Wassererwärmung und allfälligen verbundenen Systemen die Wärmeerzeugerleistung berechnet wird.

In den letzten 15 Jahren hat die berechnete Heizleistung mit jeder neuen Normversion zugenommen. Die Ursachen liegen bei geänderten Definitionen (z.B. Aussenabmessungen statt Innenmasse) und neuen Klimadaten. Die grösseren Leistungen basieren nicht auf Erfahrungen mit zu klein dimensionierten Heizungen, sondern auf technischen Anpassungen und Koordination im Normenwesen.

Die SIA 384.201 lässt zu, dass bei sehr gut wärmegeprägten Gebäuden, wie Minergie-P, Solargewinne berücksichtigt werden. Im Merkblatt SIA 2028 finden sich entsprechende Klimadaten (vgl. Abschnitt 4.3 in diesem Bericht). Bei Verwendung dieser Klimadaten kann die vorhin beschriebene Überdimensionierung mit SIA 304.201-Berechnungen wieder relativiert werden.

Der Heizleistungsbedarf eines Gebäudes lässt sich auch auf Basis von SIA 380/1-Berechnungen abschätzen. In der SIA 384/3 ist dazu ein Verfahren beschrieben, das im Tool WPesti umgesetzt wurde. Das Verfahren beruht darauf, dass bei einer SIA 380/1-Berechnung die Verlustkoeffizienten ermittelt werden. Ursprünglich war das Verfahren dazu entwickelt worden, um bei Anlagen mit mehreren Wärmeerzeugern den Deckungsgrad der einzelnen Wärmeerzeuger berechnen zu können sowie als Hilfsgrösse für die Berechnung von Kesselnutzungsgraden und Jahresarbeitszahlen von Wärmepumpen. Bei der Validierung des Tools WPesti hat sich gezeigt, dass die mit SIA 384/3 ermittelte Leistung zuverlässig ist und auch zur Dimensionierung der Wärmeerzeugung verwendet werden könnte.

Für die Berechnung des Heizleistungsbedarfs eines Gebäudes bietet heute die SIA 384/3 eine bessere Basis als die SIA 384.201. Für die Leistungsbestimmung nach SIA-384/3 ist immer eine Berechnung nach SIA 380/1 erforderlich. Der Heizleistungsbedarf nach SIA 384/3 ist damit ein Nebenprodukt einer SIA 380/1-Berechnung. Es bedarf eines kleinen Aufwandes diese Leistungsberechnung in heutigen SIA 380/1-Programm zu ergänzen.

14.1.2 Definition der Berechnung des Heizleistungsbedarfs

Die Definition der Berechnung des Heizleistungsbedarfs als behördliche Anforderung ist nicht zuletzt eine politische Frage. Die Autoren stellen folgende Varianten zur Diskussion:

- a) Heizleistungsbedarf nach SIA 384/3
- b) Wärmeverluste abzüglich Solargewinnen am Dimensionierungstag

Die erste Variante hat den Vorteil, dass die für den Energienachweis ermittelte Leistung auch für die Dimensionierung der Wärmeerzeugung verwendet werden kann. Zudem ist sie ein Nebenprodukt der SIA 380/1-Berechnung.

Bei der zweiten Variante werden passive Solargewinne belohnt, aber gegenüber SIA 380/1 deutlich abgeschwächt. Das Verfahren, wie es in der SIA 384.201 beschrieben ist, wurde an die Dimensionierung von Passivhäusern angelehnt. Das heisst, dass es für extrem stark wärmegeprägten Gebäude entwickelt wurde. Bei mittel bis gut wärmegeprägten Gebäuden (in etwa MuKE n 2014) besteht an kalten Tagen mit wenig

Solarstrahlung das Risiko, dass die geforderte Raumtemperatur nicht erreicht wird. Der so ermittelte Heizleistungsbedarf kann daher nicht generell zu Dimensionierung der Wärmeerzeugung verwendet werden.

Die Autoren empfehlen eine Berechnung des Heizleistungsbedarfs nach SIA 384/3 weil

- diese Leistung eine Nebenprodukt der SIA 380/1-Berechnung ist und
- die Leistung zur Dimensionierung der Wärmeerzeugung verwendet werden kann.

Bemerkung: Die Dimensionierung der Wärmeabgabe soll weiterhin nach SIA 384.201 erfolgen. Überdimensionierte Heizflächen stehen nicht im Widerspruch zur Energieeffizienz. Zudem dürfte bei einer Revision der SIA 384.201 der berechnete Heizleistungsbedarf künftig kleiner werden.

14.2 Einfluss von Lüftungsanlagen

Eine effiziente Wärmerückgewinnung (WRG) kann die Lüftungswärmeverluste massiv reduzieren. Der Leistungsbedarf für die Lufterwärmung wird aber nicht bei allen Systemen im gleichen Mass reduziert wie der Energiebedarf. Die Ursache dazu liegt beim Vereisungsschutz. Bei Aussen Temperaturen von unter 0°C besteht das Risiko, dass auf der Abluftseite Wasser kondensieren und gefrieren kann. Eine Lüftungsanlage muss daher so konzipiert werden, dass keine Schäden oder Betriebsstörungen durch Vereisung der WRG entstehen können.

Verschiedene Vereisungsschutzmassnahmen wirken sich bezüglich Energie- und Leistungsbedarf sehr unterschiedlich aus:

Bei Kleinanlagen wird relativ oft eine elektrische Vorwärmung eingesetzt. Anstelle einer Leistungsreduktion kann so ein zusätzlicher elektrischer Leistungsbedarf entstehen. Die Leistung hängt sehr stark von der Regelung und von den Klimadaten ab. Bei Wohngebäuden liegt der Leistungsbedarf zwischen etwa 2 und 7 W pro m² Energiebezugsfläche.

Bei einigen Kleingeräten werden bei tiefen Aussenlufttemperaturen die Zuluftventilatoren ausgeschaltet oder reduziert betrieben². Dabei geht die Wirkung der WRG verloren.

Bei grösseren Anlagen wird der Vereisungsschutz teilweise über eine Bypass-Steuerung gelöst. Im schweizerischen Mittelland hat dies bezüglich Leistungsbedarfs etwa die gleiche Wirkung, wie wenn die WRG einen Temperatur-Änderungsgrad von ca. 50% hätte.

Es sind aber auch Lösungen verfügbar, bei denen die WRG auch bei Minustemperaturen einen hohen Temperatur-Änderungsgrad erreichen kann. Zu erwähnen ist die Vorwärmung mit Umgebungswärme (spez. Erdwärme) oder einige Enthalpietauscher³.

Damit ein tiefer Heizleistungsbedarf des Gebäudes nicht durch einen ungünstigen Vereisungsschutz zunichte gemacht wird, sind zu einem Leistungskriterium ergänzende Einzelanforderungen erforderlich.

Die Autoren schlagen dazu folgenden Ansatz vor:

- Verbot von einstufigen Elektrovorwärmern für den Vereisungsschutz (Gleichsetzung mit Elektroheizungen).
- Vorgaben für leistungsgeregelte Elektrovorwärmer (z.B. max. 2 W pro m² Energiebezugsfläche)
- Beim Leistungskriterium darf nur der Anteil WRG eingerechnet werden, der bei Dimensionierungsbedingungen aktiv ist. Für die Dimensionierung der Lüftung sind die tiefsten Stundenwerte der SIA 2028 massgebend (gleich wie für die Auslegung von Lufterhitzern).

14.3 Elektrische Leistung

Eine Leistungsanforderung könnte grundsätzlich auch auf Stufe Endenergie gestellt werden. Bei lagerbaren Energien und Erdgas⁴ bringt aber eine Einschränkung der spezifischen Leistung keinen energiepolitischen oder energiewirtschaftlichen Nutzen.

² Gemäss SIA 382/1 und SIA 2023 soll diese Lösung nicht eingesetzt werden, da sie im Gebäude einen Unterdruck erzeugt. Bei einer Feuerung in der Wohnung besteht zudem ein Sicherheitsrisiko.

³ Kombinierte Wärme- und Feuchterückgewinnung. Damit keine zusätzlichen Vereisungsschutzmassnahmen erforderlich sind, muss der Enthalpietauscher im schweizerischen Mittelland bis zu einer Aussen Temperatur von -10°C voll funktionsfähig sein.

⁴ Das schweizerische Erdgasnetz weist eine Speicherkapazität von einigen Tagen auf.

Bei der elektrischen Energie hingegen besteht ein breites Interesse an kalten Tagen Leistungsspitzen zu vermeiden resp. zu beschränken.

Die Wärmeversorgung von neuen Gebäuden erfolgt vorwiegend elektrisch, das heisst mit Wärmepumpen. Bei Aussentemperaturen unterhalb der Dimensionierungsbedingungen werden zudem Elektroheizeinsätze (Notheizungen) dazu geschaltet. Weitere Verbraucher sind Elektroheizungen für die Warmwasser-Nachwärmung, Umwälzpumpen sowie allenfalls der Vereisungsschutz und die Ventilatoren von Komfortlüftungen.

In den Tabellen 2 und 3 werden beispielhaft zwei verschiedene Wärmeversorgungskonzepte eines neuen Wohngebäudes miteinander verglichen. In Tabelle 2 wird die Technik beschrieben. Tabelle 3 zeigt die elektrische Leistung bezogen auf die Energiebezugsfläche. Es wird angenommen, dass der spezifische Heizleistungsbedarf 20 W/m^2 beträgt.

Tabelle 2: Beschreibung der Varianten

Fall	hohe elektr. Leistung	geringe elektr. Leistung
Wärmeerzeugung	Luft-Wasser - Wärmepumpe	Sole-Wasser-Wärmepumpe
Einschaltpunkt Notheizung	-8°C	-11°C
Warmwasser	elektr. Nachwärmung	nur mit Wärmepumpe
Komfortlüftung	nur WRG	Enthalpietauscher
Vereisungsschutz WRG	Elektro-Vorwärmung	Enthalpietauscher

Tabelle 3: Elektrische Leistung der Wärmeversorgung in W/m^2 bei -10°C

Fall	hohe elektr. Leistung		geringe elektr. Leistung	
	installiert	maximales Tagesmittel	installiert	maximales Tagesmittel
Wärmepumpe Heizung	8.0	8.0	5.0	5.0
Wärmepumpe Warmwasser	0.6	0.6	0.8	0.8
Umwälzpumpe, Solepumpe	0.2	0.2	0.4	0.4
elektrische Notheizung	22.0	1.4	0.0	0.0
Nachwärmung Warmwasser	10.0	1.2	0.0	0.0
Ventilator Komfortlüftung	0.3	0.3	0.3	0.3
Vereisungsschutz WRG	2.5	2.5	0.0	0.0
Total	43.6	14.2	6.4	6.4

Das Beispiel soll illustrieren, dass nicht nur die Wärmepumpe resp. die Wärmequelle die elektrische Aufnahmeleistung der Wärmeerzeugung bestimmt, sondern dass die Summe der übrigen Verbraucher in der gleichen Grössenordnung liegen kann. Im schweizerischen Mittelland sind die aufgeführten Elektroheizeinsätze (Notheizung Wärmepumpe, Nachwärmung Warmwasser, Vereisungsschutz WRG) vermeidbar.

