



ENERGIEEFFIZIENZ IM BAU- UND MASCHINENWESEN

Veranstaltung im Rahmen des Projekts „Grenzenlos Qualifiziert:
Aufbau Einer Kompetenzpartnerschaft im Bereich Bauforschung
zur Qualifizierungswissenschaftlichen Nachwuchses in der Grenzregion

Herausgeber:
Karel Fraňa
Sylvio Simon
John Grunewald



Europäische Union. Europäischer
Fonds für regionale Entwicklung.
Evropská unie. Evropský fond pro
regionální rozvoj.



Ahoj sousede. Hallo Nachbar.
Interreg VA / 2014 – 2020



9 788074 941917



Europäische Union. Europäischer
Fonds für regionale Entwicklung.
Evropská unie. Evropský fond pro
regionální rozvoj.



TECHNICAL UNIVERSITY OF LIBEREC
www.tul.cz

Energieeffizienz im Bau- und Maschinenwesen

25.-27.September 2017
Liberec, Tschechische Republik

Herausgeber:

Prof. Karel Fraňa

Prof. Sylvio Simon

Prof. John Grunewald

Veranstaltung im Rahmen des Projekts „Grenzenlos Qualifiziert: Aufbau einer Kompetenzpartnerschaft im Bereich Bauforschung zur Qualifizierung wissenschaftlichen Nachwuchses in der Grenzregion“

Uspořádáno v rámci projektu Kvalifikace bez hranic: Vybudování partnerství v oblasti výzkumu techniky budov ke vzdělávání vědeckých následovníků v příhraničním regionu.

**Energieeffizienz im Bau- und Maschinenwesen,
25. - 27. September 2017
Technische Universität in Liberec**

Rezensenten: Miloš Müller

Kompilierte: Tomáš Kořínek

© Technische Universität in Liberec 2017
ISBN: 978-80-7494-362-1

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5-6
Die Klassifizierung von Bauteilen für regulier- bzw. einrichtbaren automatischen Fertigungslinien unter Verwendung von CNC Werkzeugmaschinen <i>Fariz Amirov</i>	7-11
Studie zum Füllungsprozess von Druckgasflaschen aus Aluminiumlegierungen – numerische Simulation und Validierung <i>Shehab Attia, Karel Fraňa, Frank Otremba, Matthias Ziegenhorn, Sylvio Simon</i>	12-15
Übersicht über die Gleichungen für die Berechnung von ausgewählten Größen von feuchter Luft <i>Jan Barák, Karel Fraňa, Joerg Stiller</i>	16-20
Energieeffizienz in Gebäuden <i>Karel Fraňa , Tomáš Kořínek, Jan Barák, Josef Egert</i>	21-26
Das Temperaturfeld und die Eigenschaften von halbdurchlässigen porösen Körpern bei einer Erwärmung durch Strahlung <i>Vasily S Glazov, Galina N Afonina, Eduard K Voelker, Natalia M Savchenkova</i>	27-28
Energieeffizienz im Bestandswohnungsbau <i>Doreen Grossmann, Bernd Hirschl, Kathrin Lehmann, Sylvio Simon</i>	29-30
Die Abscheidung von CO ₂ aus der Luft mittels Adsorption auf Aktivkohle <i>Tomáš Kořínek</i>	31-35
Energieeinsparung durch Reduzierung der rotierenden Massen bei Kettentrieben <i>Eric Kratzsch, Sylvio Simon, Thomas Rieder, Stephan Henschler, Jan Magister, Tim Fritsch</i>	36-39
Verbesserung der Formgenauigkeit und der Dichtflächenqualität von Präzisionsplatten für die Erdölindustrieanlagen <i>Arastun Mammadov</i>	40-43
Anwendung von Energieeffizienzkriterien für Marktstrategien von Großunternehmen in den Transformationsländern <i>Ludmila Palekhova, Dmitry Palekhov</i>	44-53
Vergleich der Wärmespeicherungseffekt der unterschiedlichen Typen der Gebäudehülle <i>A A Saikina, V V Potekhina, E M Gorjatscheva, M V Gorelov</i>	54-57
Potential der Energiereduzierung beim Betrieb von Hochleistungsgurtt Förderern durch Optimierung der Laufeigenschaften von Tragrollen <i>Robert Schneider, Sylvio Simon, Thomas Rieder, Stephan Henschler, Jan Magister, Tim Fritsch</i>	58-61

Energieeffizienz im Bau- und Maschinenwesen,

25. - 27. September 2017

Technische Universität in Liberec

Passive hygro-thermische Klimatisierung genutzter Pontonräume bei schwimmenden Wohnbauten <i>Horst Stopp, Peter Strangfeld</i>	62-66
Anwendung von Energieeffizienzkriterien für Marktstrategien von Großunternehmen in den Transformationsländern <i>Ildar A. Sultanguzin, Ekaterina V. Zhigulina, Jurij V. Yavorovsky, Ivan D. Kalyakin, Alexandr V. Govorin, Alexandre A. Krolin, Sergey V. Guzhov</i>	67-72
Steigerung der Energieeffizienz durch synergetische Betrachtung <i>Magdalena Tarkiewicz</i>	73-76
Verwendung der Turboexpansionsmaschinen in Heizkraftwerken <i>M V Tjunjaev, V V Kulitshikchin</i>	77-80
Vergleich verschiedener Optionen für die autarke Heizungssystem in einem Wohnhaus <i>Y V Yavorovski, A J Likhaeva</i>	81-85
Projekt Poster	86
Delphin Poster	87

Vorwort

Gegenwärtig wird auf der ganzen Welt eine sichere Energieversorgung und die energetische Unabhängigkeit gefordert und diskutiert. In vielen europäischen Ländern ist diese Energieunabhängigkeit allerdings sehr schwierig zu erreichen, weil diese zumeist arm an Energierohstoffen sind. Da die Kohle als Primärenergieträger in der EU häufig angetroffen werden kann, wird sie auch einfach in diesen EU-Ländern abgebaut und für die Stromproduktion in großem Maße eingesetzt. Ganz umgekehrt ist das mit Erdöl oder Erdgas, die selten in den EU-Ländern gefunden und gefördert werden. Infolge dieser Situation müssen die Rohstoffe wie Erdöl oder Erdgas in die EU-Länder importiert werden. Das hat einen negativen Einfluss auf die EU-Import/Export-Marktbilanz und zudem wird gleichzeitig eine wirtschaftliche und politische Abhängigkeit von anderen Ländern hervorgerufen. Gerade die Unabhängigkeit von den Energierohstoffen sollte die entscheidende Herausforderung für den Energiemix in den einzelnen Ländern sein. Trotz der starken Innovationen und der erneuerbaren Energiequellen spielt die Erdöl- oder Erdgaslieferung ständig eine bedeutende Rolle für die Energieversorgung. Die Situation wird besonders kompliziert, wenn die Prognosen über die Erreichung der 'Peak'-Rohöl-Förderung offiziell bestätigt werden. Bis jetzt gibt es unterschiedliche Prognosen: einige Gruppen sind bereits überzeugt, dass das Peak schon erreicht wurde - andere Gruppen bezweifeln dies wiederum. Auf jeden Fall würde gerade eine Unterbrechung der Öllieferungen auf den Weltmarkt wegen der Ölförderungsknappheit ein schlechtes Szenario für viele energieabhängige Länder darstellen. Deswegen entstanden große Bemühungen auf den unterschiedlichsten politischen oder wirtschaftlichen Ebenen, die Stromversorgung unabhängig von fossilen Brennstoffen - hauptsächlich dem Rohöl und dem Erdgas - zu sichern, wobei bei der Erdgasproduktion die Zukunft im Vergleich zur Ölförderung noch optimistisch aussieht.

Die Nutzung der erneuerbaren Energiequellen bietet zwar viele neue potentielle Einsatzmöglichkeiten an und die Energiegewinnung von erneuerbaren Energiequellen steigt auch kontinuierlich an. Leider sind die erneuerbaren Energiequellen, außer der Wasserkraft nicht in der Lage, ohne effiziente Energiespeicherungstechnologien den vollständigen Energieverbrauch zu decken. Trotzdem gibt es in vielen EU-Ländern eine sichtbare Strategie, mit den erneuerbaren Energiequellen die derzeitige Stromproduktion von Kernkraftwerken oder Wärmekraftwerken entweder teilweise oder vollständig zu ersetzen. Diese ambitionierten Pläne oder sogar konkreten Entscheidungen sind schon wegen der oben genannten Faktoren besonders schwierig durchzusetzen oder zu realisieren. Wenn trotzdem die End-Entscheidung getroffen würde, die derzeitigen Kernkraftwerke und gleichzeitig die Rohölnutzung teilweise zu reduzieren oder vollständig aus dem Energiemix zu streichen, muss vorher klar aufgezeigt werden, wie der derzeitige Energieverbrauch gedeckt werden kann. Auf der einen Seite müssen z.B. die neuen Solarkraftwerke, Wasserkraftwerke oder Windanlagen gebaut werden und auf der anderen Seite muss der derzeitige Energieverbrauch stark reduziert werden. Die Energieeffizienz und die damit verbundenen Energieeinsparungen könnten die Umsetzung der Stromproduktion von Kernkraftwerken und fossilen Brennstoffen wie z. B. Rohöl wesentlich erleichtern und beschleunigen.

Die Energieeffizienz ist ein sehr populärer Begriff geworden, der in verschiedenen Bereichen des Maschinen- und Bauwesens regelmäßig erwähnt wird. Im Maschinenwesen - und da besonders in der Energietechnik - wird meistens über Energie gesprochen, die zuerst umgewandelt werden muss, um die gewünschte Energieform zu bekommen. Viele unterschiedliche Anlagen wie z.B. Verbrennungsmotoren oder Kraftwerke wurde so optimiert und weiter verbessert, um den Wirkungsgrad bei der Energieumwandlung so hoch wie möglich zu erreichen. Damit kann man nicht nur Brennstoff einsparen, sondern auch die CO₂-Produktion verringern. Bei der Solarenergie ist der Wirkungsgrad relativ gering und

Energieeffizienz im Bau- und Maschinenwesen,

25. - 27. September 2017

Technische Universität in Liberec

überschreitet meistens nicht 17%. Diese entscheidende Einschränkung bremst die intensive Anwendungen. Dies war auch ein wichtiges Argument für die zusätzlichen finanzielle Subventionen in der Photovoltaiknutzung, die in Deutschland unter dem Gesetz EGG bekannt ist. Auch im Bauwesen wird über unterschiedliche Maßnahmen wie z. B. die Wärmedämmung oder den Bau von Passivhäusern, die der Energieeffizienzsteigerung folgen sollten, gesprochen. Gemäß der Internationalen Energieagentur (IEA) wurden im Jahr 2014 insgesamt mehr als 20 EJ (das entspricht bis zu 23% des gesamten Primärenergieverbrauchs der Vereinigten Staaten) weltweit durch die Energieeffizienz eingespart. Gleichzeitig definiert die IEA drei wichtige Bereiche nach dem Energieverbrauch, d. h. der Transport mit dem Anteil von 27% des weltweiten Energieverbrauches, die Industrie mit dem Anteil von sogar 38% und Gebäude mit 31%. In den letzten Jahren wurde die bessere Wärmedämmung von Gebäuden unterstützt, die zur besseren Energienutzung und damit auch zu Energieeinsparungen in Gebäuden beigetragen hat. In der Zukunft kann erwartet werden, dass gerade die Durchsetzung der hocheffizienten Klima- und Heizungsanlagen die größere Bedeutung in der Gebäudeausrüstung spielen wird. Gerade die Energieeffizienz von diesen Anlagen wird für die gesamte Energieeinsparung im Bauwesen entscheidend. Da diese Anlagen meistens von Maschinenbauingenieuren entwickelt werden, muss eine enge Zusammenarbeit zwischen dem Maschinenbauwesen und dem Bauwesen existieren, um die optimalen Anlagefunktionen im Zusammenhang z. B. beim Klimakomfort in den Gebäuden sicherzustellen.

Im Jahre 2016 wurde das Kooperationsprojekt BauQu zwischen der Technischen Universität Dresden und der Technischen Universität in Liberec gestartet. Im Rahmen dieses Projektes gibt es konkrete Bemühungen diese verstärkte und konkrete Zusammenarbeit zwischen Experten des Maschinenbau- und Bauwesens zu verknüpfen und den Nachwuchs auf die zukünftige Kooperation und die weitere Ausbildung vorzubereiten. Gleichzeitig entwickelt sich die Zusammenarbeit im Rahmen der NESSEF-Plattform, die die Universitäten im Bereich der Energieeffizienz miteinander verbindet. Die Plattform NESSEF wurde von einigen Jahren an der Brandenburgischen Universität Cottbus-Senftenberg von Prof. Sylvio Simon gegründet. Seit dieser Zeit findet jedes Jahr eine fachliche Konferenz an den Partneruniversitäten statt, wo die Arbeiten über Energieeffizienzsteigerung präsentiert werden können. Im Jahr 2017 wird diese Konferenz zum ersten mal an der TU Liberec veranstaltet. Unser Projekt BauQu ermöglicht, diese tschechisch-deutsche Veranstaltung mit Gästen aus anderen Partneruniversitäten durchzuführen. Dank des Projekts BauQu wird auch unsere Plattform NESSEF um ein neues Mitglied, das Institut für Bauklimatik, vertreten durch Prof. John Grunewald, vergrößert.

Ganz am Schluss möchte ich mich gerne bei allen meinen Kollegen für die Beteiligung an der Konferenz herzlich bedanken und wünsche mir eine wertvolle Diskussion und Zusammenarbeit.

Liberec, den 8. August 2017

Prof. Ing. Karel Fraňa, Ph.D.

Die Klassifizierung von Bauteilen für regulier- bzw. einrichtbaren automatischen Fertigungslinien unter Verwendung von CNC Werkzeugmaschinen

Fariz Amirov¹

Abstrakt: *Dieser Artikel befasst sich mit der Begründung und Erarbeitung von allgemeiner Projektierungsprinzipien der technologischen Prozesse, Klassifizierung von Bauteilen und mit der Anwendung typischen technologischen Prozesse in der Entwicklung von Fertigungstechnologie. Gleichzeitig wird in dieser Arbeit die Planung von typischer technologischen Prozesse für die Fertigung von Bauteilen in der automatischen Fertigungslinien erforscht. In der Klassifizierung die Zusammenführung der Bauteile in Gruppen und Klassen werden unter Berücksichtigung der Konstruktion der Bauteile, Abmessungen und deren Technologie des Fertigungsprozesses erarbeitet.*

Schlüsselwörter: Technologischer Prozess, Projektierung, Klassifizierung von Bauteilen, automatische Fertigungslinien, spezifische Bauteile.

Unter der Spezifikation von Bauteilen versteht man der Prozess von Erarbeitung von Bauteilen, die in den regulierbaren automatisierten Linienautomaten gefertigt werden müssen und Bearbeitung der Oberflächen von Bauteilen entsprechend Übergängen der prinzipiellen technologischen Operationsfolge.

Die Entscheidungen zur Bearbeitung des technologischen Prozesses für Bauteilfertigung werden in Bezug auf folgenden Faktoren getroffen: die Konstruktion der Bauteilen, geometrische Abmessungen und Genauigkeitskenngrößen von Oberflächen, die Lage der Parameter abhängig von Bauteilgrößen, der Erzeugungsbetrag und die Genauigkeit [4, 6, 7].

Die hauptsächliche Faktoren, die typische Fertigungstechnologie von Bauteilen bestimmen, sind somit Abmessungen, Erzeugungsbetrag, Konstruktion und Genauigkeit von Bauteilen. Hierbei werden der Einfluß von diesen Faktoren auf den technologischen Prozess der Bauteilfertigung untersucht.

Die Abmessungen von Bauteilen spielen in der Regel wesentliche Rolle bei der Bestimmung von Daten der Fertigungsanlagen und haben erhebliche Einwirkung auf die Bearbeitungsprozess. Die Bauteile, die unterschiedliche Größen, aber ähnliche Gestaltung haben, haben auch ähnliche kinematische Oberflächekenngrößen. Aber im Fall, wenn die Abmessungen sehr unterschiedlich sind, kann die Formkinematik von Bauteiloberflächen auch unterschiedlich sein [1, 2, 5, 8, 9].

Es ist zu bemerken, dass die Außenabmessungen von bearbeitenden Bauteilen große Einwirkung auf die Konstruktion von Förderanlagen der automatischen Fertigungslinien haben.

Der Betrag der zu fertigenden Bauteile hat wesentliche Einwirkung auf die Auswahl vom Arbeitsweg der zu bearbeitenden Oberflächen. Diese Einwirkung zeigt sich einerseits in der Formkinematik der Bewegung von Werkzeugen und Fertigung, andererseits in der Wahl der Förderanlage von automatischen Fertigungslinien.

Für die Verwirklichung der typischen technologischen Prozessen im Betrieb mit Hilfe der automatisierten Fertigungslinien muss die Verfahren mehreren Werkstückfertigung völlig verzichtet werden. Da aufgrund der Niveau des modernen Maschinenbaues ist es sowohl aus wirtschaftlichen, als auch technischen Gründen nicht sinnvoll.

¹ Azerbaidschanische Technische Universität, Fakultät: Spezielle Techniken und Technologie, Lehrstuhl Spezielle Technologien und Ausrüstung, Der Prospekt H.Gavid 25, AZ1073 Baku, Azerbaidschanisch Republik {Fariz Amirov}, fariz.67@mail.ru

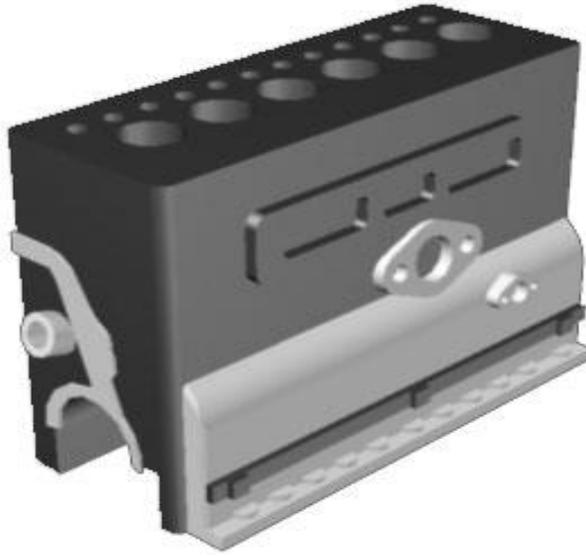


Bild 1. Kurbelgehäuse von Motor

Der grundlegende Faktor der Vorbereitung von technologischen Prozessen der Bauteilen ist ihre Gestaltung. Andererseits sind für die Fertigung der Bauteilen mit unterschiedlichen Gestaltung verschiedene technologische Prozesse erforderlich. Trotz des Konstruktionsunterschiedes der Bauteilen wie Gehäuse, Kragstein oder Lagerung haben diese eine Detailtechnologie. Die theoretische Grundlage zur Herstellung der typischen Form dieser Bauteilen besteht von der Festigung dieser Bauteilen auf die Fläche mit zwei Löcher, der Konsequenz von Flächenbearbeitung und Vorbereitung, nämlich der technologische Konsequenz der mechanischen Bearbeitung.

Die Gestaltung von Bauteilen hat große Einwirkung auf das Werkstückaufnahmeschema bei der Förderung zwischen den einzelnen Arbeitsgängen und das übt Einfluss auf die Konstruktion und das kinematische Schema der Förderanlagen aus, die später benutzt werden sollen. Für die Beschaffung der hohen Genauigkeit und Feinheit ohne Veränderung der Konsequenz von Hauptoperationen muss einige zusätzliche Operationen durchgeführt werden. Durch zusätzliche Operationen wird der Arbeitsaufwand der Bearbeitung wesentlich steigert, trotzdem wird deren Genauigkeitsklasse entsprechend der Forderung des technologischen Prozesses vergrößert. In der Tab.1 wurde die Qualität des technologischen Prozesses für Kolbenachse und Feder dargestellt (Bild.2).

Einrichtbare technologische Anlagen müssen in der Produktion unter verschiedenen Bearbeitungsbedingungen die Konsequenz der Bearbeitung absichern und aus der Sicht der Universalität die Fertigungsreife gewährleisten. Aus dieser Sicht können moderne digitale Drehautomaten, die erneut regulierbar sind, im Rahmen einer Einstellung und Operation die Werkstückoberfläche mit unterschiedlicher Gestaltung bearbeiten. Nämlich haben heutige technologische Anlagen eine einmalige Möglichkeit wie Mehrstufige- und Mehrspindelautomaten.

