Sommerlicher Komfort in Schulen mit manueller Fensterlüftung und ohne maschinelle Kühlung

Monika Hall, Gregor Steinke

Fachhochschule Nordwestschweiz, Institut Nachhaltigkeit und Energie am Bau
4132 Muttenz, Hofackerstrasse 30, Schweiz
E-Mail: monika.hall@fhnw.ch, gregor.steinke@fhnw.ch

Kurzfassung

Der Klimawandel mit zunehmenden Hitzeperioden stellt Schulen vor grosse Herausforderungen. Insbesondere Schulen, die über manuelle Fensterlüftung und keine maschinelle Kühlung verfügen, benötigen entsprechende Lüftungsmöglichkeiten und ein gutes Lüftungskonzept, um die Raumlufttemperaturen in einem angenehmen Bereich zu halten. Der Einfluss von verschiedenen Lüftungskonzepten für die Nachtauskühlung, den internen Lasten (Geräte, Beleuchtung, Belegung), dem g-Wert der Fenster, der Orientierung bzw. der Raumhöhe des Klassenzimmers sowie heutigen und zukünftigen Klimaszenarien wird mit dynamischen Gebäudesimulationen auf den sommerlichen Komfort für ein Klassenzimmer in Basel (CH) analysiert. Die untersuchten Parameter wurden in Anlehnung an eine reale Schule gewählt und das Simulationsmodell wird mit Messwerten validiert. Zusätzlich wird die Notwendigkeit einer maschinellen Kühlung geprüft und die Raumluftqualität bezogen auf die CO_2-Konzentration ermittelt.

Die wirksamste passive Methode zu Senkung der Raumlufttemperatur ist die Nachtlüftung mit grossen, lichten Lüftungsöffnungen und langen Lüftungszeiten. Im Neubau können zusätzlich Orientierung und Raumhöhe angepasst werden.

Mit den verwendeten Randbedingungen wird für alle simulierten Varianten normativ eine maschinelle Kühlung notwendig. Die realen Klassenzimmer weisen nur wenige Überschreitungsstunden der entsprechenden Grenzkurve auf. Daher sollten erst alle Massnahmen zum sommerlichen Wärmeschutz konsequent umgesetzt werden, bevor eine maschinelle Kühlung installiert wird.

Die Raumluftqualität ist als hoch bis moderat einzustufen.

Einführung

In der Schweiz hat sich die Temperatur seit der vorindustriellen Zeit (1871-1900) bis 2024 im Mittel um rund 2.9 °C erwärmt (MeteoSchweiz & ETH Zürich, 2025). Städtische Gebiete sind auf Grund ihrer hohen Versieglung und der dichten Bebauung von der Temperaturerhöhung stärker betroffen als die ländliche Umgebung. Städte erwärmen sich tagsüber schneller und stärker und kühlen nachts weniger stark ab. Daher sind insbesondere in Städten die Temperaturen im Sommer ein viel diskutiertes Thema.

In Schulen beinträchtigen hohe Raumlufttemperaturen nicht nur die Konzentration und Lernfähigkeit der Schülerinnen und Schüler, sondern auch die Leistungsfähigkeit des Lehrpersonals (Wargocki et al., 2019). Im Rahmen einer Messkampagne sind in Basel (CH) seit 2024 in sechs Schulen verschiedene Klassenzimmer mit Messsensoren ausgerüstet, die die Raumlufttemperatur, die relative Luftfeuchte und die CO_2-Konzentrationen messen. Die Schulen spiegeln verschiedene Bauepochen von vor 1919 bis heute wider. Fünf Schulen werden über manuelle Fensterlüftung gelüftet, eine Schule hat eine mechanische Lüftungsanlage. Keine der Schule verfügt über eine maschinelle Kühlung. Im Rahmen eines Forschungsprojekts (Steinke & Hall, 2025) fand eine Begehung in allen Schulen statt, bei der die Situation bzgl. Lüftungsmöglichkeiten und Sonnenschutz unter dem Gesichtspunkt des sommerlichen Komforts aufgenommen wurde. Ein Ziel des Forschungsprojektes ist, Sofort- und längerfristige Massnahmen zur Verbesserung des sommerlichen Komforts in Schulen mit manueller Fensterlüftung und ohne maschinelle Kühlung aufzuzeigen und einzuordnen.

Aus diesen Schulbegehungen werden Szenarien für eine dynamische Gebäudesimulation entwickelt, um die Wirksamkeit verschiedener Massnahmen zu evaluieren. Hierzu werden an einem Beispielklassenzimmer verschiedene Szenarien zu den Themen Lüftung, bauliche Massnahmen und Belegung untersucht. Ebenso wird der Einfluss verschiedener Klimaszenarien

betrachtet. Aus den Ergebnissen soll abgeleitet werden, wie hoch der Einfluss der einzelnen Massnahmen auf den Komfort ist, um Empfehlungen für den bestehenden Schulbetrieb als auch für die Neubauplanung abzuleiten. Zusätzlich wird die Notwendigkeit einer maschinellen Kühlung geprüft und die Raumluftqualität bezogen auf die CO_2-Konzentration ermittelt.

