



Dynamische Simulation im Planungsalltag – Erfahrungen anhand dreier aktueller Case Studies

Anita Preisler, Sama Schoisengeier

e7 energy innovation & engineering, Österreich, anita.preisler@e-sieben.at

Kurzfassung

Dynamische Gebäude- und Anlagensimulation bietet als Planungswerkzeug im Bauprozess viele Vorteile zu statischen bzw. quasi-dynamischen Berechnungen. Durch die realitätsnahe Modellierung in der Planungsphase kann beispielsweise einer Überdimensionierung von haustechnischen Anlagen entgegengewirkt werden. Ein weiteres Beispiel ist der Nachweis eines hohen Innenraumkomforts mit innovativen Lösungen zur Wärme- und Kälteabgabe bzw. mechanischer Lüftung.

Im Rahmen dieses Papers werden ausgewählte Referenz-Simulationsprojekte von e7 vorgestellt, in denen ein „Proof of Concept“ mittels dynamischer Gebäude- und Anlagensimulation in den letzten fünf Jahren durchgeführt wurden. Die Fragestellungen an die Simulation reichen von Nachweis Erreichung sommerlichen Komfort mittels reduzierter haustechnischer Anlagen (z.B.: Fußbodenkühlung in Kombination mit mechanischer Lüftung) bis zu Auswirkungen von Begrünungsmaßnahmen auf den Innenraumkomfort.

Abstract

As a planning tool in building projects, dynamic building and system simulation offers significant advantages compared to static or semi-dynamic calculations. For example, oversizing of heating ventilation and air-conditioning (HVAC) plants can be avoided by realistic modeling in the planning phase. Furthermore, a proof of concept for high indoor comfort using innovative solutions for heating and cooling distribution as well as mechanical ventilation can be given.

Within this paper, selected reference simulation projects in the field of “proof of concept” with dynamic building and system simulations of e7 from the last five years are presented. The questions on the simulation reach from proof of summer comfort by using reduced HVAC technologies (e.g. underfloor cooling in

combination with mechanical ventilation) to effects of greening measures on indoor comfort.

Einleitung

Der Einsatz von dynamischer Gebäude- und Anlagensimulation als Planungswerkzeug im Bauprozess ist in Österreich aktuell nicht die Regel, sondern die Ausnahme. Trotz erwiesener Vorteile in der Berechnungsmethode, stellt der erhöhte Zeit- und Kostenaufwand immer noch eine wesentliche Hürde in der Anwendung dar. Simulation ist im Leistungsmodell Technische Ausrüstung (Lechner 2023) lediglich einmal als optionale Leistung in der Entwurfsplanung (LPH3) angeführt. Es obliegt daher dem Bauherrn und dem Planungsteam, ob Simulation überhaupt als Planungswerkzeug in Betracht gezogen wird.

Primäre Ziele der hier vorgestellten Case Studies sind die Vermeidung von Überdimensionierung, sowie die Erreichung von hohem Innenraumkomfort durch reduzierte haustechnische Anlagen.

In den Simulationsergebnissen ist für ausgewählte Case Studies (teilweise im Rahmen des EU-Förderprojektes IncorporatEE) folgendes anonymisiert dargestellt:

- Gebäudedaten
- Fragestellungen an Simulation
- Anwendung Simulationsmethode
- Ausgewählte Erkenntnisse und Empfehlungen

Simulationsergebnisse

Referenz-Simulationsprojekt 1:

Gebäudedaten:

- Krankenhaus + Verwaltung
- Bestand
- Standort: Linz, OÖ

Gebäude im urbanen Raum leiden immer häufiger unter dem Phänomen von „urbanen Hitzeinseln“, die zu sommerlicher Überwärmung im Außen- und Innenraum führen. Begrünungs-

maßnahmen haben positive Auswirkungen auf das lokale Mikroklima, reduzieren die Oberflächentemperaturen im Sommer, nutzen den Effekt der Verdunstungskühlung, vermindern Lärm- und Staubentwicklung, sowie bewirken eine allgemeine lokale Verbesserung der Luftqualität.

