

**SCHULANLAGE ENGERFELD, RHEINFELDEN
THERMISCHE SIMULATIONEN NACHTAUSKÜHLUNG**

**ZUSAMMEN-
FASSUNG**



VERSION	1.0
DATUM	26.08.2025
ERSTELLER:IN	MI/GB
BESCHREIBUNG	Erstausgabe

IMPRESSUM

AUFTRAGGEBER:IN Stadtverwaltung Rheinfelden
Liegenschaften
Marktgasse 16
4310 Rheinfelden

T 061 835 52 20

Ansprechperson

Helene Baumeler Zeller

Helene.Baumeler-Zeller@rheinfelden.ch

www.rheinfelden.ch

**PROJEKT
VERFASSERIN** Waldhauser + Hermann AG
Ingenieurbüro suisse.ing/SIA
Florenz-Strasse 1d
4142 Münchenstein

Postadresse:

Postfach, 4142 Münchenstein 1

T 061 336 94 94

vorname.nachname@waldhauser-hermann.ch

www.waldhauser-hermann.ch

Projektleitung

Martin Imhof

Begleitung und Qualitätssicherung

Gabriel Borer

INHALTSVERZEICHNIS

IMPRESSUM 2

Auftraggeber:in 2

Projekt verfasserin 2

1 ZIEL DIESER ZUSAMMENFASSUNG 4

2 ERFORDERLICHE ÖFFNUNGSFLÄCHEN FÜR FENSTERLÜFTUNG UND NACHTAUSKÜHLUNG 4

3 MANUELLE FENSTERLÜFTUNG 5

4 AUTOMATISIERTE NACHTAUSKÜHLUNG 5

5 AUTOMATISATION, WITTERUNGS- UND EINBRUCHSCHUTZ 6

6 SONNENSCHUTZ 6

7 BEILAGEN 7

1 ZIEL DIESER ZUSAMMENFASSUNG

Für den Nachweis des Nutzens einer natürlichen Nachtauskühlung für die Schulanlage Engerfeld in Rheinfelden wurden umfassende thermische Raumsimulationen mit dem Programm IDA ICE erstellt. Die Ergebnisse aus den Simulationen wurden in einer PowerPoint-Präsentation zusammengefasst und dem Auftraggeber vorgestellt (vgl. Anhang).

Diese vorliegenden Zusammenfassung soll auf die wichtigsten Erkenntnisse aus den Simulationen hinweisen und als Grundlagendokument für eine weitere Bearbeitung hinsichtlich einer natürlichen Nachtauskühlung dienen.

2 ERFORDERLICHE ÖFFNUNGSFLÄCHEN FÜR FENSTERLÜFTUNG UND NACHTAUSKÜHLUNG

Pro Schulzimmer beträgt die Gesamtbreite der Fassadenfenster 6 m (im 2. OG ca. 6.4 m). Für eine effiziente Nachtauskühlung wurde eine erforderliche Gesamtbreite aller Lüftungsöffnungen in einem Schulzimmer von 1.5 m ermittelt. Darin ist bereits die Reduktion der freien Querschnittfläche wegen der erforderlichen Wetter- und allfälligen Insektenschutzgitter berücksichtigt. Der entsprechende Reduktionsfaktor wurde in den Simulationen mit 0.7 (70% freier Querschnitt) berücksichtigt.

Eine Aufteilung auf mehrere Öffnungen ist möglich (z.B. 4 Stück mit einer Breite von jeweils ca. 0.4m). Auch für die manuelle Fensterlüftung wurde pro Schulzimmer von einer Gesamtbreite aller öffnbaren Fensterflügel von 1.5 m ausgegangen.

Bei den Oberlichtern im 2. Obergeschoss (2 Stück pro Schulzimmer) beträgt die Höhe für das Anheben 20 cm, wobei bei davon ausgegangen wurde, dass beide Längsseiten nutzbar sind. Auch hier wurde ein Reduktionsfaktor 0.7 wegen den erforderlichen Wetter- und allfälligen Insektenschutzgitter bereits berücksichtigt.

Die erforderlichen Öffnungsflächen betragen demnach jeweils pro Schulzimmer:

1. Obergeschoss:

- Manuelle Fensterlüftung: $B_{ges} \times H = 1.5m \times 2.0m = 3.0m^2$
- Nachtauskühlung: $B_{ges} \times H = 1.5m \times 2.0m = 3.0m^2$

2. Obergeschoss:

- Manuelle Fensterlüftung: $B_{ges} \times H = 1.5m \times 1.0m = 1.5m^2$
- Nachtauskühlung Fenster: $B_{ges} \times H = 1.5m \times 1.0m = 1.5m^2$
- Nachtauskühlung Oberlicht: $B_{ges} \times H = 2 \times (3m + 3m) \times 0.2m = 2.4m^2$

Eine mögliche Anordnung könnte so aussehen:

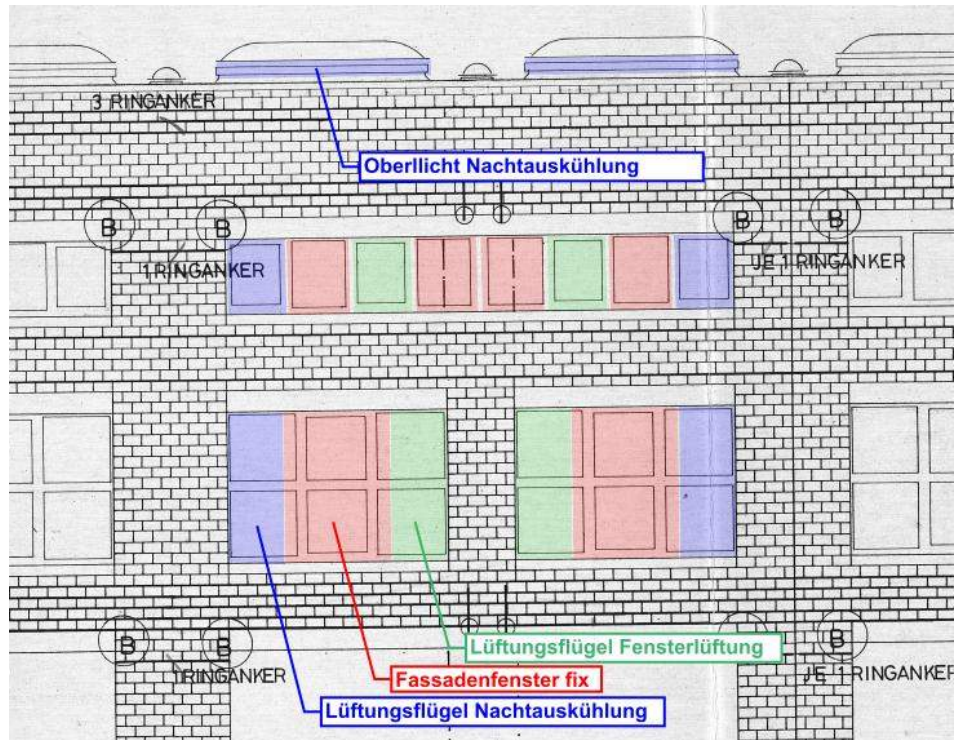


Abbildung 1: Mögliche Anordnungen und Nutzung der Fassadenfenster

3 MANUELLE FENSTERLÜFTUNG

Folgende Annahmen liegen der manuellen Fensterlüftung in den Simulationen zu Grunde:

- Freigabe Montag bis Freitag von 07:00 bis 18:00 Uhr
- Fenster werden geöffnet, wenn Raumlufttemperatur $\geq 23^{\circ}\text{C}$ oder die CO_2 -Konzentration $\geq 1'200$ ppm ist.
- Fenster werden geschlossen, wenn Raumlufttemperatur $\leq 21^{\circ}\text{C}$ oder die CO_2 -Konzentration ≤ 800 ppm ist.

4 AUTOMATISIERTE NACHTAUSKÜHLUNG

Die automatisierte und einbruch- sowie witterungsgeschützte Nachtauskühlung wurde in den Simulationen folgendermassen modelliert:

- Freigabe täglich von 20:00 Uhr bis 07:00 Uhr in der Zeit vom 16. März bis 15. Oktober
- Lüftungsklappen öffnen, wenn Raumlufttemperatur $\geq 23^{\circ}\text{C}$ und die Aussentemperatur 2 K tiefer als die Raumlufttemperatur
- Lüftungsklappen schliessen, wenn Raumlufttemperatur $\leq 21^{\circ}\text{C}$ oder Temperaturdifferenz von innen zu aussen $< 2\text{K}$
- Die Lüftungsklappen werden jeweils 90° geöffnet (nicht gekippt!)

Nach Inbetriebnahme der automatisierten und witterungsgeschützten Nachtauskühlung mit oben aufgeführten Parametern besteht die Möglichkeit, je nach Bedarf Optimierungen der Steuerung vorzunehmen, z.B. tiefere Auskühltemperaturen oder verlängerte Phasen der Nachtauskühlung im Jahresverlauf.

5 AUTOMATISATION, WITTERUNGS- UND EINBRUCHSCHUTZ

Für eine effiziente Nachtauskühlung ist es entscheidend, dass die Öffnungen automatisiert, witterungs- und einbruchgeschützt sind. Dies garantiert, dass die Nachtauskühlung effizient betrieben und bedarfsabhängig (ohne Rücksichtnahme auf das Wetter) geöffnet werden kann.

6 SONNENSCHUTZ

Die aussenliegenden Lamellenstoren an den Fassadenfenstern bilden einen idealen Sonnenschutz. In geschlossener Position kann der Gesamt-Energiedurchlassgrad (Gesamt-g-Wert der Verglasung plus Beschattung) auf ca. 7% begrenzt werden. In den Simulationsberechnungen wurde als Schwellenwert für das Schliessen der Lamellenstoren eine Einstrahlleistung auf die entsprechende Fassadenfläche von 200 W/m² eingesetzt, was dem Wert in den einschlägigen SIA-Normen entspricht.

Wenn die Lamellen 45° geöffnet werden, ist mit einer Verdoppelung des Gesamt-g-Wertes auf rund 14% zu rechnen.

7 BEILAGEN

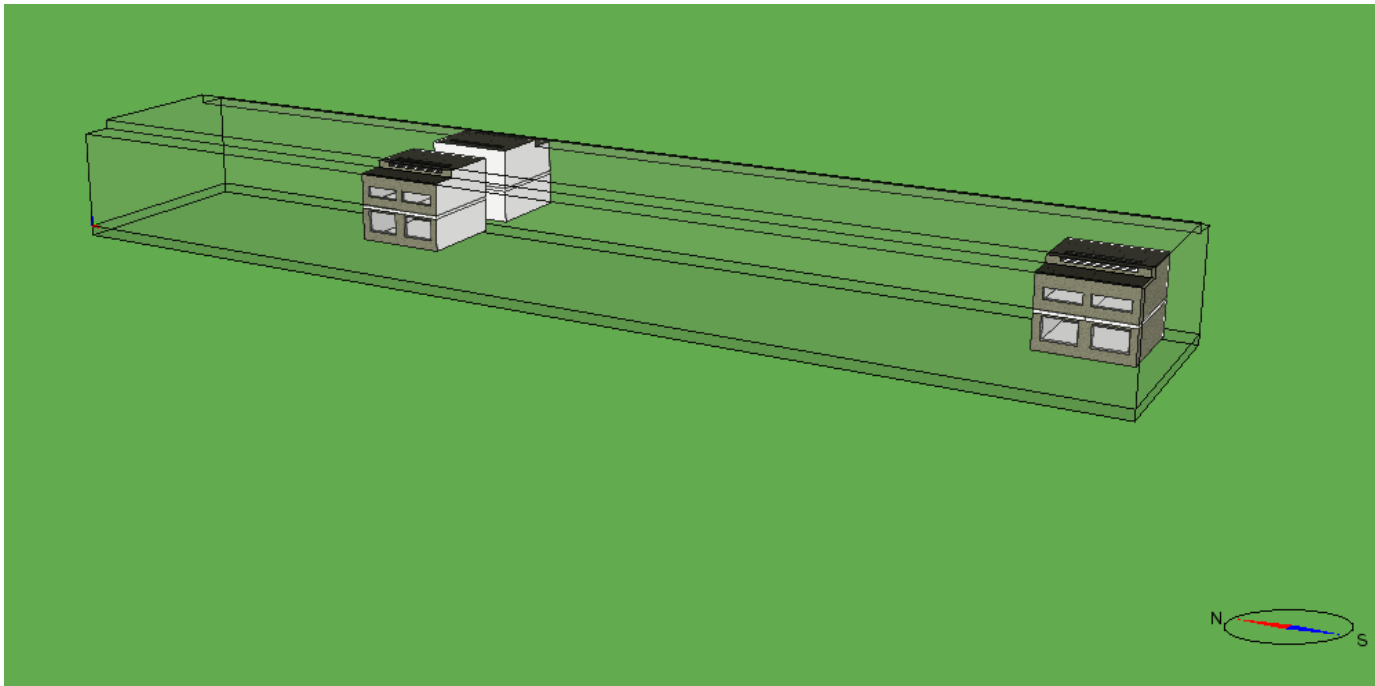
BEZEICHNUNG	FORMAT	DATUM
Präsentation Simulationen rev.	28 x A4	18.08.2025
Beispiel für mögliche Steuerung Nachtauskühlung	1 x A3	19.08.2025