Energieeffizienz im Bau- und Maschinenwesen,
25. - 27. September 2017
 Technische Universität in Liberec

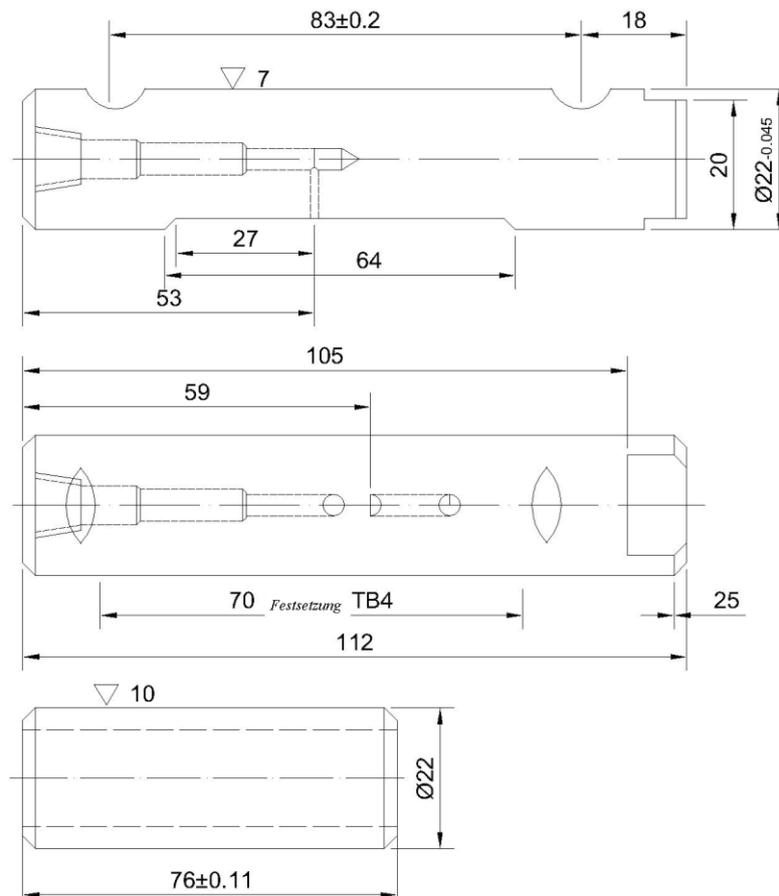


Bild 2. Kolbenachse: a) Feder; b) Kolbe

Tabelle 1

Vergleich der Bearbeitung von äußeren zylindrischen Oberflächen der Kolbenachsen und Federn	
Federfinger: $d=22$ mm, $l=112$ mm, Diametraltoleranz $T=45$ mkm, Rauheit $R_a=1,25$	Kolbenfinger: $d=22$ mm, $l=76$ mm, Diametraltoleranz $T=2,5$ mkm, Rauheit $R_a=0,16$
Die Bearbeitung des Außendurchmessers durch Hobeln oder Schleifen mit Toleranz $T=80$ mkm Verfestigung der Werkstoffe durch thermische Behandlung bis Härte HRC 56...62 Polierung der zylindrischen Außenoberfläche mit der spitzenlosen Poliermaschine. Bearbeitungsteil $\Delta d=0,3$ mm, Toleranz $T=45$ mkm, Rauheit $R_a=0,63$	Die Bearbeitung des Außendurchmessers durch Hobeln oder Schleifen mit Toleranz $T=80$ mkm Verfestigung der Werkstoffe durch thermische Behandlung bis Härte HRC 56...62 Grobe Polierung der zylindrischen Außenoberfläche mit der spitzenlosen Poliermaschine. Bearbeitungsteil $\Delta d=0,3$ mm, Toleranz $T=30$ mkm, Rauheit $R_a=1,25$ Reine Polierung der zylindrischen Außenoberfläche mit der spitzenlosen Poliermaschine. Bearbeitungsteil $\Delta d=0,15$ mm, Toleranz $T=15$ mkm, Rauheit $R_a=0,32$ Reines Schleifen der zylindrischen Außenoberfläche mit der spitzenlosen Poliermaschine. Bearbeitungsteil $\Delta d=20$ mkm, Toleranz $T=10$ mkm, Rauheit $R_a=0,080$

Aus der Sicht der Universalität muss die regulierbare Fertigung so gestaltet sein, dass das Werkstückaufnahmeschema und das theoretische Schema des Konstruktionsbasis gleich sein soll. Das kann unter Berücksichtigung der neuen technischen Voraussetzungen durch Veränderung der gegenseitigen Lage der Oberflächen bezüglich der gegebenen Eingangskenngrößen verwirklichen. Das gewährleistet die Gleichheit des konstruktiven und technologischen Basis.

Mit Berücksichtigung der Gleichheit der Form und Verwendung von Bauteilen, die in der Fertigungslinien hergestellt werden, wurden die Bauteile mit Gewicht bis 100 kg von Professor F.S. Demyanyuk in drei Gruppen unterteilt [3].

Energieeffizienz im Bau- und Maschinenwesen,

25. - 27. September 2017

Technische Universität in Liberec

Die Bauteile wie Gehäuse wurden in eine Gruppe unterteilt. Diese Bauteile haben einen breiten Einsatz. Trotz des Unterschiedes der äußeren Form können alle Gehäusebauteile mit ähnlichen technologischen Prozess hergestellt werden. Mit ähnlichen Prozessen können auch Axiallager, Lagerungen, Winkelstücke hergestellt werden. Diese Bauteile gehören auch zur Gruppe Gehäusebauteile.

In der Klassifikationstabelle gehören zur Gruppe "kreisförmige Stäbe" die Welle, Achsen, runde Lagerungen, Zahnradwelle usw. Diese Bauteile haben auch unterschiedliche Außenform, aber haben ähnliche Fertigungstechnologie.

Die Bauteile, die zur Gruppe "kreisförmige Stäbe" gehören, übergreifen im Vergleich zu "Wellen" noch mehr Bauteile. Weil die Gruppe "Flügel" umfasst nur die Rotationsteile wie Feder.

Zur Gruppe "Zylinder" gehören nicht nur Buchsen, sondern auch ähnliche Teile wie Trommeln, Kolben usw.

Unter den "Scheiben" versteht man die Bauteile mit Rotationsflächen, deren Höhe gleich zu Halbdurchmesser der Scheibe ist.

Zur Gruppe "unkreisförmige Stäbe" gehören außer verschiedene Hebel, auch Bauteile mit kurzförmigen unrunder Geometrie. Zum Beispiel die Einlaß- und Auslaßventilen der Verbrennungsmotoren, Kolbenstangen usw.

Zur Gruppe "Befestigungsteile" gehören Bolzen, Mutter, Schrauben, Federkeile usw. Diese Klassifikation kann allerdings das Bearbeitungsverhalten von Bauteilen in den RPI-Werkzeugmaschinen nicht berücksichtigen. Die Bauteile, die zu Steuerungssoftware der CNC-Werkzeugmaschinen eingesetzt werden, werden aufgrund der geometrischen Abmaßen der Oberfläche von Teilen, die durch Konstruktionsschema gefertigt sind. Wenn die geometrische Modells von Bauteilen aufgrund der technologischen Basis gestaltet sein könnten, würden die Fehler durch Angleichung der Konstruktions- und Technologiebasis vermeiden. Daraus folgt, dass für die Gestaltung von AWS(Automatisierte Werkzeugmaschinenysteme) mit Hilfe digitalprogrammierten Anlagen die Klasse der hergestellten Bauteilen aufgrund des Koordinatensystem der Basistheorie ermittelt werden muss.

Man muss bemerken, dass in der Praktik die mittelgröße Maschinenelemente in vier Gruppen unterteilt werden: große, mittelgroße, nicht große und kleine Bauteile.

Zu jeder Gruppe der Klassifizierungstabelle kann man verschiedene Bauteile einsetzen. Zum Beispiel zur Gruppe großen Bauteile gehören Gehäuse, Welle mit großen Durchmesser, Zahnräder, Zylinder, Schwungrad usw.

Wie schon erwähnt wurde, bei der Verwendung der digitalgesteuerten Anlagen hat große Bedeutung die Errichtung des Koordinatensystems für Bauteilordnung. Nämlich haben eine praktische Bedeutung die bearbeitende Oberflächen für die Auswahl der Koordinatenachsen und Koordinatenebenen. Deshalb ist durch Ermittlung der Basisposition von Bauteiloberflächen eine geometrische Modellierung allen Bauteilen aufgrund der Fertigungszeichnung möglich.

Die spezifische Eigenschaft der bearbeitenden Oberflächen von obengenannten Bauteilen ist mit deren Endbohrungen und Endflächen verbunden. Darüber hinaus hat bei der Werkstückfertigung zur Bearbeitung von unterschiedlichen Bauteilen angesichts der Abmaßenermittlung die Bearbeitung der stabförmigen Bauteilen von großer Bedeutung. Zum Beispiel krümmige Stangen, Bremsnocken usw. Hauptvorgang bei Bearbeitung dieser Bauteilen ist die Bearbeitung der krümmigen Oberflächen.

Die Vielfältigkeit der Gestaltung von diesen Bauteilen lässt sich sie in vier Gruppe zu unterzuteilen: 1) einfache Bauteile und Kastenstücke; 2) gerade Stangen; 3) krümmige Stangen; 4) einfache Balken.

Zur ersten Gruppe *K* gehören die Bauteile mit Länge $L > 800 \text{ mm}$ und Gewicht $G > 20 \text{ kg}$, zur zweiten Gruppe *C* die Bauteile mit Länge $L = 300 \dots 800 \text{ mm}$, und Gewicht $G = 3,0 \dots 20 \text{ kg}$, zur dritten Gruppe *H* die Bauteile mit Länge $L = 150 \dots 300 \text{ mm}$, und Gewicht $G = 1,0 \dots 3,0 \text{ kg}$, zur vierten Gruppe *M* die Bauteile mit Länge $L < 150 \text{ mm}$, und Gewicht $G < 1,0 \text{ kg}$.

Die Bauteile der vierten Gruppe sind Befestigungsteile. 40 % der Struktur jeder Maschine besteht aus Befestigungsteilen. Dazu gehören Bolzen, Mutter, Schrauben, Scheibenkeile und aus stabförmigen Werkstoffen

**Energieeffizienz im Bau- und Maschinenwesen,
25. - 27. September 2017
Technische Universität in Liberec**

gefertigte kleine Formstücke. Wegen Vielfältigkeit der Befestigungsteile muss für diese Bauteile eine rationale typische Fertigungstechnologie ausgearbeitet werden.

Die Befestigungsteile gehören zur Gruppe *M*. Der Außendurchmesser von diesen Bauteilen wurde $d < 50$ mm, die Länge $L < 150$ mm und das Gewicht $G < 0,8$ kg angenommen.

In der Regel werden die Befestigungsteile aus stabförmigen Werkstoffe mit runder oder vollfasonierter Querschnitt hergestellt. Aus diesem Grund werden diese Werkstoffe zu zwei Gruppe unterteilt, die nicht wegen Gestaltung, sondern sich wegen Durchführung des technologischen Prozesses unterscheiden.

Die aufgenommene Klassifikationstabelle ermöglicht den Aufbau von Gesamtschaltbild der im Maschinenbau breit verwendeten technologischen Prozessen. In diesem Fall müssen die technologische Prozesse für jedes Maschinenbauggebiet detailliert werden. Es liegt nahe, dass der Aufbaugrundlage von technologischen Prozessen für alle Maschinenbaugebiete einheitlich sein soll.

Schlußfolgerung

Die durchgeführte Untersuchungen über Zusammenhänge zwischen Werkstückaufnahme und geometrische Modellen von hergestellten Bauteilen und sowie technologische Verhältnisse der modernen technologischen Anlagen zeigten, dass alle Bauteile angesichts der Außenabmessungen in 3 Klassen und 4 Gruppen untergeteilt werden können.

Daraus folgt, dass bei der Aufbau von automatisierten Werkzeugmaschinen-systeme unter Verwendung von CNC Maschinen und Ausrüstungen sollen die Klassen der zu fertigender Bauteile unbedingt unter Berücksichtigung des Koordinatensystems der Basistheorie erstellt werden.

Literatur

- [1] Amirov F.G. Das Klassifizieren von Bauteilen auf Abmaßen, auf Gestaltungsverfahren von Koordinatensystem für geometrische Modellierung der Bauteilen. // Staatliche Baumann TU Moskau. Berichte der Hochschulen: Maschinenbau, 2012, №8, S. 32-35
- [2] Bazrov B.M. Zur Schaffung der Elementenbasis für technologische Ausstattung // Berichte des Maschinenbaus, 2004, №4, S. 33-38
- [3] Demyanyuk F.S. Technologische Grundlagen der automatisierten Linienfertigung. Moskau.: Visshaya Shkola, 1968, 700 S.
- [4] Kondakov A.I., Vasilyev A.S. Die Werkstückauswahl im Maschinenbau. Taschenbuch. Moskau.: Maschinenbau, 2007, 560 S.
- [5] Kossov M.G. Die Modellierung der Präzision in der Projektierung von technologischen Maschinen: Lehrbuch, Moskau.: MGTU «Stankin», 1998, 245 S.
- [6] Korsakov V.S. Automatisierung der Produktionsprozessen. Lehrbuch für Hochschulen. Moskau.: Visshaya Shkola, 1978, 295 S.
- [7] Die Projektierung von Zerspannungsmaschinen und Maschinensystemen/Taschenbuch-Lehrbuch in 3 B.: Die Projektierung von maschinensystemen, Unter Redaktion von A.S. Pronikov/Moskau.: Verlag MGTU im. Bauman «Станкин», 2000, 584 S.
- [8] Zerspanungsdaten für Drehmaschine und Bohrwerke mit programmierten digitalen Steuerung: / Taschenbuch. 2-e Ausgabe, Unter Redaktion von V.I. Guseev. Moskau.: Maschinenbau, 2007, 368 S.
- [9] Sultanzadeh N.M., Amirov F. G. Das Klassifizieren von Bauteilen für ihre Herstellung in umstellbaren automatischen Linien mit Hilfe von Bearbeitungszentrum mit programmierten digitalen Steuerung//Wissenschaftliche Berichte der staatlichen Universität Sumgait, 2012, №2, S. 106-113

Studie zum Füllungsprozess von Druckgasflaschen aus Aluminiumlegierungen – numerische Simulation und Validierung

Shehab Attia¹, Karel Fraňa¹, Frank Otremba², Matthias Ziegenhorn³ und Sylvio Simon³

Abstrakt: *Die Füllung von Druckgasflaschen ist prinzipiell ein komplizierter Prozess, aber das Verständnis für diesen Prozess kann die Füllzeit von Druckgasflaschen verkürzen und gleichzeitig die Auswahl neuer Materialien für Druckgasflaschen ermöglichen. Dieser Artikel umfasst die Untersuchung des Füllungsprozess von Sauerstoffflaschen mit der Hilfe der Numerik. Die Berechnungsmethoden werden vorgestellt, sie beruhen auf der Nutzung des turbulenten Model SST k- ω und dem Redlich-Kwong Gleichungsmodell. Für die Berechnung wurde die kommerzielle Software ANSYS angewendet und die Ergebnisse zeigen eine maximale Abweichung von 10 % zwischen den numerischen und den experimentellen Ergebnissen.*

Schlüsselwörter: CFD; ANSYS; Validierung, turbulente Strömung

1 Einleitung

Sauerstoffflaschen aus Aluminiumlegierungen werden bei der Feuerwehr zum Personenschutz gegen Schadstoffen und Rauch häufig eingesetzt. Gerade die wegen Feuer verursachten Unfälle bei der Feuerwehr bilden einen großen Anteil an allen Unfällen (statistisch jeder 25. Unfall) Im Jahr 2003 wurde in der Auswertung von Unfällen dokumentiert, dass für die gesamte Kompensation von Schäden und Verletzungen bei der Feuerwehr durchschnittlich \$8662 pro Fall aufgewandt werden musste. Eine Möglichkeit die Sicherheitsbedingungen für die Feuerwehr beim Einsatz zu erhöhen, sind bessere und sichere Sauerstoffflaschen und die Nutzung modernster Technik. Bei der Füllung der Flaschen entstehen komplizierte Effekte zwischen Druck- und Temperaturveränderung, die den Füllungsprozess verschlechtern oder sogar zur Beschädigung der Druckgasflaschen führen. Um das zu vermeiden, wurden umfangreiche Untersuchungen der Strömungs- und Temperaturverteilung während der Flaschenfüllung durchgeführt. Die mit Hilfe der Numerik durchgeführten Studien und deren numerischen Ergebnisse wurden erfolgreich mit ausgewählten Experimenten validiert. Gerade die Numerik bietet Methoden, die komplizierte Experimente ersetzen kann und nachvollziehbare Ergebnisse liefert.

Im Kapitel 2 wird das untersuchte Problem vorgestellt. Kapitel 3 umfasst die Ergebnisse und dazu die zugehörige Diskussion und das Kapitel 4 fasst die numerischen Ergebnisse zusammen.

2 Aufgabenstellung der Untersuchung

2.1 Die experimentellen Ergebnisse

Die experimentellen Untersuchungen des Füllungsprozessess wurde in der Bundesanstalt für Materialforschung und –Prüfung (BAM) durchgeführt. Während der Füllung wurde der Druck am Eingang der Flasche und die Temperaturen in der Flasche gemessen. Die Ergebnisse wurden in [5] vorgestellt und diskutiert. Abbildung 1 zeigt die Messstellen für Druck und Temperatur an den gefüllten Druckgasflaschen (1).

2.2 Theoretische Betrachtungen

Die physikalische Größe Temperatur steigt durch das Einfüllen des Gases in der Flasche und an den Flaschenwänden kurzfristig. Die Temperaturerhöhung wächst auf Grund der Energieumwandlung zwischen kinetischer und innerer Energie. Diese kinetische Energie wird vom Druckunterschied hervorgerufen. Dieser Temperaturunterschied zwischen der höheren Temperatur des Gases in der Flasche und der Temperatur an der

¹ Technical University of Liberec, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Power Engineering Equipment, Studentská 2, 461 17 Liberec, Czech republic, karel.frana@tul.cz

² Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM), Fachbereich Gefahrgut tanks und Unfallmechanik, Unter den Eichen 44-46, 12203 Berlin, frank.otremba@bam.de

³ Brandenburg University of Technology (BTU) Cottbus – Senftenberg, Universitätsplatz 1, 01968 Senftenberg, sylvio.simon@b-tu.de, matthias.ziegenhorn@b-tu.de

Energieeffizienz im Bau- und Maschinenwesen,
25. - 27. September 2017
 Technische Universität in Liberec

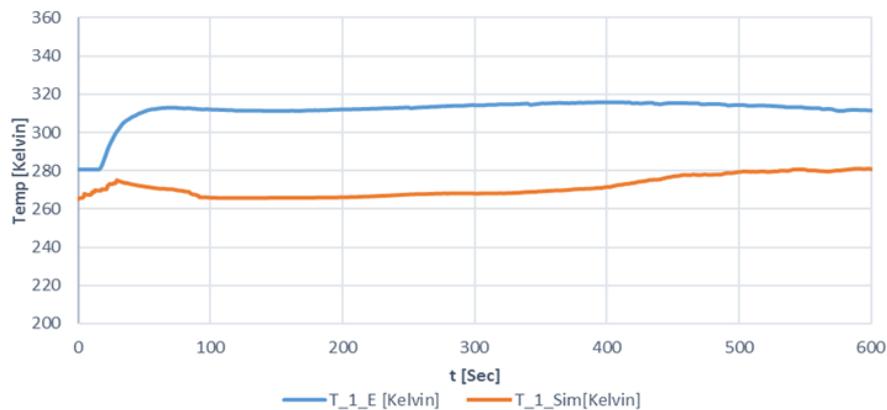


Abb.2.: Temperaturentwicklung in der Zeit bei der Füllung der Flasche

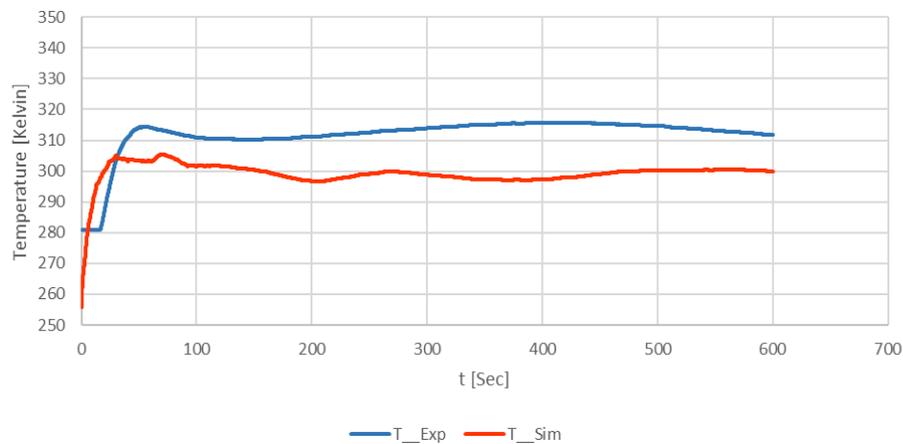


Abb.3.: Temperaturentwicklung in der Zeit bei der Füllung der Flasche

Abbildung 3 illustriert die Temperaturentwicklung für die Position 2 (siehe Abb. 1). Die größte Abweichung zwischen Experiment und Numerik wurde am Anfang der Berechnung identifiziert. Die Anfangsbedingungen basieren auf der Voraussetzung, dass die Flasche komplett leer ist. In dem realen Model muss das nicht unbedingt so sein. Nach einer bestimmten Zeit liegt der Fehler unter 6%. Für die anderen Positionen wurden ähnliche Ergebnisse festgestellt, wobei der Fehler ständig unter 6% lag.

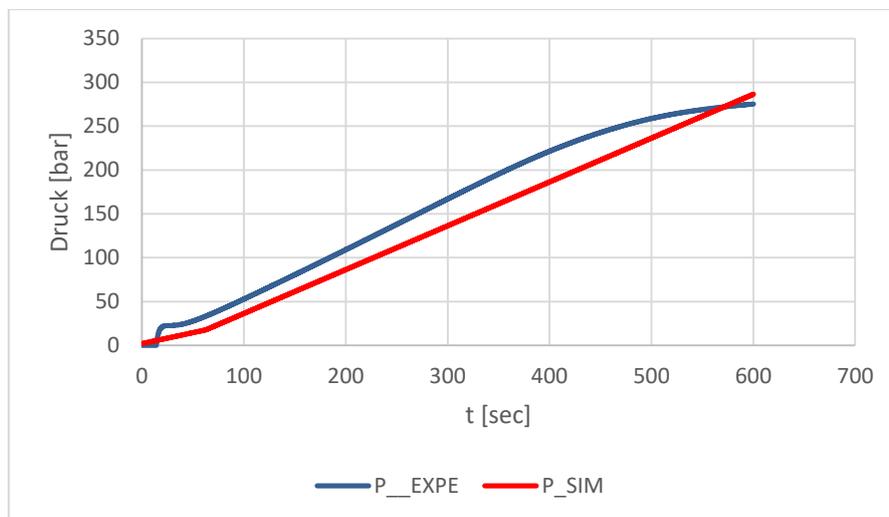


Abb.4.: Darstellung der Druckentwicklung zwischen Experiment und numerischer Simulation

**Energieeffizienz im Bau- und Maschinenwesen,
25. - 27. September 2017
Technische Universität in Liberec**

Die Abbildung 4 zeigt die Druckentwicklung durch die numerische Berechnung. Die Abweichung zwischen den numerischen Ergebnissen und den Experimenten ist für die Berechnung relativ klein eingestellt. Damit ist sichergestellt, dass der Druck am Eingang der Flasche der Realität entspricht und nur das Geschwindigkeitsfeld und das Druckfeld in der Flasche simuliert wird.

