

Monitoring eines Empfehlungssystems zur Behaglichkeitssteigerung in Wohnräumen

M. Rabensteiner

Award Energy Research GmbH, Graz, Österreich

P. Jasek

Forschung Burgenland GmbH, Eisenstadt, Österreich

ABSTRACT: In the course of the Smart Cities project “Empower Citizens”, the recommendation system “Easy Energy Saver” was developed, which pursues the following goals: (a) active and low-threshold influencing social space and increasing awareness of the energy requirements for heating and cooling as well as their effects on one’s own health; (b) increase in comfort in one’s own home; (c) avoidance of mold growth; (d) reducing the risk of infection; (e) increasing the quality of life in one’s own home; (f) reducing heating costs; (g) reduction of the remaining energy costs if an active cooling device is installed.

Especially in times of COVID-19, we have become aware that there is often no or very poor ventilation. Correct ventilation behavior, however, plays an important role in indoor wellbeing. Without regular air exchange, one becomes tired or one feels uncomfortable, as the CO₂ concentration increases and there is a lack of oxygen in the room air. Other negative factors are moisture that accumulates in the air and possibly viruses and pollutants, for example from furniture or floor coverings. There is also a risk of mold growth and there is no ventilation. Lack of awareness is usually the reason not to ventilate. Although proper ventilation is not complicated, the behaviors must be known. In order to anchor healthy behavior in dealing with this topic in the routine and thereby increase well-being at the same time, some time is necessary. In many cases, however, there is no professional contact person, so that nothing changes in behavior.

“Easy Energy Saver” is a recommendation system that uses visual signals to stimulate ventilation, shading and heating. The system works in a purely passive manner, so that no actuators are addressed directly by the system, but the person ultimately decides for himself whether to carry out the recommendations. According to this principle, the people should slowly learn from the suggested recommendations and after a certain time, be able to use their apartments in an energetically optimal way, considering comfort and health aspects. It is important not to patronize the residents and to take their personal feelings into account in the recommendation system.

Due to the passive mode of operation of the system, it can be made available at low cost (low-cost approach) so that social housing can also be addressed with the project idea. As studies show, poorly situated people in particular are not familiar with the subject of correct ventilation. Accordingly, there is a great need for action here in particular to promote awareness of simply increasing the quality of life.

In the course of the follow-up project “Easy Energy Saver”, the technical and social monitoring activities already started in “Empower Citizens” will be continued. With this follow-up project, the investigation period can be increased to around 1½ years, which considerably increases the informative value of the measurement results. Furthermore, the logic, the visualization and the haptics of the system can be optimized. In addition, a self-learning algorithm is integrated in the system, the control and optimization of which takes a certain amount of time.

1. EINLEITUNG

Der Easy Energy Saver (EES) stellt eine kostengünstige Möglichkeit dar, das Bewusstsein des*der Nutzer*in für intelligentes Lüften, Verschatten und Heizen zu verbessern. Je nach Wahl der Referenzfälle, kann eine Senkung des Heizbedarfs bzw. bei aktiver Kühlung des Kühlbedarfs, erreicht werden.

Die Hauptstation im Inneren der Wohnung empfängt die Wetterdaten des Außensensors und berechnet mithilfe der gemessenen Daten innerhalb der Wohnung die eventuelle Notwendigkeit des manuellen Eingreifens, um durch die Regelung der Temperatur bzw. der Luftqualität (CO₂-Konzentration) und Luftfeuchtigkeit das Wohlbefinden der Bewohner:innen zu verbessern. Der Aufbau des Systems ist in Abb. 1 gezeigt.