Simulation

Modell

Das Simulationsmodell beruht auf einer realen Schulsituation einer Sekundarschule in der Innenstadt von Basel aus der Bauepoche 1981-2000. Das Modell besteht aus einem Klassenzimmer und dem Zugangsbereich (Abb. 1). Das Klassenzimmer hat eine Nettogrundfläche von 60.3 m^2 und eine lichte Raumhöhe von 3 m. Es ist nach Südost ausgerichtet. Das Modell ist wie folgt aufgebaut:

- Aussenwand: 25 cm Beton, 12 cm Wärmedämmung, Innen-/Aussenputz, U-Wert: 0.25 W/(m^2 K)
- Zwischendecken: Linoleum, 6 cm Zementmörtel, 4 cm Trittschall-Dämmung, 25 cm Beton, 2 cm Akustikplatten: 100 % Deckenbelegung
- Innenwände: beidseitig je 1.5 cm Gipskartonplatte, 10 cm Dämmung
- Fenster: 3-fach verglast, g-Wert: 0.54, U_g-Wert: 0.61 W/(m^2 K), Laibungstiefe aussen: 14 cm, Rahmenanteil: 10 %, U_f-Wert: 1.4 W/(m^2 K)
- Luftdichtheit: q_{50} = 1.0 m^3/(h m^2)

Der aussenliegende Lamellensonnenschutz wird geschlossen (Lamellenstellung 65°), wenn die Einstrahlung auf die Fassade 200 W/m² überschreitet. Nachts, am Wochenende und in den Ferien ist der Sonnenschutz in der gleichen geschlossenen Stellung. Dies beruht auf der erhaltenen Information während der Schulbegehung. Während der Lektionen sind 18 Schülerinnen und Schüler und eine Lehrperson anwesend. An Schultagen ist das Klassenzimmer zwischen 7:00-17:00 Uhr belegt. Unterricht ist zwischen 8:00-16:30 Uhr. Es wird angenommen, dass eine Lehrperson zusätzlich von 7:00-8:00 Uhr und 16:30-17:00 Uhr für Vor- und Nachbereitung des Unterrichts anwesend ist. Am Vormittag gibt es fünf und am Nachmittag drei Lektionen. Laut Stundenplänen sind die Klassenzimmer im Schulalltag nicht an allen Wochentagen während acht Lektionen belegt. Die acht Lektionen mit jeweils 19 Personen werden jedoch als Worst-Case-Szenario für die Simulation angenommen. Jede Lektion dauert 45 Minuten. Die Pausendauer ist 5 bzw. 10 Minuten und alterniert zwischen den Lektionen. Nach der letzten Lektion am Mittag und am Nachmittag wird jeweils 15 Minuten gelüftet. Die Wärmeeintragsleistung für Geräte und Beleuchtung (11 bzw. 8 W/m^2) entspricht den Standardwerten von SIA 2024 (2021). Das Tagesprofil der Gerätenutzung wird an SIA 2024:2021 angelehnt. Es wird in den Randstunden leicht modifiziert, da die reale Belegung kürzer als die Normbelegung ist. Es wird kein Gerätestandby berücksichtigt. Das Tagesprofil für die Personenanwesenheit ist dem Stundenplan inkl. Pausen angepasst, wobei vereinfacht die Anwesenheit für jeden Schultag gleich angenommen ist. Die künstliche Beleuchtung wird adaptiv so geregelt, dass 500 lx während der Belegungszeit eingehalten ist. Im Winter wird mit einer idealen Heizung auf 20 °C geheizt. Im Sommer ist die Heizung ab Anfang Mai bis Ende September ausgeschaltet. Es gibt keine maschinelle Kühlung.

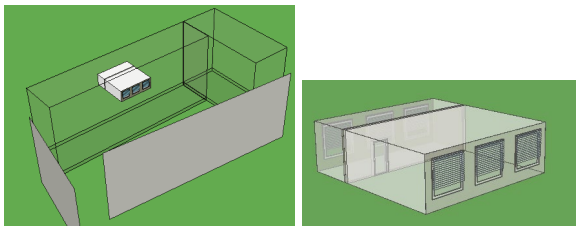


Abbildung 1: Ansicht des Modelles in IDA ICE V5.1.1.

Die Lüftung erfolgt manuell über die Fenster. Es kann je Fenster ein Drittel der Fläche als Dreh-/Kippflügel geöffnet werden. Das Lüftungskonzept an Schultagen wird wie folgt angenommen:

- Pausenlüftung: die 3 Drehflügel in der Klasse sind komplett geöffnet
- Taglüftung (7:00-17:00 Uhr) in Klasse und Flur nach Temperatur: je 3 Drehflügel ganz offen, wenn die Aussenlufttemperatur unter der Raumlufttemperatur liegt und die Raumlufttemperatur zwischen 21-24 °C liegt, sonst geschlossen
- Pausen-/Taglüftung bei geschlossenem Sonnenschutz: 30 % der lichten Öffnungsfläche der Drehflügel nutzbar
- Nachtlüftung (17:00-7:00 Uhr) in Klasse und Flur: 01.-27.06. und 11.08.-06.09., Kippstellung: 10 % der Öffnungsfläche nutzbar