4 Zusammenfassung

Die Untersuchung des turbulenten Modells und das verwendete mathematische Verfahren ermöglicht die optimale Einstellung des Berechnungsmodells. Die durchgeführte Simulation wies daher einen maximalen Simulationsfehler in Höhe von 15% auf. Das beste Modell für die turbulente Strömung wurde mit dem **shear stress transport K- ω** gefunden. Für das reale Gas wurde das **Soave-Redlich-Kwong Modell** erfolgreich eingesetzt.

5 Danksagung

Die Entstehung dieses Konferenzbeitrages wurde vom Projekt „Grenzenlos Qualifiziert: Aufbau einer Kompetenzpartnerschaft im Bereich Bauforschung zur Qualifizierung wissenschaftlichen Nachwuchses in der Grenzregion,“ finanziert von der Sächsischen Aufbau-Bank und der Europäischen Union, unterstützt.

6 References

- [1] “Effect of load carriage on gait due to firefighting air bottle configuration” - Kiwon Park , Pilwon Hur , Karl S. Rosengren , Gavin P. Horn & Elizabeth T. Hsiao-Wecksler
- [2] “Injuries on the fireground: risk factors for traumatic injuries among professional fire fighters.” (Heineman et al. 1989 Heineman, E. F., Shy, C. M. and Checkoway, H. 1989.
- [3] “Cause, type, and workers' compensation costs of injury to fire fighters. American Journal of Industrial Medicine,” (Walton et al. 2003 Walton, S. M. 2003.
- [4] “Computational Fluid Dynamics” John D. Anderson, Jr. – University of Maryland
- [5] “Numerische und experimentelle Untersuchungen an Atemluftflaschen aus Faserverbundwerkstoffen zur Entwicklung und Validierung eines CFD-Modells mit ANSYS” - Prof. Dr.-Ing. P. U. Thamsen, Dr.-Ing. Sebastian Wulff, Moritz Will, B.Sc. - Technische Universität Berlin
- [6] “A KINEMATIC EDDY VISCOSITY MODEL INCLUDING THE INFLUENCE OF DENSITY VARIATIONS AND PRETURBULENCE” Leonard S. Cohen - United Aircraft Research Laboratories
- [7] ANSYS help file chapter: 21.1.2. Density-Based Solver
- [8] Menter, F. R. (1994), "Two-Equation Eddy-Viscosity Turbulence Models for Engineering Applications", AIAA Journal, vol. 32, no 8. pp. 1598-1605.

Übersicht über die Gleichungen für die Berechnung von ausgewählten Größen von feuchter Luft

Barak Jan¹, Frana Karel¹, Stiller Joerg²

Abstrakt: Die Arbeit liefert eine Übersicht über die grundlegenden Gleichungen für die Berechnung von ausgewählten Eigenschaften von feuchter Luft. Es wurden nur solche Gleichungen ausgewählt, die im Temperaturausmaß von 0 bis 50 Grad Celsius und einem absoluten Druck von 99.000 bis 105.000 Pascal gelten. Für jede Größe werden mehrere Gleichungen angeführt, wobei alle aus überprüften Quellen, stammen, die immer angegeben wurden.

Schlüsselwörter: feuchte Luft, Zustandsgrößen, Gleichung, Berechnung

1. Motivation

Als nichtgesättigte feuchte Luft wird eine Mischung von trockener Luft und Wasserdampf in überhitztem Zustand bezeichnet. Es handelt sich um einen Stoff, der auf der gesamten Weltkugel vorkommt und dessen vollständige Zusammensetzung von vielen Faktoren abhängt. Er kann gasförmige chemische Kontaminanten wie z. B. Radon, Kohlenmonoxid, Kohlendioxid, Stickstoffoxide, Ozon, Rauch von Tabakprodukten oder flüchtige organische Stoffe oder des Weiteren biologische Kontaminanten, wie z. B. Schimmel und Bakterien oder Legionellen enthalten. Es dürfen auch nicht die festen nicht-biologischen Teilchen wie z. B. Staub, feste Verschmutzungen oder Asbest vergessen werden. Jede der angeführten Positionen hat seine Anzeichen und bestimmte negative Wirkungen auf Personen, die der gegebenen Luft ausgesetzt sind. Es gibt eine ganze Reihe von Methoden und Empfehlungen, wie im Falle der Entfernung der einzelnen Bestandteile vorgegangen werden soll. Nennen wir z. B. die Verbesserung der Lüftung, die Reinigung des Klimakreislaufs in Gebäuden, Verbesserungen beim Entwurf von Gebäuden, Beseitigung von Baumaterialien, die Schadstoffe freisetzen oder den Effekt von Zimmerpflanzen.

Jeder Mensch reagiert auf das Milieu anders, wobei wir zu den wichtigsten Parametern des Wärme-Luftfeuchtigkeitskomforts die Temperatur der strömenden Luft, die Temperatur der umgebenden Flächen, die Luft-Strömungsgeschwindigkeit, die Luftfeuchtigkeit, die Temperaturisolationseigenschaften der Bekleidung und die körperliche Aktivität des Menschen zählen.

Aus diesen Parametern kann festgelegt werden, welche beeinflusst werden können und welche nicht. Als ganz grundlegend zeigt sich der Einfluss der relativen Luftfeuchtigkeit in bewohnten Räumlichkeiten, da - falls der Steuerung der Feuchtigkeit nicht genug Aufmerksamkeit geschenkt wird - früher oder später im Raum insbesondere Schimmel auftreten kann, der keinen guten Einfluss auf die Gesundheit der sich im untersuchten Raum befindlichen Personen hat. Es ist deshalb wichtig, die gesamte Problematik der Luftfeuchtigkeit zu verstehen, damit diesen Problemen vorgebeugt werden kann. Aus den überprüften und fachlichen Quellen wurden die Gleichungen übernommen, die ausgewählte Größen der Luftfeuchtigkeit festlegen. Die Voraussetzung für deren Berechnung ist die Kenntnis der thermodynamischen Temperatur der feuchten Luft in Grad Celsius (mit t bezeichnet), deren relative Feuchtigkeit (ϕ) und der absolute Druck (p).

2. Ausgewählte Größen

Dieser Hauptteil der Arbeit führt die konkreten Größen und Gleichungen an, deren Nutzung bei den Berechnungen empfohlen wird. Es handelt sich um eine verkürzte Liste und Auswahl der wichtigsten Parameter, die die feuchte Luft charakterisieren.

2.1 Druck des gesättigten Dampfes - p_{sv}

Der Druck des gesättigten Dampfes hängt nur von der Temperatur der feuchten Luft ab und bei den Berechnungen wird er als erstes durchgeführt, da er anschließend in mehrere Ausdrücke eingesetzt wird. Die Quelle [1] legt den Druck des gesättigten Dampfes gemäß (1) fest, wobei es nötig ist, die Temperatur in Kelvin

¹ Technical University of Liberec, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Power Engineering Equipment, Studentská 2, 461 17 Liberec, Czech republic, jan.barak@tul.cz

² Technische Universität Dresden, Institut für Strömungsmechanik, Marschnerstrasse 32, 01307 Dresden, Germany, joerg.stiller@tu-dresden.de

Energieeffizienz im Bau- und Maschinenwesen,

25. - 27. September 2017

Technische Universität in Liberec

einzusetzen (Bezeichnung: T). Die Quelle [2] bestimmt die Berechnung gemäß (2) und die Quelle [3] gemäß (3). Die Gleichung (3) wird mit dem international anerkannter Standard unter der Bezeichnung CIPM-81/91 angenommen.

$$\ln p_{sv_Ashrae} = \frac{-5800,2206}{T} + 1,3914993 - 0,048640239 \cdot T + 4,1764768 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 - 1,4452093 \cdot 10^{-8} \cdot T^3 + 6,5459673 \cdot \ln(T) \quad (1)$$

$$\ln p_{sv_Chysky} = 23,58 - \frac{4044,2}{235,6+t} \quad (2)$$

$$p_{sv_cipm} = e^{1,2378847 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 - 1,9121316 \cdot 10^{-2} \cdot T + 33,93711047 - 6343,1645 \cdot T^{-1}} \quad (3)$$

2.2 Dichte der feuchten Luft - ρ_{ha}

Der anerkannte technische Standard für die Berechnung der Dichte ist (4) gem. [3], der sich in der Fachliteratur unter der Bezeichnung CIPM 2007 findet. Diese Gleichung beinhaltet auch den Stoffmengenanteil an Kohlendioxid (x_{CO_2}) und den Kompressibilitätsfaktor (Z). Eine Alternative stellt (5) gemäß [4] dar, die die molare Masse der trockenen Luft (M_a), die universale Molkonstante (R), den Enhancement-Faktor (f) und die molare Masse des Wasserdampfes (M_v) berücksichtigt. Die theoretisch abgeleitete Gleichung ist als (6) angeführt.

$$\rho_{ha_Picard} = [3,483\,740 + 1,444\,6 \cdot (x_{CO_2} - 0,000\,4)] \cdot 10^3 \cdot \frac{p}{Z \cdot T} \cdot (1 - 0,378 \cdot x_v) \quad (4)$$

$$\rho_{ha_Tsilingiris} = \frac{p \cdot M_a}{Z \cdot R \cdot T} \cdot \left[1 - f \cdot \varphi \cdot \left(1 - \frac{M_v}{M_a} \right) \cdot \frac{p_{sv}}{p} \right] \quad (5)$$

$$\rho_{ha_teorie} = \frac{1,316 \cdot 10^{-3}}{T} \cdot (2,65 \cdot p + \varphi \cdot p_{sv}) \quad (6)$$

2.3 Taupunkttemperatur - t_{dp}

Die Berechnung der Taupunkttemperatur wird aus mehr Variablen denn nur der Temperatur bestimmt - und dies durch Verwendung der relativen Feuchtigkeit und demgemäß auch dem Druck des Wasserdampfes. Die Gleichung (7) gibt die Taupunkttemperaturberechnung gemäß [5] an Die Gleichung (8) stammt aus der Quelle [6]. Eine einfache Formel stellte [7] auf und sie ist unter (9) angeführt.

$$t_{dp_Npl} = \frac{243,12 \cdot \ln\left(\frac{p_v}{611,2}\right)}{17,62 - \ln\left(\frac{p_v}{611,2}\right)} \quad (7)$$

$$t_{dp_Magnus} = \frac{243,12 \cdot \left(\ln\varphi + \frac{17,62 \cdot t}{243,12+t} \right)}{17,62 - \left(\ln\varphi + \frac{17,62 \cdot t}{243,12+t} \right)} \quad (8)$$

$$t_{dp_Revering} = t - (14,55 + 0,114 \cdot t) \cdot (1 - 0,01 \cdot \varphi) - [(2,5 + 0,007 \cdot t) \cdot (1 - 0,01 \cdot \varphi)]^3 - (15,9 + 0,117 \cdot t) \cdot (1 - 0,01 \cdot \varphi)^{14} \quad (9)$$

2.4 Diffusivität des Wasserdampfes in die Luft - D_{av}

Sie ist eine Funktion der Temperatur und des Drucks. Die Quelle [8] bestimmt die Gleichung (10) und die Quelle [1] die Gleichung (11), die komplexer ist und kritische Temperaturen und Drücke für trockene Luft und Wasserdampf einschließt.

$$D_{av_Goodnight} = 104,91143 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{T^{1,774}}{p} \quad (10)$$

$$0,1697 \cdot \left(\frac{T}{\sqrt{132,45+373,946}} \right)^{2,334} \cdot \sqrt{\frac{1}{M_a} + \frac{1}{M_v}} \cdot \frac{D_{av_Ashrae}}{p} = \frac{(3770000 \cdot 22060000)^{1/3} \cdot (132,45 \cdot 373,946)^{5/12}}{p} \quad (11)$$

2.5 Temperatur des nassen Thermometers- t_{wb}

Dies ist die Temperatur, bei der die Temperaturen, die zum Verdampfen des Wassers in die Luft erforderlich sind, durch die Wärmeübertragung durch Konvektion aus der Umgebungsluft im isobaren Prozess entnommen werden. In mancher Literatur wird sie als Temperatur der adiabaten Kühlung bezeichnet. Die Quelle [1] definiert (12) bei Verwendung der spezifischen Feuchtigkeit (d) und der spezifischen Feuchtigkeit des gesättigten Dampfes (d_{sv}). Die Quelle [9] bestimmt (13). Die Quelle [10] bestimmt (14), aber nur für das Ausmaß der relativen Feuchtigkeit von 5 bis 99%.

$$t_{wb_Ashrae} = \frac{2\,501 \cdot d + 1,805 \cdot t \cdot d - 2\,501 \cdot d_{sv} + 1,006 \cdot t}{4,186 \cdot d - 2,381 \cdot d_{sv} + 1,006} \quad (12)$$

$$t_{wb_MVT} = -5,806 + 0,672 \cdot t - 0,006 \cdot t^2 + (0,061 + 0,004 \cdot t + 0,000099 \cdot t^2) \cdot \varphi + (-0,000033 - 0,000005 \cdot t - 0,0000001 \cdot t^2) \cdot \varphi^2 \quad (13)$$

$$t_{wb_stull} = t \cdot \tan^{-1}[0,151977 \cdot (\varphi + 8,313659)^{0,5}] + \tan^{-1}(t + \varphi) - \tan^{-1}(\varphi - 1,676331) + 0,00391838 \cdot \varphi^{1,5} \cdot \tan^{-1}(0,023101 \cdot \varphi) - 4,686035 \quad (14)$$

2.6 Dynamische Viskosität von feuchter Luft - η_{ha}

Für die Berechnung der dynamischen Viskosität ist es erst einmal notwendig, die Hilfsvariablen (15) und (16) einzuführen, in die die dynamische Viskosität der trockenen Luft (η_a) und die dynamische Viskosität des Wasserdampfes (η_v) eingesetzt werden müssen. Anschließend werden diese Hilfsvariablen in (17) eingesetzt. Die Quelle ist [11] und [12].

$$CV_{AV} = \frac{\sqrt{2}}{4} \cdot \left(1 + \frac{M_A}{M_V} \right)^{-0,5} \cdot \left[1 + \left(\frac{\eta_a}{\eta_v} \right)^{0,5} \cdot \left(\frac{M_V}{M_A} \right)^{0,25} \right]^2 \quad (15)$$

$$CV_{VA} = \frac{\sqrt{2}}{4} \cdot \left(1 + \frac{M_V}{M_A} \right)^{-0,5} \cdot \left[1 + \left(\frac{\eta_v}{\eta_a} \right)^{0,5} \cdot \left(\frac{M_A}{M_V} \right)^{0,25} \right]^2 \quad (16)$$

$$\eta_{ha} = \frac{\left[1 - f \cdot \varphi \cdot \left(\frac{p_{sv}}{p} \right) \right] \cdot \mu_a}{\left[1 - f \cdot \varphi \cdot \left(\frac{p_{sv}}{p} \right) \right] + f \cdot \varphi \cdot \left(\frac{p_{sv}}{p} \right) \cdot CV_{AV}} + \frac{f \cdot \varphi \cdot \left(\frac{p_{sv}}{p} \right) \cdot \mu_v}{f \cdot \varphi \cdot \left(\frac{p_{sv}}{p} \right) + \left[1 - f \cdot \varphi \cdot \left(\frac{p_{sv}}{p} \right) \right] \cdot CV_{VA}} \quad (17)$$

2.7 Spezifische Wärmekapazität von feuchter Luft - c_{pm}

Die Gleichung für die Berechnung hat einen sehr ähnlichen Aufbau wie (17) und wird als (18) angeführt, der [13] anführte. In diese Gleichung tritt die spezifische Wärmekapazität von feuchter Luft (c_{pa}) und Wasserdampf (c_{pv}) ein.

$$c_{pm} = \frac{c_{pa} \cdot \left[1 - f \cdot \varphi \cdot \left(\frac{p_{sv}}{p} \right) \right] \cdot M_a + c_{pv} \cdot f \cdot \varphi \cdot \left(\frac{p_{sv}}{p} \right) \cdot M_v}{M_a \cdot \left[1 - f \cdot \varphi \cdot \left(\frac{p_{sv}}{p} \right) \right] + M_v \cdot f \cdot \varphi \cdot \left(\frac{p_{sv}}{p} \right)} \quad (18)$$

2.8 Die Prandtl-Zahl - Pr_m

Diese dimensionslose Zahl wird erst bestimmt, wenn sämtliche vorausgehenden Eingangsgrößen berechnet wurden und wird mit (19) bestimmt. Die Größe k_m bezeichnet die Wärmeleitfähigkeit der feuchten Luft.

$$Pr_m = \eta_{ha} \cdot \frac{c_{pm}}{k_m} \quad (19)$$

2.9 Enthalpie -h

Die Quelle [14] verwendet (20) zur exakten Berechnung der Enthalpie. Diese Gleichung ist die Funktion der Temperatur und relativer Feuchtigkeit. Die theoretisch abgeleitete Gleichung ist als (21) angeführt.

$$h = \frac{(1,007 \cdot t - 0,026) + (2493,59 + 0,478 \cdot t - 0,01797 \cdot t^2) \cdot \frac{p_a \cdot 10}{\varphi} \cdot \frac{2,193146 + 0,065876 \cdot t}{1,78407 + 0,007594 \cdot t} + 1,555267}{0,622} - 0,378 \quad (20)$$

$$h_{teor} = c_{pa} \cdot t + d \cdot (2500 \cdot 10^3 + c_{pv} \cdot t) \quad (21)$$

3. Anwendung

Die oben angeführte Gleichung, die die thermodynamischen Eigenschaften von feuchter Luft beschreibt, dient zu deren Implementation ins Programm ANSYS CFX. Dieses wird vom Autor verwendet, um die Menge an Kondensat im Bodenwärmetauscher vorherzusagen und gleichzeitig die zwischen den Aluminiumlamellen des Wärmetauschers auftretenden Phänomene zu visualisieren. Bild 1 veranschaulicht die Entwicklung des Massenanteils von Wasserdampf bei der Strömung von feuchter Luft durch den Wärmetauscher. Diese wird durch einen Tangentialventilator aus dem Raum angesaugt und in den Berechnungsbereich im rechten unteren Eck des Bildes transportiert. Daraufhin strömt diese feuchte Luft zwischen den Kühlungslamellen des Wärmetauschers und Bild 1 zeigt diese aus der senkrechten Ebene. Während des beschriebenen Phänomens kommt es zur Abkühlung der feuchten Luft. Diese verlässt das Berechnungs-Wirkungsgebiet an der oberen horizontalen Fläche des Bildes. Der Einfluss der Geometrie und die Änderung der Luftfeuchtigkeit ist deutlich sichtbar.

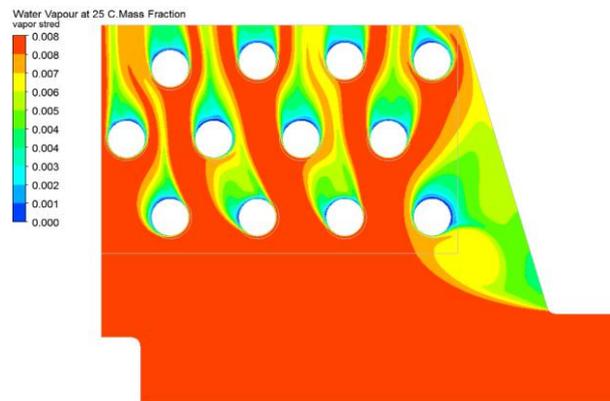


Bild 1 Massenanteil des Wasserdampfes der feuchten Luft bei deren Strömung zwischen den Kühlrippen des Wärmetauschers

4. Zusammenfassung

Die vorgelegte Arbeit gibt einen kurzen Überblick über die genauen Berechnungen von ausgewählten Größen von feuchter Luft. Gleichzeitig werden die Quellen angegeben, aus denen geschöpft wurde. Der Mehrwert dieser Arbeit ist die Tatsache, dass solch eine Übersicht sonst nirgends aufgefunden wurde.

Danksagung

Die Entstehung dieses Konferenzbeitrags wurde vom Projekt ‚Grenzenlos Qualifiziert: Aufbau einer Kompetenzpartnerschaft im Bereich Bauforschung zur Qualifizierung wissenschaftlichen Nachwuchses in der Grenzregion‘, finanziert von der Sächsischen Aufbau-Bank und der Europäischen Union, unterstützt.