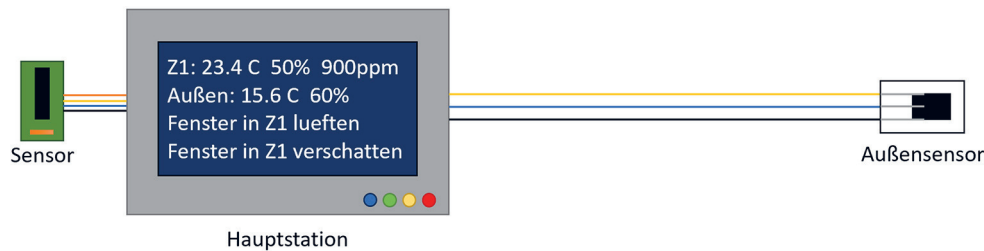


Abb. 1: Ausgabe der Empfehlungen im Versuchszeitraum

Die Beurteilung der Behaglichkeit erfolgt über den sogenannten PMV-Index (Predicted Mean Vote), welcher die durchschnittliche Klimabeurteilung einer großen Gruppe von Personen voraussagt, die dem gleichen Umgebungsklima ausgesetzt sind. Je weiter dieser Wert von 0 abweicht, umso höher ist die Anzahl der unzufriedenen Personen, die es als zu kalt oder zu warm empfinden. Über- oder unterschreitet der aktuelle PMV-Index eine zuvor eingestellte Toleranzgrenze so versucht das System durch die Ausgabe von Empfehlungen die Behaglichkeit für die Personen wieder zu steigern. Diese Behaglichkeitssteigerung kann entweder über Stoßlüften, Verschatten oder aber auch durch das Zurückdrehen der Heizung geschehen. Parallel zu dieser Funktion der Behaglichkeitssteigerung gibt das System auch aus, wann die CO₂-Konzentration in der Zone überschritten wird, und eine Stoßlüftung notwendig ist.

Die Wohnungen werden in verschiedenen Zonen unterteilt, die unabhängig voneinander vom Empfehlungssystem beurteilt werden. Eine Zone ist durch das Vorhandensein einer eigenen Messstation (Temperatur, Luftfeuchtigkeit, CO₂) und der Möglichkeit der Beeinflussung des Raumklimas durch das Verschatten oder das Öffnen von Fenstern oder durch die Regelung eines darin befindlichen wärmeemittierenden Gerätes definiert. In den Wohnungen der Pilotgebäude sind das jeweils zwei Zonen (Schlafzimmer, Wohnzimmer). In Abstimmung mit den Personen wurde aber nur das Wohnzimmer als Zone herangezogen. Die Messsignale aus den einzelnen Zonen werden an eine zentrale Hauptstation in der Wohnung übermittelt. Weiters muss diese zentrale Ausgabestation die aktuelle Temperatur und Luftfeuchtigkeit von einer Wetterstation erhalten. Zur einfacheren Installation wurde zunächst ein nicht-kabelgebundenes System (zwischen Wetter- und Hauptstation) zur Datenübertragung verwendet.

Nach der Installation des Systems arbeitet dieses noch nicht vorrausschauend. Das heißt, dass erst eine Empfehlung ausgehen wird, wenn eine Toleranzgrenze über- oder unterschritten wird und eine Aktion eine Behaglichkeitssteigerung oder eine Energieeinsparung zur Folge hätte. Die Empfehlungen werden im System folgendermaßen benannt: recom_vent (Empfehlung zum Stoßlüften), recom_shad (Empfehlung zum Verschatten), recom_heat (Empfehlung zum Zurückdrehen der Heizung).

Zur Senkung des Energiebedarfs sind aber auch vorgegebene Empfehlungen sinnvoll, welche vor allem das Verschatten betreffen. Ziel ist es, Empfehlungen dann auszugeben, wenn Personen in der Wohnung sind, und diese motiviert sind diese Empfehlungen auch durchzuführen. Geht jemand beispielsweise täglich um 7 Uhr außer Haus, kann es sinnvoll sein eine Verschattungsempfehlung für einen späteren Zeitpunkt bereits vorgezogen auszugeben, so dass diese Person noch vor dem Verlassen der Wohnung an das Verschatten erinnert wird. Außerdem soll dadurch die Anzahl der ausgegebenen Empfehlungen minimiert werden. Die Personen dürfen sich keinesfalls von dem System belastet fühlen.