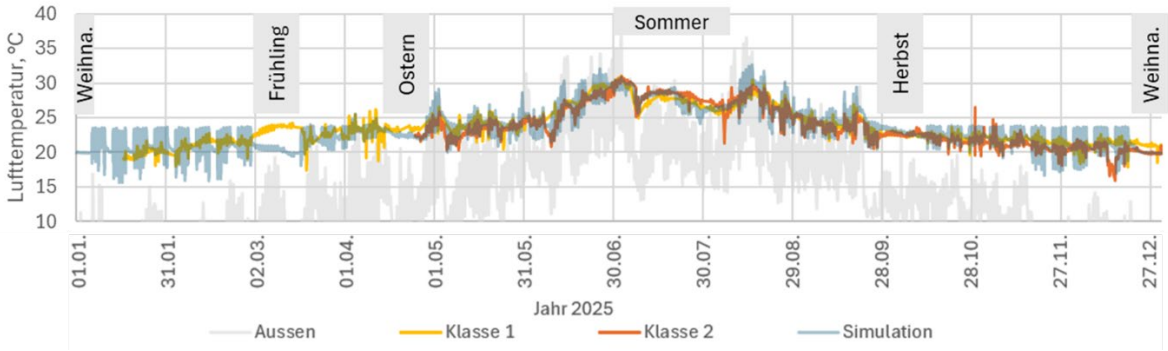


Abbildung 2: Validierung der simulierten Raumlufttemperaturen (10-min Werte) mit den Messwerten von zwei Klassenzimmern aus dem 3. Obergeschoss für das Jahr 2025 (Klasse 1: Stundenwerte bis Ende Februar und danach 10-min Werte, Klasse 2: ab Ende April 10-min Werte). Bei beiden Klassenzimmern gibt es hin und wieder kurzeitige Messdatenausfälle. Die Schulferien sind markiert. Grau: Aussenlufttemperatur.

Validierung

Das Modell wird mit Temperatur-Messwerten aus zwei Klassenzimmern aus dem dritten Obergeschoss der realen Schule validiert. Hierzu wird die empfundene Temperatur verwendet. Als Synonym für die empfundene Temperatur wird der Begriff Raumlufttemperatur bzw. Temperatur als Kurzform verwendet.

Das verwendete Klima in der Simulation setzt sich für das Jahr 2025 aus zwei Messstationen zusammen: Aussenlufttemperatur der Innenstadt Messstation Basel-St. Johann sowie Strahlungs- und Winddaten von der offiziellen MeteoSchweiz Messstation Basel-Binningen etwas ausserhalb der Stadt (Luftlinie ca. 1.2 km).

Die simulierten Ergebnisse folgen dem Verlauf der Messwerte (Abb. 2). An einigen Tagen zeigen die simulierten Werte höhere Spitzentemperaturen als die Messwerte. Dies ist eine Folge der konstanten Raumbelegung mit 19 Personen und acht Lektionen pro Tag sowie der regelbasierten Steuerung für die Bedienung von Fenster und Sonnenschutz im Modell. In der realen Nutzung variieren die Raumbelegung und die Fenster- und Sonnenschutzbedienung. Im Winter weisen die simulierten Raumlufttemperaturen grössere Schwankungen gegenüber den Messwerten auf. Am Anfang des Jahres liegen für Kasse 1 nur Stundenwerte vor, was die Schwankungen stark glättet.

Infolge des Anstiegs der Raumlufttemperatur in den Frühlingsferien muss Klasse 1 zeitweise belegt oder der Sonnenschutz geöffnet gewesen sein. Um den Temperaturabfall über die Sommerferien nachzuvollziehen, musste eine Nachtlüftung im Modell implementiert werden. Dies zeigt, dass die Schule während der Sommerferien im Juli bis Anfang August bewirtschaftet wurde.

Varianten

Der Einfluss von verschiedenen Massnahmen und Klimaszenarien auf die Raumlufttemperatur wird anhand 24 Varianten mittels dynamischer Gebäudesimulation untersucht. Dabei entspricht das Basismodell (#0) dem validierten Modell.

Der Betrieb der Nachtlüftung wird in sechs Varianten adressiert. In #1 wird untersucht, wie sich die komplett geöffneten Drehflügel in der Klasse und dem Flur während der Nachtlüftung auswirken. In #2 kommt eine Querlüftung zum Flur durch die offene Klassentüre hinzu und in #3 werden die Lamellen des Sonnenschutzes zusätzlich auf horizontal gestellt (90 % der Öffnungsfläche ist nutzbar). Drehflügel, mit horizontalen Lamellen aber ohne Querlüftung wird in #4 untersucht. Die Dauer der Nachtlüftung wird verkürzt, indem der Startzeitpunkt auf 23:00 Uhr (#5) bzw. auf 6:00 Uhr (#6) gelegt wird.

Bauliche Massnahmen werden in #7-11 variiert. #7-9 betreffen Massnahmen zur Reduktion der internen Lasten durch eine reduzierte spezifische Wärmeeintragsleistung von Beleuchtung oder/und Geräten auf den Zielwert von SIA 2024:2021 (7.2 bzw. 4 W/m^2). Die Erhöhung der nutzbaren Wärmespeicherfähigkeit in Folge der Reduktion der Akustikdeckenfläche von 100 % auf 30 % wird in #10 betrachtet. In #11 wird eine reduzierte Solareinstrahlung durch den Wechsel das Fensterglases auf einen reduzierten g-Wert (0.26) bei gleichem U_g-Wert untersucht. Den Einfluss einer höheren Belegungsdichte (25 Pers.) bzw. ein Wechsel des Schultyps auf Primarschule (Grundschule) (73 W/Pers.) zeigen #12 und #13. #1-13 können in einem Bestandsbau realisiert werden.

#14-20 adressieren die Geometrie und die Orientierung des Klassenzimmers. Diese Punkte können nur in einem Neubau berücksichtigt werden. Die lichte Raumhöhe wird von 3 m auf

4 m erhöht und mit gleicher (#14) bzw. mit einer um 50 % vergrösserten Fensterfläche (#15) betrachtet. In #16-20 wird die Orientierung des Klassenzimmers von Südost auf Nord, Nordwest, West, Ost und Süd variiert.