Fragestellung an Simulation:

- Auswirkungen von Begrünungsmaßnahmen (Konzept von Green4Cities) in den Innenhöfen und an der Fassade auf das Innenraumklima

Simulationsmethode:

- Klimadaten: Ergebnisse aus mikroklimatischen Simulationen von GREENPASS für einen heißen Sommertag
- 3D Modellierung ausgewählter Räume mit SketchUp 2017 (Behandlungsraum, Büroraum)
- Gebäude- und Anlagensimulation in Simulationsumgebung TRNSYS 18 (TRNSYS 18 2020)
- Raumnutzungsdaten: SIA 2024:2015 (Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein 2015)

Ausgewählte Erkenntnisse und Empfehlungen:

- Innenhofbegrünung

Es wurde ein Innenhof mit ca. 580 m² betrachtet, welcher im Zeitraum von 09:00 –15:30 Uhr großflächig besonnt ist. Vor allem die Südfassade wird während der Sommermonate nahezu gantztägig besonnt. Die aufgrund der städtebaulichen Situation der Baukörper mangelnde Durchlüftung führt zu starker Überhitzung im Innenhof, sowie auch kaum nächtlicher Abkühlung. Abbildung 1 zeigt die Bestandsbedingungen der Ausgangsvariante für Referenzraum 1.

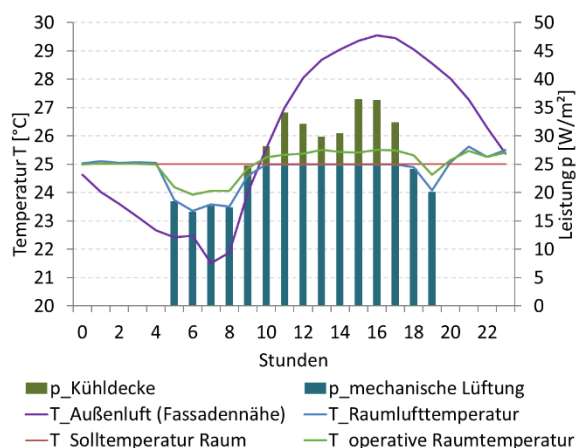


Abbildung 1: Referenzraum 1 (Behandlung), Ausgangsvariante (e7, 2020)

Der ausgewählte Referenzraum 1 ist ein west-orientierter Behandlungsraum mit 26 m² Nutzfläche, welcher mit mechanischer Lüftung (4,2-facher Luftwechsel) und einer Kühldecke ausgestattet ist.

Abbildung 2 zeigt die Veränderungen bei Integration von Begrünungsmaßnahmen und Nachtlüftung.

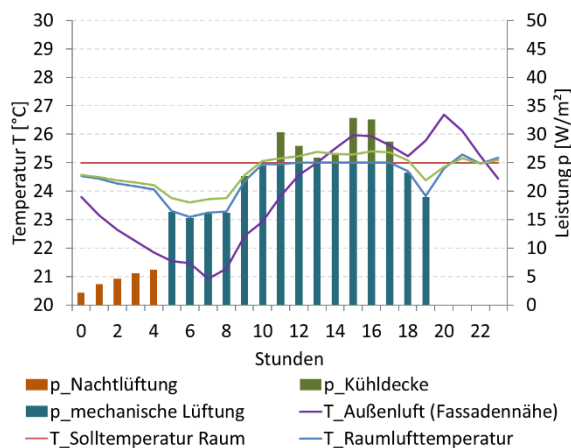


Abbildung 2: Referenzraum 1 (Behandlung), optimierte Variante mit Begrünungsmaßnahmen und Nachtlüftung (e7, 2020)

Die Außenlufttemperatur in Fassadennähe wird durch die Begrünungsmaßnahmen um 2 K (Mittelwert über 24 Stunden) niedriger. Die Kombination von Begrünungsmaßnahmen und Nachtlüftung führt zu einer Verringerung des Kühlenergiebedarf (mechanische Lüftung + Kühldecke) von 10,38 kWh/d auf 9,32 kWh/d, was eine Einsparung von 10,3% bedeutet.

