

## Bachelorarbeit

# **Ermittlung optimierter Gebäudeenergiesysteme für den deutschen Wohngebäudebestand unter besonderer Berücksichtigung von Lüftungsverlusten**

Aachen, Mai 2019

**Jonas Baumgärtner**

Matrikelnummer: 330575

Betreuer:

Sebastian Remy, M. Sc.

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dirk Müller

Diese Arbeit wurde vorgelegt am:

E.ON Energy Research Center | ERC

Institute for Energy Efficient Buildings and Indoor Climate | EBC

(Lehrstuhl für Gebäude- und Raumklimatechnik)

Mathieustraße 10, 52074 Aachen



## Kurzfassung

Überall dieselbe alte Leier. Das Layout ist fertig, der Text lässt auf sich warten. Damit das Layout nun nicht nackt im Raume steht und sich klein und leer vorkommt, springe ich ein: der Blindtext. Genau zu diesem Zwecke erschaffen, immer im Schatten meines großen Bruders »Lorem Ipsum«, freue ich mich jedes Mal, wenn Sie ein paar Zeilen lesen. Denn esse est percipi - Sein ist wahrgenommen werden.

Und weil Sie nun schon die Güte haben, mich ein paar weitere Sätze lang zu begleiten, möchte ich diese Gelegenheit nutzen, Ihnen nicht nur als Lückenfüller zu dienen, sondern auf etwas hinzuweisen, das es ebenso verdient wahrgenommen zu werden: Webstandards nämlich. Sehen Sie, Webstandards sind das Regelwerk, auf dem Webseiten aufbauen. So gibt es Regeln für HTML, CSS, JavaScript oder auch XML; Worte, die Sie vielleicht schon einmal von Ihrem Entwickler gehört haben. Diese Standards sorgen dafür, dass alle Beteiligten aus einer Webseite den größten Nutzen ziehen.

Im Gegensatz zu früheren Webseiten müssen wir zum Beispiel nicht mehr zwei verschiedene Webseiten für den Internet Explorer und einen anderen Browser programmieren. Es reicht eine Seite, die - richtig angelegt - sowohl auf verschiedenen Browsern im Netz funktioniert, aber ebenso gut für den Ausdruck oder die Darstellung auf einem Handy geeignet ist. Wohlgemerkt: Eine Seite für alle Formate. Was für eine Erleichterung. Standards sparen Zeit bei den Entwicklungskosten und sorgen dafür, dass sich Webseiten später leichter pflegen lassen. Natürlich nur dann, wenn sich alle an diese Standards halten. Das gilt für Browser wie Firefox, Opera, Safari und den Internet Explorer ebenso wie für die Darstellung in Handys. Und was können Sie für Standards tun? Fordern Sie von Ihren Designern und Programmieren einfach standardkonforme Webseiten. Ihr Budget wird es Ihnen auf Dauer danken. Ebenso möchte ich Ihnen dafür danken, dass Sie mich bis zum Ende gelesen

This abstract has 300 words



## Abstract

Er hörte leise Schritte hinter sich. Das bedeutete nichts Gutes. Wer würde ihm schon folgen, spät in der Nacht und dazu noch in dieser engen Gasse mitten im übel beleumundeten Hafenviertel? Gerade jetzt, wo er das Ding seines Lebens gedreht hatte und mit der Beute verschwinden wollte! Hatte einer seiner zahllosen Kollegen dieselbe Idee gehabt, ihn beobachtet und abgewartet, um ihn nun um die Früchte seiner Arbeit zu erleichtern? Oder gehörten die Schritte hinter ihm zu einem der unzähligen Gesetzeshüter dieser Stadt, und die stählerne Acht um seine Handgelenke würde gleich zuschnappen? Er konnte die Aufforderung stehen zu bleiben schon hören. Gehetzt sah er sich um. Plötzlich erblickte er den schmalen Durchgang. Blitzartig drehte er sich nach rechts und verschwand zwischen den beiden Gebäuden.