Die Autoren empfehlen neben dem spezifischen Heizleistungsbedarf auch Regeln zur Begrenzung der elektrischen Leistungsaufnahme zu erstellen. Grundsätzlich kommen Einzelanforderungen in Frage (s. Abschnitt "Einfluss von Lüftungsanlage").

Es ist auch möglich eine Systemanforderung an die installierte elektrische Leistung der Wärmeversorgung zu formulieren. Bei rein elektrischen Systemen wäre es denkbar, dass im Energienachweis optional zwischen einer Anforderung an die elektrische Leistung und einer Anforderung an die Heizleistung gewählt werden könnte. Bei Wohnbauten wäre z.B. ein Grenzwert von 7 W/m^2 genügend anspruchsvoll, damit sowohl eine gute gedämmte Gebäudehülle, wie auch eine effiziente Gebäudetechnik realisiert werden.

Anhang

A1: Heizleistung mit und ohne Wärmegewinne

Im Bericht dient die Berechnung des Heizleistungsbedarfs ohne Gewinne der Beurteilung. Daneben wurden auch einige Analysen mit Einbezug der solaren Wärmegewinne durchgeführt. Berechnungsmethode und Resultate sind hier dokumentiert.

Heizleistungsbedarf mit Gewinnen

Die Berechnung wird um den Term der solaren Energiegewinne ergänzt. Ausgehend von der Globalstrahlung auf den Fassadenoberflächen wird mit den Glasflächen, des Gesamtenergiedurchlassgrades, Verschattungsfaktoren der Energieeintrag in den Innenraum berechnet und mit dem Ausnutzungsgrad für Wärmegewinne (in der Regel der Januarwert) der nutzbare Anteil der Wärmegewinne ermittelt.

$$\Phi_{HL} = \frac{(H_T + H_V) \times (\theta_i - \theta_e)}{A_E} - \eta_g \times \left(\frac{G \times A_g \times g \times F_s}{A_E} \right) \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

Klimadaten

Raumtemperatur

Die Raumtemperatur θ_i wird für alle Gebäude aus der Standardnutzung gemäss SIA 380/1 übernommen.

Klimadaten

Die Klimadaten werden gemäss Merkblatt SIA 2028 eingesetzt.

Berechnung der Wärmeverluste

Der Wärmeleistungsbedarf Φ_{HL} wird berechnet mit der Norm-Aussentemperatur gemäss SIA 2028 (tiefstes 4-Tages Mittel der Aussentemperatur der letzten 20 Kalenderjahre). In Abhängigkeit der spezifischen Wärmekapazität des Gebäudes erfolgt eine Absenkung der Aussentemperatur um bis maximal 3K.

Berechnung der Wärmegewinne

Für die Wärmegewinne liefert SIA 2028 Aussentemperatur und Leistungen der Globalstrahlung auf den fünf Hauptorientierungen horizontal, Ost, Süd, West, Nord für eine "kalte" und eine "trübe" Periode. Die Aussentemperatur beim "Klima A KALT" entspricht der Auslegetemperatur, die Aussentemperatur beim "Klima B, TRÜB" ist höher, aber es wird mit geringerer Strahlungsleistung gerechnet. Strahlungen auf Fassadenflächen bei um 45 Grad gedrehten Gebäuden werden geometrisch gemittelt. Die folgenden Tabellen zeigen die Klimadaten für die in diesem Bericht verwendeten Klimastandorte Zürich, MeteoSchweiz, Lugano und Davos.

Zürich MeteoSchweiz		kalt		trüb	
°C	Temp	-8 °C	45°gedreht	-3 °C	45°gedreht
W/m2	GH	53	53.0	21	21.0
	GS	102	71.1	21	17.1
	GE	41	44.7	13	13.5
	GW	48	36.7	14	12.4
	GN	28	32.9	12	12.0

Lugano		kalt		trüb	
°C	Temp	-1 °C	45°gedreht	3 °C	45°gedreht
W/m2	GH	64	64.0	15	15.0
	GS	121	75.4	11	9.4
	GE	38	42.3	7	7.5
	GW	47	30.7	8	7.5
	GN	20	27.6	7	7.0

Davos		kalt		trüb	
°C	Temp	-13 °C	45°gedreht	-8 °C	45°gedreht
W/m2	GH	89	89.0	38	38.0
	GS	199	134.6	68	48.8
	GE	80	85.3	31	32.9
	GW	91	68.8	35	29.6
	GN	52	64.5	25	27.8

Abbildung 43: Klimadaten für 3 Klimastationen zur Berechnung des Heizleistungsbedarfs mit Gewinnen (SIA 2028)

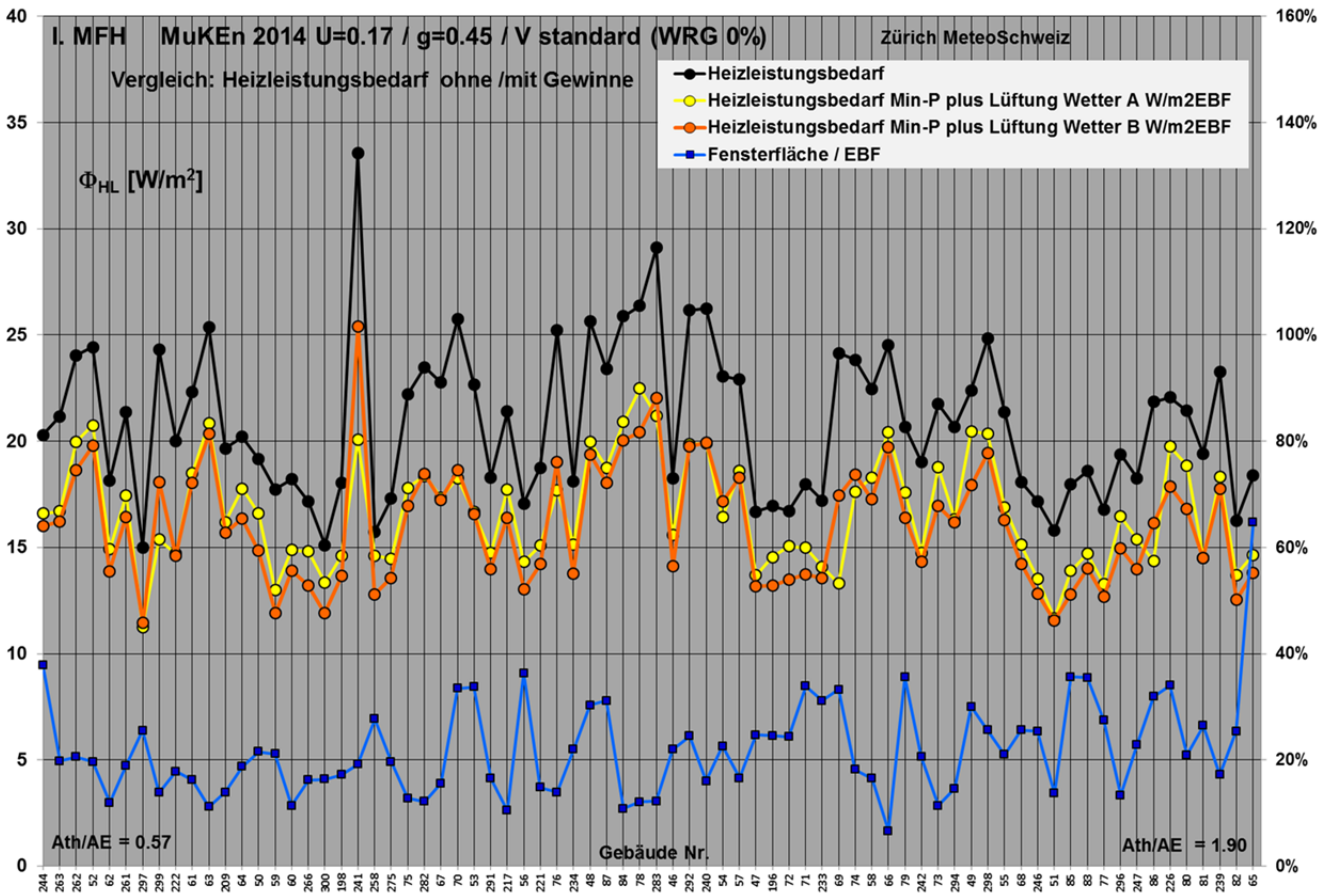


Abbildung 44: Kategorie I. Mehrfamilienhaus: Heizleistungsbedarf ohne und mit Gewinne (Klima A, kalt und Klima B, trüb (Ordnung Gebäudehüllzahl aufsteigend)

Datenbasis: 74 Mehrfamilienhäuser, MuKEn 2014, Klimastation Zürich MeteoSchweiz

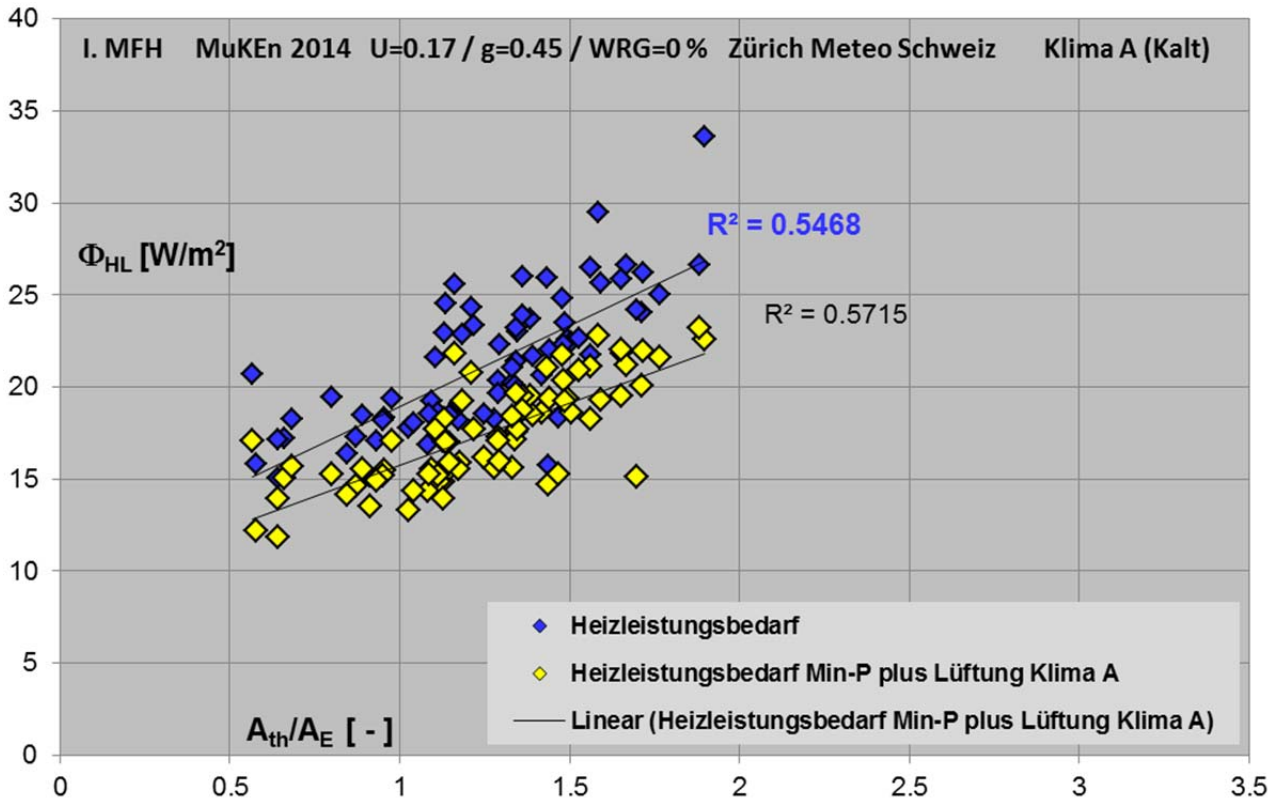


Abbildung 45: Kategorie I. Mehrfamilienhaus: Berechnung Heizleistungsbedarf ohne und mit Gewinne
 Datenbasis: 74 Mehrfamilienhäuser, MuKEn 2014, Klimastation Zürich MeteoSchweiz