- Fassadenbegrünung

Die Südfassade des Verwaltungstraktes ist ab Vormittag bis ca. 16:00 Uhr im Hochsommer voll besonnt. Die harten Oberflächen bilden einen enormen Wärmespeicher. Die Mitarbeiter:innen im Verwaltungstrakt leiden aufgrund der südlich exponierten Lage sehr stark unter den heißen sommerlichen Temperaturen, bisher war keine Querlüftung möglich.

Der ausgewählte Referenzraum 2 ist ein süd-orientierter Büroraum mit 22,6 m² Nutzfläche, welcher mit einer mechanischen Lüftung (1,9-facher Luftwechsel) ausgestattet ist. Abbildung 3 zeigt die Bestandsbedingungen der Ausgangsvariante.

Abbildung 4 zeigt die Veränderungen bei Integration von Begrünungsmaßnahmen und Nachtlüftung.

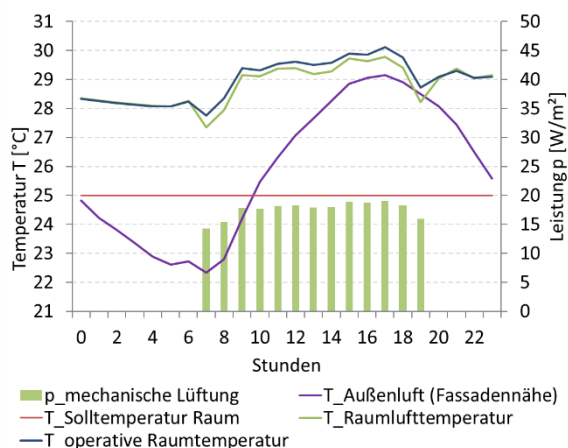


Abbildung 3: Referenzraum 2 (Büro), Ausgangsvariante (e7, 2020)

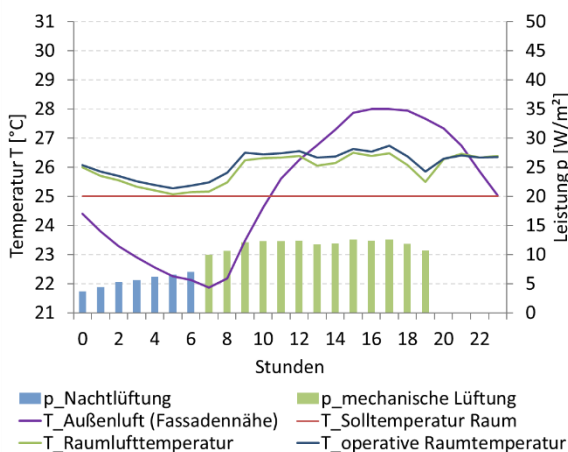


Abbildung 4: Referenzraum 2 (Büro), optimierte Variante mit Begrünungsmaßnahmen, Nachtlüftung und Kunstlichtsteuerung (e7, 2020)

Die Kombination von Begrünungsmaßnahmen, Nachtlüftung und tageslichtabhängiger Kunstlichtsteuerung führt zu einer Senkung der Raumtemperatur um 2,6 K (Mittelwert über 24 Stunden).