Beinahe wäre er dabei über den umgestürzten Mülleimer gefallen, der mitten im Weg lag. Er versuchte, sich in der Dunkelheit seinen Weg zu ertasten und erstarrte: Anscheinend gab es keinen anderen Ausweg aus diesem kleinen Hof als den Durchgang, durch den er gekommen war. Die Schritte wurden lauter und lauter, er sah eine dunkle Gestalt um die Ecke biegen. Fieberhaft irrten seine Augen durch die nächtliche Dunkelheit und suchten einen Ausweg. War jetzt wirklich alles vorbei, waren alle Mühe und alle Vorbereitungen umsonst? Er presste sich ganz eng an die Wand hinter ihm und hoffte, der Verfolger würde ihn übersehen, als plötzlich neben ihm mit kaum wahrnehmbarem Quietschen eine Tür im nächtlichen Wind hin und her schwang. Könnte dieses der flehentlich herbeigesehnte Ausweg aus seinem Dilemma sein?

Langsam bewegte er sich auf die offene Tür zu, immer dicht an die Mauer gepresst. Würde diese Tür seine Rettung werden? Er hörte leise Schritte hinter sich. Das bedeutete nichts Gutes. Wer würde ihm schon folgen, spät in der Nacht und dazu noch in dieser engen Gasse mitten im übel beleumundeten Hafenviertel? Gerade jetzt, wo er das Ding seines Lebens gedreht hatte und mit der Beute verschwinden wollte! Hatte einer seiner zahllosen Kollegen dieselbe Idee gehabt, ihn beobachtet und abgewartet, um ihn nun um die Früchte seiner Arbeit zu erleichtern? Oder gehörten die Schritte hinter ihm zu einem der unzähligen Gesetzeshüter dieser Stadt, und die stählerne Acht um seine Handgelenke würde gleich zuschnappen? Er konnte die Aufforderung stehen zu bleiben schon hören. Gehetzt sah er sich um. Plötzlich erblickte er den schmalen Durchgang. Blitzartig drehte er sich nach rechts und verschwand zwischen den beiden Gebäuden. Beinahe wäre er dabei über den umgestürzten Mülleimer gefallen, der mitten im Weg lag. Er versuchte, sich in der Dunkelheit seinen Weg zu ertasten und erstarrte: Anscheinend gab es keinen anderen Ausweg aus diesem kleinen Hof als den Durchgang, durch den er gekommen war. Die Schritte wurden lauter und lauter, er sah eine dunkle Gestalt um die Ecke biegen. Fieberhaft irrten seine Augen durch die nächtliche Dunkelheit und suchten einen Ausweg. War jetzt wirklich alles vorbei, waren alle Mühe

und alle Vorbereitungen umsonst? Er presste sich ganz eng an die Wand hinter ihm und hoffte, der Verfolger würde ihn übersehen, als plötzlich neben ihm

Dieser Abstract hat 500 Wörter!

## Inhaltsverzeichnis

# Nomenklatur

## Formelzeichen und Einheiten

Symbol	Bedeutung	Einheit
$A$	Fläche	$\text{m}^2$
$c_p$	spezifische Wärmekapazität bei konstantem Druck	$\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
$C$	Wärmekapazität	$\text{W}/\text{kg}$
$H$	Enthalpie	$\text{J}$
$\dot{H}$	Enthalpiestrom	$\text{J}/\text{s}$
$E$	Exergie	$\text{J}$
$e$	spezifische Exergie	$\text{J}/\text{kg}$
$\dot{m}$	Massenstrom	$\text{kg}/\text{s}$
$p$	Druck	$\text{Pa}$
$\dot{Q}$	Wärmestrom	$\text{W}$
$R$	spezifische Gaskonstante	$\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
$S$	Entropie	$\text{J}/\text{K}$
$\dot{S}$	Entropiestrom	$\text{W}/\text{K}$
$T$	Temperatur	$\text{K}$
$t$	Zeit	$\text{s}$
$U$	innere Energie	$\text{J}$
$U_T$	Wärmedurchgangskoeffizient	$\text{W}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
$h$	Wärmeübergangskoeffizient	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
$V$	Volumen	$\text{m}^3$
$\dot{V}$	Volumenstrom	$\text{m}^3/\text{s}$
$\dot{W}$	Leistung	$\text{W}$
$Y$	Wasserbeladung der Luft	$\text{g}/\text{kg}$