SCHULANLAGE ENGERFELD, RHEINFELDEN

Thermische Simulationen Nachtauskühlung 1. und 2. OG

Martin Imhof-Müller / Gabriel Borer

12.08.2025, rev. 18.08.2025

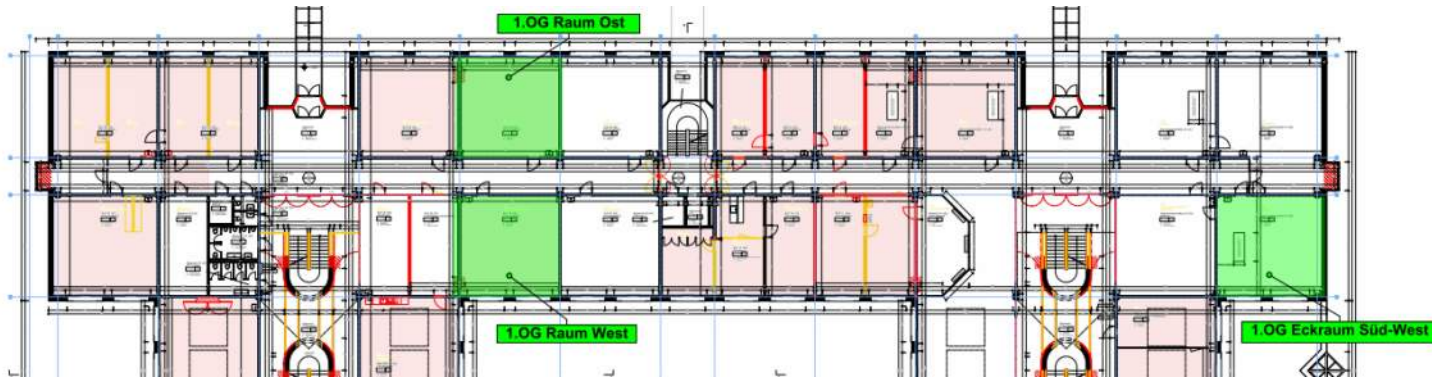


INHALTSVERZEICHNIS

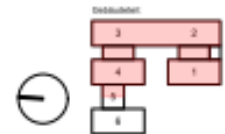
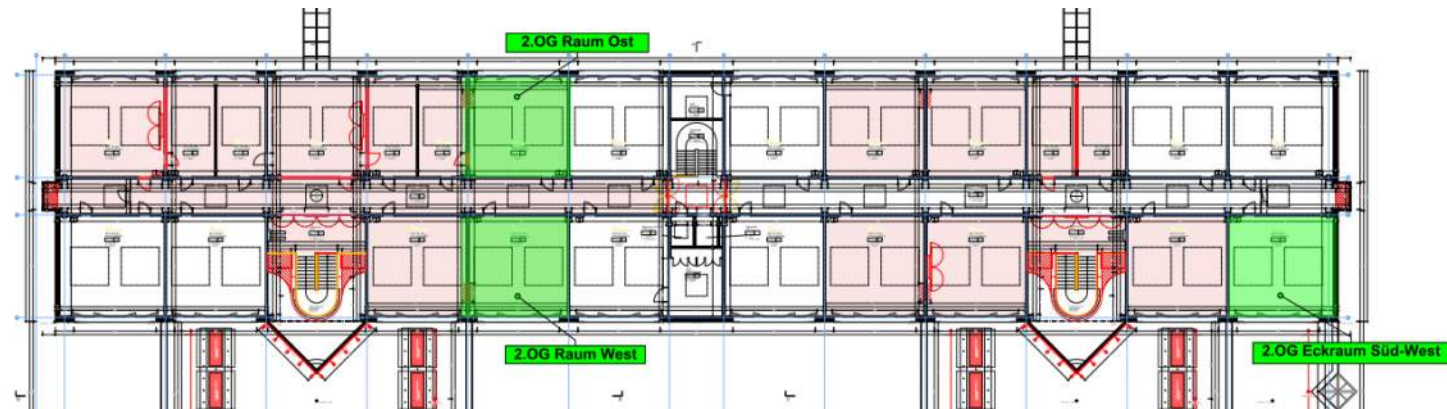
- Simulierte Räume	3
- Gebäudehülle und Internlasten	4
- Optimierung Nachtauskühlung	5
- Simulierte Varianten	7
- Resultate Summenhäufigkeit Temperaturen	9
- Resultate Temperaturverlauf Sommerwoche	15
- Oberlichter 2. OG, Raum Ostfassade	21
- Fenstergrösse 2. OG	24
- Hitzesommer	25
- Fazit und Empfehlungen	26

SIMULIERTE RÄUME

- 1. Obergeschoss



- 2. Obergeschoss



GEBÄUDEHÜLLE UND INTERNLASTEN

Raumdimensionen:

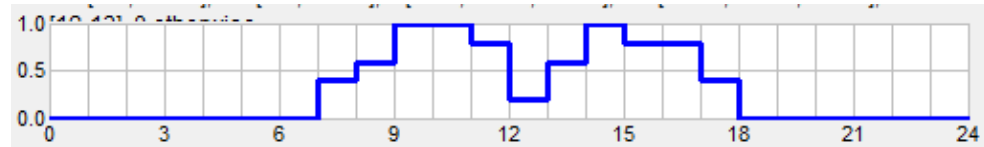
- Netto-Grundfläche: 69.3 m²
- Mittlere Raumhöhe
 - 1.OG: 3.05 m
 - 2.OG: 3.75 m
- Fenster (Gesamtbreite pro Schulzimmer x Höhe)
 - 1.OG: B_{ges} x H = 6.0 m x 2.0 m
 - 2.OG: B_{ges} x H = 6.4 m x 1.0 m

Bauteile Gebäudehülle (nach Sanierung Fassadenfenster):

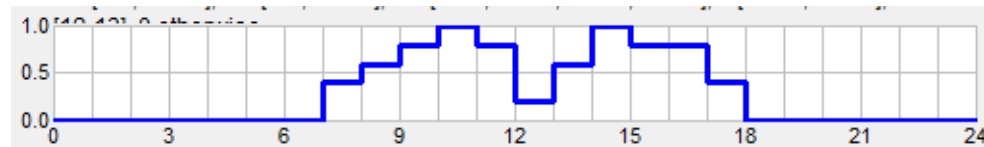
- Fassaden: 2-Schalen-Mauerwerk mit ca. 7.5cm Kerndämmung
- Fenster: 3-IV-IR-Verglasung mit aussenliegenden Lamellenstoren
U_{Glas} = 0.6 W/m²K, g_{Glas} = 51%, g_{total} = ca.7%
- Oberlichter: 2-IV-IR-Verglasung mit innenliegendem Blendschutz
U_{Glas} = 1.1 W/m²K, g_{Glas} = 62%, g_{total} = ca.45%
- Innenwände: Mauerwerk massiv 15 cm
- Boden: Unterlagsboden mit Linoleumbelag
- Decke 1.OG: Beton mit Akustikdecke (Flächenanteil ca. 50%)
- Dach 2.OG: Beton mit Akustikdecke (Flächenanteil ca. 50%) und 20cm Dämmung über Betonplatte

Internlasten (Profile in Anlehnung an SIA 2024:2021, 4.01 Schulzimmer)

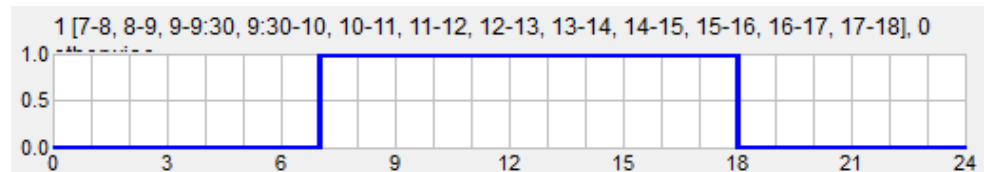
- Personen
 - Montag - Freitag, 07h - 18h
 - max. 25 Personen (0.36 Pers./m²)



- Geräte
 - Montag - Freitag, 07h - 18h
 - max. Schulzimmer 554 W (8 W/m²)
 - max. IT-Raum 25x70 W = 1'750 W (25 W/m²)

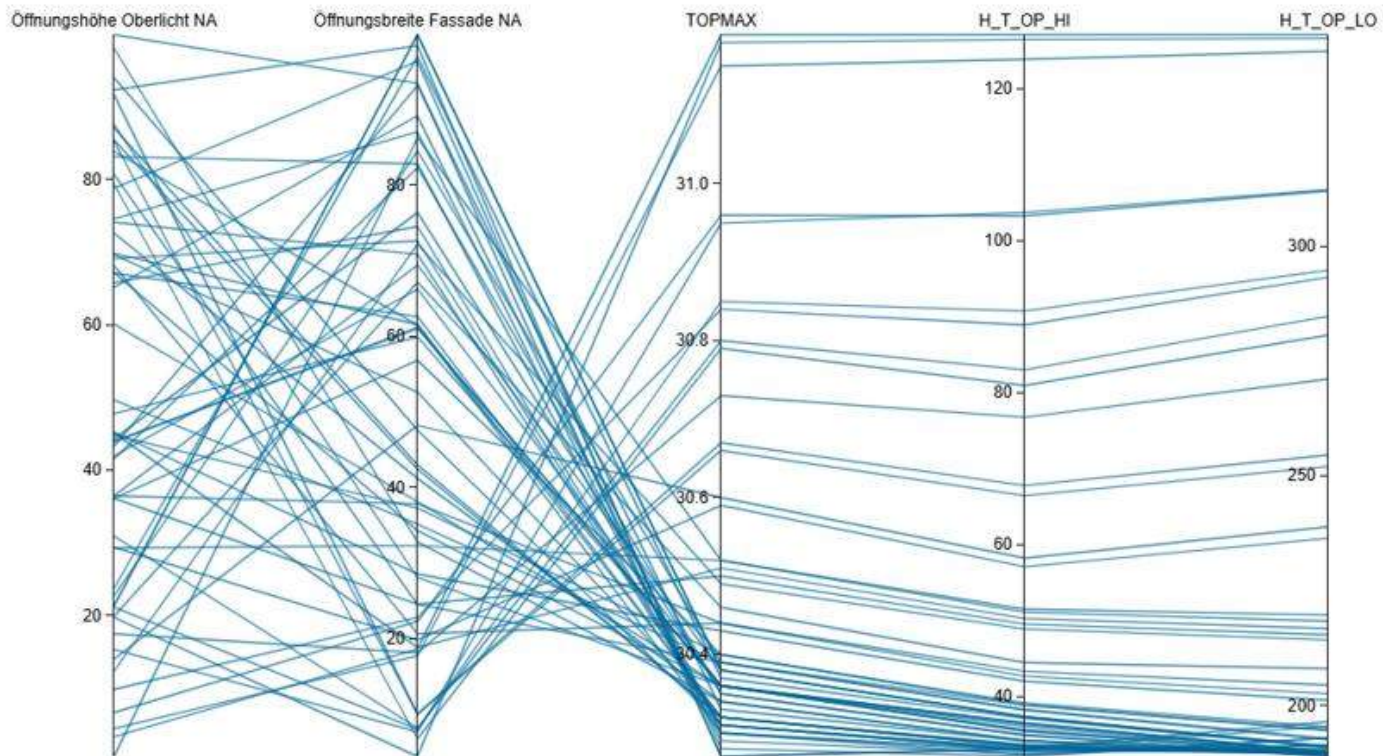


- Beleuchtung
 - Montag - Freitag, 07h - 18h
 - Schulzimmer/IT-Raum 381 W (5.5 W/m²)



OPTIMIERUNG NACHTAUSKÜHLUNG 1/2

Zur Ermittlung der notwendigen öffenbaren Flächen der Fassadenfenster und Oberlichter für die Nachtauskühlung wurden in einem ersten Schritt Optimierungs-Simulationen mit insgesamt 60 Variationen durchgeführt:



OPTIMIERUNG NACHTAUSKÜHLUNG 2/2

Es haben sich folgende Resultate ergeben. Die Flächenangaben beziehen sich jeweils auf ein Schulzimmer und berücksichtigen bereits die Reduktion wegen dem notwendigen Wetterschutzgitter (Annahme: 70% freier Querschnitt):

- Fassadenfenster 1. Obergeschoss
Gesamtbreite x Höhe = $B_{ges} \times H = 1.5m \times 2m = 3.0m^2$
- Fassadenfenster 2. Obergeschoss
Gesamtbreite x Höhe = $B_{ges} \times H = 1.5m \times 1m = 1.5m^2$
- Oberlichter 2. Obergeschoss (pro Schulzimmer 2 Stk.)
Gesamtbreite x Höhe = $B_{ges} \times H = 2 \times (3m + 3m) \times 0.2m = 2.4m^2$

Eine Aufteilung auf mehrere Öffnungen ist möglich (z.B. 4 Stück mit einer Breite von jeweils ca. 0.4m).