Ist der selbstlernende Algorithmus aktiviert, versucht das System zu erkennen zu welchen Zeitpunkten bevorzugt Befehle angenommen werden. Bei einer Fensterlüftung kann die Detektion relativ einfach durch die CO₂-Konzentration geschehen, sofern die CO₂-Konzentration zwischen der Raum- und der Außenluft zum Zeitpunkt der mutmaßlichen Ausführung ausreichend unterschiedlich war. Ein weiteres Zeichen, ob ein Fenster geöffnet wurde, ist, wenn sich die Zonentemperatur der Außentemperatur anpasst, obwohl die vorherrschenden Parameter ein anderen Temperaturverlauf voraussagen würden. Die als angenommen erkannten Empfehlungen werden gespeichert und sobald genügend Daten vorhanden sind mit einem statistischen Ansatz ausgewertet. Dazu werden die angenommen und die ausgegebenen Empfehlungen abhängig von der Uhrzeit, dem Wochentag und dem vorherrschenden PMV-Index ausgewertet. Werden zu einem Zeitpunkt viele Empfehlungen ausgegeben, aber wenig angenommen, ist das ein Hinweis auf eine häufige Abwesenheit oder Demotivation der Person während dieser Zeit. Werden umgekehrt viele der ausgegebenen Empfehlungen angenommen nimmt das System an, dass die Person zu dieser Zeit häufig zu Hause ist. Unterschiedliche Anwesenheiten an verschiedenen Wochentagen werden ebenfalls berücksichtigt. Darauf basierend kann automatisch ein Anwesenheitsprofil erstellt werden, welches in regelmäßigen Abständen mit neuen Daten upgedatet wird. Neben der Erstellung des Anwesenheitsprofils, versucht das System auch den Komfortbereich der Personen zu erkennen und zu berücksichtigen.

2. VERSUCHSREIHEN

Im Sommer 2020 wurden sieben der EES in verschiedenen Wohnungen installiert. Nur einer davon war auch per Funkmodul mit Antenne mit einer Wetterstation verbunden; die anderen stellen Referenzmessungen für die Temperatur, Luftfeuchtigkeit und CO₂-Konzentration in den Wohnungen dar.

In den Weihnachtsferien 2020 wurden zwei Geräte, die jeweils mit einer eigenen Wetterstation per Funkmodul mit Antenne kommunizierten, verbaut. Während dieses Zeitraumes fiel ein Gerät sehr schnell aus und auch beim zweiten traten Probleme auf. Aufgrund dieser Probleme wurde der EES auf eine kabelgebundene Version umgebaut.

Es wurden schließlich zwei EES mit direkt angeschlossenem Außensensor verbaut. Ein weiterer EES wurde im Büro der 4ward Energy Research GmbH installiert, um zusätzliche Erkenntnisse zu erlangen.

Bei der kabelgebundenen Version des EES war man mit dem Problem konfrontiert, dass einige Bewohner*innen der Kabelverlegung in der Wohnung skeptisch gegenüberstanden. Aus diesem Grund wurde eine vereinfachte Version des EESs entwickelt, indem dieser als CO₂-Ampel ausgeführt wurde. Hierbei werden nur Messungen im Raum durchgeführt, in dem die Ampel installiert ist, und bei Überschreiten der CO₂-Konzentrationsgrenze wird eine Lüftungsempfehlung ausgegeben.

3. AUSWERTUNG DER VERSUCHSREIHEN

In diesem Kapitel werden die einzelnen Versuchsreihen ausgewertet. Es wird so gut es geht die Referenzmessung vom Sommer 2020 als Vergleich herangezogen. Aufgrund der kurzen Versuchsdauer ist aber ein Vergleich nur bedingt möglich. Dieses Problem wurde verschärft, indem es bei der Zeitumstellung (Von Normal- auf Sommerzeit) zu einem Ausfall aller Systeme gekommen ist. Dieser Ausfall wurde erst bei der Entnahme der Messergebnisse bemerkt. Die Versuchsreihen in den Weihnachtsferien konnten aufgrund der kurzen Dauer nicht ausgewertet werden.

3.1 EASY ENERGY SAVER

Am 15. Februar 2021 wurden in zwei Wohnungen vollwertige EES, welche jeweils mit einer eigenen Wetterstation verbunden sind, installiert. Nach den schlechten Erfahrungen der zuvor durchgeführten Messreihe mit einer Funkverbindung, wurden die Wetterstationen mit Kabeln an die jeweilige Hauptstation verbunden.