Verwendete Quellen

- [1] ASHRAE Handbook 2001 Fundamentals, 2001, ASHRAE, Atlanta. ISBN-1-883413-87-7
- [2] Chyský, J. - Hemzal, K. a kol.: Větrání a klimatizace - Technický průvodce 31.; Bolit-B press, 1993
- [3] Picard, A., Davis R., Glaeser M., Fujii K., Revised formula for the density of moist air (CIPM-2007), Metrologia, 2008, doi:10.1088/0026-1394/45/2/004
- [4] Tsilingiris, P.T.: Thermophysical and transport properties of humid air at temperature range between 0 and 100 0C, Energy Conversion and Management, 2008, doi:10.1016/j.enconman.2007.09.015
- [5] NPL, "A guide to the Measurement of Humidity", The Institute of Measurement and Control, 1996
- [6] Sensirion, Application Note Dew-point Calculation, dostupné online na: http://irtfweb.ifa.hawaii.edu/~tcs3/tcs3/Misc/Dewpoint_Calculation_Humidity_Sensor_E.pdf
- [7] Andrew Revering's List of Meteorological Formulas, dostupné online na: <https://www.aprweather.com/pages/calc.htm>
- [8] Goodnight, J.; Membrane based dehumidification and evaporative cooling using wire mesh media, diplomová práce, Kansas State University, Department of Mechanical Engineering, 2007
- [9] Mountain View Technologies, Inc., Wet Bulb Calculator, internetová aplikace na adrese: <http://www.the-snowman.com/wetbulb2.html>
- [10] Stull Roland, "Wet-bulb Temperature from Relative Humidity and Air Temperature", University of British Columbia, Vancouver, Canada, 2011, DOI:10.1175/JAMC-D-11-0143.1
- [11] Irvine, TF, Liley P., Steam and gas tables with computer equations, San Diego, Academic Press, 1984
- [12] Rohsenow, WM., Hartnett, JP., Cho, YI, Handbook of heat transfer, Third edition, McGraw-Hill, 1998
- [13] Wong, GSK, Embelton TFW: Variation of specific heats and of specific heat ratio in air with humidity, J Acoust Soc Am, 1984
- [14] Massen F., Calculating moist enthalpy revisited

Energieeffizienz in Gebäuden

Karel Fraňa¹, Tomáš Kořínek¹, Jan Barák¹ a Josef Eger¹

Abstrakt: Die Energieeffizienz in Gebäuden wurde in Heizungs- und Kühlungsanlagen experimentell und numerisch analysiert. Die Strömungseigenschaften und Lufttemperaturen am Eintritt und Austritt von den Anlagen definieren ausreichend den Energiewirkungsgrad. Gleichzeitig beeinflussen die Ausströmung von der Anlage auch den Raumkomfort und die Klimabedingungen. Durch die numerische Berechnung (Computational Fluid Dynamics – CFD) wurden die Strömungseffekte und die Temperaturverteilung im Wärmetauscher identifiziert, die zur optimalen Durchströmung und Wärmeübertragung beigetragen haben, diese zu verbessern. CFD wurde auch erfolgreich für die Kondensation der Luftfeuchtigkeit in der Kühlungsanlage angewendet und die Ergebnisse wurden mit dem Experiment validiert.

Schlüsselwörter: Heizung, Kühlung, Energieeffizienz, numerische Berechnung, Komfort

1. Einleitung

Wohngebäude und gewerbliche Gebäude verbrauchen weltweit im Durchschnitt ca. 30% vom gesamten Energieverbrauch [1]. Dies sind davon bei Wohngebäuden ungefähr 75% und bei gewerbliche Gebäuden dann 25% vom gesamten Energieverbrauch im Gebäudesektor. Der Großteil von 60% vom Energieverbrauch repräsentiert die Heizung, die Kühlung und die Warmwasserbereitung. Die Energienutzung in Gebäuden bei der Heizung hat sich zwischen Jahren 2002 – 2012 relativ positiv entwickelt, weil das Bevölkerungswachstum um 13% gestiegen ist, aber der Energieverbrauch für Heizungen nur um 5% in Wohngebäuden und 7% in gewerbliche Gebäuden gestiegen ist. Das zeigt auch auf, dass die Maßnahmen in diesen Bereich erfolgreich eingesetzt und implementiert wurden. Leider ist die Situation bei der Gebäudekühlung umgekehrt, wo der Energieverbrauch um 43% vergrößert wurde. Das größere Bevölkerungswachstum wurde in den Ländern beobachtet, wo die intensive Gebäudekühlung gerade erforderlich ist und die Heizung aufgrund der relativ stabilen Temperatur im ganzen Jahr keine Rolle mehr spielt. Da die Energieanforderung an die Kühlung energetisch wesentlich intensiver ist als für die Heizung (3-mal so hoch), führte das weltweit zu einem Energieverbrauchanstieg.

1.1 Weltweiter Energieverbrauch in den Jahren 2002 - 2012

Die Abbildung 1 illustriert den gesamten Energieverbrauch in Gebäuden zwischen den Jahren 2002 und 2012, dargestellt in Petajoule (PJ).

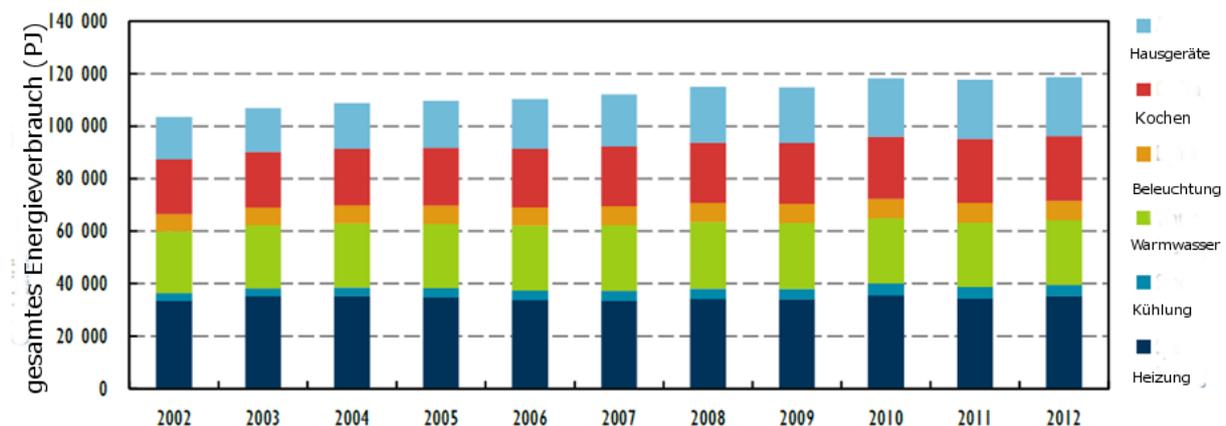


Abb. 1.: gesamter Energieverbrauch für die Jahre von 2002 bis 2012

Im Jahre 2002 wurden in Gebäuden weltweit etwas mehr als 100 000 PJ Energie verbraucht, wobei für Heizung 36 000 PJ, Kühlung 20 000 PJ und für Warmwasserbereitung ungefähr 21 000 PJ anfielen. Den Rest repräsentiert Beleuchtung, Kochen und kleine Hausgeräte. Im Vergleich zum Jahr 2002, wurden im Jahr 2012 fast 40 000 PJ Energie für die Heizung und Kühlung (um 6% mehr als im Jahr 2002) genutzt. Für die kleinen

¹ Technische Universität in Liberec, Maschinenwesen, Lehrstuhl für Energieanlagen, Studentská 2, 461 17 Liberec, Tschechien, karel.frana@tul.cz, tomas.korinek@tul.cz, jan.barak.js@gmail.com

Hausgeräte ist der Energieverbrauch von 10000 PJ auf 21 000 PJ gestiegen. Das entspricht einer Erhöhung um den Faktor 2. Diese Intensivierung des Energieverbrauchs entspricht der gesamten Vergrößerung von 16 000 PJ. Zum Vergleich: Der gesamte Energieverbrauch in Deutschland betrug im Jahr 2016 ungefähr 13400 PJ.

1.2 Prognose

Die Internationale Energieagentur (IEA) schätzt dass die Energienutzung in Gebäuden bis 2040 jährlich um 1,6% steigen wird. Falls die neuen Maßnahmen für die Energieeinsparung, die als ‚New Policies Scenario‘ bekannt sind, durchgesetzt werden, sinkt diese Erhöhung auf die Ebene von 0,9%. Es ist weiter zu erwarten, dass den größten Anteil an der Erhöhung des Energieverbrauchs der Dienstleistungssektor verursachen wird. Um diese maximale Grenze des jährlichen Wachstums von 0,9% nicht zu überschreiten, müssen neue Maßnahmen in Richtung der Gebäudeeffizienz eingeführt werden. Dazu werden weiter neuen Ergebnisse aus der Forschung und Innovation erforderlich sein. Eine weitere Unterlage zur Energieeffizienz kann man in [5] finden.

1.3 Forschung

In den letzten Jahren wurde experimentelle und numerische Untersuchungen durchgeführt, um existierende Bodenheizungsanlagen zu verbessern und die Energieeffizienz weiter zu vergrößern. Da die durchgeführten Konstruktionsänderungen in Bodenheizungsanlagen eine zusätzliche Überprüfung erfordern würde, wurde eine offene Klimakammer für Tests der Bodenheizungsanlagen gebaut. Die gefundenen experimentelle Ergebnisse werden in Kapitel 2 vorgestellt und diskutiert. Kapitel 3 beinhaltet die numerischen Ergebnisse, die die experimentellen Ergebnisse weiter ergänzen können. Kapitel 4 fasst die Ergebnisse zusammen und zeigt die weitere mögliche Forschungsentwicklung.

2. Experimentelle Ergebnisse

Die experimentellen Arbeiten wurden entweder auf die Strömung und den Wärmeübergang im Wärmetauscher fokussiert oder auf die Ausströmung von der Bodenheizungsanlage [3]. Die Strömung und Wärmeübertragung in der Anlage bestimmt die gesamte Energieeffizienz, die Ausströmung hat einen Einfluss auf die Lufttemperatur – und Luftgeschwindigkeitsverteilung im Raum. Das kann wiederum den Komfort und das Raumklima beeinflussen [7].

2.1 Luftströmung am Austritt von der Anlage

Die Abbildung 2 beschreibt die Neigung der Ausströmung für unterschiedliche Luftdurchflüsse. Mit dem steigenden Luftdurchfluss verändert sich die senkrechte Ausströmung auf die geneigte Ausströmung. Diese Orientierungsveränderung der Luftausströmung beeinflusst wiederum die resultierende Strömung im gesamten Raum.

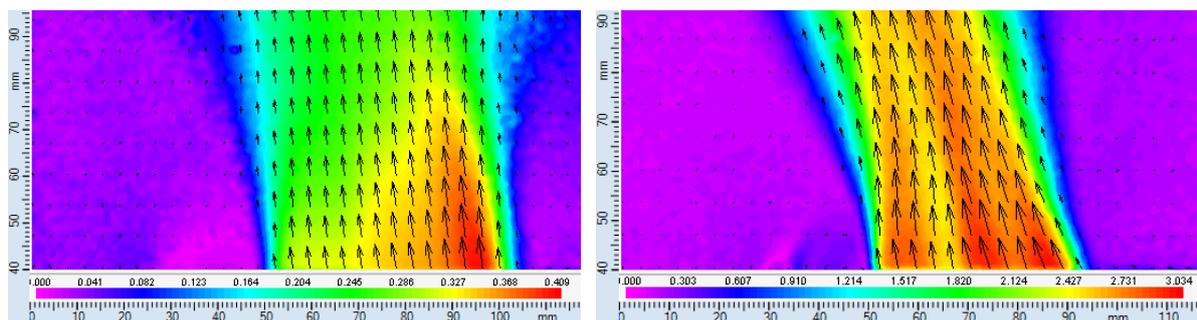


Abb. 2 Die Geschwindigkeitsverteilung der Luftausströmung, gemessen mit PIV für die Drehung des Gebläses 350min^{-1} (links) und 1500min^{-1} (rechts)

Die erwärmte Luftströmung am Austritt strömt unter einem bestimmten Winkel in den Raum. Die Abweichung von der vertikalen Achse (senkrechte Ausströmung) ist von dem Luftdurchfluss, d. h. von der Drehzahl des Gebläses abhängig. Je größer dieser Luftdurchfluss ist, desto geneigter ist die Ausströmung (siehe Abbildung 3). Die Neigung der Strömung ist auch von der Abdeckung des Wärmetauschers am Austritt abhängig [3].

**Energieeffizienz im Bau- und Maschinenwesen,
25. - 27. September 2017
Technische Universität in Liberec**

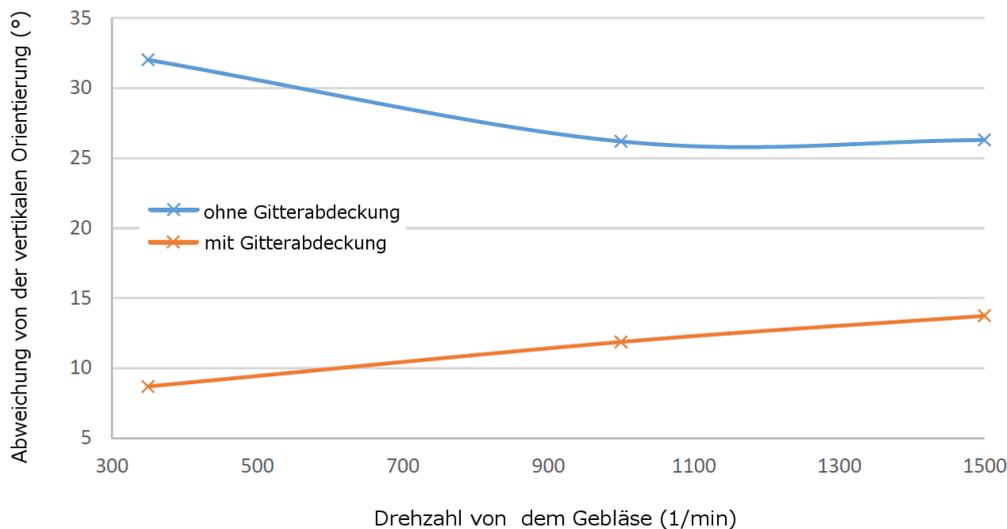


Abb. 3.: Die Abweichung der Ausströmung von der vertikalen Achse

2.2 CO₂ Minderung

Wegen der besseren thermischen Isolierung der Gebäudekonstruktion und kompakteren Fenstern reicht die restliche Lüftung nicht für den ausreichenden Frischluftumtausch. In Folge wächst die CO₂-Konzentration in besetzten Räumen ständig an. Das ist besonders sichtbar in Gebäuden, wo eine größere Konzentration von menschlichen Aktivitäten auftritt [11]. Da die zusätzliche Frischluft-Lüftung wiederum einen Energieverlust bedeutet, bietet sich die Möglichkeit, die aktive Oberfläche für die CO₂-Aufnahme in Heizungs- oder Kühlungsanlagen anzuwenden [2]. Dieses spezifische Oberflächenmaterial arbeitet in zwei unterschiedlichen Betriebsmodi, bei kleineren Temperaturen wird CO₂ gespeichert und bei größeren wieder freigesetzt. Mit welchen Perioden dieser Effekt der CO₂-Speicherung optimal läuft, wird jetzt zur Zeit erforscht.

3. Numerische Ergebnisse

Die numerische Berechnung wird heutzutage für unterschiedliche Untersuchungen der Strömungs- und Wärmeübertragung eingesetzt, um die Effekte, die diese Prozesse stark beeinflussen, zu identifizieren und weiter zu studieren. Die numerische Simulation wurde in verschiedenen Anwendungen im Bauwesen erfolgreich angewendet [8] und [6].

3.1 Wärmetauscher-Simulation

Die Abbildung 4 illustriert die zeitgemittelte Geschwindigkeitsverteilung für unterschiedlich geneigte Wärmetauscher. Die Abbildung 4 (links) illustriert den Konstruktionsentwurf, wo der maximale Luftdurchfluss von 193 m³/h bei einer maximalen Umdrehungszahl des Gebläses erreicht wurde. Die durchschnittliche Temperatur am Austritt wurde mit 49°C gemessen. Die Variante (Abb. 4, rechts) beschreibt die Veränderung der Wärmetauscherlage, die zu der Steigerung des Luftdurchflusses von 201 m³/h und Temperatur von 53 °C führte. Der Einfluss von der strukturierten Oberfläche an der Wärmeübertragung wurde numerisch separat durchgeführt [4]. Für die gesamte Geometrie des Wärmetauschers wird dieses Detail vernachlässigt, die Oberflächen werden als glatt betrachtet.

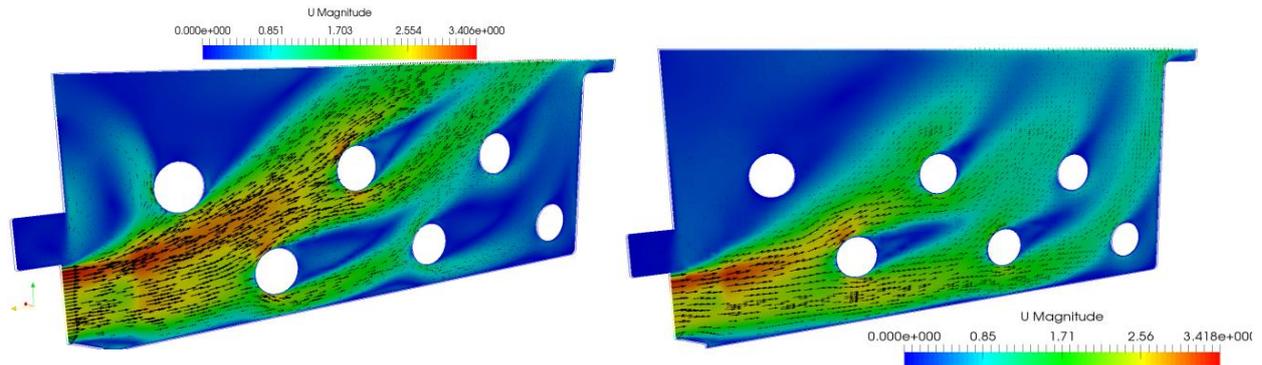


Abb. 4.: Geschwindigkeitsverteilung für unterschiedliche Neigungen des Wärmetauschers

3.2 Kondensation durch die Luftkühlung

Die Abbildung 5 demonstriert die Veränderung des Wassergehalts der Luft durch die Kondensierung. Der Wassergehalt wurde von der Veränderung des trockenen Luftgehalts abgeleitet [9].

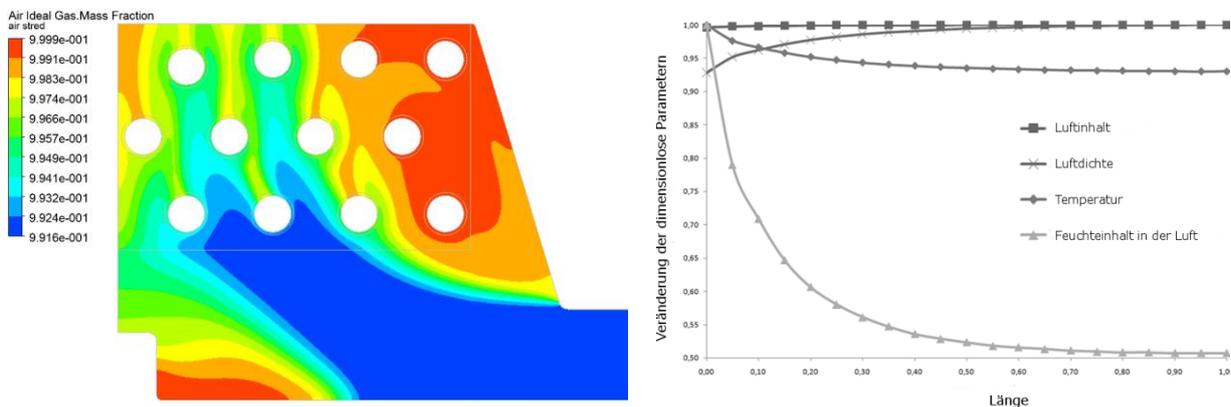


Abb. 5.: Die Veränderung des trockenen Luftgehalts (links) und die Verläufe der Parameter durch die Kondensation (rechts)

Am Eintritt der Anlage wurde das Masseverhältnis, definiert als Quotient zwischen Feuchtigkeit und trockener Luft, mit 0,0084 bestimmt und am Austritt wurde die Feuchtigkeit, wegen der Kondensierung im Durchschnitt, mit einem Masseverhältnis von 0,002 gemessen. Das entspricht einer Kondensierung des Wassergehalts von 0,0064 der trockenen Luftmenge. Ein Test der Strömung mit der Kondensierung der Feuchtigkeit wurde in Abb. 5 dargestellt [10]. Durch den Verlauf sank die Temperatur wegen der Luftkühlung und der Wassergehalt in der Luft nahm wegen Kondensierung ab. Eine gänzlich umgekehrte Beobachtung wurde für den Dichteverlauf gemacht, dieser nahm wesentlich zu. Die entdeckten numerischen Ergebnisse haben das Anwendungspotenzial für die Kondensationsberechnung demonstriert.

3.3 Berechnung der Absorption und Desorption von CO₂-Gas

Die Abbildung 6 zeigt die Absorption (links) und Desorption (rechts) des CO₂-Gases, das mit der Numerik untersucht wurde. Die Simulation wurde in OpenFOAM berechnet. Dieser Prozess ist voll von der Temperatur abhängig und steuerbar. Zuerst wird das CO₂-Gas im Material absorbiert, bis ein bestimmtes Gleichgewicht zwischen dem CO₂-Gehalt im Aktivmaterial und der Umgebung nicht erreicht wird. Danach wird die Temperatur des Materials erhöht und dieser Prozess wird umgedreht. Das CO₂-Gas wird kontinuierlich wieder freigesetzt. Auf diese Weise kann dieser Prozess der Absorption und Desorption von CO₂-Gas unendlich verlaufen. Die reale Anlage wird mit Oberflächen von aktiven Materialien ausgestattet und durch die Temperaturveränderung und die Strömungsmodi wird die CO₂-Konzentration gesteuert.