SIMULIERTE VARIANTEN 1/2

#1a Ist-Zustand (unsaniertes Zustand)

- Manuelle Fensterlüftung während Unterrichtszeit (Mo-Fr, 07-18h)
- Keine Nachtauskühlung

#2a Fensterlüftung + Nachtauskühlung

- Neue Fassadenfenster
- Manuelle Fensterlüftung während Unterrichtszeit in Abhängigkeit der Raumluftqualität (Mo-Fr, 07-18h)
- Automatisierte Nachtauskühlung (Mo-So, 20-07h)
 1. Obergeschoss nur über Fassadenfenster
 2. Obergeschoss über Fassadenfenster + Oberlichter

SIMULIERTE VARIANTEN 2/2

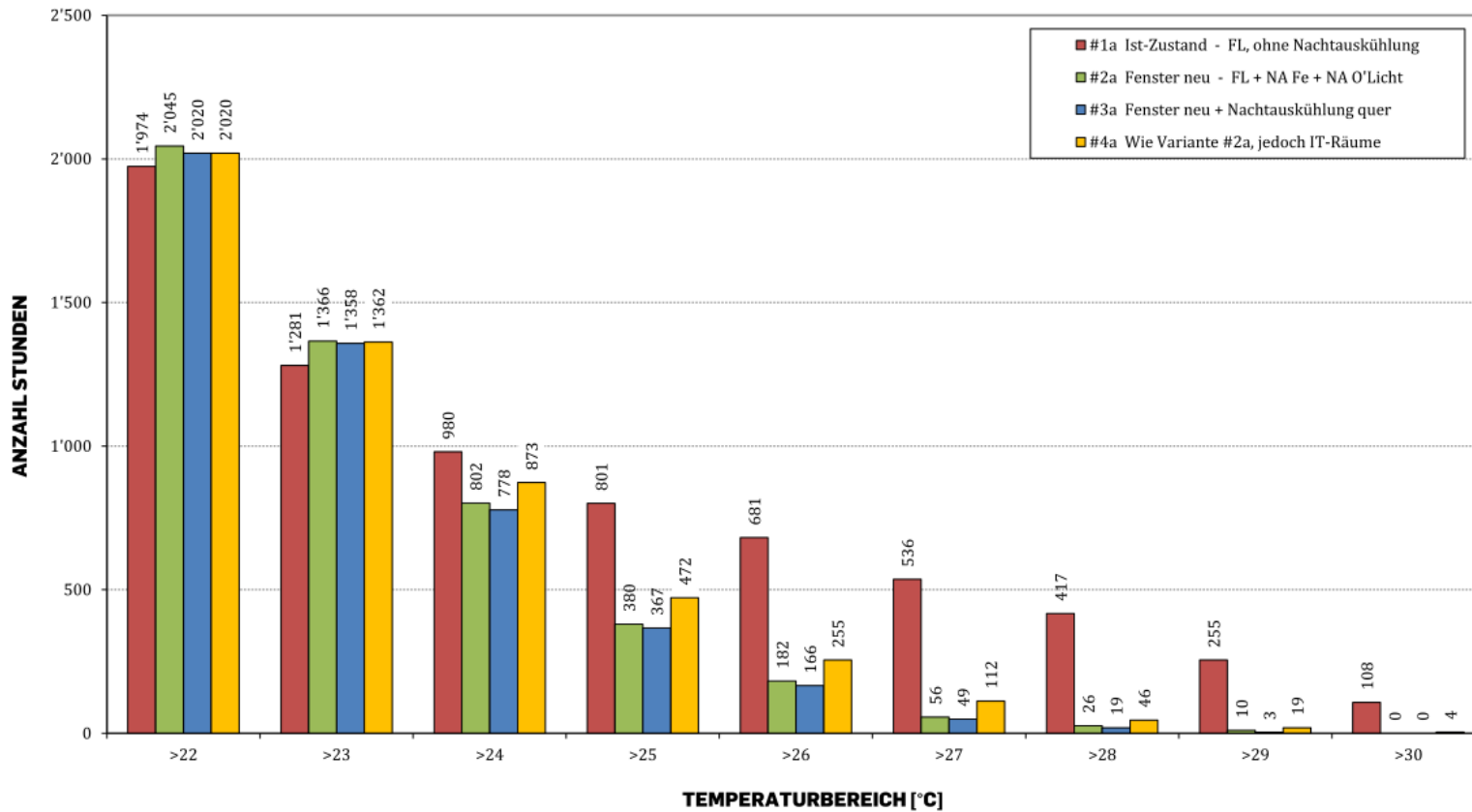
#3a Fensterlüftung + Nachtauskühlung optimiert

- Manuelle Fensterlüftung und Nachtauskühlung analog der Variante #2a
- Zusätzlich Öffnen der Zimmertüren zum Gang während der Nachtauskühlung (Zweck: Querlüftung)

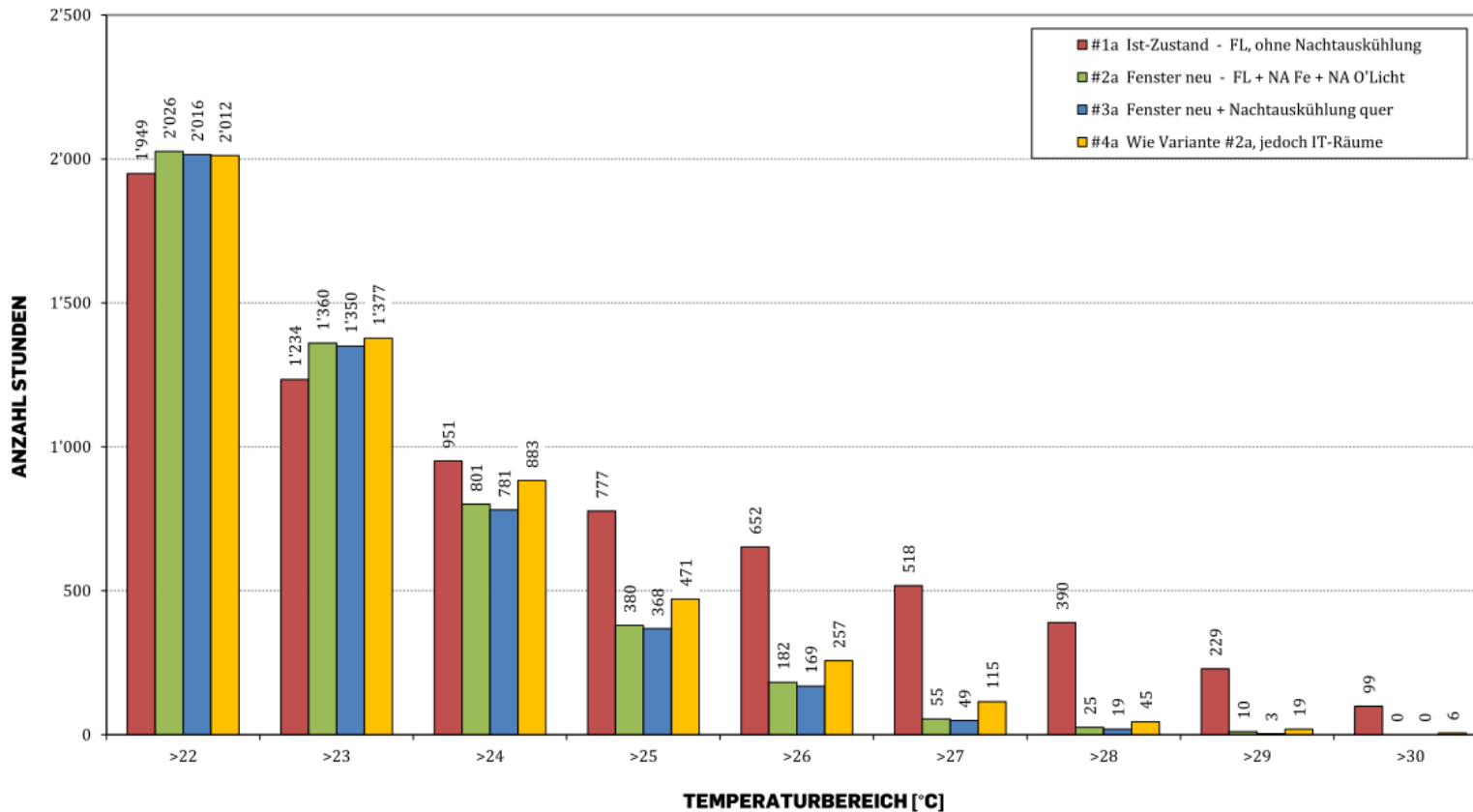
#4a IT-Räume

- Manuelle Fensterlüftung und Nachtauskühlung analog der Variante #2a
- Erhöhte Internlasten: 1 Computer/Notebook pro Arbeitsplatz bzw. $25 \times 70W = 1'750 W$ (entspricht $25 W/m^2$)
Zum Vergleich Schulzimmer: $8 W/m^2$