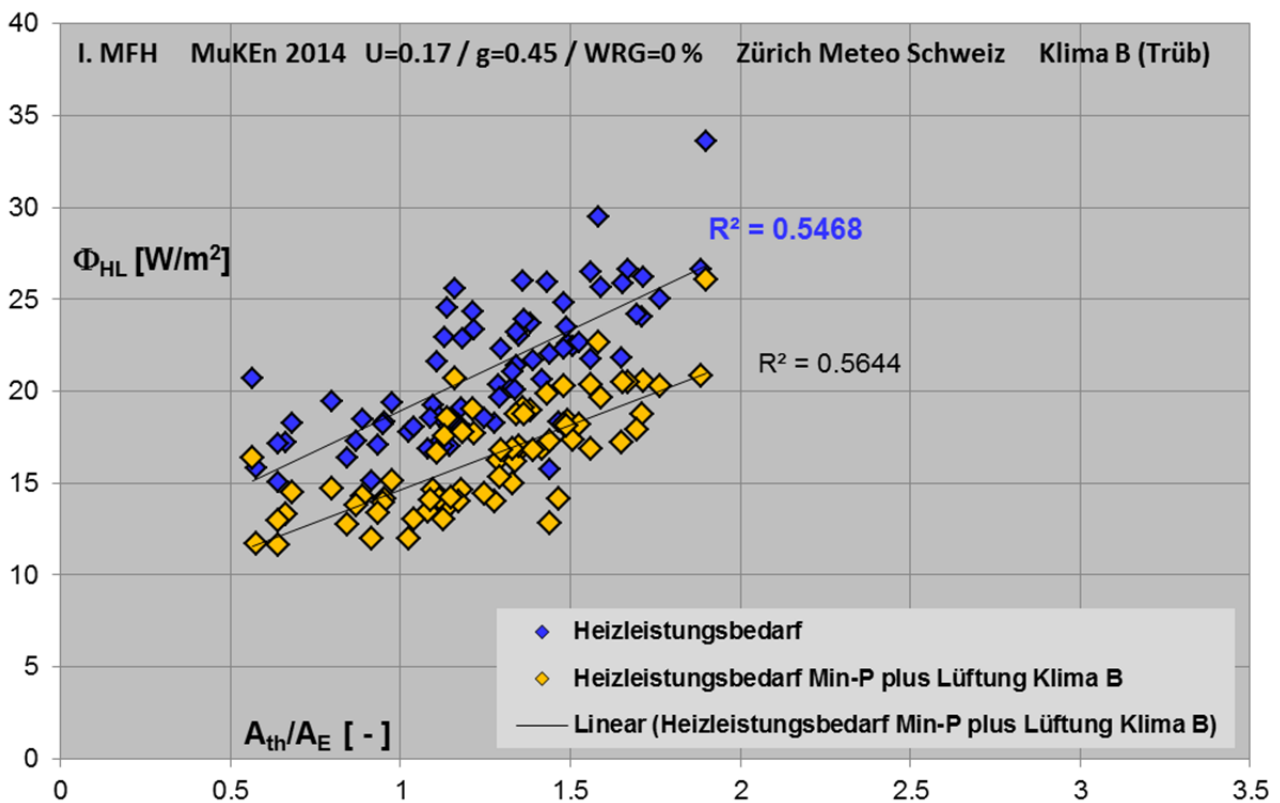


Abbildung 46: Kategorie I. Mehrfamilienhaus: Berechnung Heizleistungsbedarf ohne und mit Gewinne
 Datenbasis: 74 Mehrfamilienhäuser, MuKEn 2014, Klimastation Zürich MeteoSchweiz

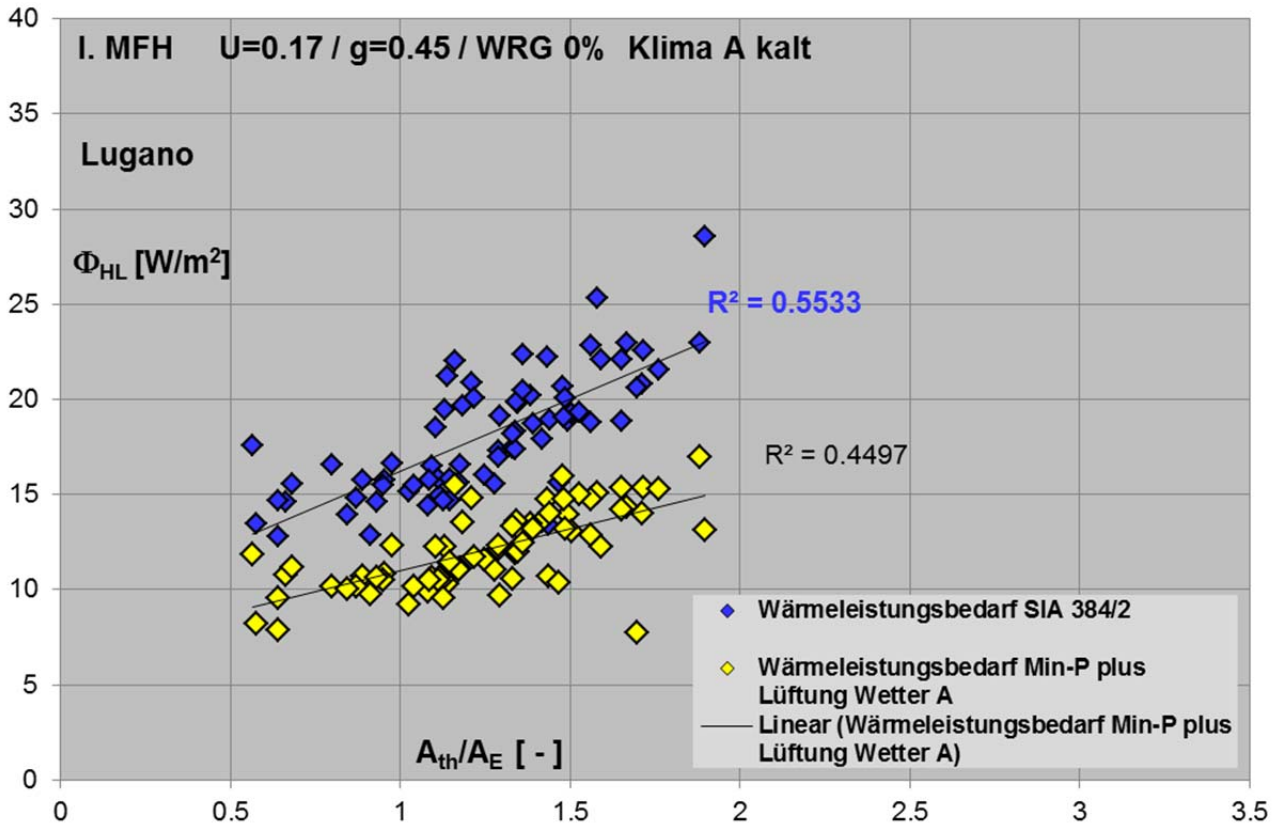


Abbildung 47: Kategorie I. Mehrfamilienhaus: Berechnung Heizleistungsbedarf ohne und mit Gewinne.
Datenbasis: 74 Mehrfamilienhäuser, MuKE n 2014, Klimastation Lugano

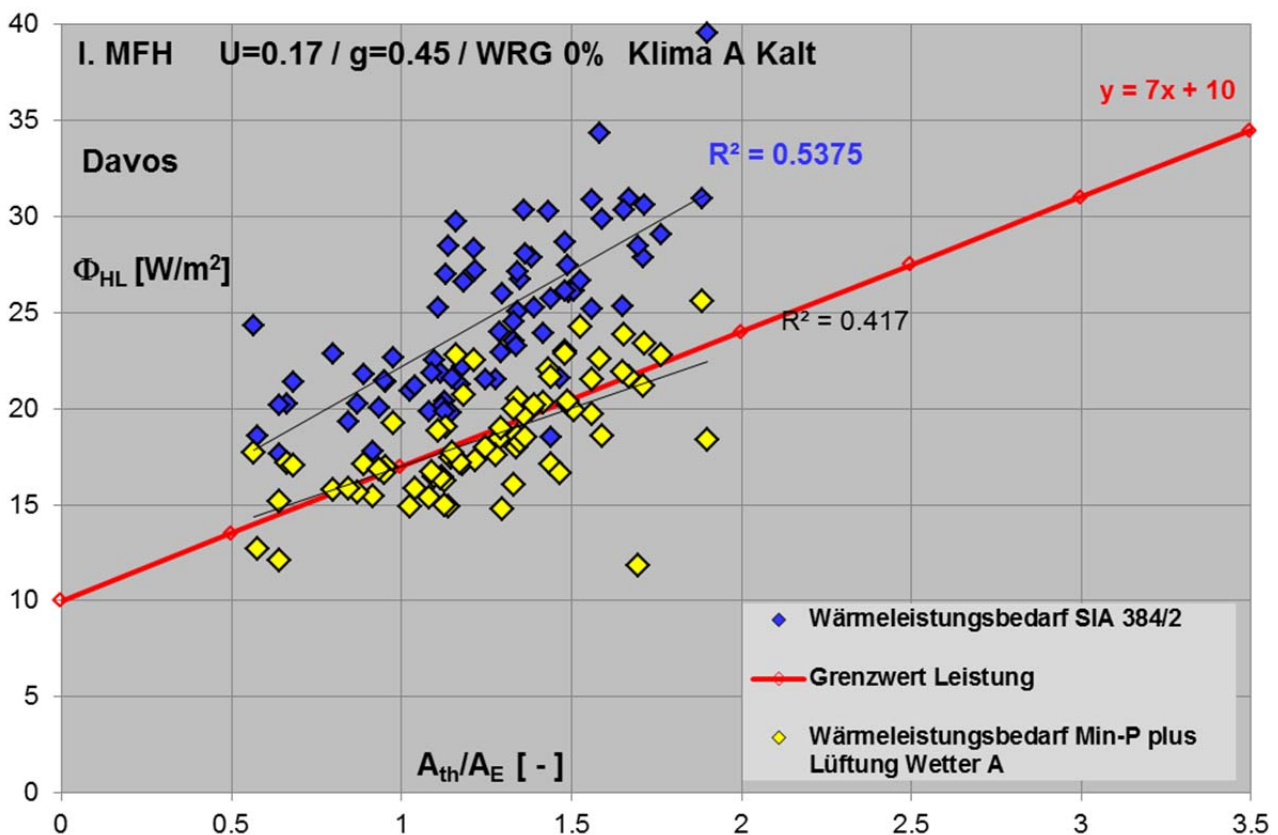


Abbildung 48: Kategorie I. Mehrfamilienhaus: Berechnung Heizleistungsbedarf ohne und mit Gewinne.
Datenbasis: 74 Mehrfamilienhäuser, MuKE n 2014, Klimastation Davos