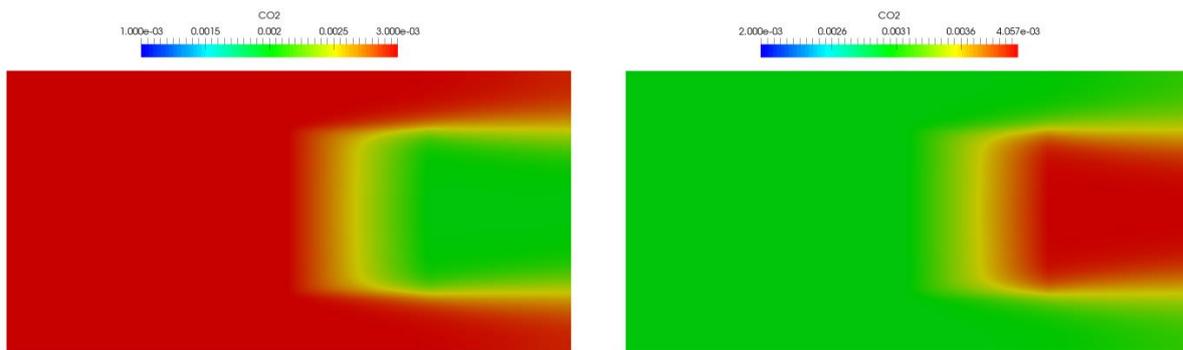


Abb.6.: Die Simulation der CO2 Absorptionen und Desorption

4. Zusammenfassung

Die Forschung im Bereich der Anlageoptimierung für Heizung und Kühlung wurde präsentiert. Mit der Hilfe des Experiments wurde die Geschwindigkeit- und Temperaturverteilung am Eintritt und Austritt bestimmt, die für die Berechnungen der gesamten Anlageleistung weiter eingesetzt werden können. Da die Luftausströmung von der Anlage die Klima und Komfortbedingungen in Räumen wesentlich beeinflusst, wurden die Luftgeschwindigkeiten und die Strömungsorientierung experimentell untersucht. Der Effekt der Abdeckung der Anlagen an der Luftausströmung wurde ebenfalls gemessen. Um die Energieverluste zu verkleinern, muss der Frischluftumtausch wegen der CO₂-Steigerung in Räumen für die Studien berücksichtigt werden. Je kleiner der Frischluftumtausch gewählt wird, desto mehr Energie kann man einsparen. Die CO₂-Konzentration in der Luft kann auch mit der Absorbierung in geeignete Materialien abgesenkt werden. Damit wird der Luftumtausch reduziert und gleichzeitig eine bestimmte Luftqualität oder Komfort garantiert. Die numerische Berechnung der Strömung und Temperaturverteilung kann detaillierte Ergebnissen anbieten, die bei der Konstruktionsoptimierung helfen können. Mit CFD wurde die optimale Lage des Wärmetauschers identifiziert, um die maximale Leistung zu bekommen. Die numerische Berechnung wurde auch für die Feuchtigkeitsbestimmung erfolgreich eingesetzt, um die Wassergehaltsveränderung durch die Kondensierung zu bestimmen.

Danksagung

Die Entstehung dieses Konferenzbeitrags wurde vom Projekt ‚Grenzenlos Qualifiziert: Aufbau einer Kompetenzpartnerschaft im Bereich Bauforschung zur Qualifizierung wissenschaftlichen Nachwuchses in der Grenzregion‘, finanziert von der Sächsischen Aufbau-Bank und der Europäischen Union, unterstützt.

References

- [1] IEA, Energy Efficiency. Market Report 2015
- [2] Korinek T., Frana K. A dispersion study of CO₂ in a closed area. AIP Conference Proceedings 2016; 1745:1-5.
- [3] Egert, J., Frana, K. Investigation of Airflow inside Floor Convectors and its Surrounding. Manufacturing Technology 2015, No.6, 2015
- [4] Frana, K., Simon S. Air Flows along Perforated Metal Plates with the Heat Transfer. World Academy of Science, Engineering and Technology. International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering, Vol. 9, No.8; 2015:1469-1474
- [5] Pehnt, M., Energieeffizienz, Springer Verlag Berlin Heidelberg 2010
- [6] Allocca, C., Chen, Q. and Glicksman, L.R. Design analysis of single-sided natural ventilation. Energy and Building 35, 2003:785-795
- [7] ISO 7730, 2005 Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria
- [8] Nielsen P.V., Allard F., Awbi H.B., Davidson L., Schälin A. Computational Fluid Dynamics in Ventilation Design. *Rehva*, 2007

Energieeffizienz im Bau- und Maschinenwesen,

25. - 27. September 2017

Technische Universität in Liberec

- [9] Barak J., Frana K., Stiller J. Condensation of Moist Air in Heat Exchanger Using CFD. World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Mathematical, Computational, Physical, Electrical and Computer Engineering Vol 8, No 1, 2014, waset.org/Publication/9997253
- [10] Barak J., Frana K. CFD Modeling of Moist Air Condensation Using Standard Commercial Software. AEaNMiFMaE, Žilina, Slovak republic, 2014
- [11] The indoor Environment, Climate change and Health, Institute of Medicine of the National Academies, Washington. 2011

Das Temperaturfeld und die Eigenschaften von halbdurchlässigen porösen Körpern bei einer Erwärmung durch Strahlung

Glazov Vasilij S.¹, Afonina Galina N.², Voelker Eduard K.³, Savchenkova Natalia M.

Abstrakt: *Die Publikation zeigt ein nicht stationäres Modell des Temperaturfeldes eines halbdurchlässigen porösen Stoffes, welches die Anfangsphase einer Erwärmung mit dominierender Energiezufuhr durch Strahlung sowie die Beziehung zwischen optischen und strahlungsthermischen Eigenschaften solcher Stoffe berücksichtigt.*

Schlüsselworte: Thermische Eigenschaften, Temperaturfeld, thermische Strahlung, halbdurchlässige poröse Körper

1. Einleitung

Das Material Holz wird mit Hilfe von Konvektion oder durch Infrarot (IR) verarbeitet, um Eigenschaften wie Feuchtigkeitsbeständigkeit und eine Beständigkeit gegen biologische Einwirkungen zu erhalten. Ähnliche Verfahren existieren ebenfalls bei der Verarbeitung von Textilien. In beiden Fällen ist die Qualität des verarbeiteten Produktes abhängig von den Zustandsdaten des Prozesses. Diese können durch Kenntnis der am Prozess beteiligten wärmephysikalischen Stoffeigenschaften bestimmt werden. Das Wissen über Stoffparameter ermöglicht einen rationellen Ansatz zur Intensivierung und Optimierung des wärmetechnischen Prozesses sowie eine Verbesserung der Methoden und Prüfmittel des Temperaturzustandes von Körpern und ihren Oberflächen. Hierbei ist es wichtig, die Trägheitsmerkmale des Wärmetransportmechanismus im Raum und in der Zeit zu berücksichtigen.

2. Aufgaben der Arbeit

Aufgrund der Fremdversorgung existiert bei der IR-Bestrahlung des flachen halbdurchlässigen porösen Körpers der Volumenmechanismus der Strahlungsabsorption. Dieser Mechanismus kann in der Anfangsphase der Erwärmung dominieren. Es ist sinnvoll:

1. Den Einfluss der Materialdicke, auf die Reflexionsfähigkeit des Stoffes zu untersuchen.
2. Eine Lösung zu finden, die das Temperaturfeld in der Materialdicke beschreibt.
3. Den Charakter der Verbindung zwischen Materialeigenschaften und Temperaturfeld herzustellen, welcher sich unter dem Einfluss einer Fremdversorgung durch Strahlung ausbildet.

3. Theorie und Experiment

1. Die theoretische Analyse der Veränderlichkeit des Körperreflexionsgrades in Abhängigkeit von der Materialstärke zeigt, dass bei einer Verdopplung die Gleichheit erreicht wird:

$$r(2\delta) = A \cdot [r(\delta)/A]^{1/2} \quad (1)$$

Die Verarbeitung der experimentellen Daten erlaubt die Feststellung, dass für einige Materialien die Größe $\Omega = r^2(2\delta) / r(\delta)$ leicht variiert. Aus der Gleichheit $A \cong \text{const.}$ und der Berücksichtigung der Randbedingung folgt die Rekursionsformel $r(2^{n-1} \cdot \delta) = R[r(\delta)/R]^m$, mit $m = 2^{1-n}$. Ihre Ablesbarkeit wird mittels der formalen Substituierung m zu δ/x hinwegräumt.

Der resultierende Ausdruck wird durch die Approximation der Daten [1] mit der Abhängigkeit $r(x) = R \exp(-B/x)$ und mit der dabei entstehenden Fehlerbewertung überprüft. Diese lag bei 2÷5% für das Papier, das Holz und die Seide.

2. Die Gleichung, die das Temperaturfeld einer halbdurchlässigen porösen Platte bei einem beherrschenden Einfluss der externen Strahlung über Wärmeleitfähigkeit und unter Berücksichtigung der Abhängigkeit der Reflexionsfähigkeit von der Materialdicke beschreibt, hat die Form:

¹ Moskauer Energetische Universität, Institut für die Probleme der Energieeffizienz, Fakultät für Wärme- und Stoffübertragung Prozesse und Anlagen, ul. Krasnokasarmennaja 12-14, 111250 Moskau, Russische Föderation, mamurik@bk.ru

² Moskauer Energetische Universität, Institut für die Probleme der Energieeffizienz, Fakultät für Wärme- und Stoffübertragung Prozesse und Anlagen, ul. Krasnokasarmennaja 12-14, 111250 Moskau, Russische Föderation, gal.afonina2010@yandex.ru

³ Brandenburgische Technische Universität, Fakultät für Klimagerechtes Bauen und Betreiben, Platz der Deutschen Einheit 1, 03046 Cottbus, Deutschland.

Energieeffizienz im Bau- und Maschinenwesen,

25. - 27. September 2017

Technische Universität in Liberec

$$\frac{dT(x, \tau)}{d\tau} = \frac{qRb \cdot e^{-b/x-k \cdot x}}{c \cdot x^2} + \frac{q[1 - R \cdot e^{-b/x}]k \cdot e^{-k \cdot x}}{c} \quad (2)$$

Bei bekannter Anfangstemperatur θ der betrachteten Platte hat der Gleichung (2) die Lösung:

$$T(x, \tau) = \theta + \frac{q}{c} \tau \left[R \left(-k + \frac{b}{x^2} \right) e^{-b/x} + k \right] \cdot e^{-k \cdot x} \quad (3)$$

Aus der Lösung von Gleichung (3) folgt die lineare Temperaturänderung über der Zeit in jedem Punkt der halbdurchlässigen Platte, wenn folgende Bedingung erfüllt ist:

$$a \frac{\partial^2 T(x, \tau)}{\partial x^2} \ll -\frac{1}{c} \cdot \frac{\partial}{\partial x} \{ q [1 - R e^{-b/x}] e^{-k \cdot x} \} \quad (4)$$

3. Die effektive spezifische Wärmespeicherfähigkeit des porösen Mediums wird durch folgende Formel bestimmt:

$$c_{ef}(T) = (1 - f)c_s(T) + f c_g(T)$$

Der gesuchte Wert des Absorptionskoeffizienten wird graphisch oder iterativ aus folgendem Ausdruck bestimmt:

$$\frac{\tau_1}{\tau_2} = \frac{b/x_2^2 - k + k/R}{b/x_1^2 - k + k/R} \cdot e^{-k(x_2-x_1)} \quad (5)$$

4. Fazit

1. Im Laufe der theoretischen und experimentellen Untersuchungen wurde die Abhängigkeit der Reflexionsfähigkeit des halbdurchlässigen porösen Körpers von seiner Dicke eingestellt.
2. Es werden die Bedingungen bestimmt, bei denen die Veränderlichkeit des Temperaturfeldes einer halbdurchlässigen porösen Platte linear ist und der Anfangsphase ihrer Erwärmung entspricht, d.h. wenn die Wärmeübertragung durch die Strahlung, die aus der Fremdversorgung hervorgeht, die Wärmeleitfähigkeit und die eigene Strahlung der betrachteten Platte dominiert.
3. Eine Methode wird vorgeschlagen, die es ermöglicht, durch das Temperaturfeld des halbdurchlässigen porösen Materials den Absorptionskoeffizienten bei einer dominierenden Energiezufuhr durch Strahlung zu bestimmen.

Referenzen

- [1] Ilyasov S. G., v. V. Krasnikov, Physikalische Grundlagen der Infrarot-Bestrahlung der Lebensmittel. - M.: Lebensmittelindustrie, 1978. - 360 s.

Energieeffizienz im Bestandswohnungsbau

Doreen Großmann¹, Prof. Dr. Bernd Hirschl, Prof. Dr. Kathrin Lehmann, Prof. Dr. habil. Sylvio Simon

Abstrakt: *Damit die deutsche Energiewende gelingen kann, muss es zu einer deutlichen Energieeffizienzsteigerung im Wohngebäudebestand kommen. Der Großteil der Ein- und Zweifamilienhäuser werden vom selbstnutzenden Eigentümer zumindest teilweise bewohnt und weisen einen unzureichenden Wärmeschutz auf. Neben der (gebäude)technischen Planung und Ausführung von Sanierungsmaßnahmen sind für private Ein- und Zweifamilienhausbesitzer ökonomische und soziodemografische Rahmenbedingungen wichtige Einflussfaktoren bei der Entscheidung für oder gegen eine energetische Sanierungsmaßnahme.*

Schlüsselwörter: Energieeffizienz, Gebäude, Sanierung, Sanierungsrücklage

Einleitung

Ein Drittel des Endenergieverbrauchs Deutschlands wird für die Erzeugung von Raumwärme und Warmwasser benötigt (BMWi 2017). Besonders hoch ist der Anteil bei privaten Haushalten, hier werden sogar 82% des Endenergieverbrauchs für Raumwärme und Warmwasser benötigt (ebenda). Dabei spielt die Raumwärme die dominierende Rolle, ca. 68% der Endenergie privater Haushalte werden für die Raumwärme und nur 14% für die Warmwassererzeugung benötigt (ebenda).

Ein Großteil der rund 19 Millionen Wohngebäude in Deutschland wurden vor dem Inkrafttreten der ersten Wärmeschutzverordnung im Jahr 1977 errichtet (Zensus 2014), d.h. diese Gebäude haben keinen bzw. einen unzureichenden Wärmeschutz. Bei Wohngebäuden dominieren Ein- und Zweifamilienhäuser, diese machen einen Bestand von 82% aus; der überwiegende Teil ist im Privatbesitz und wird vom Eigentümer selbst bzw. zumindest teilweise selbst bewohnt. Ein Großteil der Ein- und Zweifamilienhäuser (80%) wurden vor 1991 errichtet und sind damit mittlerweile mehr als 25 Jahre alt, d.h. bei dem Großteil der Gebäude stehen mehr oder weniger umfangreiche Sanierungs- und Erhaltungsarbeiten an.

Die Bundesregierung beschloss mit dem Energiekonzept im Jahr 2010 den Energieverbrauch im Gebäudesektor deutlich zu reduzieren, so soll der Wärmeverbrauch bis zum Jahr 2020 um 20% (zum Basisjahr 2008) reduziert und die Gebäude bis zum Jahr 2050 nahezu klimaneutral werden (Bundesregierung 2010). Dies kann nur gelingen, wenn die energetische Sanierungsrate, die derzeit geschätzt bei ca. einem Prozent liegt, nahezu verdoppelt wird. Dazu ist es wichtig nicht nur die technische Ausführung von energetischen Sanierungsmaßnahmen in den Blick zu nehmen, sondern auch die ökonomischen und soziodemografischen Rahmenbedingungen zu betrachten.

An der Fakultät 3 der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus-Senftenberg laufen bzw. werden verschiedene Projekte, die sich diesem Themenschwerpunkt widmen.

Einfluss von soziodemografischen Rahmenbedingungen

Die regionalökonomische Situation scheint einen geringen Einfluss auf die Art und den Umfang von energetischen Sanierungen zu haben. Untersucht wurden in dem Projekt „Gebäude-Energiewende“ zwei aneinandergrenzende Regionen mit gegenläufiger Wachstumsperspektive und daraus resultierender deutlich differierenden soziodemografischen Merkmalen. Es zeigte sich, dass in der wachsenden Region im Vergleich zu der schrumpfenden Region keine generellen Unterschiede im energetischen Sanierungsverhalten von Ein- und Zweifamilienhaus-Besitzern erkennbar sind. In beiden Regionen liegt der Anteil der sanierten Gebäude sowie die energetische Sanierungsrate etwa gleich hoch. Erklärt werden kann dies, da selbstnutzende Ein- und Zweifamilienhaus-Besitzer ihre Entscheidung für oder gegen eine Sanierung vor allem vor dem Hintergrund der Eigennutzungsperspektive des Gebäudes treffen (Weiß, J. et. al. 2016).

¹ Brandenburgische Technische Universität (B-TU) Cottbus-Senftenberg, Universitätsplatz 1, DE-01968 Senftenberg, +49 3573-85 506, doreen.grossmann@b-tu.de

Langfristige Finanzierung von energetischen Sanierungsmaßnahmen – Die Energetische Sanierungsrücklage

Private Gebäudebesitzer von Ein- und Zweifamilienhäusern finanzieren energetische Sanierungsmaßnahmen bisher vorwiegend aus Eigenkapital. Damit ein klimaneutraler Gebäudebestand bis zum Jahr 2050 erreicht werden kann, sind umfassende Sanierungsmaßnahmen notwendig, dies macht eine langfristige und zielgerichtete Ansparung von Kapital notwendig – die Bildung einer energetischen Sanierungsrücklage.

In einer Untersuchung wurde der Einfluss der Einkommenshöhe der Gebäudebesitzer sowie die Auswirkung der regionalen Wachstumsperspektive auf die Bildung einer energetischen Sanierungsrücklage betrachtet.

Haushalte mit einem niedrigen Einkommen (monatliches Nettoeinkommen von bis 1.500 €) können jährlich nur rund 355 € in eine energetische Sanierungsmaßnahme zurücklegen. Das so innerhalb der Jahre 2010 bis 2050 zurückgelegte Kapitel summiert sich auf lediglich rund 16.000 €. Haushalte mit einem hohem Haushalts-Nettoeinkommen von über 2.600 € monatlich können jährlich bereits 3.641 € in die energetische Sanierungsrücklage zurücklegen. Innerhalb des Zeitraumes 2010 bis 2050 können diese Haushalte rund 157.000 € für energetische Sanierungsmaßnahmen zurücklegen und sind damit in der Lage ihre Gebäude deutlich umfangreicher zu sanieren.

Es zeigt sich, dass die Einkommenshöhe der Gebäudebesitzer einen entscheidenden Einfluss auf die Bildung der energetischen Sanierungsrücklage hat. In Regionen, in denen Haushalte mit einem niedrigen bis mittleren Einkommen überwiegen, wird der Anteil an energetisch sanierten Gebäuden ebenfalls gering sein. Es ist davon auszugehen, dass ohne staatliche Unterstützung Haushalte mit einem niedrigen bis mittleren Einkommen nur noch Erhaltungsmaßnahmen durchführen und wenig in die Energieeffizienzsteigerung ihrer Gebäude investieren können. Um den aufgezeigten einkommensabhängigen Einfluss auf die Rücklagenbildung für Sanierungsmaßnahmen abzdämpfen, sollte die Bildung einer energetischen Sanierungsrücklage durch die Politik staatlich und einkommensabhängig gefördert werden (Großmann, D. 2017).

Zuschüsse erhöhen die energetischen Sanierungsaktivitäten

In einem Forschungsprojekt wurde u.a. der Einfluss eines Zuschusses auf die energetische Sanierungsrate untersucht. In einer geografisch eng begrenzten Modellregion wurden Ein- und Zweifamilienhausbesitzer Zuschüsse in Höhe von bis zu 50% der Investitionskosten für die Durchführung von Maßnahmen zur Energieeffizienzsteigerung ihrer Gebäude gewährt. Es zeigte sich, dass die Gewährung des Zuschusses zu einer Verdoppelung der energetischen Sanierungsrate in dem Zeitraum in der Modellregion führte (Lehmann, K. et al. 2017).

Referenzen

- [1] BMWi (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie) (2016): Die Energie der Zukunft, Fünfter Monitoring-Bericht zur Energiewende, Berichtsjahr 2015. Berlin.
- [2] BMWi (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie) (2017): Zahlen und Fakten Energiedaten. Nationale und Internationale Entwicklung, www.bmw.de (Download am 04.08.2017).
- [3] Großmann, D. (2017): Energetische Sanierungsrücklage. Abschätzung der zukünftigen Investitionshöhe für energetische Sanierungsmaßnahmen in Deutschland, Brandenburg und zwei Regionen mit unterschiedlicher Wachstumsperspektive, Gebäude-Energiewende, Arbeitspapier 6, Senftenberg.
- [4] Lehmann, K.; Plenz, M.; Großmann, D. & Schmidt, J. (2017, bisher unveröffentlicht): Ergebnisse der Auswertung des Projektes „Energieoptimierter Standort (EOS) Rietschen“, Präsentation.
- [5] Weiß, J.; Dunkelberg, E.; Gossen, M. & Großmann, D. (2016): Bedeutung regional-ökonomischer Faktoren für die Entscheidung von Eigenheimbesitzern, Regionale Differenzen bei energetischen Sanierungen, Ökologisches Wirtschaften 2.2016 (31), S. 45-50, Berlin.
- [6] Zensus (2011): Zensusdatenbank Zensus 2011 der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder.

Die Abscheidung von CO₂ aus der Luft mittels Adsorption auf Aktivkohle

Tomáš Kořínek¹

Abstrakt: *Diese Arbeit befasst sich mit den Möglichkeiten der CO₂-Absenkung aus der Umgebungsluft mittels der physikalischen Adsorption auf Aktivkohle. Es wird hier eine kurze Recherche aufgeführt, die die bisher getesteten Adsorbentien für den Einsatz zum Einfangen von CO₂ betrifft. Das Adsorbens, das in dieser Arbeit verwendet wurde, ist die kommerzielle Aktivkohle der Firma CarboTech in Peletform. Es wird hier zudem ein mathematisches Adsorptionsmodell angeführt, das in das Open-Source-Programm OpenFOAM implementiert wurde. Es wurden mehrere numerische Simulationen durchgeführt, die zur Überprüfung der Möglichkeit des CFD-Einsatzes als mögliches Werkzeug zur Optimierung der zum CO₂-Einfangen bestimmten Anlagen dienen. Gleichzeitig wurde ein einfaches Experiment für die Überprüfung der numerischen Simulationen durchgeführt. Dieser stimmt sehr gut mit den aus der numerischen Simulation gewonnenen Daten überein.*

Schlüsselwörter: Adsorption, Kohlendioxid, Aktivkohle, numerische Simulation

1. Einleitung:

Das Problem der Innenraumluftqualität kommt in der letzten Zeit in den Fokus des Interesses. Durch die Absenkung des Energiebedarfs von Gebäuden kam es in vielen Fällen zu einer rapiden Verschlechterung der Innenraumluftqualität [1]. Es geht insbesondere um die Verhinderung der natürlichen Belüftung von Gebäuden aufgrund einer nachträglich angebrachten Wärmedämmung und der Montage von neuen Fenstern. Dieses Problem tritt zumeist bei Altbauten nach Renovierungen auf, bei denen es zu einem enormen Anstieg der Konzentration von gesundheitsschädlichen Stoffen im Innenraum gekommen ist [2-3].