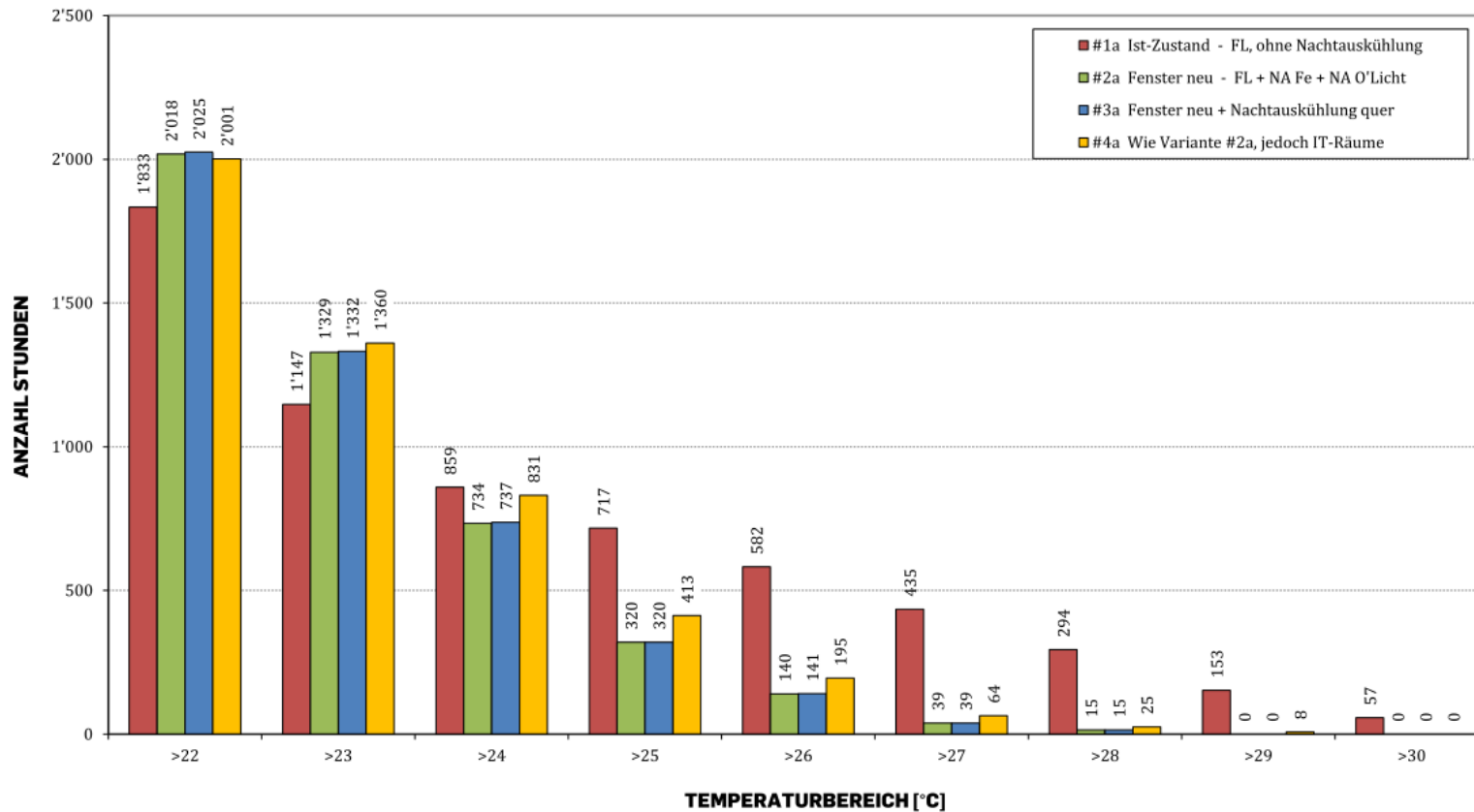
RESULTATE SUMMENHÄUFIGKEIT TEMPERATUREN 1/6: 1. OBERGESCHOSS, RAUM OSTFASSADE



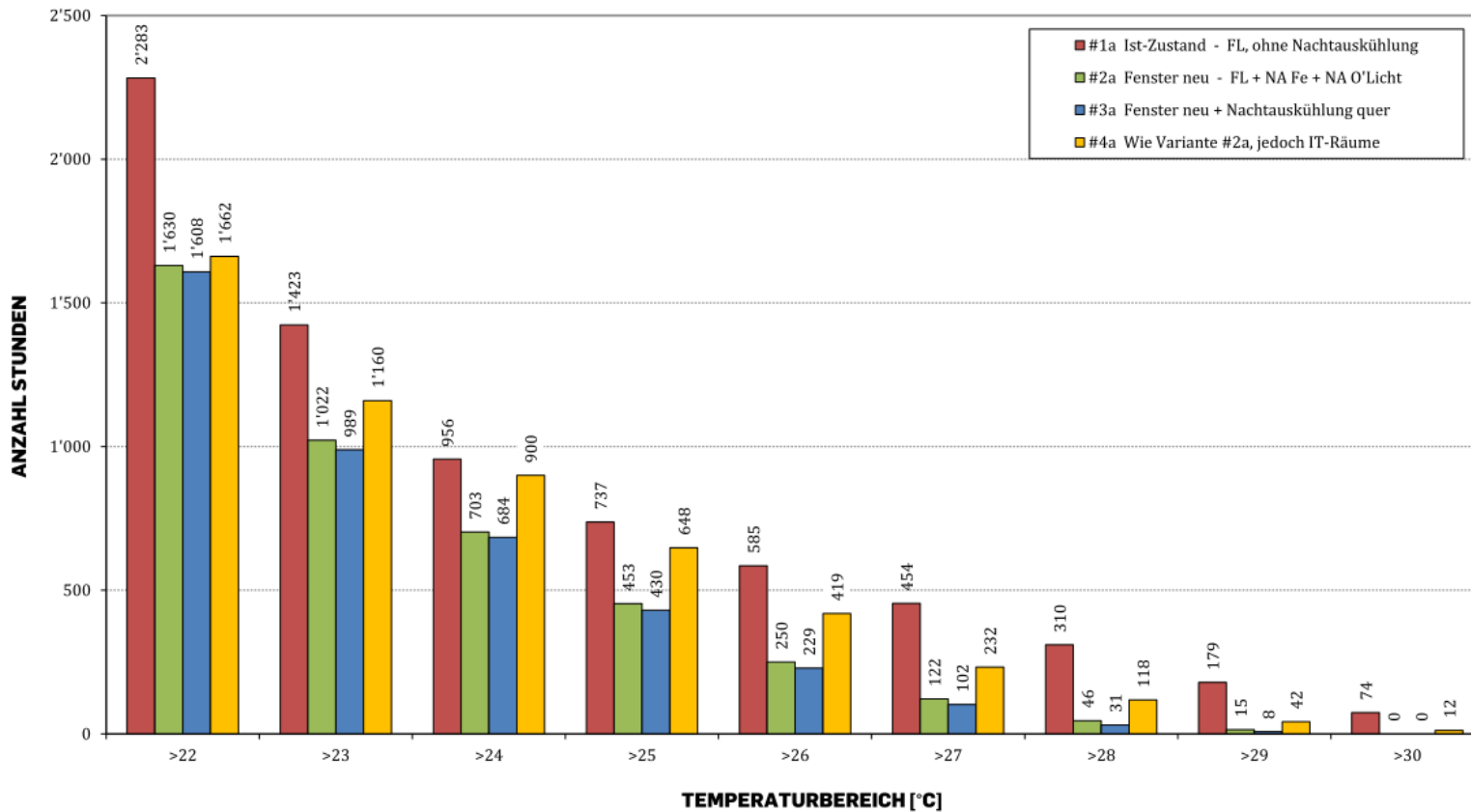
RESULTATE SUMMENHÄUFIGKEIT TEMPERATUREN 2/6: 1. OBERGESCHOSS, RAUM WESTFASSADE



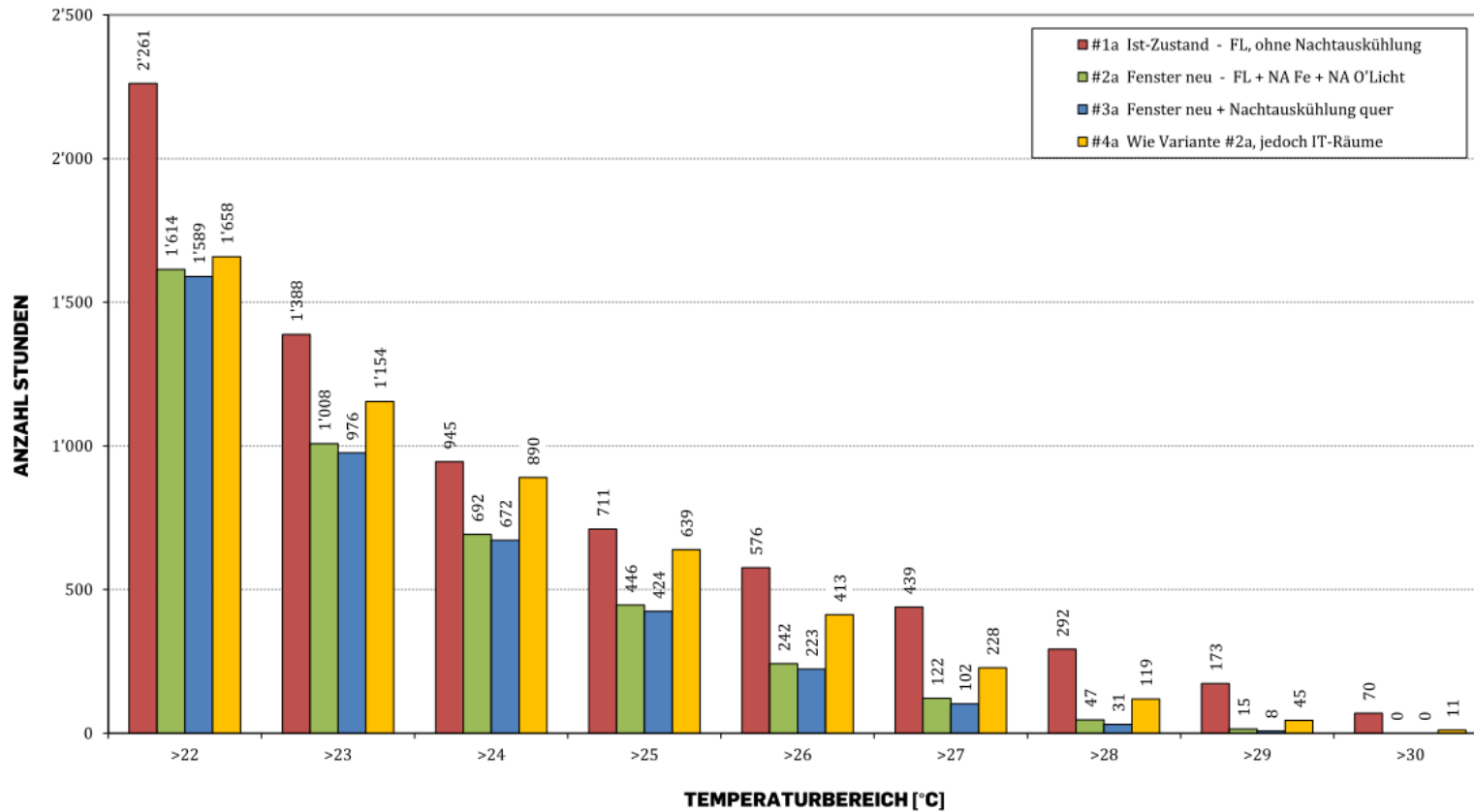
RESULTATE SUMMENHÄUFIGKEIT TEMPERATUREN 3/6: 1. OBERGESCHOSS, ECKRAUM SÜD-WEST



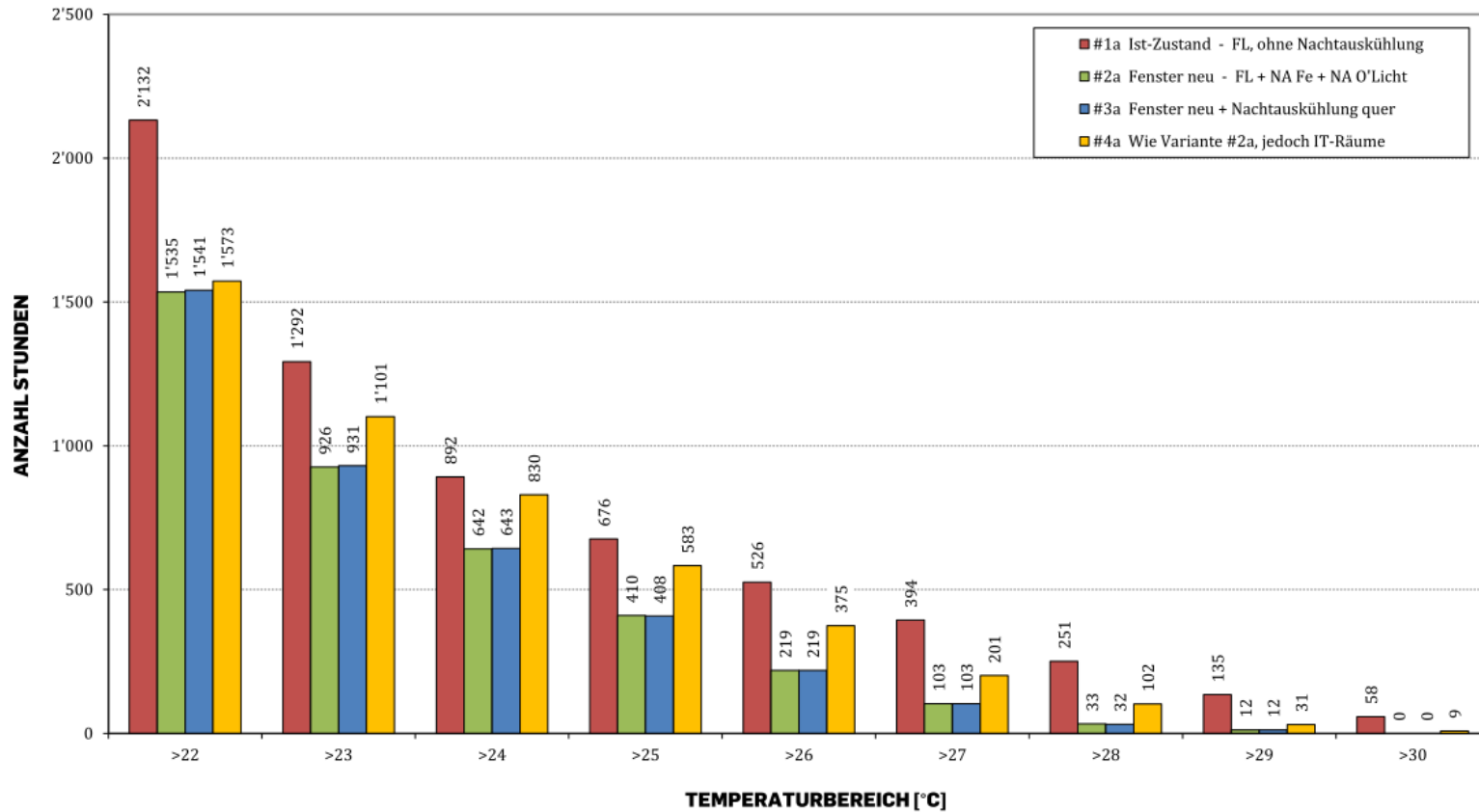
RESULTATE SUMMENHÄUFIGKEIT TEMPERATUREN 4/6: 2. OBERGESCHOSS, RAUM OSTFASSADE