A2: Variation g-Werte

Die g-Werte sind entscheidend in der Berechnung des Heizwärmebedarfs und auch bei der Berechnung der Heizleistung mit Wärmegewinnen tritt der Gesamtenergiedurchlassgrad in Erscheinung. Der Einfluss der solaren Gewinne wurde zusätzlich untersucht. Die Resultate werden hier dokumentiert.

Die Qualität der Wärmeschutzgläser entwickelt sich schnell. Während vor ca. 10 Jahren das 2fach-Wärmeschutzglas mit einem U-Wert von $1.1 \text{ W/m}^2\text{K}$ und einem Gesamtenergiedurchlassgrad von $g=0.50$ der Standard war, so werden heute bei Neubauten in der Regel bessere Gläser eingebaut, als gesetzlich gefordert. So hat sich das Glas mit den Eigenschaften eines Minergie-Moduls Fenster (3fach-Wärmeschutzglas, $U_g=0.70 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g=0.50$) zum marktauglichen Standard entwickelt. Zudem geht die Entwicklung rasant weiter, bei den besten Wärmeschutzgläsern liegen heute die Werte bei $U=0.60 \text{ W/m}^2\text{K}$ und $g=0.67$.

Die Variation des g-Wertes der Verglasungen von 0.35 bis 0.65 zeigt die grosse Abhängigkeit des Heizwärmebedarfs von den Solaren Wärmegewinnen.

Werden Gläser mit g-Wert 0.65, statt mit Standardwert 0.45 eingesetzt, kann der Heizwärmebedarf der Mehrfamilienhäuser um rund 5 bis 40% gesenkt werden. Damit beeinflussen die Parameter: Fensterfläche, Glasqualität, die eingesetzten Verschattungsfaktoren das Resultat entscheidend.

Bei der Heizleistung ist der Einfluss der Sonnenenergie deutlich geringer. Im Klima A, an einem relativ strahlungsreichen, kalten Wintertag wird der Effekt in etwa halbiert, für Klima B (trüber Tag)= mit sehr geringer Strahlung bringt die Kompensation schlechter U-Werte durch Maximierung der Sonnenenergiegewinne kaum mehr einen Effekt.

Daten für die Berechnung:

Gebäudekategorie		I. Wohnen MFH	
Klimastation		Zürich MeteoSchweiz	
U-Werte		MuKE n 2014	
opake Bauteile	Aussenluft	0.17	$\text{W/m}^2\text{K}$
	unbeheizt / Erdreich	0.25	$\text{W/m}^2\text{K}$
Fenster	U-Wert U_w	1.00	$\text{W/m}^2\text{K}$
	g-Wert	0.35 / 0.45 / 0.55 / 0.65	
Lüftung	Wärmerückgewinnung	WRG	0%

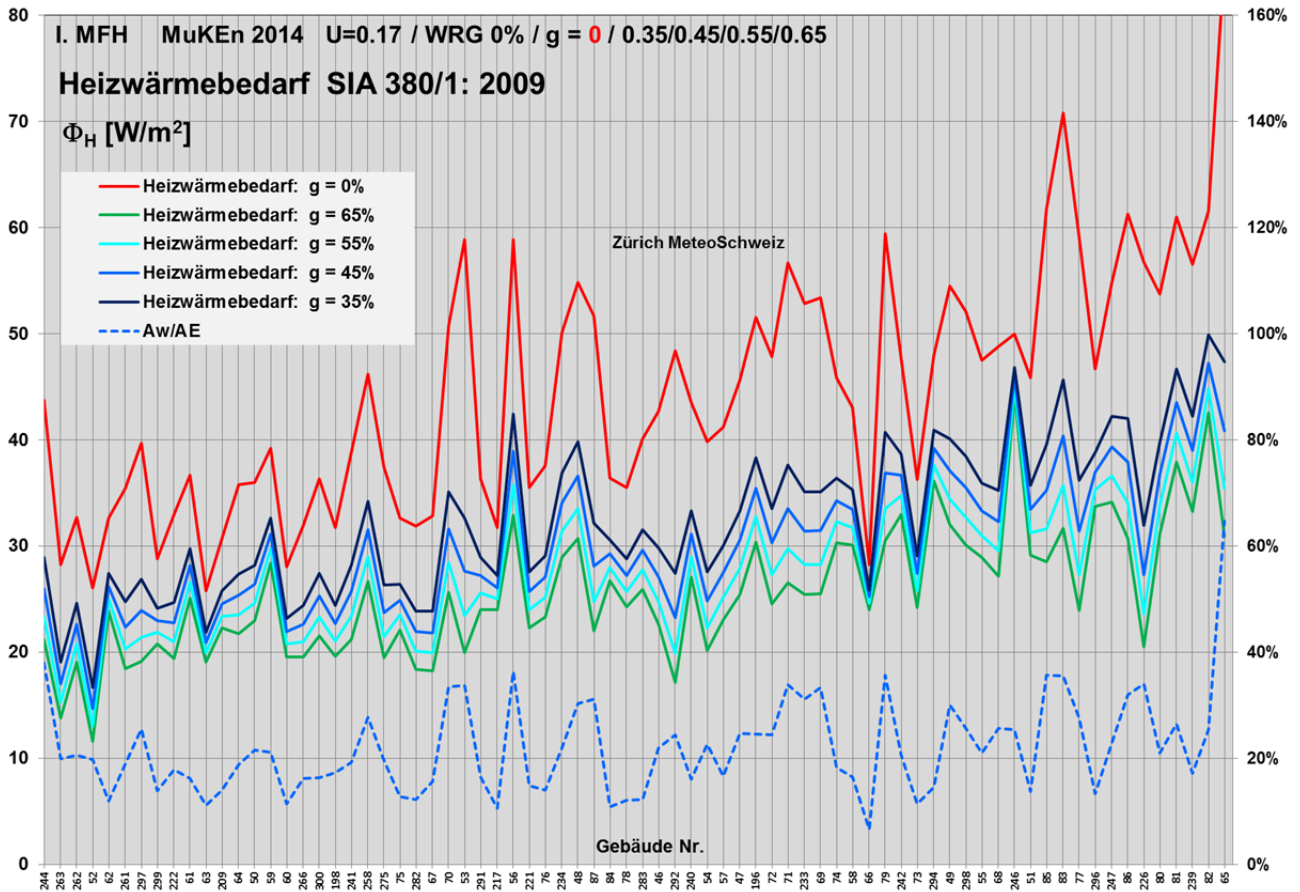


Abbildung 49: Kategorie I. Mehrfamilienhaus: Heizwärmebedarf Q_h , $g = 0.35/0.45/0.55/0.65$ (Ordnung Gebäudehüllzahl aufsteigend)
 Datenbasis: 74 Mehrfamilienhäuser, MuKE n 2014, Klimastation Zürich MeteoSchweiz

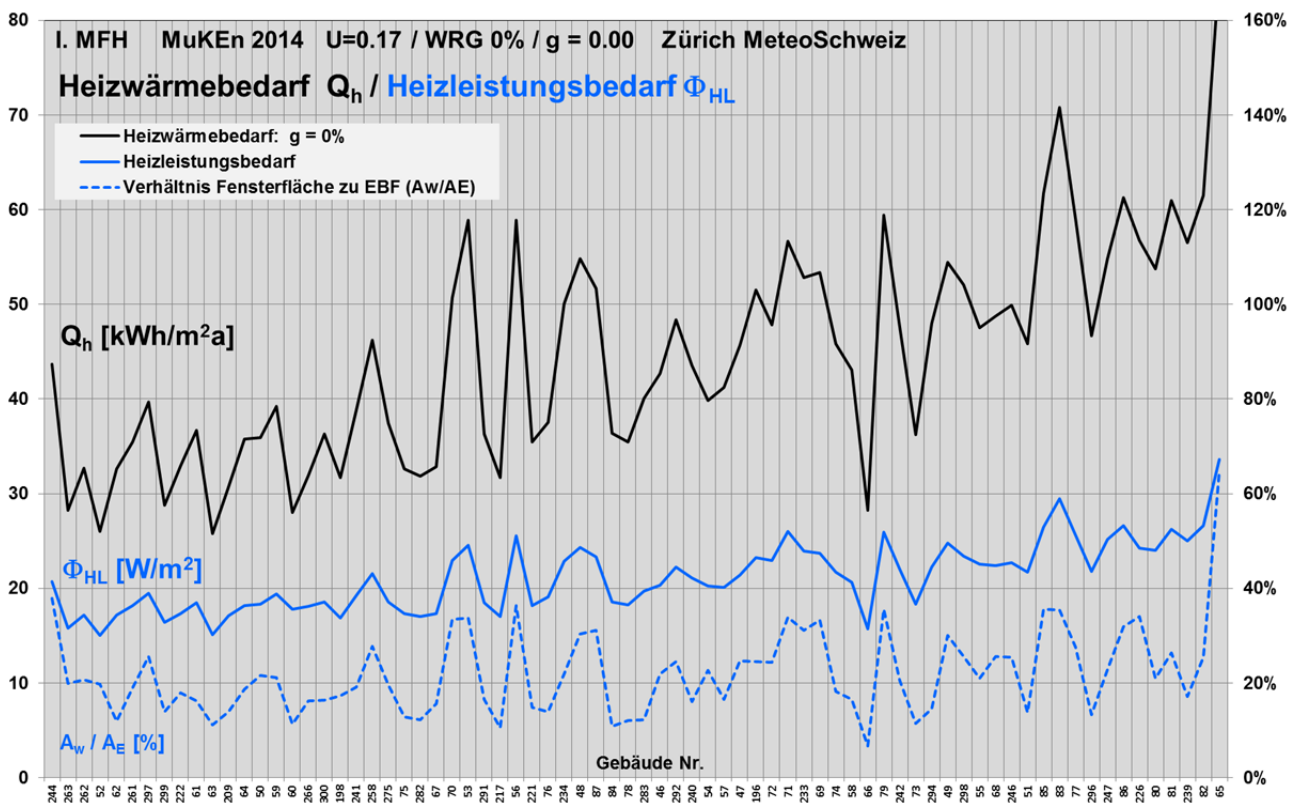


Abbildung 50: Kategorie I. Mehrfamilienhaus: Heizwärmebedarf Q_h , $g = 0.35/0.45/0.55/0.65$ (Ordnung Gebäudehüllzahl aufsteigend)
 Datenbasis: 74 Mehrfamilienhäuser, MuKE n 2014, Klimastation Zürich MeteoSchweiz