Referenz-Simulationsprojekt 2:

Gebäudedaten:

- Volksschule
- Bestand
- Standort: Lehen, Salzburg

Fragestellungen an Simulation:

- Innenraumkomfort Fensterlüftung (kippbare Oberlichtfenster entsprechend Abbildung 5, CO₂-Ampel) versus CO₂-gesteuerte mechanische Lüftung mit Wärme- und Feuchterückgewinnung
- Auswirkungen auf erforderliche Heizleistung in Klassenräumen



Abbildung 5: 3D Modell IDA ICE für ein Klassenzimmer mit kippbaren Oberlichtfenstern (Quelle: e7, 2023)

Simulationsmethode:

- 3D Modellierung ausgewählter Klassenzimmer inkl. haustechnische Anlagen in Simulationsumgebung IDA ICE (EQUA Solution AG 2023)
- Klimadaten: Meteonorm, aktuelle Periode (Meteonorm 8 2023)
- Raumnutzungsdaten: SIA 2024:2021 (Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein 2021)

Ausgewählte Erkenntnisse und Empfehlungen:

Die Auswertung der Simulationsergebnisse erfolgt für Schulnutzungszeit (Mo-Fr, 07:00–18:00, exkl. Ferien und Feiertage) was gesamt 2.090 Stunden pro Jahr ergibt.

Abbildung 6 zeigt, dass bei Fensterlüftung der kippbaren Oberlichtfenster nach CO₂-Ampel die Raumluftfeuchte im Winter in allen Klassenzimmern zu 450-490 Stunden unter 30% relative Luftfeuchte liegt und damit zu trocken ist.

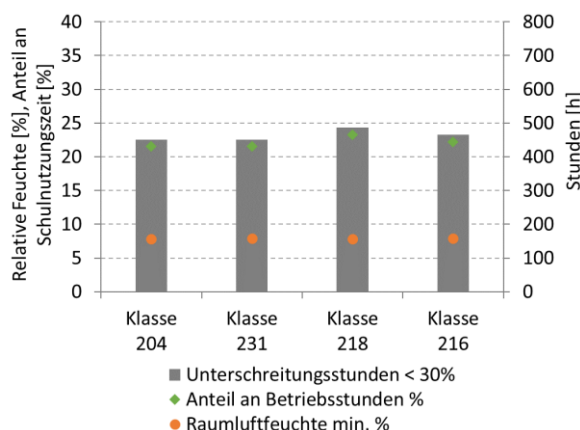


Abbildung 6: Raumlufffeuchte < 30% bei Fensterlüftung (Quelle: e7, 2023)

Abbildung 7 zeigt, dass beim Einsatz von CO₂-gesteuerter mechanischer Lüftung anstelle von Fensterlüftung, durch die Integration einer Feuchterückgewinnung, die Unterschreitungsstunden der Raumlufffeuchte unter 30% um ca. 60% auf 270-290 Stunden reduziert werden kann.

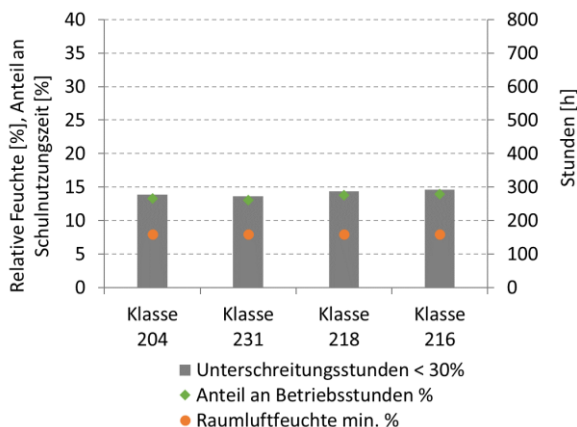


Abbildung 7: Raumluftfeuchte < 30% mit mechanischer Lüftung (Quelle: e7, 2023)

In Abbildung 8 ist der Heizleistungsverlauf bei Fensterlüftung der kippbaren Oberlichtfenster nach CO₂-Ampel dargestellt. Hier wird deutlich, dass die erforderliche Heizleistung durch die Fensterlüftung erheblich steigt. In diesem Fall liegt die erforderliche Heizleistung zu ca. 270 Stunden – was 13% der Schulnutzungszeit entspricht – über der Auslegungsleistung durch die Haustechnikplanung. Dieses Problem tritt bei mechanischer Lüftung mit effizienter Wärmerückgewinnung nicht auf (siehe Abbildung 9)