Die Auswirkungen synthetischer Klimaszenarien werden in #21-24 betrachtet. Hierbei wird das typische Normklimajahr (DRY) für die Innenstadt von Basel (#21) sowie das korrespondierende Normklimajahr für einen besonders heissen Sommer in 10 Jahren (#22) angewendet (Zweifel, 2026). #23 und #24 sind Zukunftsszenarien für das Jahr 2060 (Zweifel, 2026).

Beurteilung sommerlicher Komfort

In SIA 180 (2014) ist ein adaptiver Komfortbereich für die empfundene Temperatur definiert. Der zulässige Temperaturbereich ist an den gleitenden Mittelwert der Aussenlufttemperatur über die vorangegangenen 48 Stunden gekoppelt (Abb. 3). Für Räume, deren thermischer Komfort im Sommer hauptsächlich durch Öffnen und Schliessen von Fenstern geregelt wird, ist der Komfort nachgewiesen, wenn die Stundenmittelwerte der empfundenen Temperatur während der Nutzungszeiten die Grenzkurve (A) nicht überschreiten. Wird die Grenzkurve überschritten ist die Notwendigkeit einer maschinellen Kühlung gegeben (SIA 380/2, 2022).

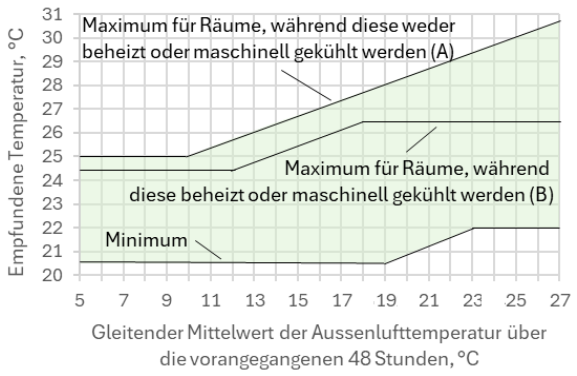


Abbildung 3: Zulässige Bereiche der empfundenen Temperatur in Räumen mit und ohne maschineller Kühlanlage gemäss SIA 180:2014.

Anderenfalls ist die Notwendigkeit einer Kühlung gegeben, wenn die empfundene Temperatur die Grenzkurve (B) innerhalb der in SIA 380/2:2022 definierten Toleranz im Jahr um 100 Stunden beim Neubau oder 400 Stunden beim Bestand während der Nutzungszeiten überschreitet. Dies kann durch Simulation oder Messung der Raumlufttemperaturen erfolgen. Abweichend zum Normnachweis werden für diese Studie die realen Klimadaten und nicht das Normklimajahr (DRY) verwendet, da ein Vergleich von Simulation und Messwerten erfolgt.

Beurteilung der Raumluftqualität

Die Beurteilung der Raumluftqualität bezüglich CO_2-Konzentrationen erfolgt nach den vier Indoor Air-Klassen (IDA=Raumluftqualität) gemäss SIA 382/1 (2025). Wobei IDA 1 für hohe, IDA 2 für mittlere, IDA 3 für moderate und IDA 4 für niedrige Raumluftqualität steht. Die IDA-Klassen gelten für Gebäude mit mechanischer Lüftungsanlage. Übliche Auslegungswerte basieren auf IDA 2 (SN EN 16798/1, 2019). Für Neubauten wird das Einhalten von IDA 2 und für den Bestand IDA 3 empfohlen (European Commission, 2024). Zusätzlich wird der obere Richtwert von 2'000 ppm für Räume ohne mechanische Lüftungsanlage gemäss SIA 180:2014 betrachtet.

Ergebnisanalyse und Diskussion

Raumlufttemperaturen/Komfort

Ergebnisanalyse

Messergebnisse für die beiden Klassen und der simulierte Einfluss der verschiedenen Massnahmen auf die Raumlufttemperatur sowie die Einordnung des Komforts sind in Tabelle 1 dargestellt. Es werden die maximale Temperatur und die Gesamtanzahl der Stunden, in denen die Temperatur zwischen 26-28 °C, 28-30 °C bzw. über 30 °C liegen, bestimmt. Zusätzlich wird die Anzahl der Stunden als Gesamtsumme über 26 °C sowie die Anzahl der Stunden, die oberhalb der Grenzkurven (A) und (B) gemäss Norm SIA 180:2014 liegen dargestellt. Die Simulationsergebnisse basieren auf Jahressimulationen mit dem validierten Modell (#0) und den Klimadaten für das Jahr 2025. Die Werte gelten für die Belegungszeit von 7:00-17:00 Uhr an Schultagen. Wochenenden und Ferien sind in den Ergebnissen nicht berücksichtigt. Die farbliche Markierung kennzeichnet die jeweils tiefsten Werte je Rubrik in Grün und die jeweils höchsten Werte in Rot.

Die Messdaten #M1 und # M2 weisen gegenüber #0 eine um ca. 2 K tiefere maximale Temperatur auf. Die Anzahl der Stunden in den Temperaturbereichen 26-28 °C und 28-30 °C ist sehr ähnlich, jedoch ist die Stundenanzahl über 30 °C und der Überschreitungen von Grenzkurve (A) in den realen Klassenzimmern deutlich tiefer als in der Simulation. Dies ist eine Folge der unterschiedlichen Anzahl an Lektionen pro Tag. Die Simulation berücksichtigt mit acht Lektionen pro Schultag ein Worst-Case-Szenario, was häufiger zu höheren Temperaturen führt als in den realen Klassen, die zum Teil weniger Lektionen pro Tag aufweisen.

Für die einzelnen Massnahmenbereiche können folgende Aussagen getroffen werden.