Der erste EES fiel bereits nach kurzer Zeit aufgrund eines Kurzschlusses bei der Leitung hin zur Wetterstation aus. Der Neustart wurde am 18. März 2021 durchgeführt. Besonders im Bereich, wo es zu dem Kurzschluss kam, wurde besonders auf die Kabelführung geachtet. Kurze Zeit später kam es aber wieder zu einem Ausfall der Wetterstation. Der EES konnte aber ab diesem Zeitpunkt als CO₂-Ampel weiterarbeiten. Aufgrund der geringen Anzahl an Messergebnissen wird auf eine detaillierte Auswertung der Messergebnisse von diesem EES verzichtet.

Der zweite EES lief bis zur Zeitumstellung problemlos. Vor allem in der ersten Phase wurden viele Empfehlungen zur Heizungsregelung ausgegeben. Das beruht auf der Tatsache, dass in dieser Phase der PMV-Index oftmals über der eingestellten Toleranzgrenze von +0,5 lag (siehe Abb. 2). Da die durchschnittliche Tagestemperatur unter der Heizgrenztemperatur von 15°C lag, wurde diese Empfehlung sehr oft ausgegeben. In Gesprächen mit den Bewohnern und Bewohnerinnen kam heraus, dass sich diese aufgrund der langen Signalausgabe Gedanken über deren Raumklima gemacht haben, obwohl sie dieses als angenehm empfunden hatten.

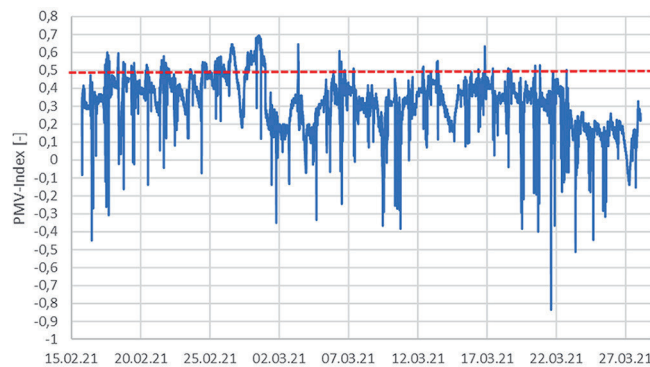


Abb. 2: PMV-Index

In Abb. 3 sind die Ausgaben der Empfehlungen im Versuchszeitraum in summierter Form zu sehen. Wie schon erwähnt, wurden am meisten Empfehlungen zum Rückdrehen der Heizung ausgegeben. Nur einmal wurde eine Empfehlung für das Verschatten ausgegeben. Da die Wohnung nach Süden ausgerichtet ist, wird sich für einen Sommerfall ein komplett anderes Bild zeigen. Hier werden Empfehlungen zum Verschatten vermehrt ausgegeben werden. Die Empfehlung für das Verschatten wird erst ab einer Tagesmitteltemperatur von 15°C aktiviert. Demnach wird zur Senkung der Raumtemperatur entweder die Empfehlung zur Heizungsregelung oder die Empfehlung zum Verschatten ausgegeben, aber nie beide gleichzeitig.