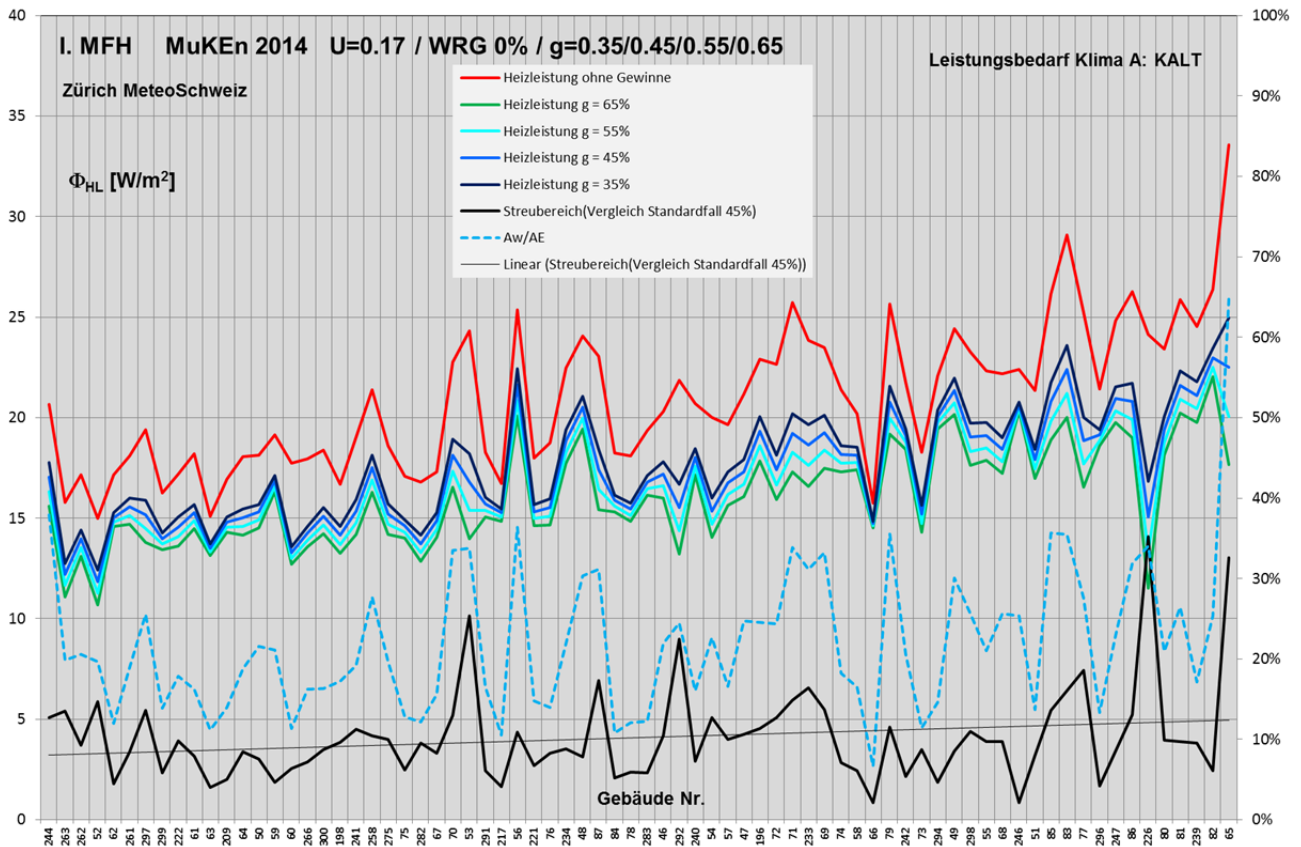


Abbildung 51: Kategorie I. Mehrfamilienhaus: Heizwärmebedarf Q_{HL} , $g = 0.35/0.45/0.55/0.65$ (Ordnung Gebäudehüllzahl aufsteigend)
 Datenbasis: 74 Mehrfamilienhäuser, MuKEn 2014, Klimastation Zürich MeteoSchweiz

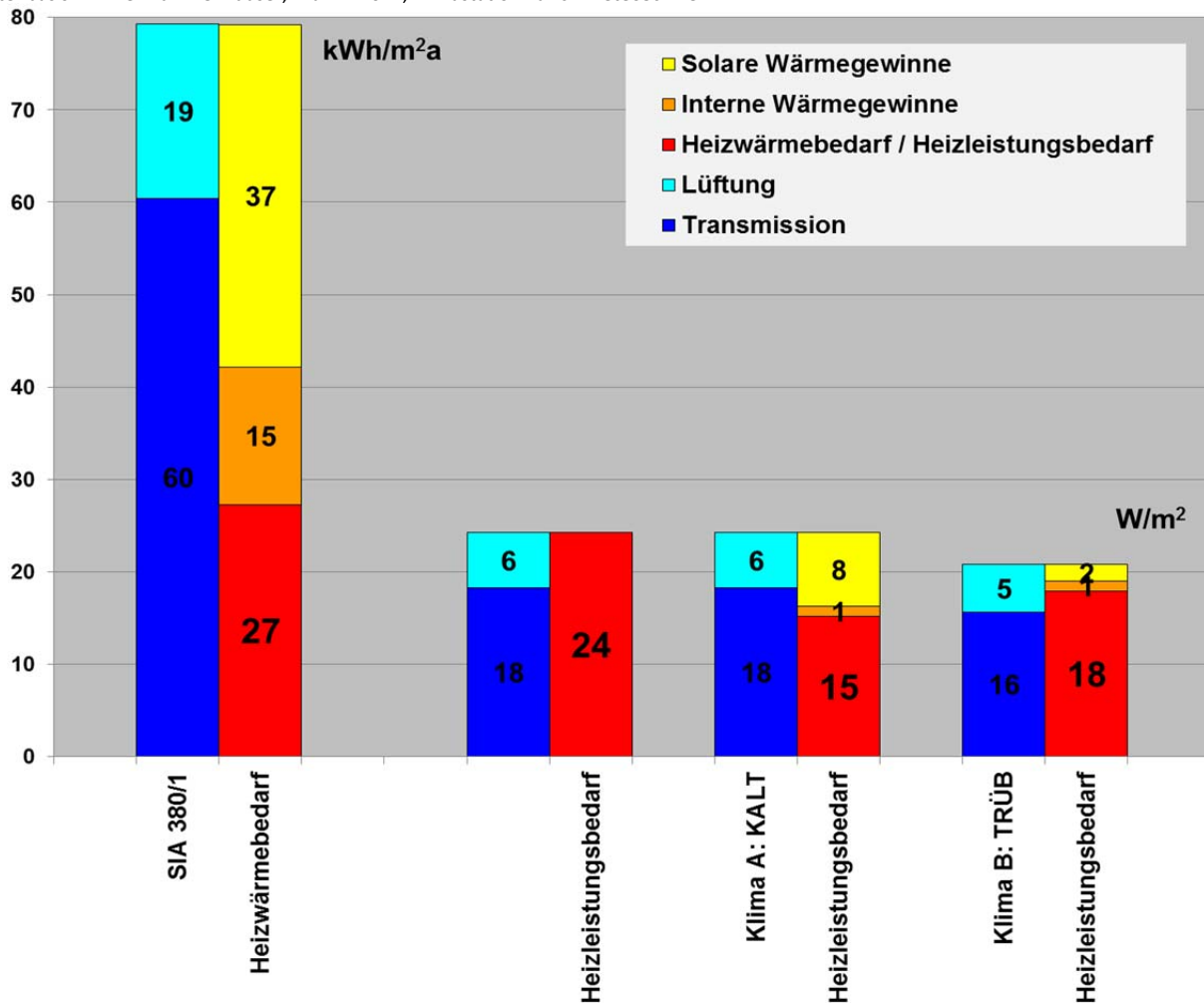


Abbildung 52: Gebäudebeispiel Mehrfamilienhaus Nr. 226: Heizwärmebedarf und Heizleistungsbedarf ohne und mit Gewinne, Klima A, kalt und Klima B, trüb

A3: Heizwärme-, Heizleistungsbedarf: Ergänzungen

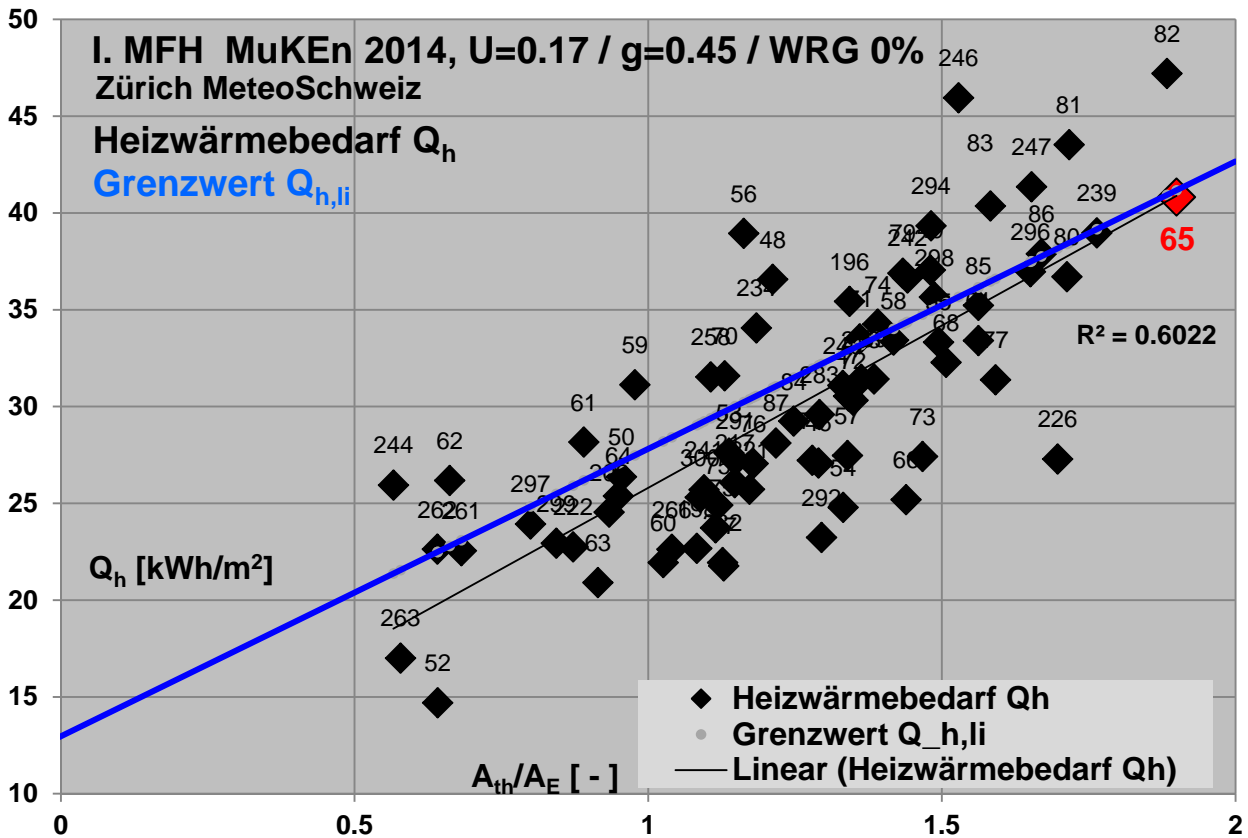


Abbildung 53: Kategorie I. Mehrfamilienhaus: Berechnung Heizwärmebedarf SIA 380/1 und Grenzwert $Q_{h,li}$. Datenbasis: 74 MFH, MuKEN 2014, Klimastation Zürich MeteoSchweiz, mit Gebäude-Nummern