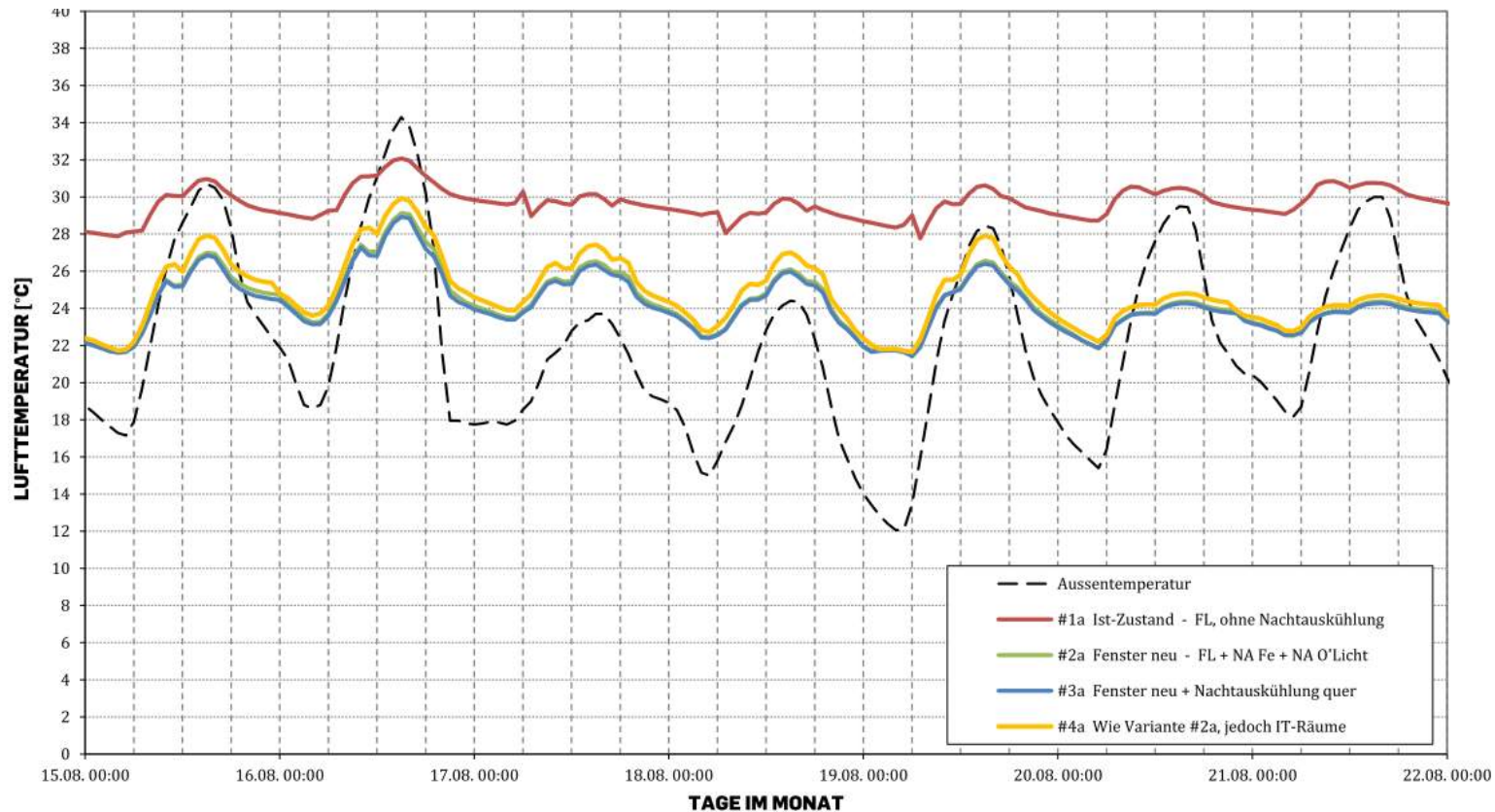
RESULTATE SUMMENHÄUFIGKEIT TEMPERATUREN 5/6: 2. OBERGESCHOSS, RAUM WESTFASSADE



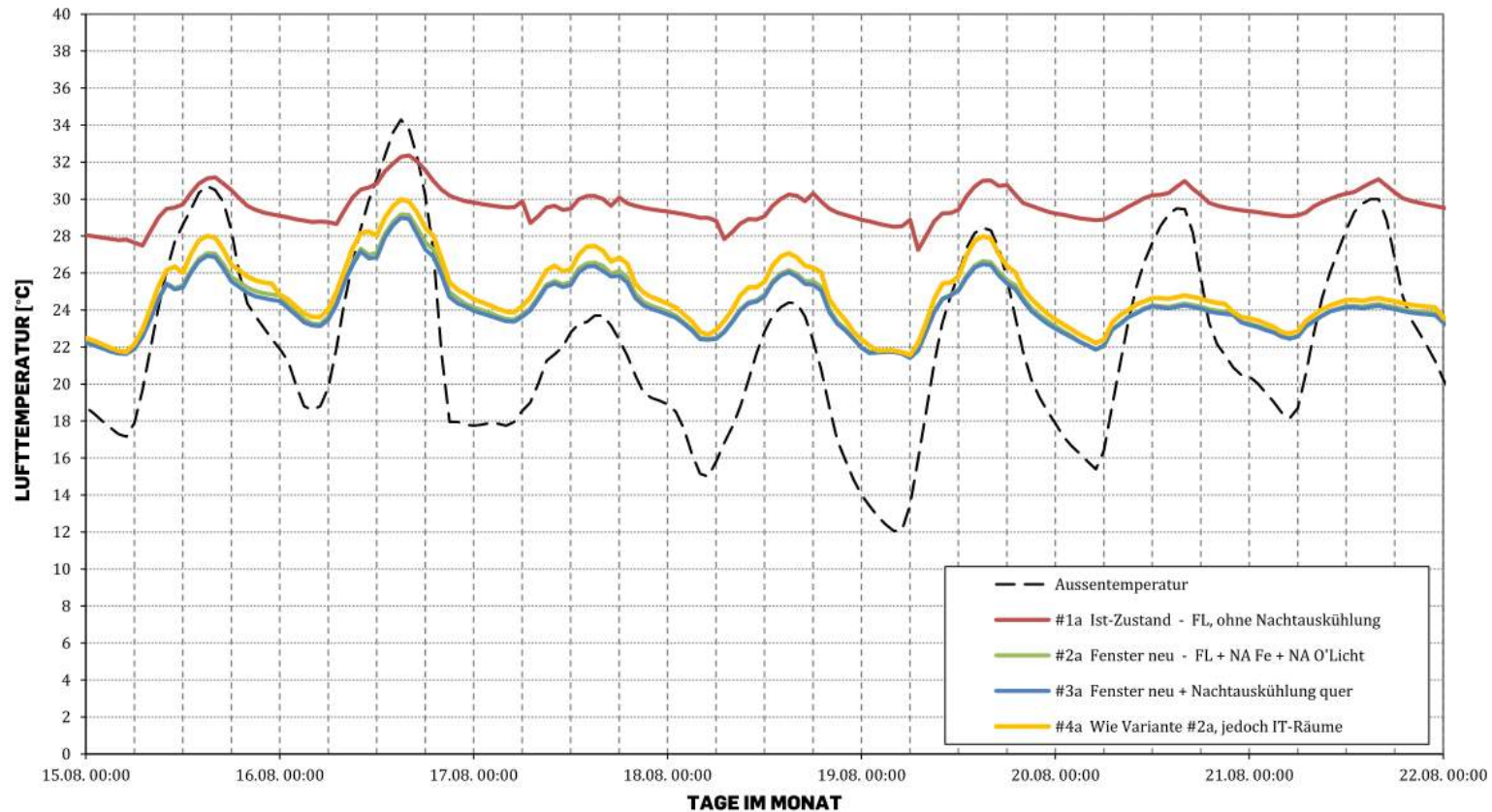
RESULTATE SUMMENHÄUFIGKEIT TEMPERATUREN 6/6: 2. OBERGESCHOSS, ECKRAUM SÜD-WEST



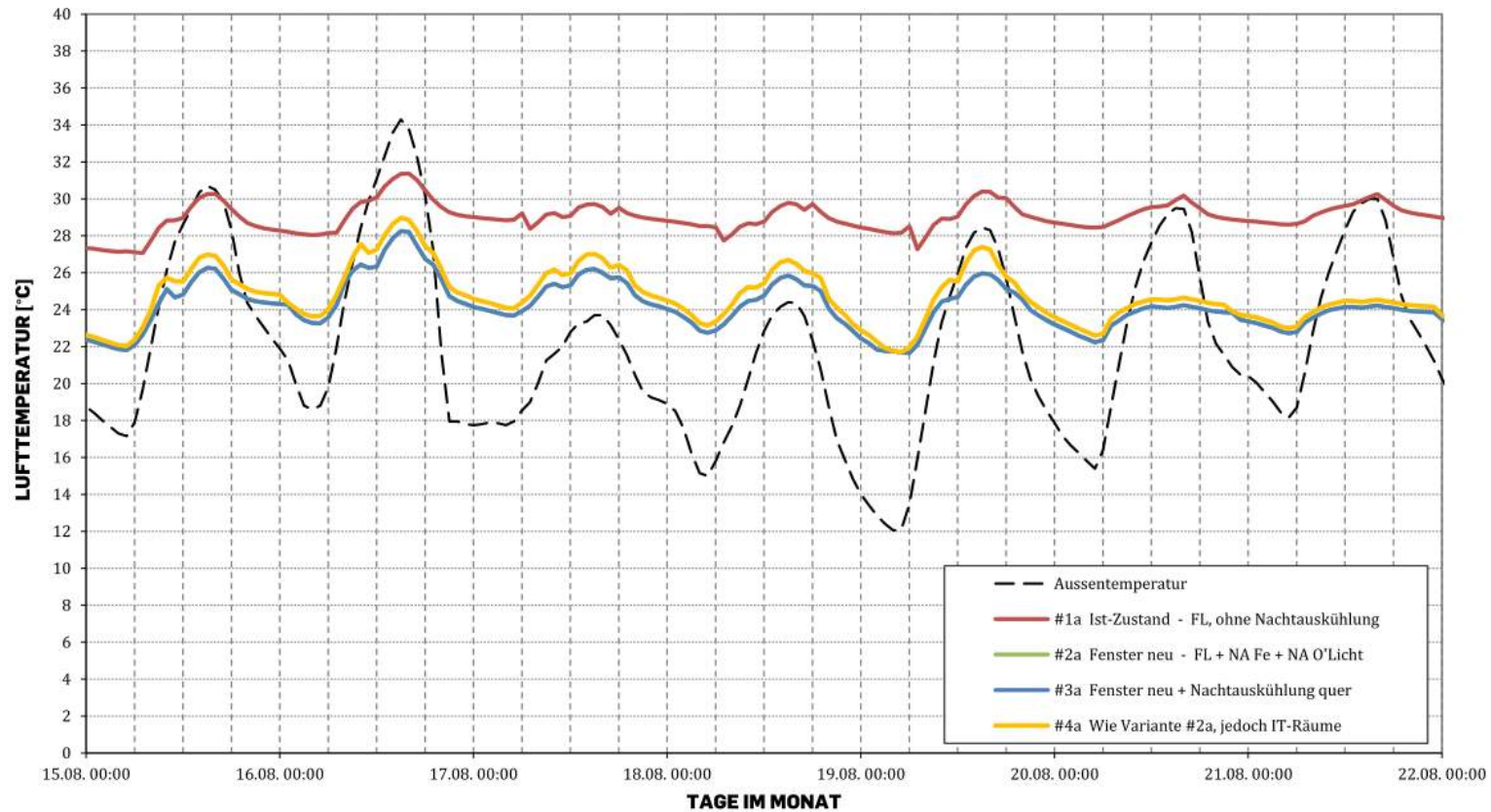
RESULTATE TEMPERATURVERLAUF SOMMERWOCHE 1/6: 1. OBERGESCHOSS, RAUM OSTFASSADE



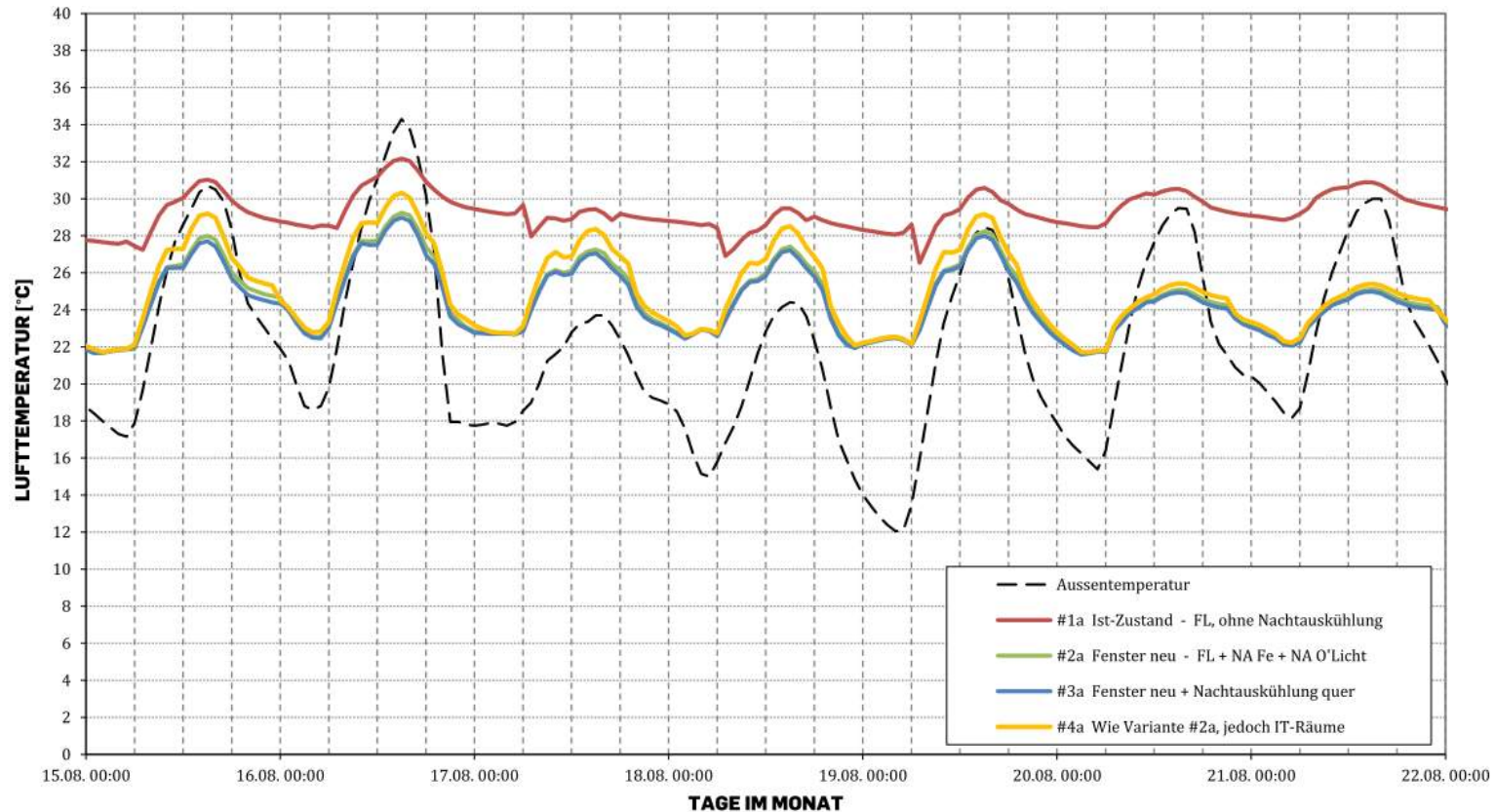
RESULTATE TEMPERATURVERLAUF SOMMERWOCHE 2/6: 1. OBERGESCHOSS, RAUM WESTFASSADE



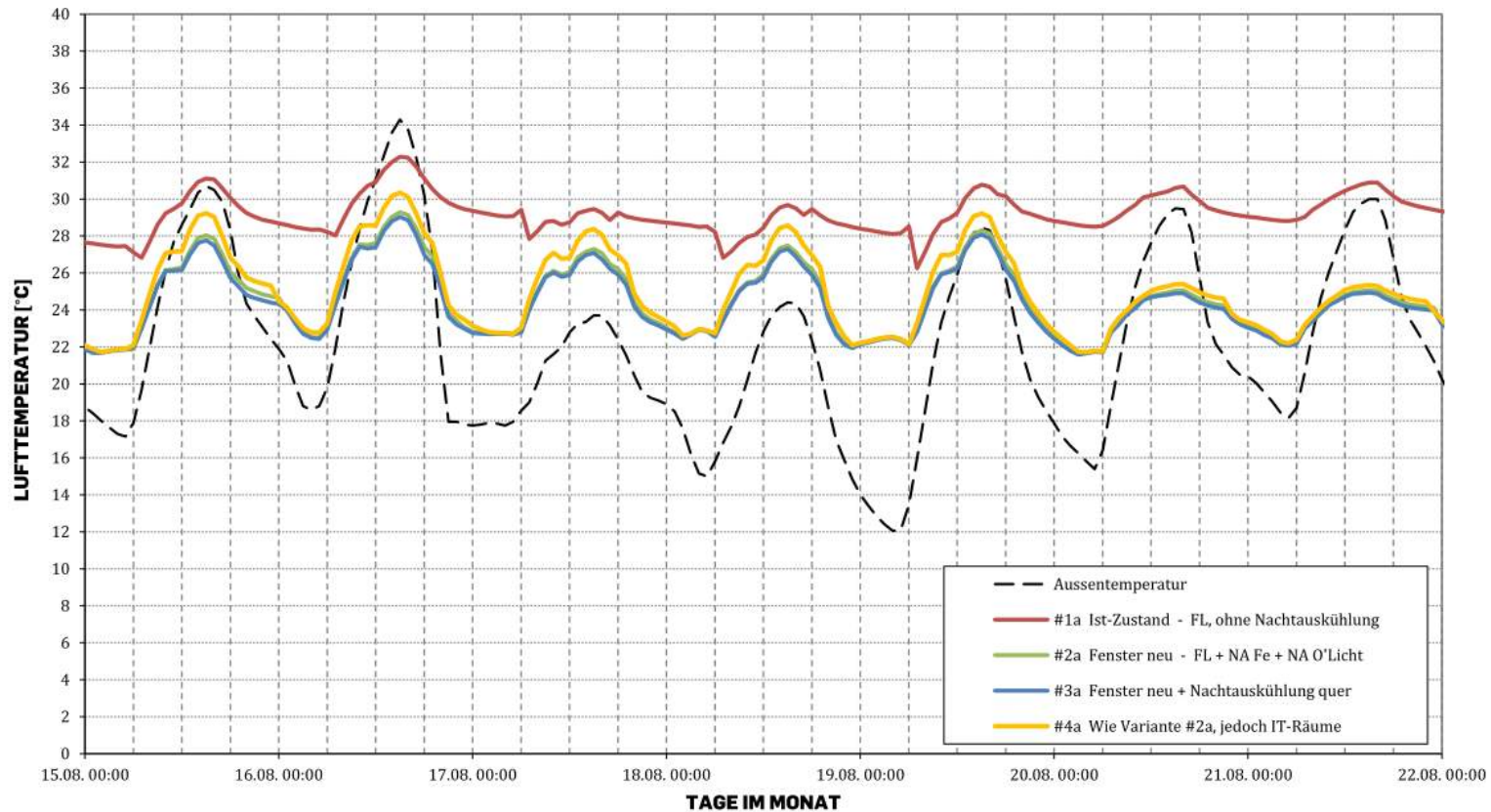