Tabelle 1: Übersicht der maximalen Raumlufttemperaturen, Anzahl Stunden der Raumlufttemperaturen in verschiedenen Temperaturbereichen und des sommerlichen Komforts für Messwerte und simulierten Varianten in verschiedenen Massnahmenbereichen (Jahressimulation, Auswertung der Belegungszeit an Schultagen)

Nr.	Variante	θempf. max. °C	θempf. > 26 - ≤ 28 °C h	θempf. > 28 - ≤ 30 °C h	θempf. > 30 °C h	θempf. > 26 °C h	SIA 180 > GW (A) h	SIA 180 > GW (B) h	Mass-nahmen-bereich
M1	Klasse 1 (Messwerte)	30.5	128	69	3	200	8	185	
M2	Klasse 2 (Messwerte)	29.6	102	82	0	184	0	161	
0	Basismodell	32.7	96	69	63	228	74	206	Ist-Zustand
1	NL: 1 7 -7 Uhr, Drehflügel	32.4	87	69	45	201	46	183	Betrieb der Nacht-lüftung
2	NL: 1 7 -7 Uhr, Drehflügel, Querlüftung	32.3	87	69	43	198	44	180	
3	NL: 17 - 7 Uhr, Drehfl., Querl., Lam. horiz.	31.9	78	67	25	171	24	156	
4	NL: 17 - 7 Uhr, Drehflügel, Lamellen horiz.	32.0	79	67	26	172	24	156	
5	NL: 23 - 7 Uhr, Drehflügel, Lamellen horiz.	31.7	84	68	23	175	22	157	
6	NL: 6 - 7 Uhr, Drehflügel, Lamellen horiz.	32.7	100	72	66	238	86	215	
7	Beleuchtung (11 W/m2 -> 7.2 W/m2)	32.4	91	67	57	215	63	194	bauliche Mass-nahmen
8	Geräte (8 W/m2 -> 4 W/m2)	32.3	89	67	55	210	54	191	
9	Beleuchtung/Geräte (11/8 -> 7.2/4 W/m2)	32.0	88	65	48	201	39	182	
10	Akustikdecke (100 % -> 30 %)	32.2	89	65	52	205	41	184	
11	Reduktion g-Wert (0.54 -> 0.26)	32.2	91	71	48	210	48	189	
12	Sekundar (19 Pers. -> 25 Pers.)	32.9	115	76	77	268	111	246	Belegung
13	Primar (115 W -> 73 W)	32.8	85	53	50	188	42	169	
14	Raumhöhe (3 m -> 4 m)	32.3	93	67	56	216	56	194	Neubau
15	Raumhöhe (3 m -> 4 m, Fensterfl. +50%)	32.2	77	57	40	174	32	154	
16	Orientierung (SO -> N)	31.9	78	58	27	163	18	142	
17	Orientierung (SO -> NW)	32.1	81	55	35	170	29	150	
18	Orientierung (SO -> W)	32.5	85	57	40	183	43	170	
19	Orientierung (SO -> O)	32.6	89	65	62	217	67	197	
20	Orientierung (SO -> S)	32.4	96	67	51	214	60	199	
21	BASSTA 2023 (DRY)	31.5	109	100	18	227	58	202	Klima
22	BASSTA 2023 (1 in 10)	32.7	177	157	38	371	102	334	
23	BKLI 2060 RCP 8.5 (DRY)	32.3	122	98	29	249	53	220	
24	BKLI 2060 RCP 8.5 (1 in 10)	32.8	102	84	52	238	51	213	
	Minimum #1-24	32.3	77	53	18	163	18	142	
	Mittelwert #1-24	31.5	95	72	45	212	51	191	
	Maximum #1-24	32.9	177	157	77	371	111	334	

Betrieb der Nachtlüftung

Einen sehr grossen Einfluss auf die Nachtlüftung hat die Grösse der Fensteröffnung und die Lamellenstellung. Wird über die Drehflügel anstatt der Kippstellung gelüftet (#1), reduziert sich deutlich die Anzahl der Stunden über 30 °C (-28 % gegenüber #0). Werden zusätzlich die Lamellen auf horizontal gestellt (#3), fällt die maximale Temperatur leicht und es gibt eine weitere deutliche Reduktion der Anzahl Stunden über 30 °C (-68 %).

Bei einer horizontalen Lamellenstellung ergibt sich mit und ohne Querlüftung (#3, #4) dasselbe Ergebnis. Der Start der Nachtlüftungsdauer um 23:00 Uhr (#5) führt zwar zu etwas weniger Stunden über 30 °C gegenüber #0, dafür steigt leicht die Stundenanzahl zwischen 26-30 °C an. Eine kurze Lüftung am Morgen (#6) führt zu höheren Werten.

Wie erwartet zeigt sich, dass für eine effektive Nachtlüftung möglichst grosse und lichte Öffnungsflächen sowie lange Öffnungszeiten entscheidend sind. Grundsätzlich lohnt es sich die Fenster erst um 23:00 Uhr zu öffnen, was in der Praxis aber nur sehr aufwändig umsetzbar ist. Nur eine kurze Stosslüftung am Morgen reicht nicht aus, um die Konstruktion auszukühlen. Sind die Drehflügel über Nacht bei horizontaler Lamellenstellung geöffnet, ist eine Querlüftung nicht mehr notwendig, da die Öffnungsfläche für die Nachtauskühlung gross genug ist. In diesem Fall können Klassentüren geschlossen bleiben.

Bauliche Massnahmen

Alle baulichen Massnahmen reduzieren die Anzahl der Stunden mit hohen Temperaturen gegenüber #0. #9 mit der reduzieren spezifischen Wärmeeintragsleistung von Beleuchtung und Geräten führt beim Vergleich der baulichen Massnahmen zu den geringsten Überschreitungsstunden von Grenzwert (A) (-47 %) und Temperaturen über 30 °C (-24 %).