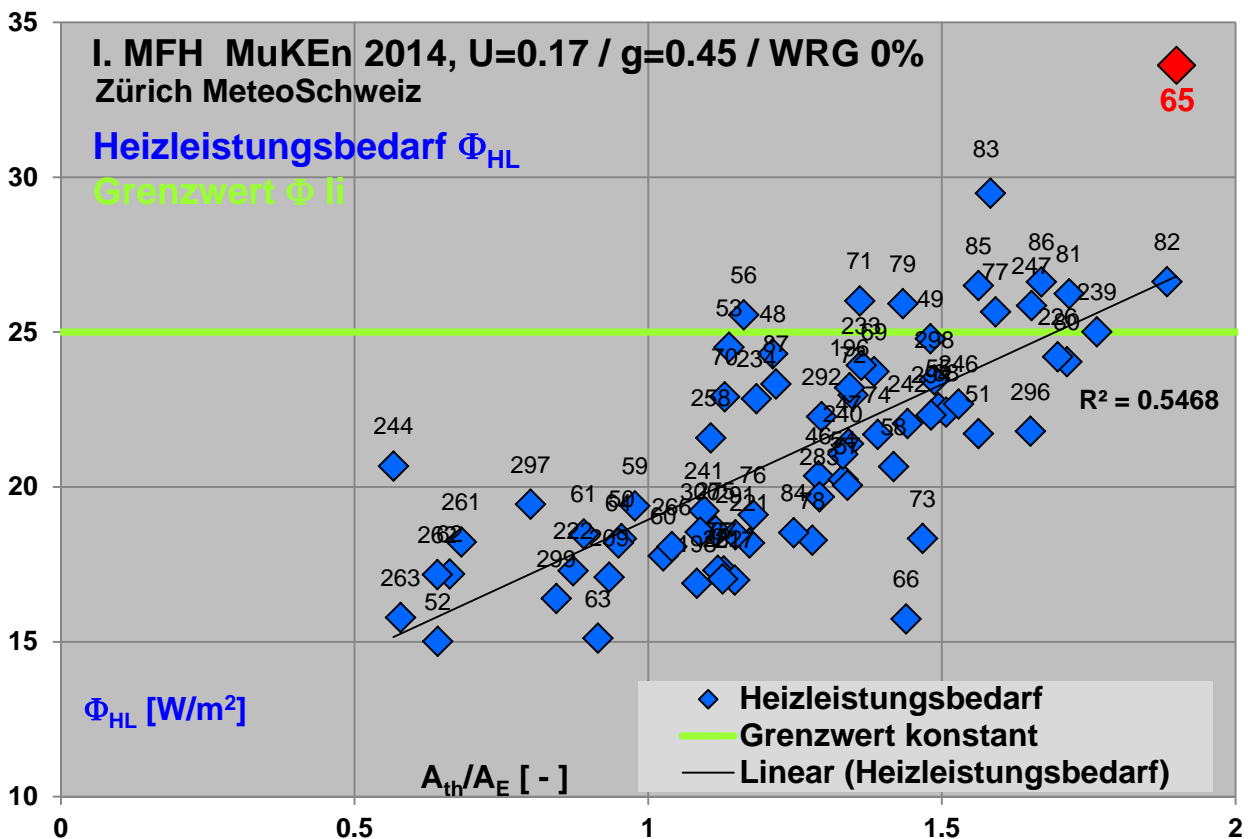


Abbildung 54: Kategorie I. Mehrfamilienhaus: Berechnung Heizleistungsbedarf Φ_{HL} und Grenzwert Φ_{li} . Datenbasis: 74 MFH, MuKEN 2014, Klimastation Zürich MeteoSchweiz, mit Gebäude-Nummern

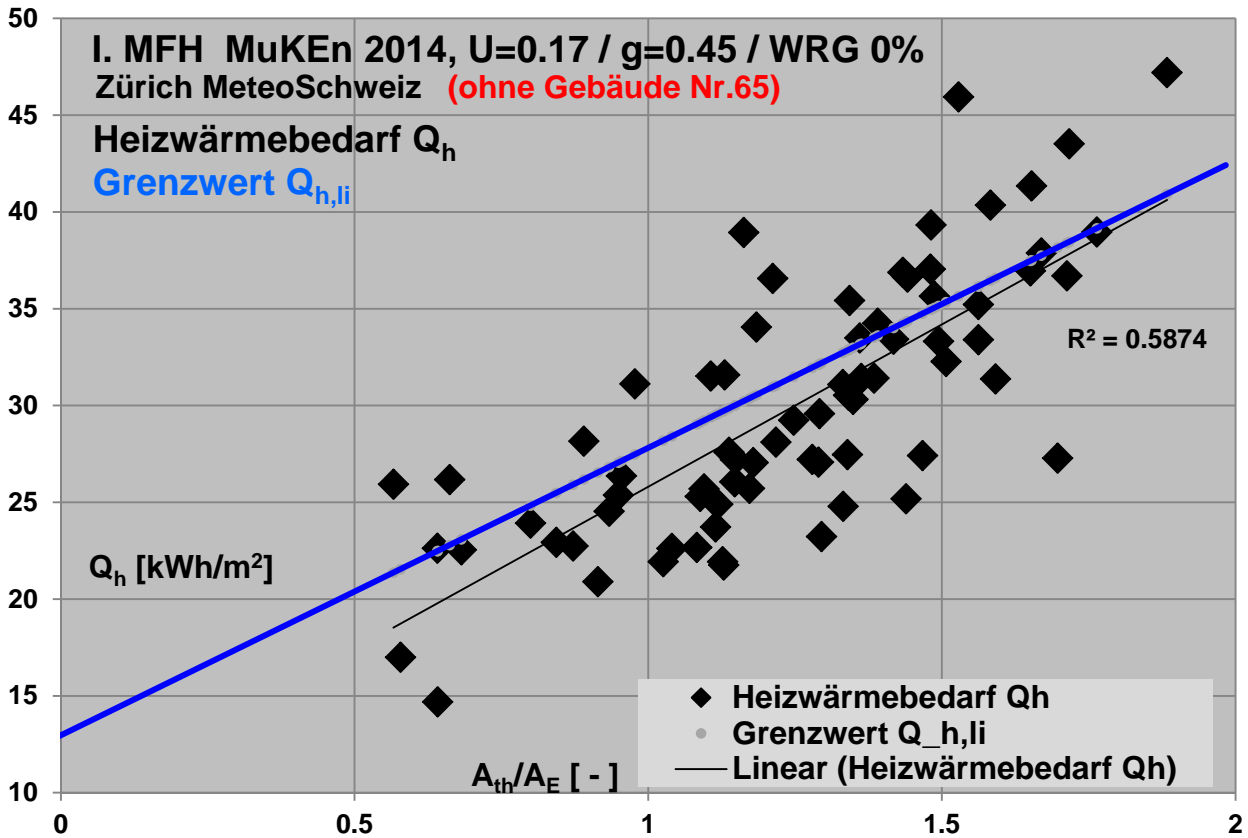


Abbildung 55: Kategorie I. Mehrfamilienhaus: Berechnung Heizwärmebedarf SIA 380/1 und Grenzwert $Q_{h,li}$. Datenbasis: 74 MFH, MuKEn 2014, Klimastation Zürich MeteoSchweiz, mit Gebäude-Nummern

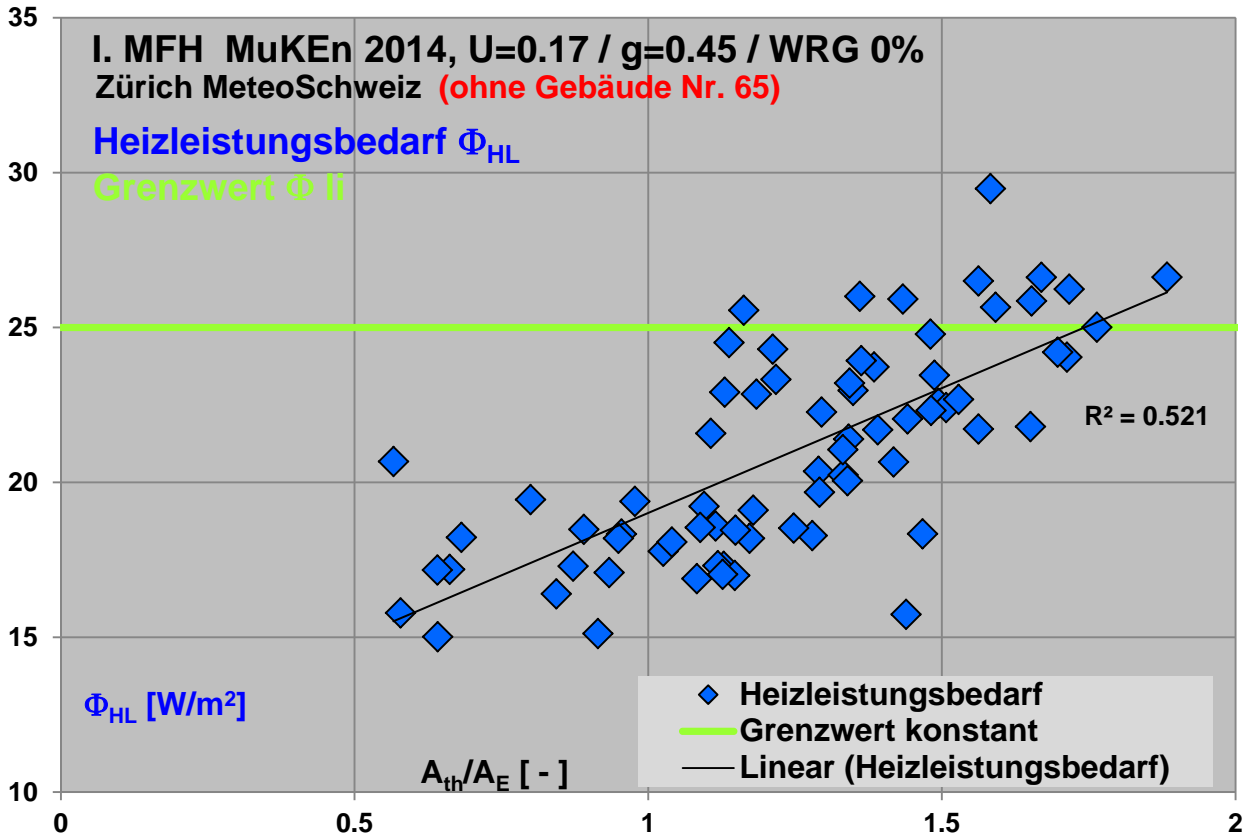


Abbildung 56: Kategorie I. Mehrfamilienhaus: Berechnung Heizleistungsbedarf Φ_{HL} und Grenzwert Φ_{II} . Datenbasis: 74 MFH, MuKEn 2014, Klimastation Zürich MeteoSchweiz, mit Gebäude-Nummern