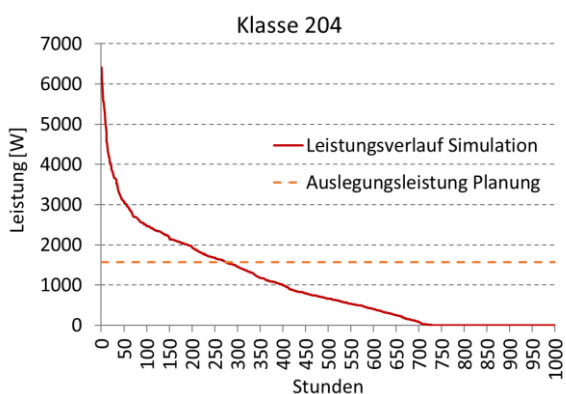


Abbildung 8: Heizleistungsverlauf bei Fensterlüftung (Quelle: e7, 2023)

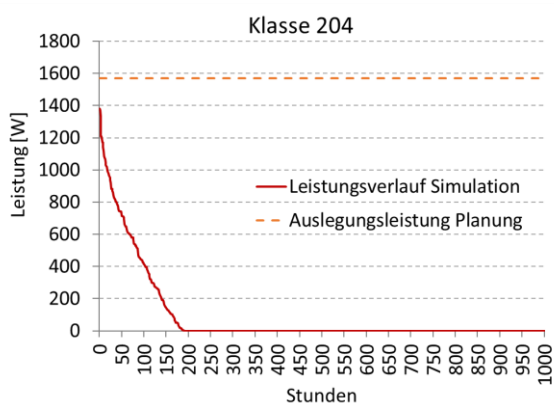


Abbildung 9: Heizleistungsverlauf mit mechanischer Lüftung (Quelle: e7, 2023)

Referenz-Simulationsprojekt 3:

Gebäudedaten:

- Mischnutzung (Gewerbe, Büro, Wohnen)
- Neubau
- Standort: Wien

Für den Bürobereich mit ca. 400 m² Nutzfläche im 1.OG (siehe Abbildung 10) sollte ein nachhaltiges Energieverteilungskonzept mit hohem Innenraumkomfort gemeinsam mit der Haustechnikplanung entwickelt werden. Bereits vorgesehen war Fußbodenheizung und Fußbodenkühlung, sowie eine Vorrüstung für Kühldeckenausbau durch die Mieter. Eine mechanische Lüftungsanlage war nicht vorgesehen.

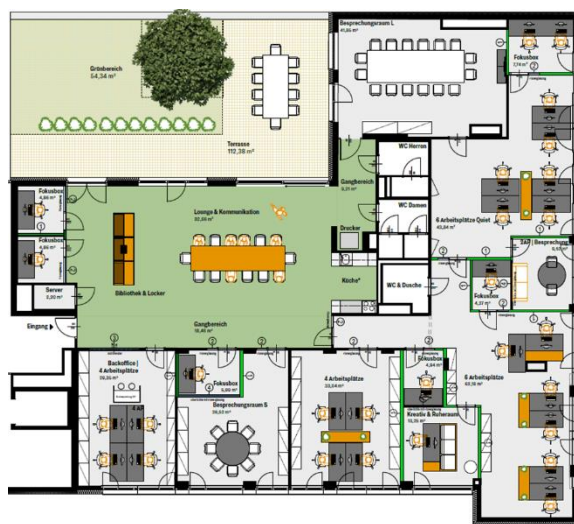


Abbildung 10: Raumaufteilung Bürobereich 1.OG, genordet (Quelle: e7, 2023)

Fragestellungen an die Simulation:

- Tageslichtversorgung Bürobereich?
- Innenraumkomfort im Sommer nur mit Fußbodenkühlung ausreichend?
- Zusätzliche Kühlung (Deckenkühlung/Lüftung) erforderlich? In welchen Bereichen?
- Welche Funktionen soll mechanische Lüftung haben?
 - Frischluftversorgung
 - Be-/Entfeuchtung
 - Raumkühlung