Die Reduktion der Wärmeeintragsleistung durch Beleuchtung, Geräte und Fenster wirkt sich im Sommer positiv auf die Temperaturen aus, führt

im Winter zu einem höheren Heizwärmebedarf. Die Decke sollte nicht komplett mit Akustikpanelen belegt sein, um mehr thermische Speichermasse ansprechen zu können.

Belegung

Wird die Klasse mit mehr Schülerinnen und Schülern belegt (#12), steigt die Anzahl an Stunden mit hohen Temperaturen und Überschreitungen der Grenzkurven gegenüber #0 stark an. Die Stundenanzahl steigt um 25 % bei den Temperaturen über 30 °C und um 50 % bei der Grenzkurve (A). Eine Belegung mit jüngeren Schülerinnen und Schülern (#13), was auch einer auf 12 reduzierten Personenanzahl der älteren Schülerinnen und Schülern entspricht, führt zu weniger Stunden mit hohen Temperaturen bzw. Überschreitungen der Grenzkurven gegenüber #0. Dies verdeutlicht, dass die Personenbelegung einen sehr grossen Einfluss auf die Temperaturen hat. Die Belegung mit 25 Personen (#12) weist von allen Varianten mit demselben Klima (#0-20) überall die höchsten Werte auf.

Neubau

Alle Massnahmen, die nur in einem Neubau berücksichtigt werden können, führen zu tieferen Werten gegenüber #0. Eine Raumhöhe von 4 m (#14) reduziert insbesondere die Stundenanzahl mit Temperaturen über 30 °C (-10 %) und um -24 % über der Grenzkurve (A). Wird zusätzlich die Fensterfläche vergrössert (#15), führt dies zu einer weiteren deutlichen Reduktion der Stundenanzahl bei der Temperatur und der Überschreitungen von Grenzkurve (A). Bei der Variation der Orientierung des Klassenzimmers weist #16 (Nord) die tiefsten Werte gegenüber #0 auf. Die Anzahl der Stunden reduzieren sich bei Temperaturen über 30 °C um -57 % und bei der Grenzkurve (A) um -75 %. Die weiteren Orientierungen rangieren nach Stunden der Überschreitungen von Grenzkurve (A): Nordwest (#17), West (#18), Süd (#20) und Ost (#19).

Höhere Räume weisen mehr thermische Speichermasse als weniger hohe Räume auf. Dies wirkt sich positiv auf die Temperaturen aus. Werden bei höheren Räumen zusätzlich die Fenster entsprechend vergrössert, steht eine grössere lichte Öffnungsfläche für die Lüftung zur Verfügung. Dies führt zu tieferen Temperaturen. Der Einfluss der Raumhöhe auf die Temperaturschichtung wurde nicht betrachtet. Die nach Norden orientierte Klasse weist von allen Varianten mit demselben Klima (#0-20) bis auf den Bereich 28-30 °C die tiefsten Werte auf. Bei einer Nord- bzw. Nordwest-Orientierung reduziert sich der Energiebedarf für die Beleuchtung, da der Sonnenschutz weniger oft schliesst. Der Heizwärmebedarf nimmt leicht zu.

Klima

Der Wechsel auf die synthetischen Klimaszenarien (#21-24) führt zu einer deutlich tieferen Stundenanzahl mit Temperaturen über 30 °C (-17 bis -71 %), jedoch steigt die Stundenanzahl mit Temperaturen über 26 °C zum Teil stark gegenüber #0 (0 bis 63 %) an. Bis auf #22 sind die Anzahl der Überschreitungsstunden der Grenzkurve (A) geringer im Vergleich zu #0 (-23 bis -31 %). Insbesondere #22 führt zu einer hohen Stundenanzahl mit Temperaturen zwischen 26-30 °C und Überschreitungen der Grenzkurve (A).

Mit dem synthetischen Normalklimajahr (DRY) für die Innenstadt Basel (#21) ergeben gleich viele Stunden mit Temperaturen über 26 °C, wie bei #0 mit dem Klimadatensatz aus den Messwerten. Die Verteilung auf die Temperaturbereiche ist jedoch sehr unterschiedlich. Bei #21 steigt die Anzahl der Stunden im Temperaturbereich zwischen 26-28 °C leicht und zwischen 28-30 °C stärker gegenüber #0 an, während es deutlich weniger Stunden über 30 °C gibt.

Eine ähnliche Tendenz ist auch bei den anderen synthetischen Klimaszenarien zu erkennen. Eine nähere Analyse der Klimaszenarien zeigt, dass bei allen synthetischen Klimaszenarien die Monatsmittelwerte für die Temperatur und Globalstrahlung im Juli, während der Sommerferien, am höchsten ist. Diese werden in der Auswertung jedoch nicht berücksichtigt. Die Messdaten aus dem Jahr 2025 weisen gegenüber den synthetische Klimaszenarien für beide Parameter die höchsten Werte im Juni während der Schulzeit auf. Je nach verwendetem Klimaszenario, variiert nicht nur die Höhe und sondern auch der Jahresverlauf der Temperatur und Globalstrahlung.