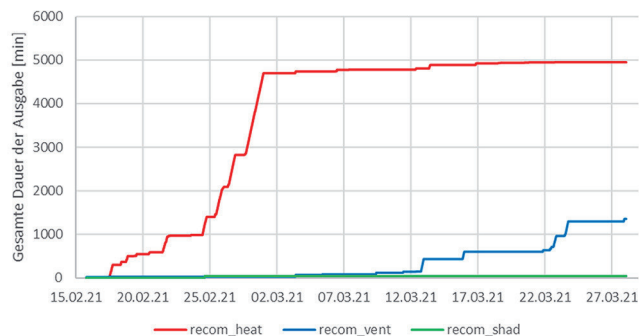


Abb. 3: Summierte Dauer der Empfehlungsausgabe im Versuchszeitraum

In Abb. 4 ist die CO_2 -Konzentration zu sehen. Auffallend ist, dass ähnlich wie bei der konventionellen CO_2 -Ampel (vgl. Kapitel 3.2) fast keine extremen CO_2 -Spitzen mehr auftreten. Im vorliegenden Fall wurde ab einer CO_2 -Konzentration von 1200 ppm eine Lüftungsempfehlung ausgegeben. Anscheinend kommt es auch in diesem Fall zu einer baldigen Empfehlungsannahme. In welchem Maße die Person die Luftqualität selbst als schlecht empfand, oder durch EES darauf aufmerksam gemacht wurde, ist schwer zu ermitteln. Auch ein Vergleich mit der Referenzmessung, welche in dieser Wohnung auch durchgeführt worden ist, ist schwer, da diese im Sommer/Herbst 2020 durchgeführt wurde. Die Referenzmessungen im Herbst 2020 zeigen aber im Mittel etwas höhere CO_2 -Konzentrationen als bei der Versuchsreihe im Frühjahr 2021.

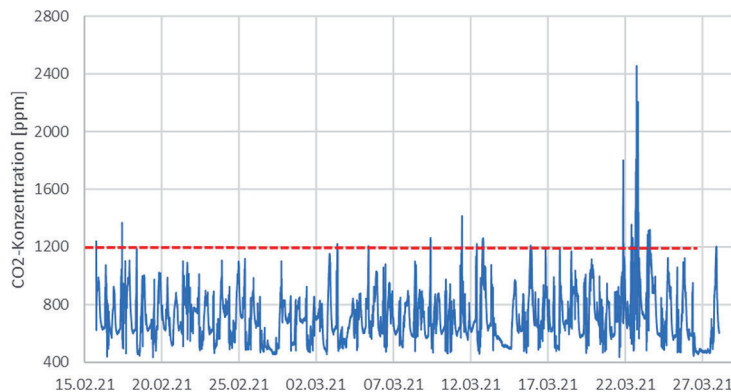


Abb. 4: CO_2 -Konzentration

Die Messungen in den Büroräumlichkeiten der 4ward Energy Research GmbH zeigen ähnliche Ergebnisse. Auf eine detailliertere Beschreibung wird aber verzichtet.

3.2 CO_2 -AMPEL

Am 15. Februar 2021 wurden in zwei Wohnungen CO_2 -Ampeln in Betrieb genommen. Die Parameter wurden so eingestellt, dass eine Lüftungsempfehlung ab 1200 ppm ausgegeben wird. Wenn die CO_2 -Konzentration unter 900 ppm fällt, dann wird die Empfehlung wieder gelöscht. Durch diese Einstellungen konnte ein oftmaliges Wiederholtes Ausgeben von Lüftungsempfehlungen kurz nacheinander verhindert werden.

Aus unerklärlichen Gründen kam es bei einem der Geräte nach kurzer Zeit zu einem Ausfall. Hierbei kam der Nachteil des Offline-Monitorings zum Vorschein. Von außen ist eine Beendigung des Programmes kaum sichtbar. Einziges Indiz in diesem Fall war, dass sich die Messwerte nicht mehr änderten.

Die zweite CO_2 -Ampel war bis in der Nacht der Zeitumstellung in Betrieb. Die Person in dieser Wohnung hat während der Pilotphase immer in den Morgenstunden eine Stoßlüftung durchgeführt. Dabei war die Messstelle etwa 2 Meter vom geöffneten Fenster entfernt. Die Stoßlüftung ist durch ein schlagartiges Absinken der CO_2 -Konzentration eindeutig erkennbar.

Über den Tag wurde nur wenig gelüftet. Trotzdem wurde nur 5-mal eine Empfehlung für das Stoßlüften ausgegeben. Anscheinend wurde auch jedes Mal diese Empfehlung von der Person wahrgenommen und unmittelbar ausgeführt. Durch die Annahme dieser Empfehlungen konnten große CO_2 -Spitzen vermieden werden. Es konnte somit bewiesen werden, dass durch das oftmalige Stoßlüften die durchschnittliche CO_2 -Konzentration in den Zonen gesenkt werden kann. Diese ist damit niedriger als in früheren wissenschaftlichen Arbeiten (Lundqvist & Revsbech 1986; Fehlmann & Wanner 1993).