Simulationsmethode:

- 3D Modellierung gesamten Bürobereich inkl. haustechnische Anlagen in Simulationsumgebung IDA ICE (EQUA Solution AG 2023)
- Klimadaten: Meteonorm, aktuelle Periode (Meteonorm 8 2023)
- Raumnutzungsdaten: SIA 2024:2021 (Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein 2021)

Für die 3D-Modellierung wurde der Bürobereich, wie in Abbildung 10 dargestellt, in Simulationszonen unterteilt (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Simulationszonen

Nummer	Bezeichnung
Z1	Besprechung Süd 8 Personen
Z2	Büro Süd 4 Personen
Z4	Kreativraum 1 Person
Z5	Fokusbox 1 Person
Z6	Besprechung 2 Personen
Z7	Büro Ost Quiet 6 Personen
Z8	Fokusbox 2 Personen
Z9	Besprechung 16 Personen
Z10	KommArea
Z11	Backoffice Süd 4 Personen

Ausgewählte Erkenntnisse und Empfehlungen:

- Tageslichtsimulation

Zielwert für die Beleuchtungsstärke am Arbeitsplatz sind 300-500 lx. Abbildung 11 zeigt die Auswertung der Innenbeleuchtungsstärke bei bedecktem Himmel mit 10.000 lx Außenbeleuchtungsstärke (hier 21. September 12:00). Dabei zeigt sich eine gute Tageslichtversorgung bis in die Raummitte der Süd-Büros, jedoch niedrige Tageslichtversorgung in Ost-Büros. Hier ist ein gutes Beleuchtungskonzept erforderlich.

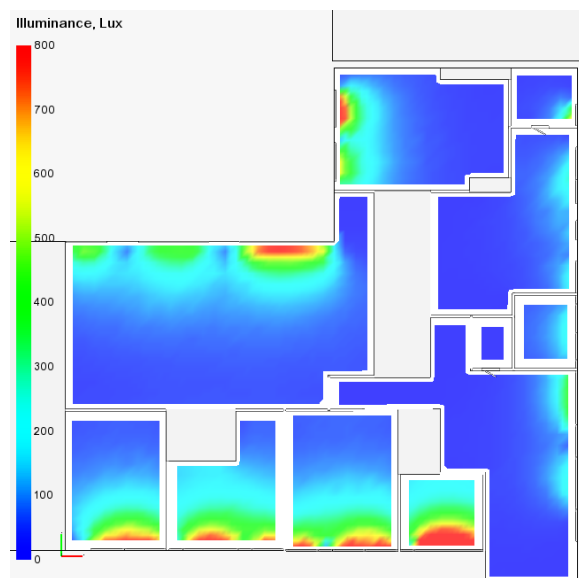


Abbildung 11: Beleuchtungsstärke 21. September 12:00 (Quelle: e7, 2023)

- Simulation Innenraumkomfort

Die Auswertung der Luftqualität erfolgt für Bürobetriebszeit (Mo-Fr, 07:00 – 19:00) was

gesamt 3.120 Stunden pro Jahr ergibt. Abbildung 12 zeigt, dass die Luftqualität ohne mechanische Lüftung in fast allen Zonen zu einem beträchtlichen Anteil an Betriebsstunden (17%-83%) über dem Grenzwert von 1.000 ppm liegt. Die Fensterlüftung ist über eine Infiltration von $0,3 \text{ h}^{-1}$ berücksichtigt.