An einzelnen Gebäuden mit "extremer" Geometrie der Gebäudehülle kann der Unterschied zwischen Heizwärme- und Heizleistungsbedarf anschaulich gezeigt werden. Sehr deutlich ist die Diskrepanz beim Gebäude Nr. 65. Während beim Heizwärmebedarf mit solaren Wärmegewinnen der Grenzwert erreicht wird, liegt der Wert des Heizleistungsbedarfs ohne Wärmegewinne am höchsten.

A4: Wärmebrücken

In Ergänzung zur Betrachtung am Mehrfamilienhaus in Kapitel 9 wurde auch der Einfluss der Wärmebrücken bei Einfamilienhäusern untersucht. Die Resultate sind vergleichbar, auch hier liegt die Differenz mit und ohne Wärmebrücken zwischen 0,5 und 5 W/m². Da bei Einfamilienhäusern die Heizleistung tendenziell höher liegt, ist der prozentuale Anteil der Wärmebrücken am Heizleistungsbedarf bei Einfamilienhäusern etwas geringer.

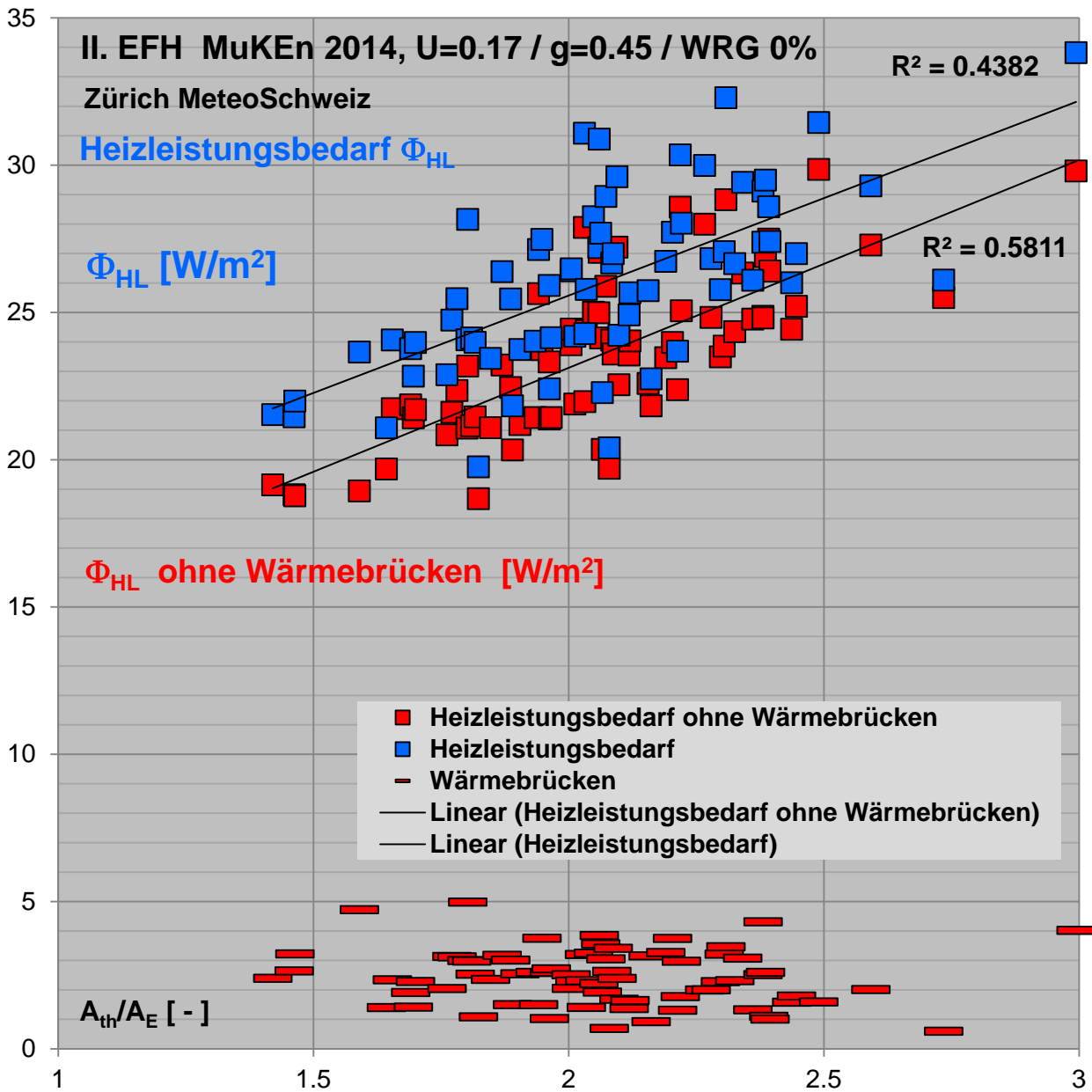


Abbildung 57: Kategorie II. Einfamilienhaus: Berechnung Heizleistungsbedarf mit und ohne Wärmebrücken. Datenbasis: 73 Einfamilienhäuser, Klimastation Zürich MeteoSchweiz

Die folgenden Grafiken zeigen die Heizleistungen von MFH und EFH mit und ohne Wärmebrücken, dargestellt mit aufsteigenden Gebäudehüllzahlen. Der Anteil der Wärmebrücken schwankt stark im Bereich von ca. 5 bis 20%, mit Durchschnittswert um 10%.

Man kann davon ausgehen, dass die betrachteten Gebäude, viele im Minergie-Standard erstellt, betreffend Wärmebrücken optimiert sind, und der Effekt in der Praxis bei "durchschnittlichen" Bauten stärker in Erscheinung tritt.

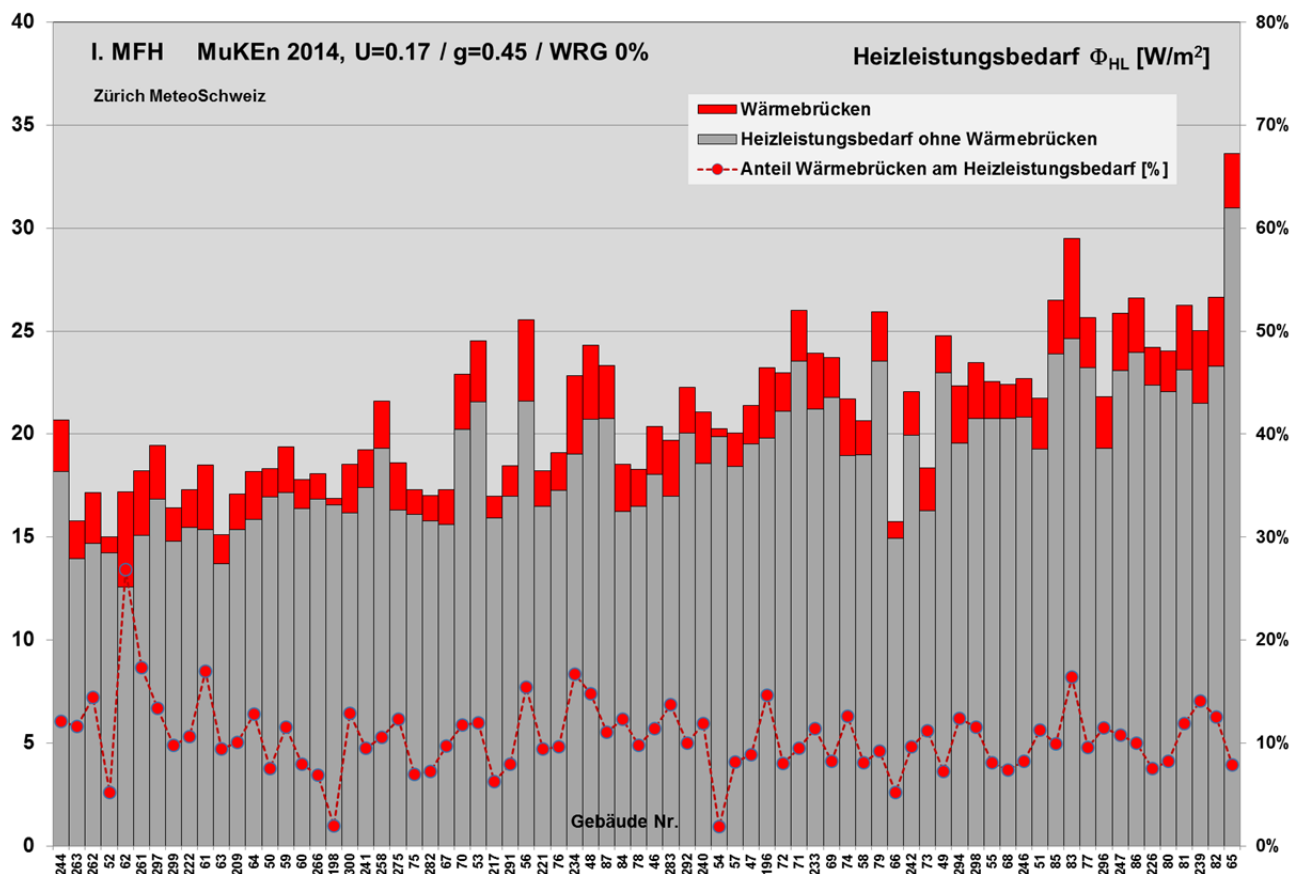


Abbildung 58: Kategorie I. Mehrfamilienhaus: Berechnung Heizleistungsbedarf mit und ohne Wärmebrücken.
 Datenbasis: 74 Mehrfamilienhäuser, Klimastation Zürich MeteoSchweiz