4. SCHLUSSFOLGERUNG, ZUSAMMENFASSUNG

Sowohl die Referenzmessung als auch der Betrieb als Easy Energy Saver bzw. als CO₂-Ampel hat gezeigt, dass das System noch nicht für einen sicheren und längeren Betrieb reif ist. Für die Füllung der Matrizen des selbstlernenden Ansatzes, ist eine stetiger Empfang von aktuellen Messwerten notwendig.

Die Verbindung der Wetterstation mit der Hauptstation über Funk, ist sicher am unkompliziertesten in der Installation. Die Wetterstation zeigte in diesem Modus aber einen hohen Strombedarf, so dass der Akku-Pack häufig gewechselt werden musste. Dieser häufige Wechsel konnte den Personen in den Pilotgebäuden nicht zugemutet werden, obwohl in diesem Fall nur eine Wetterstation für mehrere EES notwendig gewesen wäre. Weiters kommt es beim Tausch des Akku-Packs zu einer Unterbrechung der Messwertübertragung, welche länger andauern kann, in Abhängigkeit der Wahrnehmung des leeren Akkustands und der Motivation diesen Akku-Pack auch zu tauschen. Weiters kam es bei der Funkübertragung immer wieder zu unergründlichen Ausfällen, so dass man eine kabelgebundene Version für die Pilotphase wählte.

Durch die kabelgebundene Version ist ein Batterietausch nicht mehr notwendig, da die Wetterstation direkt über die Hauptstation mit Energie versorgt wird. Trotzdem hat die kabelgebundene Version einige Nachteile. Zum einen muss ein starres Telefonkabel in der Wohnung, im Gang, bis hin zu einem passenden Ort einer Wetterstation verlegt werden. Dieser Eingriff in die Privatsphäre in der Pilotphase war herausfordernd. Eine Funkverbindung würde hier von den Personen sicher besser akzeptiert werden, wobei es aber teilweise Bedenken über die „Strahlung“ gab. Durch eine verständliche professionelle Aufklärung konnten diese Bedenken aber beseitigt werden. Am vorteilhaftesten für die Akzeptierung des Gerätes, wäre sicher eine Kopplung per Funk mit einer kommerziellen Wetterstation. Kommerzielle Wetterstationen haben an sich schon eine sehr lange Batterielaufzeit. Ein weiterer Nachteil der kabelgebundenen Version ist, dass für jeden EES eine eigene Wetterstation notwendig ist.

Das vierzeilige Display der Hauptstation ist in Abhängigkeit der Sonneneinstrahlung nur bedingt lesbar. Es wurde bemerkt, dass, wenn LEDs leuchten, dieses Display aufgrund der großen Leuchtstärke der LEDs sogar noch schwerer zum Ablesen ist. Generell hat sich die Empfehlungsausgabe über die LEDs aber bewährt, da diese leicht sichtbar und verständlich ist. Für eine bessere Lesbarkeit müssten aber Display und LEDs besser aufeinander abgestimmt werden.

Die Ergebnisse zeigen, dass vor allem Empfehlungen zum Stoßlüften basierend auf einer Überschreitung eines CO₂-Grenzwertes angenommen und ausgeführt werden. Genaue Aussagen inwiefern EES die Raumluftqualität und Behaglichkeit steigert, ist aufgrund der kurzen Messreihen noch nicht möglich. Weiters sind auch noch keine detaillierten Aussagen über die Sinnhaftigkeit des selbständigen Lernens möglich. Es wird an dieser Stelle nur angemerkt, dass in der Versuchsreihe des Frühjahrs 2021, noch keine ausreichend befüllte Anwesenheits-Matrix erzeugt wurde. Damit konnten auch keine Zeitfenster für die vorgezogene Empfehlungsausgabe gebildet werden.

LITERATUR

- Fehlmann J. & Wanner H. (1993) Indoor climate and indoor air quality in residential buildings. *Indoor Air* 3:41–50.
- Lundqvist G. & Revsbech P. (1986) Ventilation in flats. Measurement of carbon dioxide and air exchange in retrofitted flats. *Ugeskr Laeger* 148:3475–3479.

KONTAKTDATEN:

Dr. techn. DI Markus Rabensteiner
Reininghausstraße 13A
8020 Graz
Email: markus.rabensteiner@4wardenergy.at