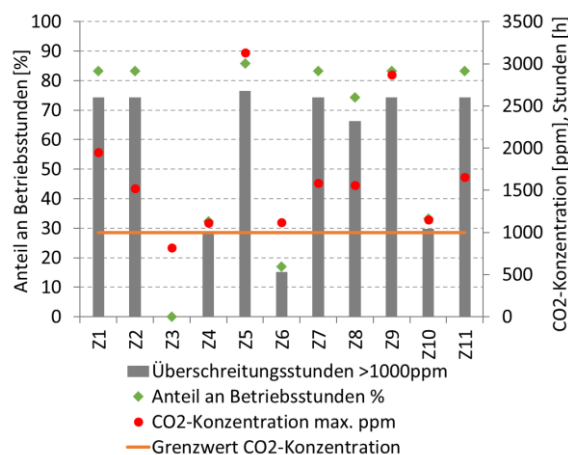


Abbildung 12: CO₂-Konzentration > 1000 ppm (Quelle: e7, 2023)

Für die Integration einer mechanischen Lüftungsanlage wurden daraufhin 3 Lüftungskonzepte untersucht:

- Lüftungsgerät 1 „Basic“
 - Wärmerückgewinnung 90%
 - kein Heizregister, Kühlregister, Befeuchtung
- Lüftungsgeräte 2 „Improved“
 - Wärme- und Feuchterückgewinnung (80%/60%)
 - Heizregister
 - Kühlregister ($T_{\text{Vorlauf}}=15^{\circ}\text{C}$)
 - elektrischer Dampfbefeuchter
- Lüftungsgeräte 3 „Advanced“
 - Wärme- und Feuchterückgewinnung (80%/60%),
 - Heizregister
 - Kühlregister mit Entfeuchtungsfunktion ($T_{\text{Vorlauf}}=6^{\circ}\text{C}$)
 - Nachheizregister
 - elektrischer Dampfbefeuchter
 - Wärmepumpe integriert

Abbildung 13 zeigt, dass mit Lüftungsgerät 1 die Raumluftfeuchte in allen Zonen im Sommer zu 200-300 Stunden mit $>12 \text{ g/kg}$ (=Schwülgrenze) zu feucht ist. Im Winter liegt die Raumluftfeuchte in allen Zonen zu 750-950 Betriebsstunden unter 30% relative Luftfeuchte und ist damit zu trocken (siehe Abbildung 14).

Die zu trockne Raumluft tritt mit Lüftungsgerät 2 aufgrund der Integration des Dampfbefeuchters nicht mehr auf, jedoch bleibt die Raumluftfeuchte

im Sommer unverändert, da keine nennenswerte Entfeuchtung über das Kühlregister erfolgt. Erst mit Lüftungsgerät 3 liegt die Raumlufffeuchte ganzjährig im Komfortbereich.

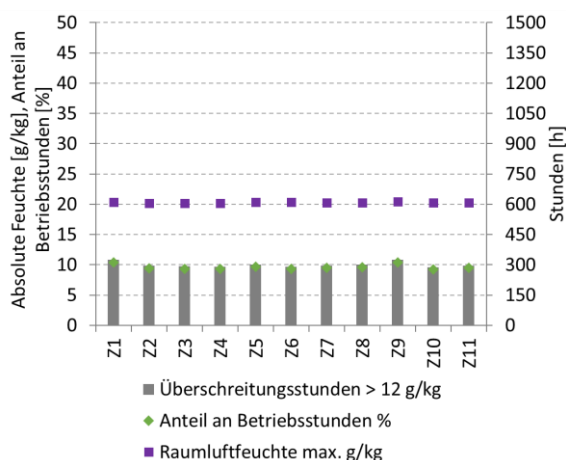


Abbildung 13: Raumlufffeuchte >12g/kg (=Schwülgrenze) mit Lüftungsgeräte 1 „Basic“ (Quelle: e7, 2023)