Die einfachste und wirkungsvollste Art und Weise, wie die Konzentration des gegebenen Schadstoffs gesenkt werden kann, ist es, dessen Quelle aus dem Raum zu entfernen. Dies gilt allerdings nicht für die Quellen, die ein untrennbarer Bestandteil der Gebäudekonstruktion oder Anlage sind. Ein besonderer Fall des gesundheitsschädlichen Stoffes ist das Kohlendioxid (CO₂), dessen größte Innenraumquelle der Mensch selbst ist. Der durchschnittliche Zusatzbeitrag an CO₂ eines jeden Menschen beträgt 0,28-0,36 L/Min. Ein gewöhnliches Büro für eine Person hat einen Innenraum von ca. 36 m³. Ein annehmbarer CO₂-Konzentrations-Grenzwert, bei dem es noch nicht zu Auswirkungen auf Personen kommt, liegt bei 1000 ppm, wobei die CO₂-Hintergrundkonzentration der Luft ca. 400 ppm beträgt. Aus diesen Angaben ergibt sich, dass es nach 60 Minuten zu einer Überschreitung der 1000-ppm-Grenze kommt.

1.1 Materialien für die Abscheidung von CO₂

Die Abscheidung von CO₂ mittels Adsorption ist eine sehr vielversprechende Art und Weise, die CO₂-Konzentration in annehmbaren Grenzen zu halten. Diese Abscheidungsmethode wurde bei der Abscheidung von CO₂-Abgasen von Wärmekraftwerken genau untersucht [4-5]. Für die Abscheidung werden mehrere Materialien getestet, die sich in drei Gruppen unterteilen lassen: Die erste Gruppe sind die Zeolithe [6-7], die nächste die Aktivkohle [8-9] und die letzte Gruppe sind die sog. Metal Organic Framework [10-11].

1.2 Regenerationsmethoden der Adsorptionseigenschaften

Es gibt viele Möglichkeiten, die Adsorptionsfähigkeit des Adsorbents zu erneuern. Eine der ältesten Methoden ist mittels Druckabsenkung am Ort des Adsorbents. Diese Methode heißt „Pressure Swing Adsorption“ (PSA) [12]. In manchen Arbeiten kann man auch dem Begriff „Vacuum Swing Adsorption“ begegnen, in diesem Fall handelt es sich um eine Druckabsenkung bis zur Vakuumgrenze. Eine weitere Methode ist mittels der Temperaturänderung „Temperature Swing Adsorption“ (TSA) [11]. Die Adsorption ist ein exothermer Prozess. Also kommt es durch die Lieferung einer bestimmten Wärmemenge in das Adsorbent zu einer Freisetzung einer bestimmten Menge des adsorbierten Stoffes. Eine Variante zum TSA-Prozess ist die „Electric Swing Adsorption“ [4]. In diesem Fall ist der Adsorbent an eine elektrischer Spannungsquelle angeschlossen. Aufgrund des Joule-Effekts kommt es zu einer Erwärmung des Adsorbents.

¹ Technical University of Liberec, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Power Engineering Equipment, Studentská 2, 461 17 Liberec, Czech republic, tomas.korinek@tul.cz

1.3 Energetischer Bedarf

Durch die Nutzung der Adsorption für die CO₂-Abscheidung würde nicht nur dessen Absenkung erreicht, aber, wie mehrere Studien aufzeigen, käme es auch zu einer Absenkung des energetischen Bedarfs [13]. Aus den Studien ergibt sich, dass es zu einer Ersparnis von 30 - 60% der Energie für das Heiz- und Lüftungssystem kommen könnte. Diese Angaben sind allerdings mit Vorsicht zu genießen. Dies vor allem deshalb, da der Wirkungsgrad der Adsorption im Falle der CO₂-Abscheidung aus der Umgebungsluft nicht so groß ist wie im Falle der CO₂-Abscheidung aus Abgasen.

2. Formulierung des Problems

Für die Überprüfung der CO₂-Adsorptionsfähigkeit aus der Umgebungsluft wurde als Adsorbent die kommerzielle Aktivkohle der Firma CarboTech verwendet. Aus Anwendungssicht zeigt sich die TSA-Methode als bester Regenerationsprozess - und dies wegen der niedrigen Ansprüche an die gesamte Vorrichtung. Die Überprüfung wurde experimentell als auch mittels numerischer Simulation durchgeführt. Die Fähigkeit, die CO₂-Ausbreitung im Raum zu simulieren, wurde schon früher überprüft [14].

2.1 Experiment

Für das Experiment wurde eine einfache Vorrichtung zusammgebaut, die aus mehreren Teilen bestand. Diese Teile sind in Abb. 1 abgebildet. Die Basis der Anlage ist eine Kammer mit Aktivkohle mit einem Innendurchmesser von 60 mm und einer Länge von 50 mm, in die 4 Luftergänge und ein Ausgang führen. Des Weiteren sind in der Kammer drei Heizpatronen angebracht, die zur Erwärmung des Aktivkohleriums dienen. Die Kühlung der Aktivkohle wurde mittels der eingeführten Luft durchgeführt.

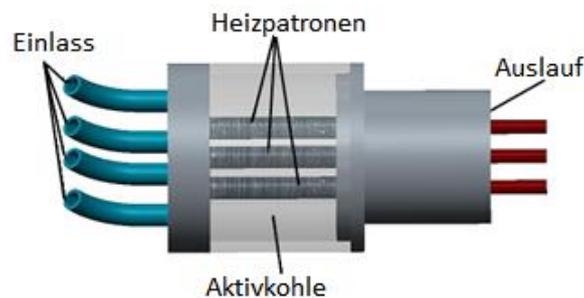


Abb. 1 Schema der Testvorrichtung

Die CO₂-Eingangskonzentration in die Vorrichtung betrug 5000 ppm mit einem Durchfluss von 50 L/Min. Die Menge an Aktivkohle in der Kammer betrug 80 g.

2.2 Mathematisches Modell

Wie bereits erwähnt ist der zweite Teil dieser Studie numerische Simulationen. Weil keine offen zugängliche kommerzielle/opensource CFD-Software ein Adsorptionsmodell enthält, war es notwendig, dieses in den CFD-Code zu ergänzen. In unserem Fall war dies die Opensource-Software OpenFOAM. Die Grundlage des Adsorptionsmodells ist die Zustandsgleichung der Adsorption, die den Einfluss der Temperatur und des Drucks auf den maximalen Adsorptionswert ausdrückt. In der unten stehenden Gleichung steht die Dubinin-Astakhov-Beziehung, die gewöhnlicherweise für die Beschreibung von Aktivkohle verwendet wird.

$$q^* = q_{max} \exp \left[- \left(\frac{RT}{E_a} \ln \left(\frac{p_s}{p} \right) \right)^n \right]$$

Wobei E_a die aktivierende Energie, q_{max} die Adsorptionskapazität bei Saturations-Druck und -Temperatur, n der Asthakov-Koeffizient, p der Druck, p_s der Saturations-Druck, R die universelle Gaskonstante und T die Temperatur ist.

Der Verlauf der Adsorptionskapazität ist in Abb. 3 abgebildet. Hier ist zu sehen, dass die Adsorptionskapazität mit steigender Temperatur abnimmt. Dies aus dem Grund, dass die Adsorption ein exothermer Vorgang ist. Wenn in der Vorrichtung eine Veränderung von 293 K auf 353 K erreicht wird kommt es zu einer Freisetzung von ca. 4 Mol CO₂ auf ein kg Aktivkohle.

Die Kinetik der Adsorption wird meistens mit einem linearen Modell ausgedrückt. Dieses ist in der untenstehenden Gleichung angeführt.

$$\frac{\partial q}{\partial t} = k(q^* - q)$$

Wobei q der Wert der adsorbierten Menge, q^* der Maximalwert der Adsorptionskapazität und k der Transportkoeffizient der Masse ist.

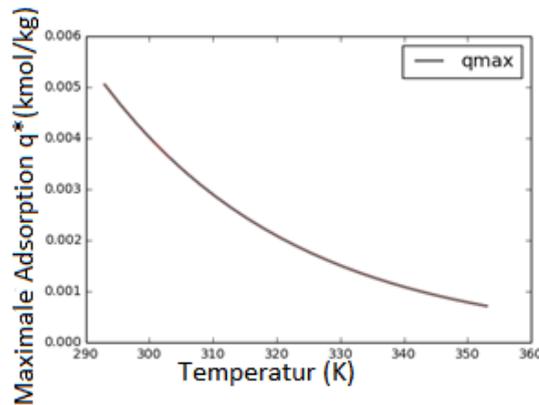


Abb. 2 Abhängigkeit der Adsorptionskapazität von der Temperatur

Das kinetische Modell ist in die grundlegenden Bilanzgleichungen ergänzt, wie die Kontinuitätsgleichung, die Bewegungserhaltungsgleichung, die Massentransportgleichung eines gegebenen Bestandteils sowie die energetische Gleichung, die mittels der Gesamtenthalpie ausgedrückt wird.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j) + \left(\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon}\right) M_{AC} \rho_{AC} \frac{\partial q}{\partial t} = 0$$

$$\frac{\partial \rho u_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + R_{por} - u_i \left(\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon}\right) M_{AC} \rho_{AC} \frac{\partial q}{\partial t}$$

$$\frac{\partial \rho Y}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho Y u_j) = \rho D \frac{\partial^2 Y}{\partial x_j^2} - \left(\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon}\right) M_{AC} \rho_{AC} \frac{\partial q}{\partial t}$$

$$\frac{\partial \rho H}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho H u_j) = \frac{\partial p}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial x_j} \left(-\lambda \frac{\partial T}{\partial x_j}\right) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\tau_{ij} u_i) - \left(\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon}\right) \Delta H_{AC} M_{AC} \rho_{AC} \frac{\partial q}{\partial t}$$

Wobei D der Koeffizient der molekularen Diffusion, H die Gesamtenthalpie, ΔH die Adsorptionswärme, p der Druck, u die Geschwindigkeit, R_{por} der Effekt des porösen Mediums, Y der Massenanteil, ρ die Mischungsdichte, ρ_{AC} die Aktivkohlendichte, ε die Porosität, λ der Wärmeleitkoeffizient und τ der Tensor der Bindekräfte ist.

3. Ergebnisse

Die Ergebnisse aus den Experimenten wurden mit den Ergebnissen aus den numerischen Simulationen verglichen. In der Abb. 3 ist der Vergleich für den Fall der CO₂-Abscheidung auf Aktivkohle abgebildet. Wie zu erkennen ist, wurden sehr gute Übereinstimmungen zwischen den Ergebnissen aus den Experimenten und den Ergebnissen der numerischen Simulation erreicht. Aufgrund der nicht sehr effektiven Erwärmung der Kammer und auch aufgrund der Einschränkungen des verwendeten CO₂-Messensors wurde der Desorptionsprozess nicht gemessen. Nichtsdestotrotz wurde die Desorption der Aktivkohle durchgeführt und dies insbesondere wegen der Freisetzung von aufadsorbiertem CO₂.

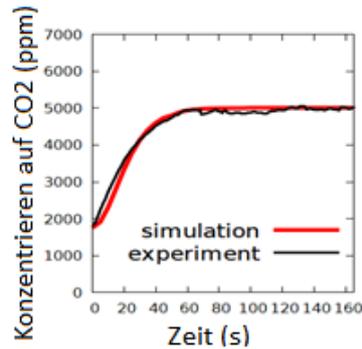


Abb. 3 Verlauf der CO₂-Konzentration am Ausgang/Zeit

Der Verlauf des Adsorptions-Desorptions-Zyklus kann mittels der Ergebnisse der numerischen Simulation gezeigt werden. In der Abb. 4 werden der Temperaturverlauf (rechts) und die Adsorptionseigenschaften während des Zyklus veranschaulicht. Hier kann beobachtet werden, wie es zu der Änderung der Adsorptionseigenschaften mit der Temperaturänderung kommt. Aufgrund des großen Durchflusses und der kleinen Aktivkohlenmenge kommt es praktisch zu einer sofortigen Ausfüllung. Dies kann an den Kurven für den aktuellen Wert der aufadsorbierten Menge und an der Kurve der maximalen Adsorptionskapazität gesehen werden, die sich praktisch abdecken.

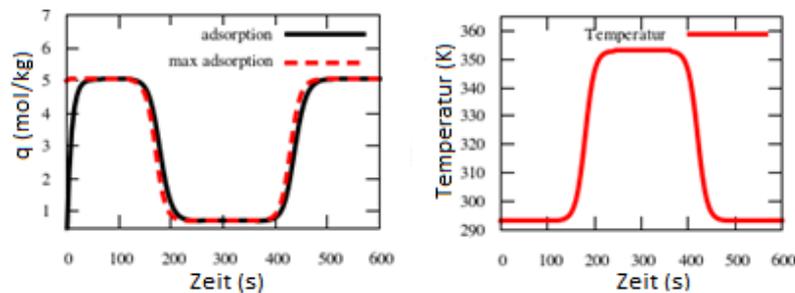


Abb. 4 Verlauf der Adsorptionseigenschaften/Zeit (links), Temperaturverlauf/Zeit (rechts)

Ein anderer Blick auf den Adsorptions-Desorptions-Zyklus besteht mittels der CO₂-Ausgangskonzentration. Dieser Verlauf ist in Abb. 5 abgebildet. Aus dem Verlauf können leicht die einzelnen Teile des Zyklus identifiziert werden. Der erste Teil, in dem es zu einem Anstieg der CO₂-Ausgangskonzentration bis zu den Werten der Eingangskonzentration kommt, ist der Adsorptionsprozess. Bei diesem Prozess kommt es zu einer schrittweisen Ausfüllung der Aktivkohle. Der nächste Teil, der durch eine wachsende CO₂-Konzentration über die Werte der Eingangskonzentration hinaus repräsentiert ist, ist der Bereich des Desorptionsprozesses, in dem es zu einer Freisetzung des aufadsorbierten CO₂ kommt. Nach dem wiederholten Erreichen des Gleichgewichts in der Aktivkohle kam es zu einem Absinken der Ausgangskonzentration bis auf den Wert der CO₂-Eingangskonzentration. Der Teil, in dem es wieder zu der Absenkung der CO₂-Ausgangskonzentration kam, ist ein weiterer Adsorptionsprozess. In ihm kommt es zuerst zu einer Absenkung der CO₂-Werte und einer nachfolgenden Wiedererhöhung auf den Wert der Eingangskonzentration. Die Minimumstelle ist der Bereich, in dem das Gleichgewicht in der Aktivkohle wieder erreicht ist.

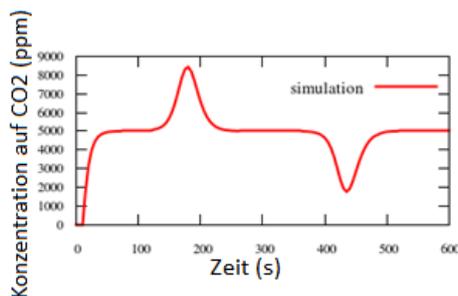


Abb. 5 Verlauf der CO₂-Konzentration während des gesamten Adsorptions-Desorptionszyklus

4. Ergebnis

In dieser Studie wurde die Fähigkeit, CO₂ mittels Adsorption auf Aktivkohle aus der Umgebungsluft abzuscheiden, überprüft. Es bestätigte sich, dass die TSA-Methode für die Führung des Adsorptions-Desorptions-Zyklus geeignet ist. Allerdings ist es notwendig, sich auf die Erhöhung des Wirkungsgrades der Kühlung der Aktivkohle für die Beschleunigung dieser Schleife zu konzentrieren.

Numerische Simulationen können in diesem Fall sehr hilfreich bei der Optimierung der Vorrichtung sein. Im Unterschied zum Experiment ist die Überarbeitung der Kammergeometrie eine Frage von wenigen Minuten. Es können demgemäß umfangreiche Optimierungsstudien durchgeführt und anschließend die geeignetste Konfiguration ausgewählt werden - und dies nicht nur in Hinblick auf die Form und Größe der Vorrichtung, sondern auch in Hinblick auf die Bedingungen bei der TSA-Schleife (Durchfluss, Temperaturzyklen, usw.). Gerade das Testen verschiedener Bedingungen ist die weitere Richtung dieser Forschung.

Danksagung

Die Entstehung dieses Konferenzbeitrags wurde vom Projekt ‚Grenzenlos Qualifiziert: Aufbau einer Kompetenzpartnerschaft im Bereich Bauforschung zur Qualifizierung wissenschaftlichen Nachwuchses in der Grenzregion‘, finanziert von der Sächsischen Aufbau-Bank und der Europäischen Union, unterstützt.

Referenzen

- [1] Kotol M, Rode C, Clausen G, Nielsen T R. Indoor environment in bedrooms in 79 Greenlandic households. *Building and Environment* 81 (2014); 29-36.
- [2] Beko G, Lund T, Nors F, Toftum J, Clausen G. Ventilation rates in the bedrooms of 500 Danish children. *Building and Environment* 45 (2010); 2289-95.
- [3] Wyon D P. The effects of indoor air quality on performance and productivity. *Indoor Air* 14 (2004); 91-101.
- [4] Ribeiro R P L, Grande C A, Rodrigues A E. Activated carbon honeycomb monolith – Zeolite 13x hybrid system to capture CO₂ from flue gases employing Electric Swing Adsorption. *Chemical Engineering Science* 104 (2013); 304-318.
- [5] Plaza M G, García S, Rubiera F, Pis J J, Pevida C. Post-combustion CO₂ capture with a commercial activated carbon: Comparison of different regeneration strategies. *Chemical Engineering Journal* 163 (2010); 41-47.
- [6] Thakkar H, Eastman S, Hajari A, Rowngi A A, Knox J C, Rezaei F. 3D-printed zeolite monoliths. *ACS Appl. Mater. Interfaces* 8 (2016); 27753-27761.
- [7] Merel J, Clausse M, Meunier F. Experimental investigation on CO₂ post-combustion capture by indirect thermal swing adsorption using 13x and 5A Zeolites. *Ind. Chem. Res.* 47 (2008); 209-215.
- [8] Thiruvengatchari R, Su S, An H, Yu X X. Post-combustion CO₂ capture by carbon fibre monolithic adsorbents. *Progress in Energy and Combustion Science* 35 (2009); 438-455.
- [9] Vargas D P, Giraldo L, Moreno-Piraján J C. CO₂ adsorption on activated carbon honeycomb-monoliths: a comparison of langmuir and toth models. *International Journal of Molecular Science* 13 (2012); 8388-8397.
- [10] Rezaei F, Lawson S, Hosseini H, Thakkar H, Hajari A, Monjezi S, Rowngi A A. MOF-74 and UTSA-16 film growth on monolithic structures and their CO₂ adsorption performance. *Chemical Engineering Journal* 313 (2017); 1346-1353.
- [11] Mason J A, Sumida K, Herm Z R, Krishna R, Long J R. Evaluating Metal-Organic Frameworks for Post-Combustion Carbon Dioxide Capture via Temperature Swing Adsorption. *Energy and Environ. Sci.* 4 (2011); 3030-3040.
- [12] Hauchhum L, Mahanta P. Carbon dioxide adsorption on zeolites and activated carbon by pressure swing adsorption in a fixed bed. *Int. J. Energy Environ. Eng.* 5 (2014); 349-356.
- [13] Kim M K, Baldini L, Leibundgut H, Wurzbacher J A. A novel ventilation strategy with CO₂ capture device and energy saving in buildings. *Energy and Buildings* 87 (2015); 134-141.
- [14] Korinek T, Frana K. A dispersion study of CO₂ in a closed area. *AIP Conference Proceedings* 2016; 1745:1-5.

Energieeinsparung durch Reduzierung der rotierenden Massen bei Kettentrieben

Eric Kratzsch, B. Eng.¹, Prof. Dr.-Ing. habil. Sylvio Simon¹, Thomas Rieder, M. Eng.¹, Stephan Henschler, M. Eng.¹, Jan Magister, M. Eng.¹, Tim Fritsch, B. Eng.¹

Abstrakt: In diesem Artikel wird die Energieeinsparung für Kettantriebe anhand eines Beispiels berechnet. Ein Vergleich zwischen einem einstufigen Antrieb in schwerer Version mit einem zweistufigen Antrieb in einer optimierten, leichten Version findet statt. Die zugrunde gelegten Ausgangsparameter sind dabei jeweils identisch. Durch die Reduzierung der rotierenden Massen wird eine Reduktion der notwendigen Antriebsenergie erreicht. Weiterhin werden die Beanspruchungen auf Wellen, Zahnräder und Lager deutlich reduziert.

Schlüsselwörter: Kettantrieb, Trägheitsmoment, Energiereduzierung, Konstruktionsoptimierung

1. Einführung

Zu realisieren ist ein energieeffizienter Kettentrieb mit einer Antriebsleistung von 15 [kW]. Die Antriebswelle läuft mit einer Drehzahl von 1500 [1/min] und die Abtriebswelle mit 1100 [1/min]. Dabei soll ein Achsabstand von 2800 [mm] eingehalten werden. Es sollen die kinetischen Energien von zwei Konstruktionsvarianten mit einander verglichen werden.