### Griechische Formelzeichen

Symbol	Bedeutung	Einheit
$\eta_C$	Carnot-Wirkungsgrad	—
$\kappa_E$	exergetische Aufwandszahl der Wärmeerzeugung	—
$\kappa_T$	exergetische Aufwandszahl des Wärmetransfers	—
$\Phi$	thermische Leistung	W
$\varrho$	Massendichte	kg/m <sup>3</sup>
$\sigma$	Temperaturspreizung	K
$\vartheta$	Temperatur	°C
$\Delta\vartheta$	Temperaturdifferenz	K

### Indizes und Abkürzungen

Symbol	Bedeutung
0	Referenzzustand ( <i>ambient dead state</i> )
A	Außen/Umgebung
CH	chemisch
CV	Kontrollvolumen ( <i>control volume</i> )
DSC	Dynamische Differenzkalorimetrie ( <i>differential scanning calorimetry</i> )
e	über die Systemgrenze ( <i>external</i> )
F	Volumenstrom
FW	Fassadenwärmeübertrager
gen	erzeugt ( <i>generated</i> )
In	Eingang ( <i>input</i> )
KN	kinetisch
KRM	Kapillarrohrmatte
LabVIEW	Programmiersprache und Entwicklungsumgebung für die Messdatenerfassung der Firma National Instruments
L	Luft
LWS	Latentwärmespeicher
m	Mittelwert
Ob	Oberfläche
PCM	Latentwärmespeichermaterial ( <i>phase change material</i> )

Fortsetzung auf der nächsten Seite

## Indizes und Abkürzungen

Symbol	Bedeutung
PH	physikalisch
PT	potentiell
Q	auf einen Wärmestrom bezogen
R	Rücklauf
Reg	Speicherregeneration
T	Temperatur
$\Delta t$	Zeitschritt der Länge $\Delta t$
t	technisch
V	Vorlauf
V	Verlust (Exergieanalyse)
W	Wärmeträgermedium

## Abbildungsverzeichnis

## Tabellenverzeichnis

## Vorwort



# **1 Einleitung**

## **1.1 Motivation**

das ist die einleitung

## **1.2 Aufgabenstellung**

das ist die aufgabenstellung

## **2 Stand der Forschung**

### **2.1 Motivation**

das ist die einleitung

### **2.2 Aufgabenstellung**

das ist die aufgabenstellung



# Anhang

## A Wirklich wichtiger Anhang

Weit hinten, hinter den Wortbergen, fern der Länder Vokalien und Konsonantien leben die Blindtexte. Abgeschieden wohnen Sie in Buchstabhausen an der Küste des Semantik, eines großen Sprachozeans. Ein kleines Bächlein namens Duden fließt durch ihren Ort und versorgt sie mit den nötigen Regelialien. Es ist ein paradiesmatisches Land, in dem einem gebratene Satzteile in den Mund fliegen. Nicht einmal von der allmächtigen Interpunktion werden die Blindtexte beherrscht – ein geradezu unorthographisches Leben. Eines Tages aber beschloß eine kleine Zeile Blindtext, ihr Name war Lorem Ipsum, hinaus zu gehen in die weite Grammatik. Der große Oxmox riet ihr davon ab, da es dort wimmele von bösen Kommata, wilden Fragezeichen und hinterhältigen Semikoli, doch das Blindtextchen ließ sich nicht beirren.

### A.1 Die Versalien

Es packte seine sieben Versalien, schob sich sein Initial in den Gürtel und machte sich auf den Weg. Als es die ersten Hügel des Kursivgebirges erklommen hatte, warf es einen letzten Blick zurück auf die Skyline seiner Heimatstadt Buchstabhausen, die Headline von Alphabetdorf und die Subline seiner eigenen Straße, der Zeilengasse. Wehmütig lief ihm eine rhetorische Frage über die Wange, dann setzte es seinen Weg fort. Unterwegs traf es eine Copy. Die Copy warnte das Blindtextchen, da, wo sie herkäme wäre sie zigmal umgeschrieben worden und alles, was von ihrem Ursprung noch übrig wäre, sei das Wort ündünd das Blindtextchen solle umkehren und wieder in sein eigenes, sicheres Land zurückkehren. Doch alles Gutzureden konnte es nicht überzeugen und so dauerte es nicht lange, bis ihm ein paar heimtückische Werbetexter auflauerten, es mit Longe und Parole betrunken machten und es dann in ihre Agentur schleppten, wo sie es für ihre Projekte wieder und wieder mißbrauchten.