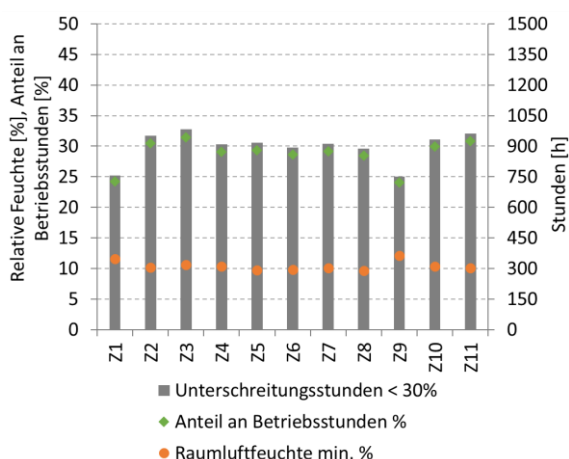


Abbildung 14: Raumlufffeuchte < 30% mit Lüftungsgeräte 1 „Basic“ (Quelle: e7, 2023)

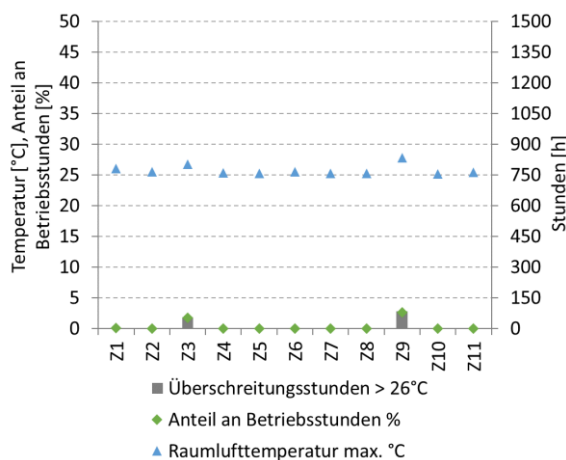


Abbildung 15: Raumlufftemperatur > 26°C mit Lüftungsgeräte 3 und Fußbodenkühlung (m=2,9 kg/m²h) (Quelle: e7, 2023)

Abbildung 15 zeigt, dass bei Kombination von Fußbodenkühlung und Lüftungsgerät 3 kaum Überschreitungsstunden der Raumlufftemperatur > 26°C im Sommer auftreten.

Empfehlungen zur Umsetzung:

- Lüftungsgerät 3, da nur hier ein hoher Innenraumkomfort ganzjährig erreicht werden kann
- Nur Fußbodenkühlung (keine Kühldecke) in Kombination mit Lüftungsgerät 3; daher keine Regelung von zwei wassergeführten Kühlsystemen erforderlich

Zusammenfassung

Die Ergebnisse der hier vorgestellten Simulationsprojekte zeigen, dass dynamische Gebäude- und Anlagensimulation ein wesentlicher Bestandteil in der Planung von effizienten haustechnischen Anlagen sein kann.

Eine möglichst frühzeitige Einbindung von Simulationskompetenz in den Planungsprozess ist dabei ein wesentlicher Erfolgsfaktor.

Weiters trägt eine kontinuierliche Begleitung über alle Planungsphasen zu erfolgreichen Umsetzungen von innovativen Konzepten, die über Simulationen entwickelt wurden, bei.

Literatur

- EQUA Solution AG. 2023. „IDA Indoor Climate an Energy (IDA ICE).“ Zug.
- Lechner, Hans. 2023. *LM.TA Leistungsmodell Technische Ausrüstung*. Graz: Verlag der Technischen Universität Graz.
- Meteonorm 7. 2020. Bern: Meteotest AG.
- Meteonorm 8. 2023. Bern: Meteotest AG.
- Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein. 2015. *Raumnutzungsdaten für die Energie- und Gebäudetechnik*. Zürich: SIA 2024 Bauwesen.
- Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein. 2021. *Raumnutzungsdaten für die Energie- und Gebäudetechnik*. Zürich: SIA 2024 Bauwesen.
- TRNSYS 18. 2020. „Transient System Simulation Program.“ Madison: Thermal Energy System Specialists, LCC.

IncorporatEE



IncorporatEE hat Mittel aus dem Forschungs- und Innovationsprogramm Horizon 2020 der Europäischen Union unter der Fördervereinbarung Nr. 101033805 erhalten.