Kühlung

In allen Varianten sind die maximalen Temperaturen und die Anzahl der Stunden mit hohen Temperaturen recht hoch. Bei #0 wird z.B. die Grenzkurve (A) an 24 Tagen zwischen Anfang Mai bis Mitte September um 1-7 Stunden überschritten. Dies betrifft 32 % der Belegungszeit an diesen 24 Tagen. Die Grenzkurve (A) wird in allen simulierten Varianten überschritten. Nach SIA 180:2014 ist der thermische Komfort nicht eingehalten und eine mechanische Kühlung für alle Varianten notwendig. Auch unter Berücksichtigung des Normklimajahres (#21) ist eine Kühlung erforderlich.

Unabhängig von der Lüftungsart wird in der Praxis oft der Toleranzbereich von SIA 380/2:2022 verwendet, um die Notwendigkeit einer Kühlung zu beurteilen, z.B. in (Kessler,

2023). Obwohl alle Varianten die Grenzkurve (A) überschreiten halten sie den Toleranzbereich der Grenzkurve (B) von 400 h für den Bestand ein. Hiernach wäre keine Kühlung notwendig.

Die Messauswertung der realen Klassen führt gegenüber der Simulation zu deutlich weniger Überschreitungsstunden von Grenzkurve (A). Klasse 1 weist nur acht Stunden und Klasse 2 keine Überschreitung auf. Insgesamt werden in der Schule noch vier weitere Klassenzimmer, je zwei im ersten und vierten Obergeschoss, betrachtet. Von allen sechs Klassenzimmer überschreiten vier den Grenzwert (A), wobei nur zwischen 1-8 Überschreitungsstunden auftreten. Bevor eine maschinelle Kühlung umgesetzt wird, sollte geprüft werden, ob die geringe Anzahl an Überschreitungsstunden mit betrieblichen Massnahmen z.B. mit einer konsequenteren Lüftungsstrategie und Sonnenschutzbedienung reduziert werden kann. Grenzwert (B) wird von allen Klassenzimmern zwischen 104-202 Stunden überschritten.

Auch wenn voraussichtlich normativ bei den realen Klassenzimmern keine maschinelle Kühlung notwendig ist, werden die Stunden mit hohen Raumlufttemperaturen als unbehaglich empfunden und sollten minimiert werden. Da Lehr- und Fachpersonen das Raumklima an heissen Tagen durch ihr Verhalten z.B. durch Lüftung, Verschattung oder Gerätenutzung beeinflussen, kann der Komfort zusätzliche durch betriebliche Massnahmen verbessert werden. Entsprechende Empfehlungen z.B. vom Erziehungsdepartement des Kantons Basel-Stadt (2026) liegen vor.

Im Neubau müssen konsequent alle bekannten Massnahmen für den sommerlichen Wärmeschutz umgesetzt werden. Hierbei sollten auch höhere Raumhöhen und nördliche Orientierungen berücksichtigt werden. Ein besonderer Fokus muss auf der Möglichkeit für eine effiziente Nachtauskühlung liegen.

Raumluftqualität

Die Raumluftqualität während der Belegungszeit wird als Verteilung der CO_2-Konzentrationen auf die IDA-Klassen in Abbildung 4 für #0 und die Messwerte der beiden realen Klassenzimmer dargestellt. Die Raumluftqualität der Klassenzimmer entspricht zu 92 % bzw. 97 % den IDA-Klassen 1 und 2. Der Wert für die Simulation beträgt 79 % und ist damit tiefer als die messtechnisch ermittelten Werte. Dies ist zum einen eine Folge der unterschiedlichen Anzahl an Lektionen pro Tag in der Simulation und im realen Schulalltag. Die Simulation berücksichtigt mit acht Lektionen pro Schultag ein Worst-Case-Szenario, was häufiger zu höheren CO_2-Konzentrationen führt als bei Tagen mit weniger Lektionen im realen Betrieb. Zum anderen fehlen für die beiden Klassenzimmer Messwerte zu Beginn des Jahres. Gerade im Winter treten häufig höhere CO_2-Konzentrationen auf. Aus den genannten Gründen ist ersichtlich, warum sich die Prozentzahlen unterscheiden.

Bei Betrachtung der simulierten Raumluftqualität als Worst-Case-Szenario, wird infolge der regelbasierten Fensterlüftung mit 79 % ein grosser Anteil der Belegungszeit IDA 1 und IDA 2 eingehalten. Dies entspricht einer hohen bis mittleren Luftqualität. In 14 % der Belegungszeit wird eine moderate Luftqualität (IDA 3) erzielt. Für Klassenzimmer mit manueller Fensterlüftung erreicht die Einhaltung von IDA 1 bis IDA 3 mit 93 % der Belegungszeit einen sehr guten Wert. 7 % der Belegungszeit wird als niedrige Luftqualität (IDA 4) klassifiziert. Der obere Richtwert von 2’000 ppm aus SIA 180:2014 wird zu 3 % der Belegungszeit überschritten (nicht dargestellt). Die Zahlen zeigen, dass zwar vereinzelt hohe CO_2-Konzentrationen auftreten aber die Raumluftqualität in der überwiegenden Zeit hoch bis moderat ist.

Der Richtwert von 2'000 ppm wird von drei der sechs untersuchten Klassenzimmer zwischen 1 bis 4 % der Belegungszeit überschritten. In einer Studie von Vassella (2025) ist beschrieben, dass von 100 untersuchten Klassenzimmern, davon 94 mit manueller Fensterlüftung, zwei Drittel mehr als 10 % der Belegungszeit 2'000 ppm aufweisen. Dies zeigt, dass die Werte sehr verschieden sein können.