1. Randbedingungen

1.1. Variante 1

Der Kettentrieb soll auf halber Strecke mit einer Zwischenstation realisiert werden. Bei dieser Variante werden 2 Ketten mit günstigem Abstand gewählt um eine kleinstmögliche, der Leistung entsprechende Kette zu wählen. (Prinzip siehe Abb. 1)

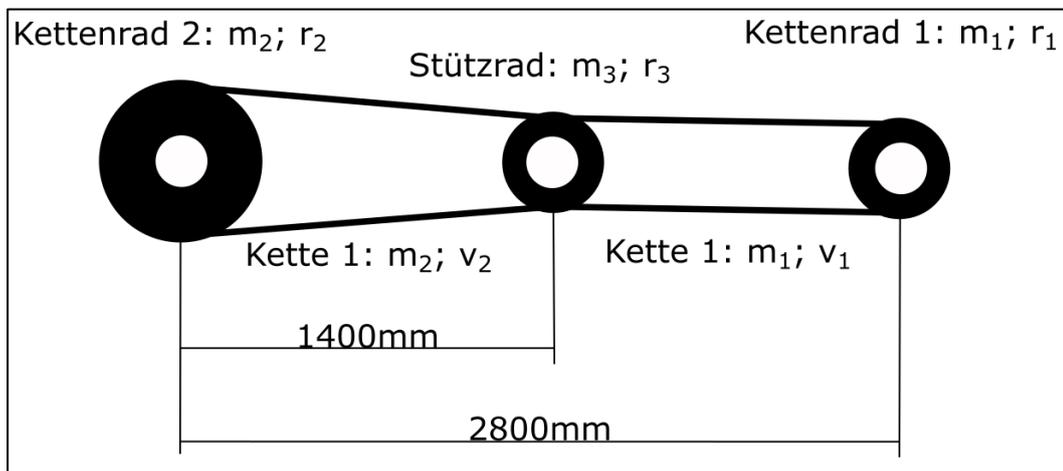


Abb. 1 - DIN 8187-20 B 1x118 mit Zwischenstation

¹ BTU Cottbus-Senftenberg, Fakultät 3: Maschinenbau, Elektro- und Energiesysteme, Fachbereich Werkzeugmaschinen, Universitätsplatz 1, 01968 Senftenberg, Deutschland, tragrollenpruefstand@b-tu.de

1.2. Variante 2:

Der geforderte Achsabstand soll mit einem Kettentrieb mit einer einzelnen Kette ausgelegt werden. Die Kette ist gemäß der Auslegung eines günstigen Abstandes und der Leistung zu wählen (siehe Abb. 2).

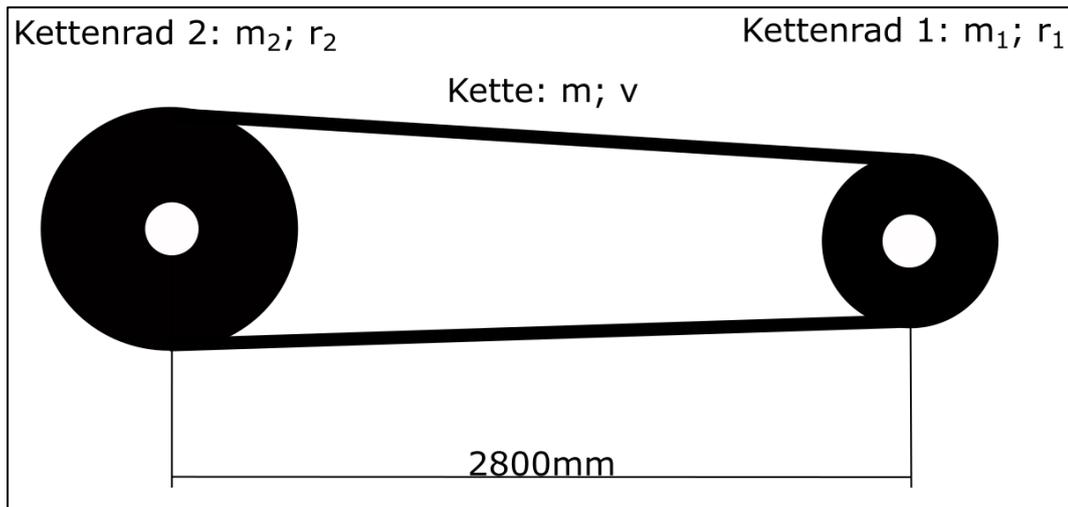


Abb. 2 - DIN 8187-20 B 1x118

2. Wahl der Rollenkette nach Achsabstand

Der geforderte Achsabstand von 2800mm kann mit einer DIN 8187-**40 B** 1x118 direkt eingehalten werden. Unter Verwendung von zwei DIN 8187-**20 B** 1x118 wird eine Zwischenstation auf halber Strecke benötigt. Bei der 40 B Variante sind die Abmessungen und Massen der Kettenräder als auch Kettenglieder enorm größer als die der 20 B:

Tab. 1 - Günstiger Achsabstand

Kettenart		20B	40B
Günstiger Abstand (min.)	a_{min} [mm]	952,5	1905
Günstiger Abstand (max.)	a_{max} [mm]	1587,5	3175
Gewählter Abstand	a₀ [mm]	1400	2800
	p₁	31,75	63,5

Günstiger Abstand $a \approx (30 \dots 50) * p_1$ (1)

3. Berechnung der kinetischen Energie

Die Abhängigkeiten der Wahl der Kettengröße zur kinetischen Energie, sind in nachfolgendem Diagramm (Abb. 3) und der Tabelle (Tab. 2) zur Berechnung ersichtlich. So führen die erhöhten Massen als auch Geschwindigkeiten zu einem enormen Anstieg der translatorischen – als auch rotatorischen Energie.

Aus Sicht der Energie als auch der Belastung der Wellen und anderer Bauteile ist die Variante der Zwischenstation (Variante 1) zu empfehlen.

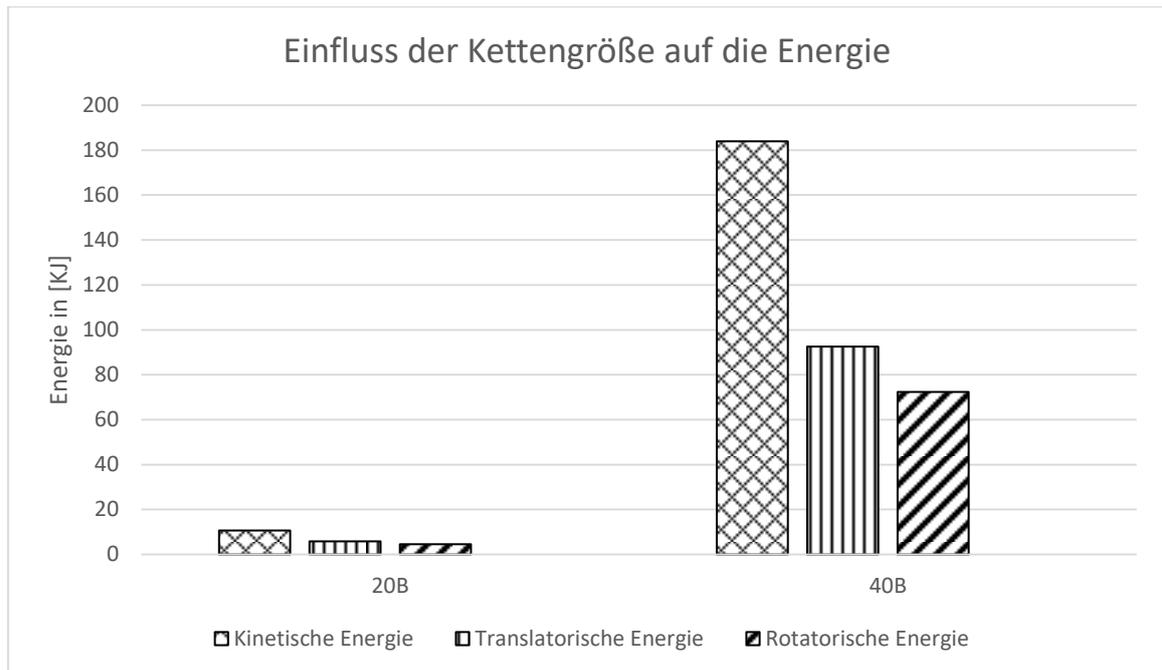


Abb. 3 - Einfluss der Kettengröße auf die Energie

Tab. 2 - Berechnung der Kinetischen Energie

Kette		20B	40B
Kinetische Energie	E_{kin} [kJ]	7,30	164,86
Translatorische Energie	E_{trans} [kJ]	5,79	92,55
<i>Masse der Kette</i>	m [kg]	13,5	120
<i>Kettengeschwindigkeit</i>	v [m/s]	20	39
Rotatorische Energie	E_{rot} [kJ]	4,59	72,31
<i>Rotatorische Energie 1</i>	$E_{rot 1}$ [kJ]	1,06	24,47
<i>Rotatorische Energie 2</i>	$E_{rot 2}$ [kJ]	1,82	47,84
<i>Rotatorische Energie 3</i>	$E_{rot 3}$ [kJ]	1,68	
<i>Winkelgeschwindigkeit 1</i>	ω_1 [rad·s ⁻¹]	157,1	157,1
<i>Winkelgeschwindigkeit 2</i>	ω_2 [rad·s ⁻¹]	157,1	115,2
<i>Winkelgeschwindigkeit 3</i>	ω_3 [rad·s ⁻¹]	115,2	
<i>Trägheitsmoment 1</i>	I_1 [kgmm ²]	85781	1983000
<i>Trägheitsmoment 2</i>	I_2 [kgmm ²]	150117	7209375
<i>Trägheitsmoment 3</i>	I_3 [kgmm ²]	252914	
<i>Radmasse 1</i>	m_1 [kg]	10	60
<i>Radmasse 2</i>	m_2 [kg]	17,5	120
<i>Radmasse 3</i>	m_3 [kg]	16,5	
Kette		20B	40B

**Energieeffizienz im Bau- und Maschinenwesen,
25. - 27. September 2017
Technische Universität in Liberec**

<i>Radinnenradius 1</i>	r_{11} [mm]	30	60
<i>Radaußenradius 1</i>	r_{12} [mm]	127,5	250
<i>Radinnenradius 2</i>	r_{21} [mm]	30	67,5
<i>Radaußenradius 2</i>	r_{22} [mm]	127,5	340
<i>Radinnenradius 3</i>	r_{31} [mm]	30	
<i>Radaußenradius 3</i>	r_{32} [mm]	172,5	

4. Fazit

Die DIN 8187-**40 B** 1x118 benötigt mehr Bauraum als die beiden DIN 8187-**20 B** 1x118. Die größere Kette der 40B bedingt größere Kettenräder mit massiveren Wellen, daraus resultieren viel größere Massen welche bewegt werden müssen und eine höhere Kettengeschwindigkeit. Die 20B hat durch die geringen Massen einen 22,5-fach geringeren Energiebedarf.

Verbesserung der Formgenauigkeit und der Dichtflächenqualität von Präzisionsplatten für die Erdölindustrieanlagen

Assos. Prof., Dr.-Ing. Arastun Mammadov¹

Abstrakt: *Verfahrensoptimierung beim Umfangs-Planschleifen macht es möglich, die Werkstücke mit höher Genauigkeit und Qualität in kürzester Zeit zu fertigen. Ein Prozessmodell dient als Grundlage für die Anwendung der Optimierungsmethode. Nur anhand der genauen Analyse und Berücksichtigung aller prozessbegleitenden Kenngrößen ist es möglich, die mathematischen Zusammenhänge zwischen den relevanten Prozessparametern und wichtigsten Ausgangsgrößen beim Planschleifen darzustellen. Die Durchführung der Verfahrensoptimierung liefert eine optimale Konstellation von Schnittbedingungen hinsichtlich guter Oberflächeneigenschaften.*

Schlüsselwörter Erdölindustrieanlage, Umfangs-Planschleifen, Verfahrensoptimierung, Oberflächenqualität, Oberflächengenauigkeit.

Durch die hohe Prozesssicherheit, Fertigungsqualität und beherrschbare Oberflächenschädigungen bleibt das Schleifen trotz der wachsenden Konkurrenz durch die Entwicklungen im Bereich Hartbearbeitungen mit geometrisch bestimmter Schneide vorteilhaft. Die Gestaltabweichungen und Randzoneneigenschaften der durch das Schleifen erzeugten Oberflächen sind direkt von den beim Schleifen eingesetzten technologischen Parametern sowie von den technischen Randbedingungen abhängig. Verschiedene Kombinationen dieser Prozessparameter liefern unterschiedliche Arbeitsergebnisse hinsichtlich der Oberflächenqualität.

Die Untersuchungen an einem Absperrbauteil eines Schiebers, der in der Erdölindustrie eingesetzt wird, zeigten diese Zusammenhänge deutlich. Die Dichtflächen dieses Bauteiles bestimmen die Lebensdauer von den in der Erdölindustrie eingesetzten Armaturen. Die Funktionsflächen derartiger Bauteile sollen während des Betriebes unter einem bestimmten Druck die Regelung des Erdöldurchflusses mit hoher Sicherheit und Zuverlässigkeit in aggressiven Medien gewährleisten. In der Regel weisen die Dichtflächen dieser Bauteile eine Ebene mit einigen Durchbrüchen auf. Die geforderte Oberflächenqualität und –genauigkeit des Bauteiles wird durch das Planschleifen gesichert. Die Finishbearbeitung erfolgt in zwei Etappen: Vorschleifen und Nachschleifen. Zwischen diesen beiden Arbeitsschritten wird das Bauteil bis zur Härte HRC 60 gehärtet und beschichtet, um die Verschleissbeständigkeit des Bauteiles zu erhöhen. Beim Planschleifen der Dichtflächen mit hohen Prozessparametern ergibt sich wegen der sich ständig verändernden Kontaktbedingungen zwischen Werkzeug und Werkstück eine beeinträchtigte Oberfläche mit unzulässigen Formfehlern und Brandflecken.

Das Ziel einer Auslegung des Schleifprozesses stellt somit die Minimierung der auftretenden Formfehler und der thermomechanischen Einflüsse auf die Randzoneneigenschaften dar. Das Schleifen wird durch eine Vielzahl von Einflussgrößen beschrieben. Dazu gehören unter anderem die Anforderungen an die zu bearbeitende Oberfläche, die Prozessparameter und das erzielte Prozessergebnis. Für die Beherrschung des Schleifprozesses ist es notwendig, aufgrund dieser umfangreichen Parameterzahl ein adäquates Prozessmodell zu erstellen, das den Zusammenhang zwischen Einfluss- und Ausgangsgrößen beschreibt. Mit Hilfe dieses Modells kann der Schleifprozess durch die Verfahrensoptimierung im Rahmen der vorgegebenen technologischen und technischen Randbedingungen optimal ausgelegt werden.

Zunächst wurden alle mit der Oberflächengenauigkeit und –qualität in Verbindung stehenden Parameter ermittelt und in Kategorien eingeteilt, um den Zusammenhang zwischen den Verfahrensparametern und der Oberflächenbeschaffenheit zu erstellen.

Als Ausgangsgrößen sind hier die Formgenauigkeit, Rauheit und Oberflächeneigenschaften in Betracht gezogen. Alle Parameter, deren Einflüsse nicht einschätzbar sind, oder nicht wirken sollen, werden hier als Störgrößen behandelt. Die Parameter, wie z.B. die Drehzahl, die die Dynamik des Schleifprozesses mitbestimmt, wurden untersucht und als Randbedingung festgelegt.

Um die Auswirkungen der technologischen Einflüsse auf das Arbeitsergebnis zu beschreiben, wurden experimentelle Untersuchungen durchgeführt. Mit dem Einsatz der statistischen Versuchsplanung war es möglich, diese Einflüsse mathematisch zu beschreiben und bei der Verfahrensoptimierung einzusetzen. Zu diesem Zweck wurde eine Reihe von Versuchen geplant und durchgeführt. Das unter Nutzung der statistischen Versuchsplanung erhaltene Modell ermöglicht eine qualitative und quantitative Darstellung der Zusammenhänge zwischen Antwortgrößen und den Verfahrensparametern.

Durch die gezielte Variation der Verfahrensparameter wurde ein mathematisches Modell zur Beschreibung der technologischen Einflüsse auf die Rauheit erstellt:

¹ Technische Universität Aserbaidshan, Fakultät für Maschinenbau, Lehrstuhl für Maschinenbautechnologie, H.Dschavid 25, AZ1073 Baku, Aserbaidshan, arastunmamedov@mail.ru

Energieeffizienz im Bau- und Maschinenwesen,
25. – 27. September, 2017
 Technische Universität in Liberec

$$Ra = 0,47 \cdot t^{0,42} \cdot V_v^{0,61} \cdot S_e^{0,78} \quad (1)$$

Aus diesem Bild ist ersichtlich, dass mit zunehmender Vorschubgeschwindigkeit V_v und Zustellung t die Werte der Rauheit zunehmen. Eine Erklärung dafür liegt in der Entstehung der Schleifkraft. Die Zunahme der beiden Schleifparameter führt zur Vergrößerung der Kontaktfläche zwischen Werkstück und Schleifscheibe, welche größere Zerspankräfte zufolge hat. Es ist auch festzustellen, dass die Wechselwirkung von beiden Parameter hier besonders auftritt. Bei niedriger Vorschubgeschwindigkeit senkt eine niedrige Zustellung die Rauheit, bei hoher Vorschubgeschwindigkeit erhöht sie sich dagegen deutlich.

Beim Planschleifen führt die Variation der Verfahrensparameter auch neben der Oberflächenrauheit zur Änderung der Ebenheit der geschliffenen Oberflächen erheblich. Gleichung 2 beschreibt den Zusammenhang zwischen Schleifparameter und der Formgenauigkeit $\delta_{eben.}$:

$$\delta_{eben.} = 31,52 \cdot t^{0,56} \cdot V_v^{0,37} \cdot S_e^{0,41} \quad (2)$$

Wird exemplarisch die Änderung der Formabweichungen am Werkstück für den Fall dargestellt, dass die Eingriffsbreite konstant bleibt, so lässt sich deutlich der Zusammenhang zwischen Vorschub und Zustellung erkennen. Der Verlauf zeigt, dass bei schnellerer Zustellung die Formabweichung stärker beeinträchtigt wird, als die Vorschubgeschwindigkeit. Eine Erklärung dafür liegt in der Entstehung der Zerspankräfte und der Dynamik des Prozesses. Bei größeren Zerspankräften ist das Fertigungssystem dynamisch nicht so stabil wie bei kleinen Kräften. Dies führt im Zusammenhang mit der Nachgiebigkeit des Systems zu stärkeren Schwankung der Verformungen im Schleifsystem.

Eine der wichtigsten Ausgangsgrößen zur Beurteilung des Schleifergebnisses ist die bei der Bearbeitung entstehende Temperatur. Da im Vergleich zur Zerspannung mit geometrisch bestimmter Schneide der Energiebedarf bzw. die Wärmemenge beim Schleifen aus verfahrensspezifischen Gründen relativ hoch ist, werden die Randzoneneigenschaften der geschliffenen Bauteiloberfläche wesentlich von den Prozesskenngrößen beeinflusst. Dabei sind die Temperatur, Dauer der Einwirkung sowie zeitliche und örtliche Temperaturgradienten im Kontaktbereich zwischen Werkstück und Werkzeug für die Beeinflussung der Bauteilrandzonen entscheidend. Die durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass zwischen der Schleiftemperatur und Randzoneneigenschaften der geschliffenen Oberfläche eine Korrelation besteht. Dies macht es möglich, die Eigenschaften von geschliffenen Oberflächen durch die Regelung der Schleiftemperatur anhand des Prozessmodells gezielt zu beeinflussen. Um die Abhängigkeit zwischen Stellgrößen und Schleiftemperatur zu erstellen, wurden experimentelle Untersuchungen durchgeführt. Die Untersuchungen bezogen sich hier auch auf die gezielte Variation der Schleifbedingungen nach einem Versuchsplan, deren Einflüsse auf die Schleiftemperatur in einem mathematischen Modell erfasst wurden. Gleichung 3 stellt dieses Modell dar:

$$g = 279,43 \cdot t^{0,26} \cdot V_v^{0,18} \cdot S_e^{0,74} \quad (3)$$

Mit zunehmendem Vorschub und Zustellung nimmt die Durchdringungsfläche Schleifscheibe/ Werkstück zu. Damit nimmt die Spandicke, und somit auch die Abtrennarbeit, die von den einzelnen Schleifkörner geleistet wird, zu. Die Folge ist erhöhte Wärmewirkung in der Kontaktzone. Dabei ist der Einfluss der Zustellung aufgrund des Spanbildungsprozesses wesentlich höher.

Bei der Herstellung einer Oberfläche durch das Schleifen wird die Genauigkeit und Qualität von den statischen und dynamischen Eigenschaften des technologischen Systems beeinflusst. Es wird als ein elastisch-verformbares System betrachtet, welches aus Werkzeugmaschine, Werkzeug, Werkstück und Spannmittel besteht. Bei der Erzeugung von technischen Oberflächen sind diese Komponenten beteiligt. In der Kontaktzone verlagert sich die Werkzeugspitze aufgrund kinematischer Bewegungen und elastischer Verformungen, die von Systemkomponenten unter Einwirkung äußerer Kräfte verursacht werden. Dies führt zu ständigen Änderungen der Eingriffsverhältnisse beim Schleifen. Dadurch weicht die Zustellung bzw. Spandicke vom Sollwert ab. Die Größe der Abweichung ist von den Schleifkräften abhängig. Bei höheren Kräften tritt das Verhältnis Ist/Soll-Wert besonders auf. Dieses Verhältnis bezeichnet man als Koeffizient für den faktischen Materialabtrag beim Schleifen.