RESULTATE TEMPERATURVERLAUF SOMMERWOCHE 3/6: 1. OBERGESCHOSS, ECKRAUM SÜD-WEST



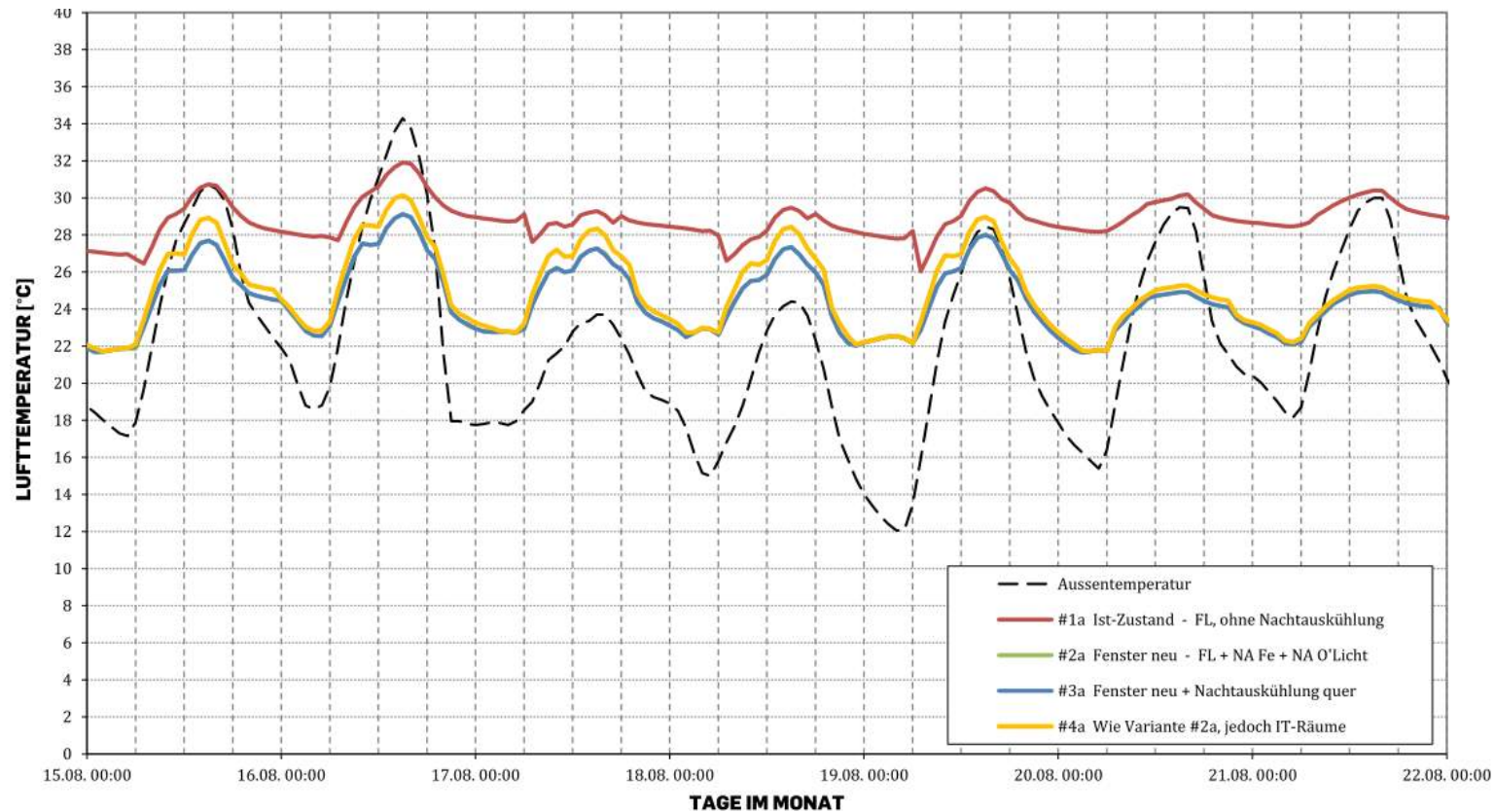
RESULTATE TEMPERATURVERLAUF SOMMERWOCHE 4/6: 2. OBERGESCHOSS, RAUM OSTFASSADE



RESULTATE TEMPERATURVERLAUF SOMMERWOCHE 5/6: 2. OBERGESCHOSS, RAUM WESTFASSADE



RESULTATE TEMPERATURVERLAUF SOMMERWOCHE 6/6: 2. OBERGESCHOSS, ECKRAUM SÜD-WEST



OBERLICHTER 2.OBERGESCHOSS

Zur Beurteilung der Oberlichter im 2. Obergeschoss wurden zusätzlich folgende Varianten simuliert:

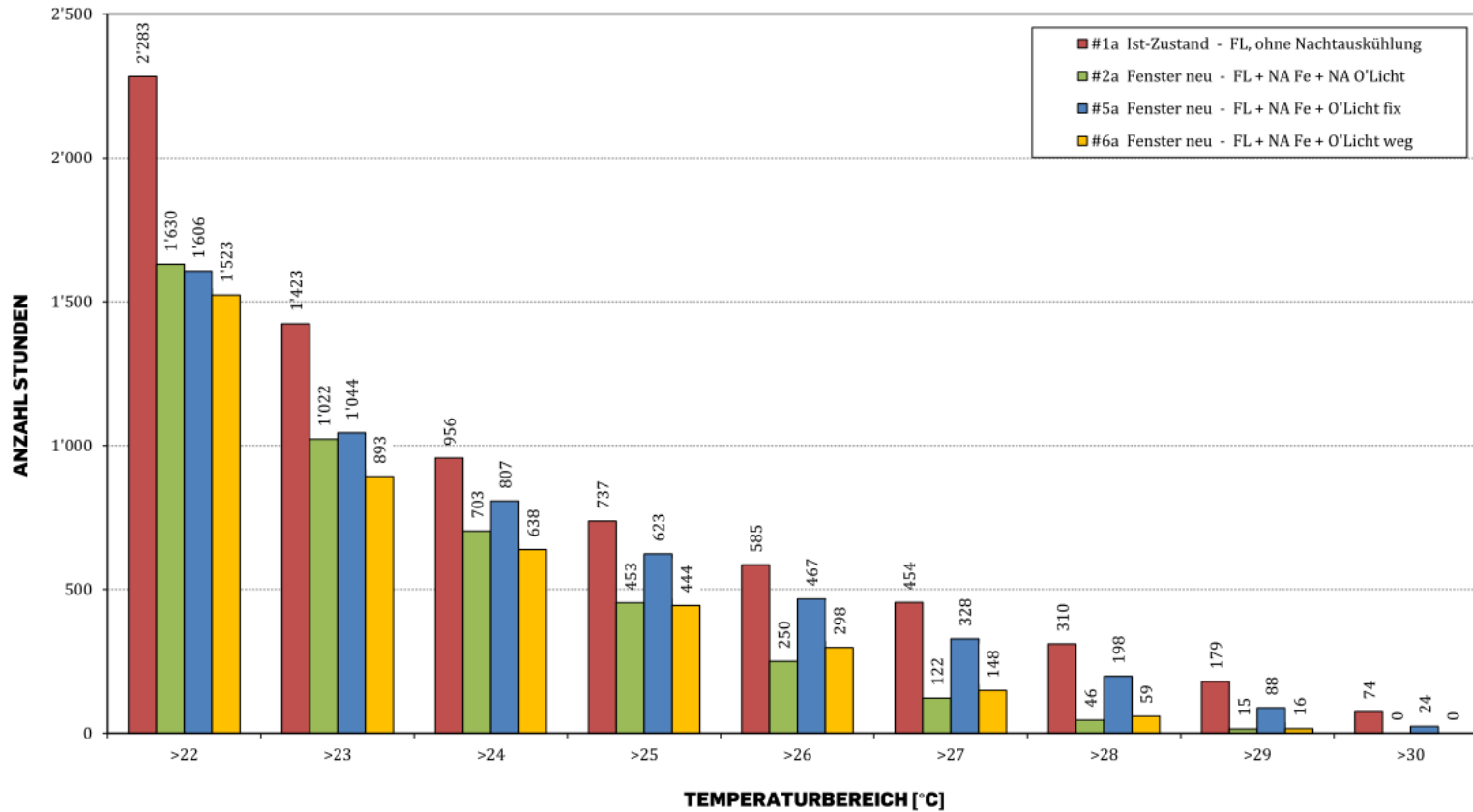
#5a Fensterlüftung + Nachtauskühlung über Fassadenfenster

- Manuelle Fensterlüftung und Nachtauskühlung analog der Variante #2a
- Bestehende Oberlichter unverändert, d. h. nicht offenbar

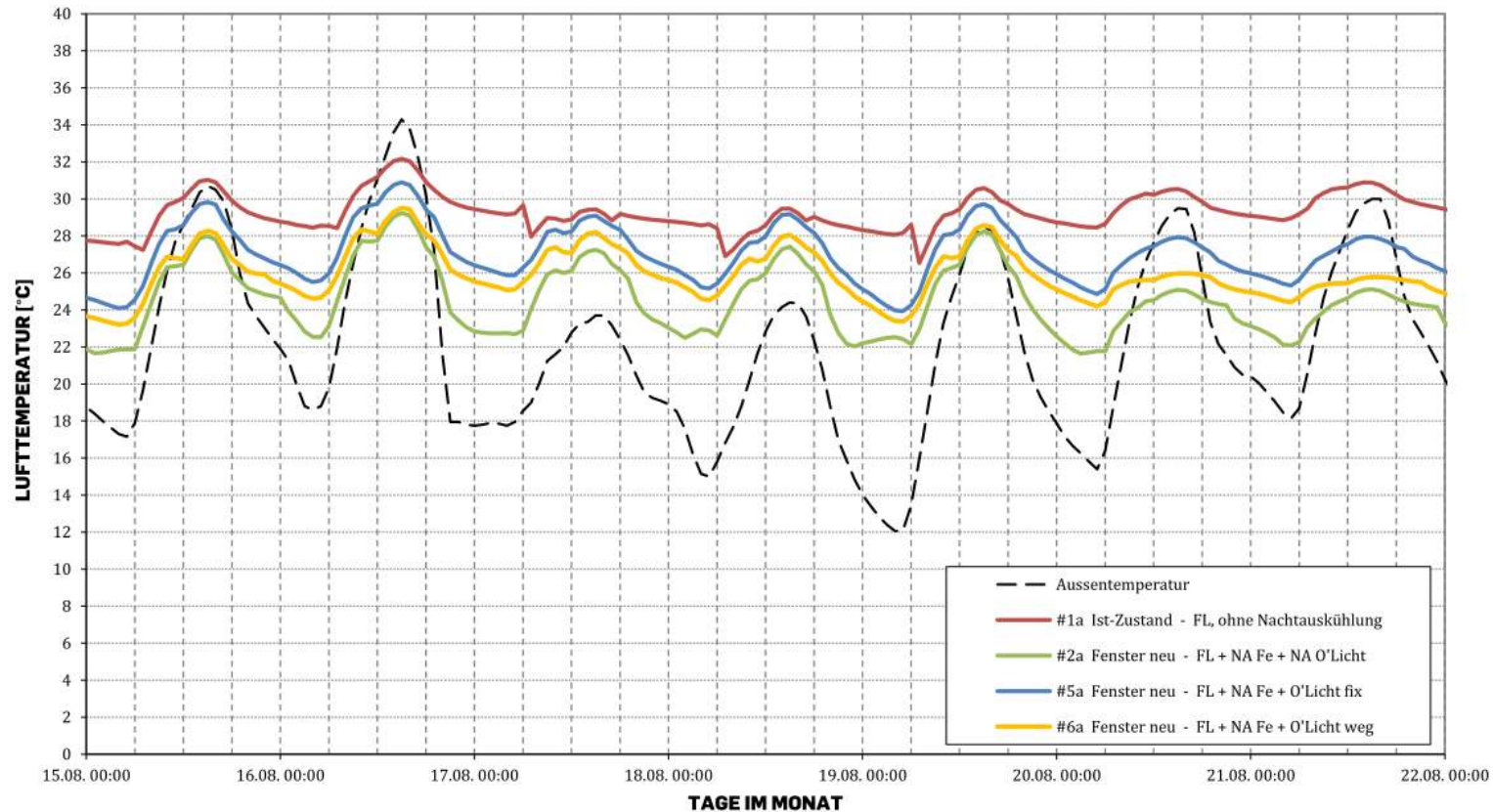
#6a Fensterlüftung + Nachtauskühlung über Fassadenfenster

- Manuelle Fensterlüftung und Nachtauskühlung analog der Variante #2a
- Entfernen der bestehenden Oberlichter, d. h. Schliessen und Dämmen der Dachöffnungen

RESULTATE OBERLICHTER 2. OG, RAUM OSTFASSADE 1/2: SUMMENHÄUFIGKEIT TEMPERATUREN

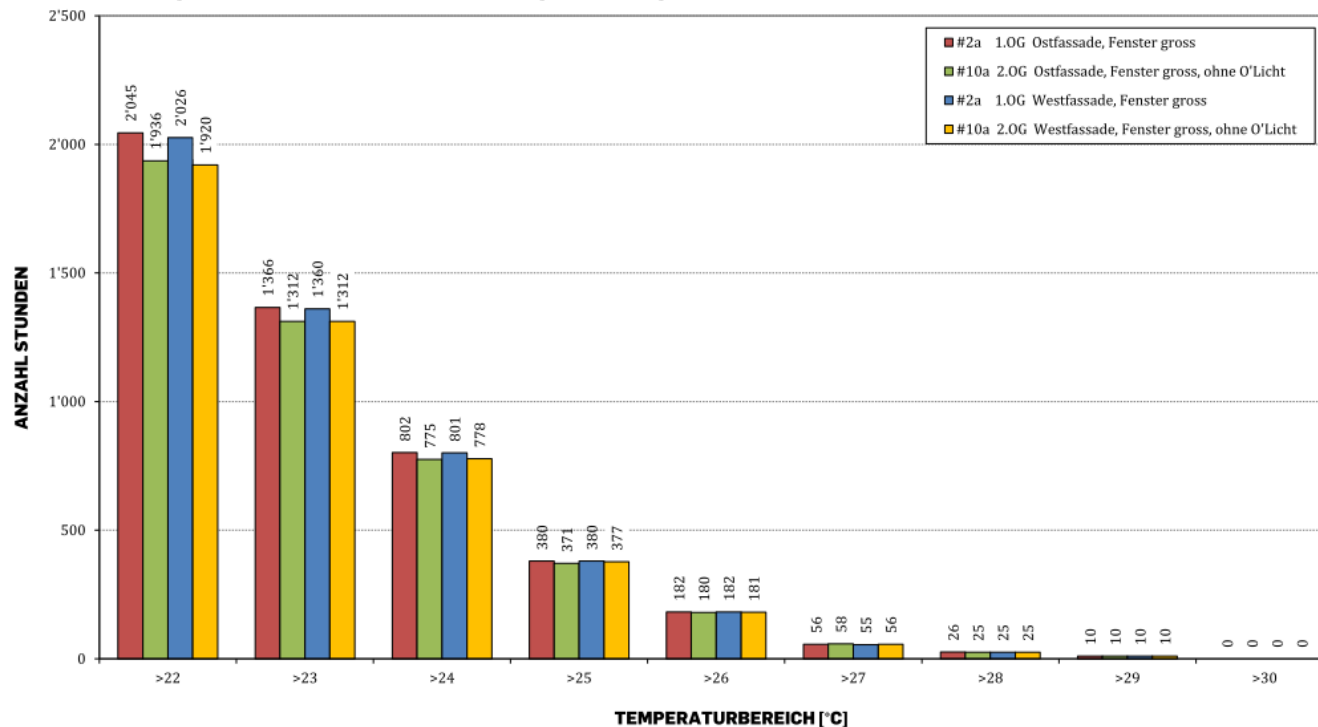


RESULTATE OBERLICHTER 2. OG, RAUM OSTFASSADE 2/2: TEMPERATURVERLAUF SOMMERWOCHE



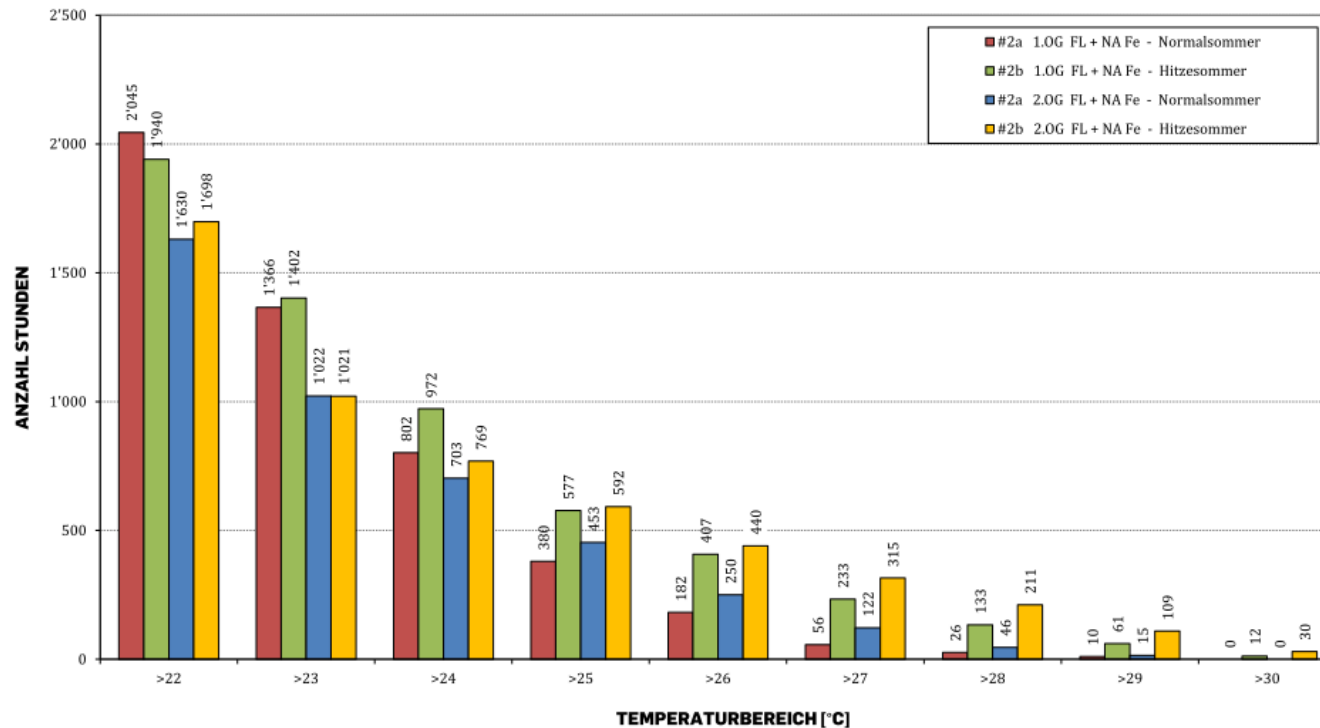
FENSTERGRÖSSE 2. OG

Ergänzend zur Variante 2a mit Fensterlüftung und Nachtauskühlung wurde das 2. Obergeschoss mit gleich grossen Fassadenfenstern wie im 1. Obergeschoss (d.h. B_{ges} x H = 6.0 m x 2.0 m), jedoch ohne Oberlichter simuliert. Erwartungsgemäss zeigt die Häufigkeitsverteilung zwischen den beiden Obergeschossen nur geringe Unterschiede:



HITZESOMMER

Den bisherigen Resultaten liegen die Klimadaten gemäss SIA Merkblatt 2028:2010 zu Grunde. In Zukunft ist jedoch immer häufiger mit Hitzesommern zu rechnen. Die folgende Häufigkeitsverteilung zeigt den Unterschied zwischen einem heutigen «Normalsommer» und einem zukünftigen «Hitzesommer 2035» am Beispiel der Räume an der Ostfassade :



FAZIT UND EMPFEHLUNGEN 1/3

Optimierungs-Simulationen mit insgesamt 60 Variationen zu öffnbaren Anteilen der Fassadenfenster und Anheben der Oberlichter haben folgende optimierte Resultate ergeben. Dabei beziehen sich die Angaben jeweils auf ein Schulzimmer und berücksichtigen bereits die Reduktion wegen dem notwendigen Wetterschutzgitter (Annahme: 70% freier Querschnitt):

– Fassadenfenster 1. Obergeschoss

$$\text{Gesamtbreite} \times \text{Höhe} = B_{\text{ges}} \times H = 1.5\text{m} \times 2\text{m} = 3.0\text{m}^2$$

– Fassadenfenster 2. Obergeschoss

$$\text{Gesamtbreite} \times \text{Höhe} = B_{\text{ges}} \times H = 1.5\text{m} \times 1\text{m} = 1.5\text{m}^2$$

– Oberlichter 2. Obergeschoss

$$\text{Gesamtbreite} \times \text{Höhe} = B_{\text{ges}} \times H = 2 \times (3\text{m} + 3\text{m}) \times 0.2\text{m} = 2.4\text{m}^2$$

Eine Aufteilung auf mehrere Öffnungen ist möglich (z.B. 4 Stück mit einer Breite von jeweils ca. 0.4m). Wichtig ist jedoch die Einhaltung der Höhe.

FAZIT UND EMPFEHLUNGEN 2/3

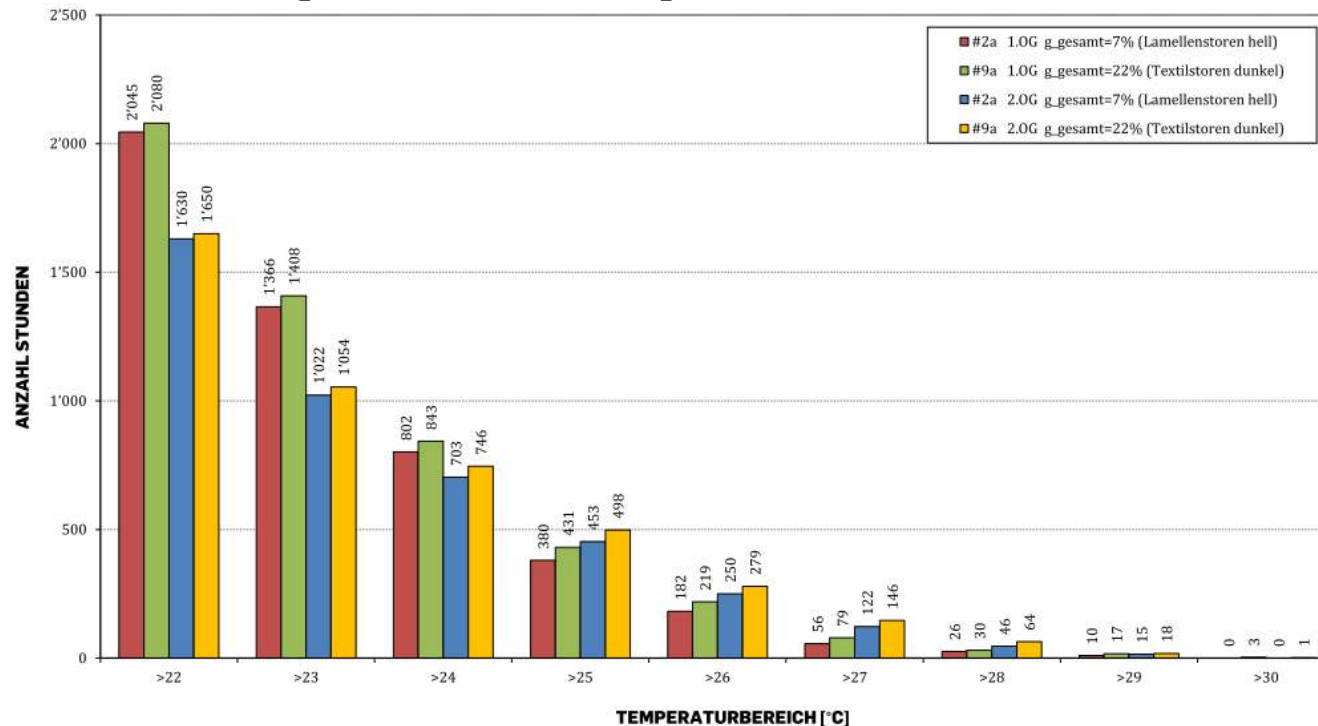
- Im 1. Obergeschoss kann eine wirksame Nachtauskühlung mit den Fassadenfenster erreicht werden, da diese eine Höhe von rund 2 Metern aufweisen.
- Die Querlüftung zwischen den Schulräumen über den Gang bringt nur eine unwesentliche Verbesserung (Vergleich Varianten #2a und #3a). Darum empfehlen wir, auf eine Querlüftung zu verzichten.
- Im 2. Obergeschoss sind die Fassadenfenster wesentlich kleiner als im 1. Obergeschoss. Darum erfolgt sinnvollerweise eine effiziente Nachtauskühlung unter Einbezug der Oberlichter.

Entscheidend ist, dass die natürliche Nachtauskühlung witterungs- und einbruchgeschützt ist und daher immer – sofern dies temperaturbedingt notwendig ist – geöffnet sein kann.

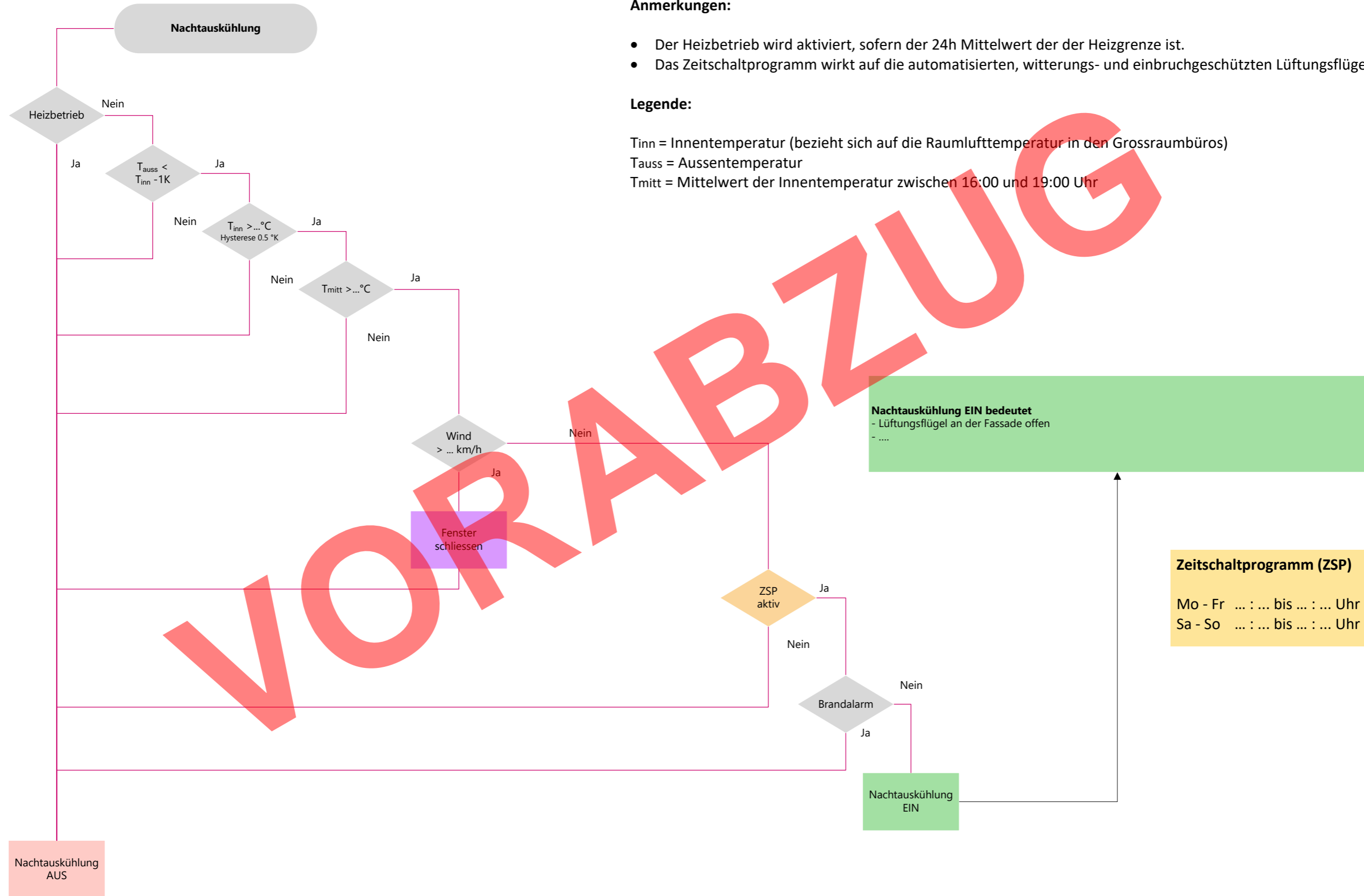
FAZIT UND EMPFEHLUNGEN 3/3

Aussenliegende Lamellenstoren zur Beschattung (so wie bereits jetzt vorhanden) bieten optimalen Schutz gegen Überhitzung. Der Gesamt-g-Wert Verglasung + Beschattung liegt bei ca. 7%.

Untenstehende Häufigkeitsverteilung illustriert den Einfluss des Gesamt-g-Werts auf die Temperatur am Beispiel der Räume an der Ostfassade:



Möglicher Programmablauf Nachtauskühlung



Anmerkungen:

- Der Heizbetrieb wird aktiviert, sofern der 24h Mittelwert der der Heizgrenze ist.
- Das Zeitschaltprogramm wirkt auf die automatisierten, witterungs- und einbruchgeschützten Lüftungsflügel / Oblichte

Legende:

T_{inn} = Innentemperatur (bezieht sich auf die Raumlufttemperatur in den Grossraumbüros)

T_{auss} = Aussentemperatur

T_{mitt} = Mittelwert der Innentemperatur zwischen 16:00 und 19:00 Uhr

Nachtauskühlung EIN bedeutet
- Lüftungsflügel an der Fassade offen
-

Zeitschaltprogramm (ZSP)

Mo - Fr ... : ... bis ... : ... Uhr
Sa - So ... : ... bis ... : ... Uhr

Index	Datum	Gez.	Freig.	Änderung	WALDHAUSER + HERMANN	Projektbezeichnung	Plan-Nr.
	dd.mm.yy	SB	-			Programmablauf Nachtauskühlung (NAK) Projektphase: -	-