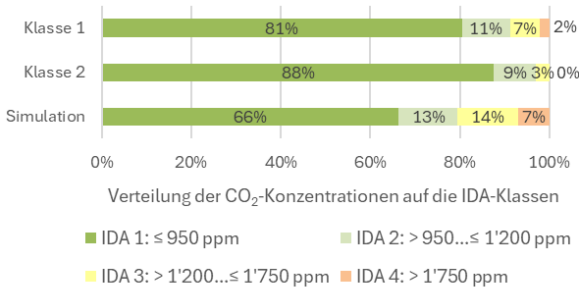


Abbildung 4: Vergleich der simulierten CO_2-Konzentrationen (10 min Werte) für #0 mit den Messwerten von zwei realen Klassenzimmern für das Jahr 2025 während der Belegungszeit (Klasse 1: Stundenwerte bis Ende Februar und danach 10-min Werte, Klasse 2: ab Ende April 10-min Werte).

Zusammenfassung

Infolge der steigenden Aussenlufttemperatur werden hohe Raumlufttemperaturen in Schulen ein immer wichtigeres Thema. Hiervon betroffen sind insbesondere Schulen mit manueller Fensterlüftung und ohne maschinelle Kühlung. In Anlehnung an reale Klassenzimmer wird mit Hilfe der dynamischen Gebäudesimulation die

Wirksamkeit von verschiedenen Massnahmen zur Reduktion der Raumlufttemperaturen und Verbesserung des sommerlichen Komforts aufgezeigt sowie die Notwendigkeit einer maschinellen Kühlung evaluiert.

Die passive Nachtauskühlung mit grossen und lichten Öffnungsflächen sowie langer Lüftungsdauer führt zu den tiefsten Raumlufttemperaturen. Dies muss im Bestand situativ konsequent herbeigeführt und im Neubau durch ein entsprechendes Lüftungskonzept umgesetzt werden. Hierbei muss der Wetter- und Diebstahlschutz beachtetet werden.

Bezogen auf die Grenzkurve (A) ist für alle simulierten Varianten unter den verwendeten Randbedingungen eine mechanische Kühlung notwendig. Bei den realen Klassenzimmern ist dies bei vier von sechs der Fall.

Die simulierte Raumluftqualität ist für 79 % der Belegungszeit in IDA 1-2 bzw. zu 93 % in IDA 1-3 einzustufen. Dies ist für ein Klassenzimmer mit manueller Fensterlüftung ein sehr guter Wert.

Die passiven Massnahmen zur Senkung der Raumlufttemperaturen im Sommer sind bekannt, finden aber in der Praxis oft keine konsequente Umsetzung. Das Zusammenspiel von Bauherrschaft, Planenden und dem Schulbetrieb spielt eine wichtige Rolle, wenn auf passive Massnahmen zur Einhaltung des Komforts im Sommer gesetzt wird.

Danksagung

Die beschriebenen Arbeiten wurden als Teilprojekt im Rahmen des Projektes „PassiveClimateSchool – Klimaangepasster Schulraum für morgen – Einfluss auf Treibhausgasemissionen, Behaglichkeit und Architektur“ (Steinke & Hall, 2025) durchgeführt und durch das Bundesamt für Energie BFE unter der Nummer SI/502870 finanziert.

Literatur

Erziehungsdepartement des Kantons Basel-Stadt. 2026. Empfehlungen für den Unterricht an Hitzetagen. https://www.edubs.ch/publikationen/schlagzeilen/empfehlungen-fuer-den-unterricht-an-hitzetagen

European Commission. 2024. Technical building systems, indoor environmental quality and inspections. EPBD Annex 10. https://energy.ec.europa.eu

Kessler, T. 2023. Wegleitung Sommerlicher Wärmeschutz bei Bauvorhaben der Stadt Zürich. https://www.stadt-zuerich.ch/artikel/de/nachhaltigkeitsbericht-immo-2025/thermischer-komfort.html

MeteoSchweiz, ETH Zürich. 2025. Klima CH2025 - Klimazukunft Schweiz. Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz. https://doi.org/https://doi.org/10.18751/climate/scenarios/ch2025/brochure/1.0/de

SIA 180. 2014. Wärmeschutz, Feuchteschutz und Raumklima in Gebäuden (inkl. Korrigenda C2, 2020). Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich

SIA 380/2. 2022. Energetische Berechnungen von Gebäuden – Dynamisches Verfahren für Bedarfsabklärungen, Leistungs- und Energiebedarf. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich

SIA 382/1. 2025. Mechanische Lüftung in Gebäuden – Grundlagen und Anforderungen. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverband, Zürich

SIA 2024. 2021. Raumnutzungsdaten für die Energie- und Gebäudetechnik. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich

SN EN 16798/1. 2019. Energetische Bewertung von Gebäuden - Lüftung von Gebäuden - Teil 1: Eingangsparameter für das Innenraumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden bezüglich Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik-Module M1-6. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich

Steinke, G., Hall, M. 2025. PassiveClimateSchool – Klimaangepasster Schulraum für morgen – Einfluss auf Treibhausgasemissionen, Behaglichkeit und Architektur. https://www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=56067

Vassella, C. 2025. Luftwechsel in Schweizer Schulen. Bundesamt für Gesundheit, Bern https://www.bag.admin.ch/dam/de/sd-web/Byt1R3ODx7Ng/250821%20Bericht%20Luftwechsel%20in%20Schweizer%20Schulen.pdf

Wargocki, P., Porras-Salazar, J. A., Contreras-Espinoza, S. 2019. The relationship between classroom temperature and children’s performance in school. Building and Environment, 157, 197–204. https://doi.org/doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.04.046

Zweifel, G. 2026. Neue Klimadaten für SIA-Normen in der Vernehmlassung. https://www.espazium.ch/de/aktuelles/neue-klimadaten-sia