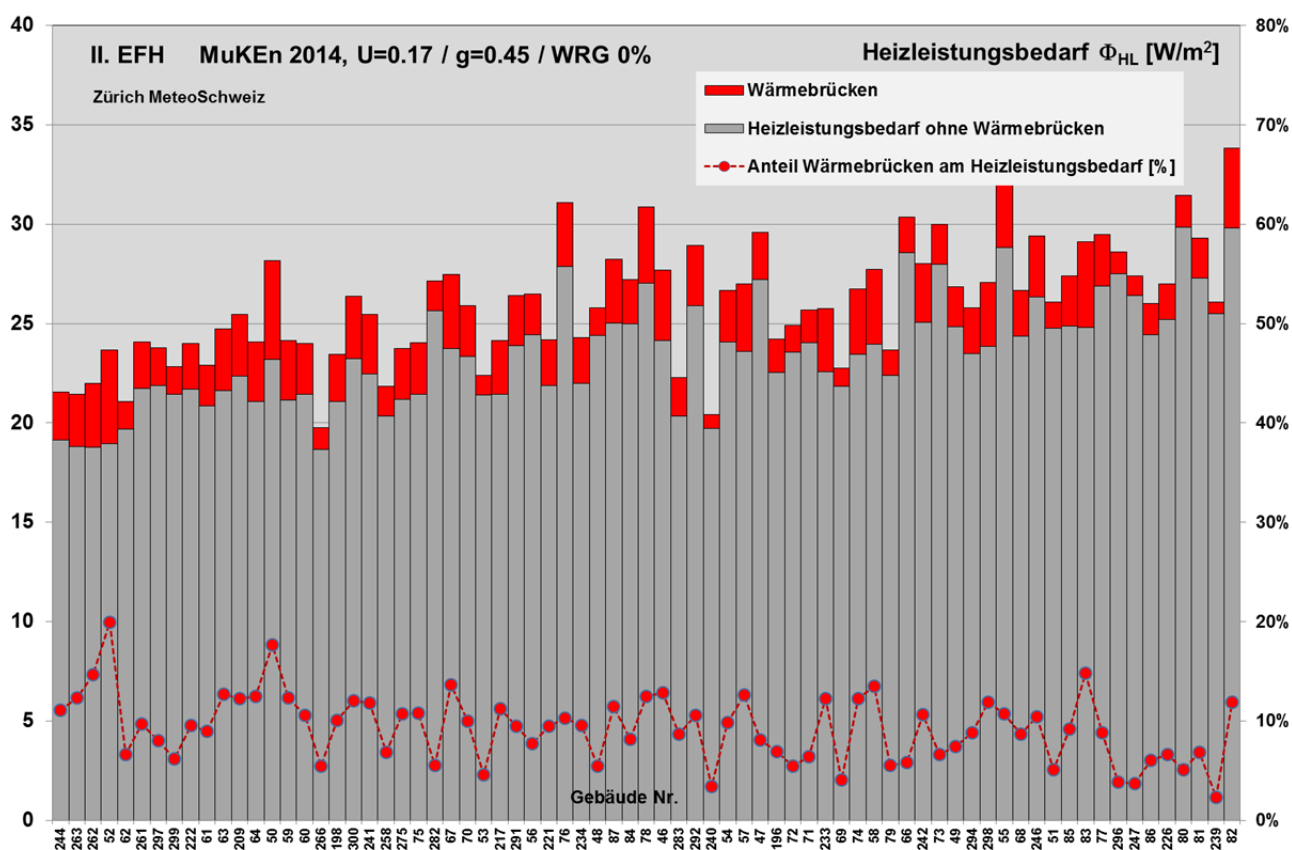


Abbildung 59: Kategorie II. Einfamilienhaus: Berechnung Heizleistungsbedarf mit und ohne Wärmebrücken.
 Datenbasis: 73 Einfamilienhäuser, Klimastation Zürich MeteoSchweiz

A5: Leistung auf Stufe Endenergie

Elektrische Leistung: Luft-Wasser-Wärmepumpe und Sole-Wasser-Wärmepumpe

Klimastationen: Zürich MeteoSchweiz / Lugano / Davos

Endenergie-Berechnung

COP der Wärmepumpe: Mittelwert gemäss Auswertung WPZ

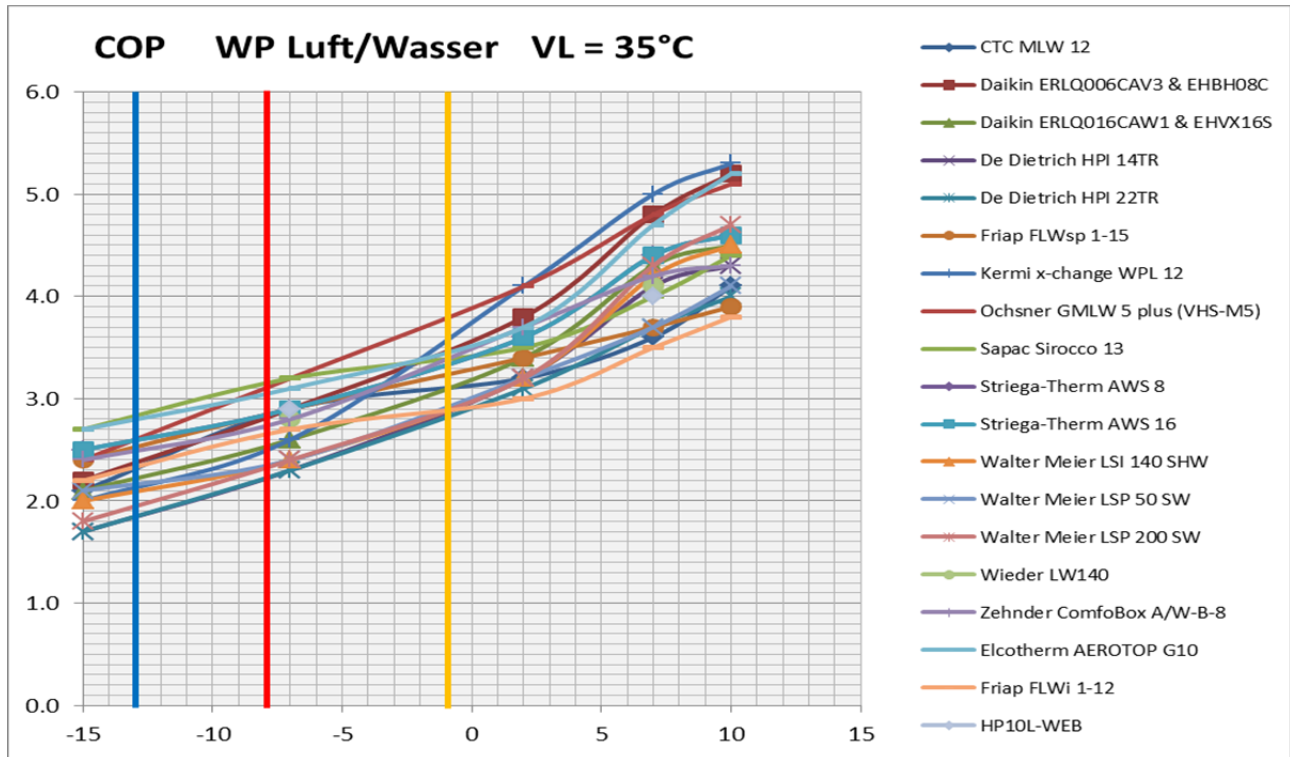


Abbildung 60: COP WP Luft/Wasser VL 35°C

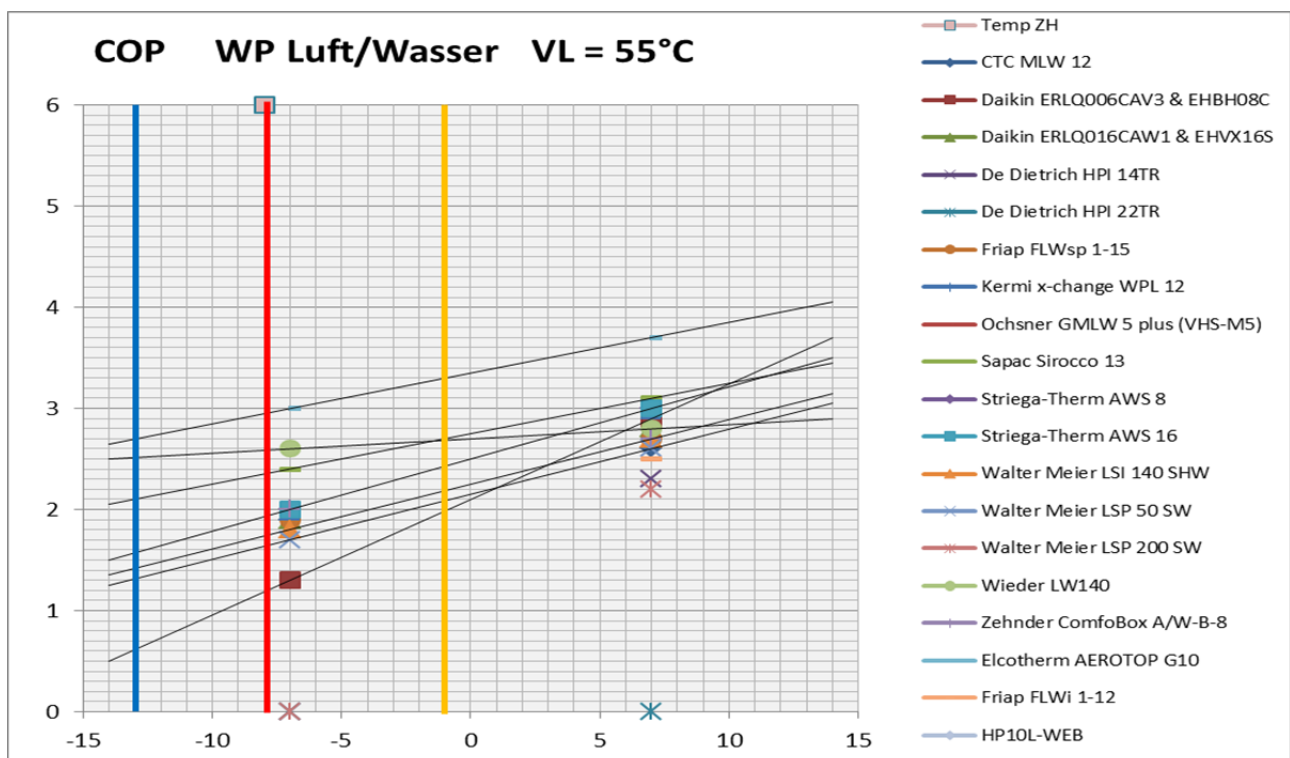


Abbildung 61: COP WP Luft/Wasser VL 55°C