Und wenn es nicht umgeschrieben wurde, dann benutzen Sie es immernoch. Weit hinten, hinter den Wortbergen, fern der Länder Vokalien und Konsonantien leben die Blindtexte. Abgeschieden wohnen Sie in Buchstabhausen an der Küste des Semantik, eines großen Sprachozeans. Ein kleines Bächlein namens Duden fließt durch ihren Ort und versorgt sie mit den nötigen Regelialien. Es ist ein paradiesmatisches Land, in dem einem gebratene Satzteile in den Mund fliegen. Nicht einmal von der allmächtigen Interpunktion werden die Blindtexte beherrscht – ein geradezu unorthographisches Leben. Eines Tages aber beschloß eine kleine Zeile Blindtext, ihr Name war Lorem Ipsum, hinaus zu gehen in die weite Grammatik. Der große Oxmox riet ihr davon ab, da es dort wimmele von bösen Kommata, wilden Fragezeichen und hinterhältigen Semikoli, doch das

Blindtextchen ließ sich nicht beirren. Es packte seine sieben Versalien, schob sich sein Initial in den Gürtel und machte sich auf den Weg. Als es die ersten Hügel des Kursivgebirges erklommen hatte, warf es einen letzten Blick zurück auf die Skyline seiner Heimatstadt Buchstabhausen, die Headline von Alphabetdorf und die Subline seiner eigenen Straße, der Zeilengasse. Wehmütig lief ihm eine rhetorische Frage über die Wange, dann setzte es seinen Weg fort. Unterwegs traf es eine Copy. Die Copy warnte das Blindtextchen, da, wo sie herkäme wäre sie zimal umgeschrieben worden und alles, was von ihrem Ursprung noch übrig wäre, sei das Wort ünd"

## B Wichtiger Anhang

Es gibt im Moment in diese Mannschaft, oh, einige Spieler vergessen ihnen Profi was sie sind. Ich lese nicht sehr viele Zeitungen, aber ich habe gehört viele Situationen. Erstens: wir haben nicht offensiv gespielt. Es gibt keine deutsche Mannschaft spielt offensiv und die Name offensiv wie Bayern. Letzte Spiel hatten wir in Platz drei Spitzen: Elber, Jancka und dann Zickler. Wir müssen nicht vergessen Zickler. Zickler ist eine Spitzen mehr, Mehmet eh mehr Basler. Ist klar diese Wörter, ist möglich verstehen, was ich hab gesagt? Danke. Offensiv, offensiv ist wie machen wir in Platz. Zweitens: ich habe erklärt mit diese zwei Spieler: nach Dortmund brauchen vielleicht Halbzeit Pause. Ich habe auch andere Mannschaften gesehen in Europa nach diese Mittwoch. Ich habe gesehen auch zwei Tage die Training. Ein Trainer ist nicht ein Idiot! Ein Trainer sei sehen was passieren in Platz. In diese Spiel es waren zwei, drei diese Spieler waren schwach wie eine Flasche leer! Haben Sie gesehen Mittwoch, welche Mannschaft hat gespielt Mittwoch? Hat gespielt Mehmet oder gespielt Basler oder hat gespielt Trapattoni? Diese Spieler beklagen mehr als sie spielen! Wissen Sie, warum die Italienmannschaften kaufen nicht diese Spieler? Weil wir haben gesehen viele Male solche Spiel! Haben

## **Eigenständigkeitserklärung**

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß übernommen sind, sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit ist in gleicher oder ähnlicher Form noch nicht als Prüfungsarbeit eingereicht worden. Ich erkläre mich damit einverstanden, dass die vorliegende Arbeit in der Lehrstuhlbibliothek und Datenbank aufbewahrt und für den internen Gebrauch kopiert werden darf.

Aachen, den 3. Mai 2019

DEIN NAME