Die Bestimmung des Koeffizienten K erfolgt experimentell. Das Werkzeug wird um eine definierte Tiefe t_{soll} zugestellt und nach dem Schleifen die tatsächliche Dicke des abgetragenen Materials t_{ist} gemessen. So war für jede Parameterkombination dieser Koeffizient zu ermitteln.

Um diese Einflüsse bei der Verfahrensoptimierung zu berücksichtigen, wurde mittels der statistischen Versuchsplanung die mathematische Beschreibung dieses Koeffizienten in Abhängigkeit von den eingesetzten Schleifparametern in Form einer Gleichung gefunden:

Energieeffizienz im Bau- und Maschinenwesen,

25. – 27. September, 2017

Technische Universität in Liberec

$$K = 0,89 \cdot t^{-0,010} \cdot V_v^{-0,014} \cdot S_b^{-0,018} \quad (4)$$

Gleichung 4 stellt den Verlauf der Koeffizienten für unterschiedliche Kombinationen der Vorschubgeschwindigkeit und Zustellung dar. Die hohe Vorschubgeschwindigkeit und Zustellung resultieren in einem hohen Koeffizient. Das deutet darauf hin, dass mit zunehmenden Eingriffsparametern eine hohe Zerspankraft auftritt, die aufgrund der Nachgiebigkeit des Systems eine große Verformung verursacht. Als Folge weicht die vorgegebene Zustellung von den gemessenen Werten stark ab.

Ziel der experimentellen Untersuchungen war es, die quantitativen Einflüsse von technologischen Parametern auf das Schleifergebnis zu finden. Der Versuchsplan wurde darauf ausgerichtet, den Prozess in einem breiten Bereich technologischer Parameter zu analysieren. Die durch die experimentellen Untersuchungen erhaltenen Modelle (1÷4) erlauben im untersuchten Bereich die Bestimmung der günstigsten Stellparameter. Sie dienen als Basis für die Durchführung der Verfahrensoptimierung.

Ein optimaler Prozess ist dann gegeben, wenn man ein Kostenminimum erreicht. Da Werkzeugverbrauch und Maschinenkosten direkt vom Zeitspanvolumen Q_w beim Schleifen abhängen, kann als Zielfunktion die Maximierung des Zeitspanvolumens verwendet werden:

$$Q_w \rightarrow \text{MAX} \quad (5)$$

Das Zeitspanvolumen berechnet sich aus den Eingriffsparametern beim Schleifen:

$$Q_w = t \cdot V_v \cdot S_b \quad (6)$$

Um die Gleichung (5) zu erfüllen, sollen die Schnittwerte ausgewählt werden, die einerseits innerhalb der technischen Restriktionen bleiben, andererseits die Grenzwerte für technologische Einflüsse nach Gleichungen (1 ÷ 4) nicht überschreiten.

Die für die Erstellung des Lösungsraums eingesetzten technologischen Restriktionen sind in Tabelle 1 gezeigt. Die Grenzwerte wurden exemplarisch für das Schlichten gegeben. Die Restriktionen für die Oberflächenqualität bilden sich aus der Anforderungen an das Bauteil.

Tab. 1. Restriktionen für Schlichten

Restriktionssystem		
Mittenrauhwert, Ra	Ra _{max} = 0,40 µm	
Formgenauigkeit, δ _{eben.}	δ _{eben.-max} = 0,01 mm	
Schleiftemperatur, ℑ	ℑ _{max} = 350°C	
Zustellung, t	t _{min} = 0,005 mm	t _{max} = 0,050 mm
Vorschubgeschwindigkeit, V _v	V _{vmin} = 6 m/min	V _{vmax} = 20 m/min
Eingriffsbreite, S _b	S _{bmin} = 1 mm/Hub	S _{bmax} = 6 mm/Hub

Um die entwickelte Vorgehensweise zur Verfahrensoptimierung zu verifizieren, wurde die in dieser Arbeit formulierte Methodik an dem Beispielwerkstück - Schieber überprüft. In Abhängigkeit von den Eingangsparametern des Prozesses wurden die optimalen Stellparameter t, V_v, S_b unter Einhaltung der zulässigen Gültigkeitsbereiche bestimmt. Die Ergebnisse der Verfahrensoptimierung für das Schleifen des Schiebers sind der Tabelle 2 zu entnehmen.

Tab. 2. Optimale Stellparameter für das Planschleifen.

	Zustellung t mm	Vorschubgeschwindigkeit V _v m/min	Eingriffsbreite S _b mm/Hub
Schruppen	0,040	14	2,0
Schlichten	0,008	8	1,5

Nach der Bestimmung der optimalen Schleifparameter erfolgte das Planschleifen der Schieberoberfläche mit den gefundenen Bearbeitungsrequiemten. Messung der Ausgangsgröße des Prozesses, wie Rauheit, Ebenheit und Schleiftemperatur war erforderlich um die Schleifergebnisse zu quantifizieren. Die gemessenen Werte dieser Parameter blieben unter angefordertem Grenzwert und betrug die Werte: Ra = 0,35 µm; δ_{eben} = 0,008 mm; ℑ = 310°C.

Anhand des Schleifergebnisses der Schieberoberfläche ist es ersichtlich, dass mit Hilfe der Verfahrensoptimierung das Zeitspanvolumen deutlich erhöht wurde. Damit steht eine Vorgehensweise zur

**Energieeffizienz im Bau- und Maschinenwesen,
25. – 27. September, 2017
Technische Universität in Liberec**

Verfügung, die das Finden von optimale Schleifparametern zur Fertigung von guten Oberflächen bei hoher Produktivität gewährleistet.

Die Prozessparameter zum Planschleifen von Bauteilen mit hoher Genauigkeit haben einen entscheidenden Einfluss auf die Oberflächenbeschaffenheit und dessen späteren Einsatz unter praktischen Bedingungen. Modellierung des Schleifprozesses ermöglicht die funktionellen Zusammenhänge zwischen den relevanten technologischen Einflüssen und den wichtigen Prozessausgangsgrößen, wie Oberflächenrauheit, Formgenauigkeit und Schleiftemperatur, quantitativ und qualitativ darzustellen. Der Einsatz der statistischen Versuchsplanung minimiert dabei den Aufwand für die Erstellung dieser Zusammenhänge. Werden diese Zusammenhänge in einer geeigneter Form als Randbedingungen festgelegt, kann man die technologische Prozessparameter beim Planschleifen so optimieren, dass bei vorgegebenen Anforderungen maximale Produktivität erreicht wird.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass sich mit der entwickelten Methode zur Verfahrensoptimierung das Planschleifen effizienter gestalten lässt. Diese Methode ist auf die beliebige Kombination von Schleifparametern übertragbar und hilft beim Planschleifen Kosten zu sparen und Termine zu verkürzen.

Anwendung von Energieeffizienzkriterien für Marktstrategien von Großunternehmen in den Transformationsländern

Dr. Ludmila Palekhova¹, Dr. Dmitry Palekhov²

Abstrakt: *Der Artikel erschließt Probleme der Energieeffizienz in den Transformationsländern, befasst sich mit der kritischen Bedeutung der Ziele der Energieeffizienzerhöhung für den Übergang zu einer nachhaltigen Entwicklung, identifiziert die Probleme, die mit der Energienachhaltigkeit ukrainischer Großunternehmen verbunden sind, im Hinblick auf deren Integration in globale Lieferketten und den Zugang zu nachhaltigen Märkten, und definiert schließlich Kriterien für die Entwicklung von Marktstrategien und die Aufnahme in integrierte Wertschöpfungsketten auf den Grundsätzen der Energieeffizienz.*

Schlüsselwörter: Energieeffizienz, globale Wertschöpfungsketten, Marktstrategien, nachhaltige Entwicklung, Transformationsländer.

1. Energieeffizienzprobleme in den Transformationsländern

In den vergangenen Jahren wurde das Problem der Energieeffizienz von Produktionsunternehmen immer wichtiger als Thema innerhalb von Diskussionen über die nachhaltige Entwicklung der Industrie. Die Mitgliedsstaaten der EU haben in diesem Bereich eindrucksvolle Ergebnisse durch die Neuorientierung der energieintensiven Industrien sowie durch technische und technologische Modernisierung, vor allem in der Produktionsbranche, erreicht. Diese Bemühungen sind sehr wichtig, reichen aber gleichzeitig nicht aus. Eine nachhaltige Entwicklung erfordert weltweite Ansätze, einschließlich der Unterstützung von Energiezielen in den Transformationsländern.

Im Allgemeinen ist in den ehemaligen sozialistischen Ländern und Sowjetrepubliken die Dynamik der Entwicklung der Energienachhaltigkeit ungleichmäßig. In der Tat haben einige Länder in Zentral- und Osteuropa (CEE), wie die Tschechische Republik, die Slowakei und Polen, ein hohes Maß an Energieeffizienz erreicht, vor allem nach dem EU-Beitritt und dem Beitritt zur EU Klima- und Energiepolitik. Zahlreiche Studien zeigen jedoch, dass in den meisten Ländern des ehemaligen Ostblocks, einschließlich Russland und der Ukraine, ihre Bemühungen hinsichtlich der Energienachhaltigkeitsentwicklung immer noch unzureichend sind in Qualität und Umfang [1-3].

Es ist wichtig, zu erwähnen, dass unter den Bedingungen des sozialistischen Verteilungssystems die Energieressourcen aller Art frei über Verwaltungsgrenzen ausgetauscht wurden. Moskau hat die Mittel bereitgestellt und die notwendige Energieinfrastruktur verwaltet. Nach dem Zusammenbruch des sozialistischen Systems hatten die neuen unabhängigen Staaten und vor allem die Ukraine eine Vielzahl von Hindernissen im Wachstum der Energiesicherheit und in der ökologischen Nachhaltigkeit (siehe Abb. 1).

Erstens haben nicht alle neuen Staaten einen ausreichenden Zugang zu fossilen Energieträgern erhalten. Außer den energieträgerreichen Ländern (Russische Föderation, Kasachstan, Aserbaidschan und Turkmenistan) sehen sich viele mit einer hohen Abhängigkeit von Energieimporten konfrontiert. Zum Beispiel hat die Ukraine ein Defizit ihrer eigenen natürlichen Kohlenwasserstoffvorkommen. Bis 2014 kaufte das Land etwa 75% Gas und 85% Öl; im Jahr 2013 erreichte der Import an Erdgas 27,6 Milliarden Kubikmeter, einschließlich des Anteils des russischen Gases in Höhe von 93% an der Gesamtmenge [4-5].

Dennoch hat sich die Situation in den vergangenen zwei Jahren deutlich verändert. Unter den Auswirkungen der russischen Militärangriffe und dem Druck steigender Gaspreise verfolgte die Ukraine eine neue Politik der externen Energiesicherheit: Sie erhöhte die nationale Gewinnung, wechselte zu einem Gasversorgungssystem aus Europa („Reverse Flow“) und kürzte den russischen Import [5]. Im Ergebnis hat die Ukraine heute ihre hohe Verletzbarkeit in der externen Energieversorgung reduziert (siehe Abb. 2).

Darüber hinaus erhöht das Land die Elektrizitätsexporte: Im Januar bis August 2017 stieg der Außenverkauf von Elektrizität im Vergleich zum Vorjahreszeitraum um 45,1% auf 3 Mrd. 784,8 Mio. kWh, darunter nach Ungarn, Slowakei und Rumänien – 2 Mrd. 179,7 Mio. kWh, Moldawien – 885,3 Mio. kWh, Polen – 719,7 Mio. kWh [6].

¹ Nationale Bergbauuniversität (NBU) der Ukraine, Institut für Ökonomie, Dmitry Jawornyzkyj Prospekt 19, 49027, Dnipro, Ukraine, palehovall@gmail.com

² Brandenburgische Technische Universität (BTU) Cottbus-Senftenberg, Lehrstuhl Umweltplanung, Erich-Weinert-Str. 1, 03046, Cottbus, Deutschland, dmitry.palekhov@b-tu.de

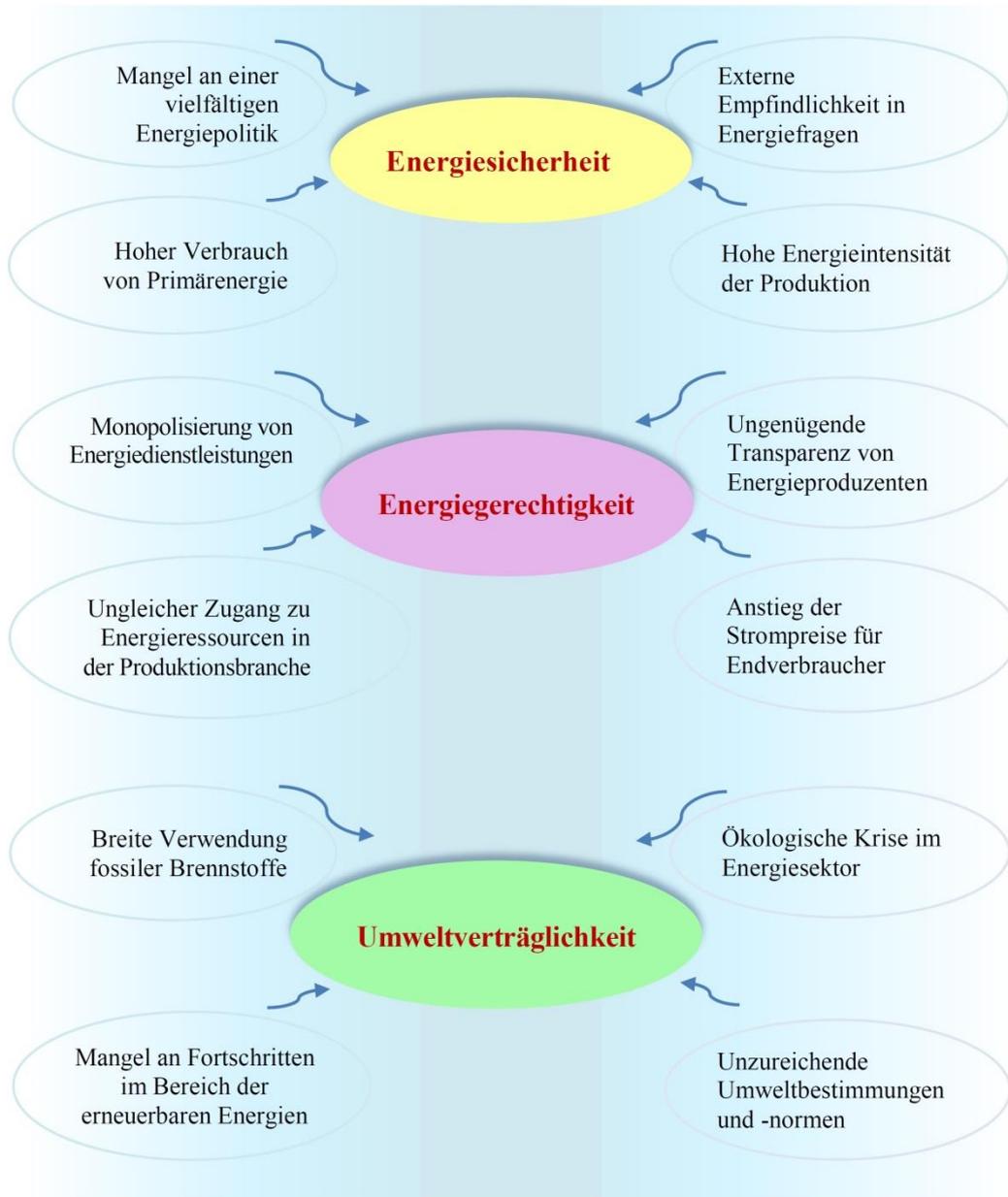


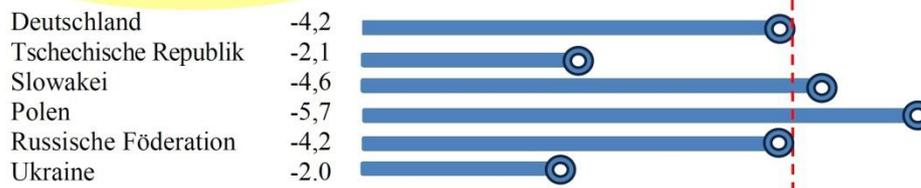
Abb. 1 Die Hauptprobleme der Energieeffizienz in Ländern mit Transformationswirtschaft (Quelle: in Anlehnung an Konzept von in Anlehnung an Weltenergieat [7-8]).

Zweitens erfordert die Umsetzung der Ziele nachhaltiger Entwicklung in den Transformationsländern die Steigerung der Energieeffizienz in allen Bereichen der Wirtschaftsaktivität: zum Beispiel in der Industrie und in der Landwirtschaft, im Bau- bzw. Wohngebäudesektor, im Verkehr usw. Die Erfahrung der Ukraine zeigt deutlich, dass der positive Effekt einer Verbesserung der Politik im Bereich der Energieimporte durch die Fortsetzung eines hohen Energieverbrauchs, insbesondere im Produktionssektor, deutlich reduziert werden kann. So nutzen viele Industrieunternehmen in der Ukraine immer noch energieintensive Technologien und Prozesse [9]. Das Land hat die höchste Energieintensität in der Welt, etwa dreimal höher als in Deutschland oder Italien (siehe Abb. 3).

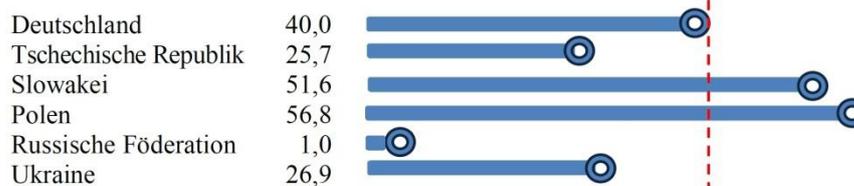
**Energieeffizienz im Bau- und Maschinenwesen,
25. - 27. September 2017
Technische Universität in Liberec**

Veränderung des Energieverbrauchs in Relation zum BIP-Wachstum (in Punkten von -10 bis 3)

Energiesicherheit

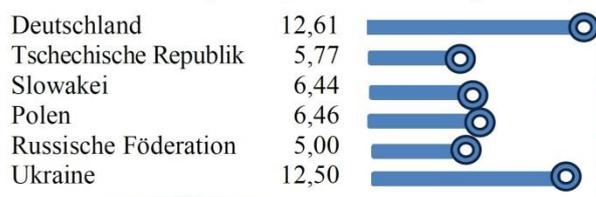


Importabhängigkeit (in Punkten von 1 bis 100)



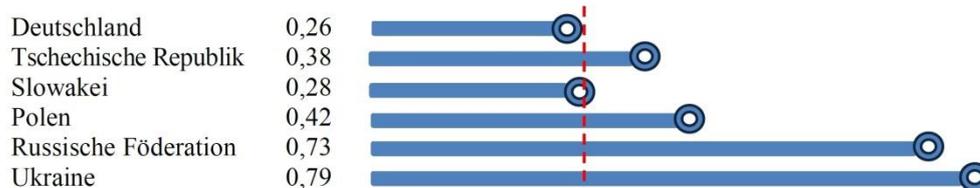
Energiegerechtigkeit

Industriestrompreise (US-Dollar-Cent pro kWh)

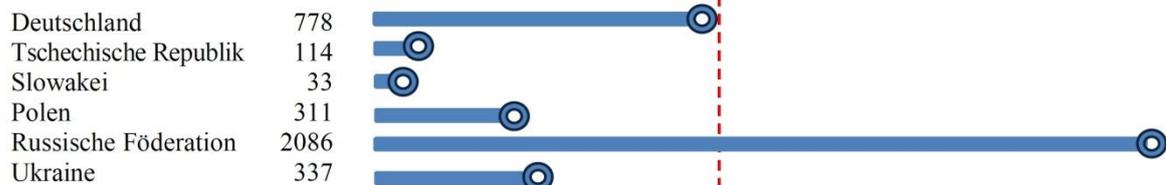


Umweltverträglichkeit

CO₂-Intensität (kCO₂ pro US\$)



Treibhausgasemissionen im Energiesektor (Mt CO₂e)



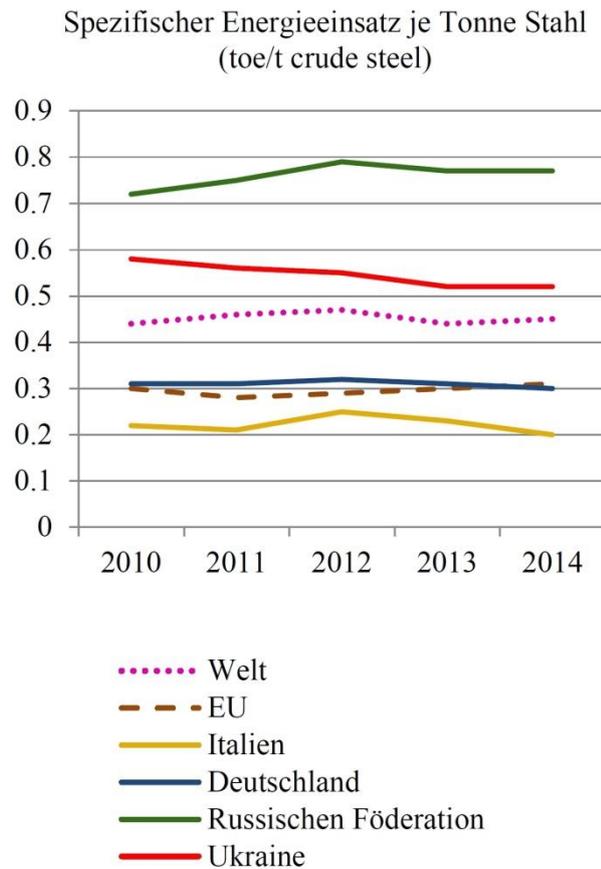
*Abb. 2 Energienachhaltigkeit der Transformationsländer vs. Deutschland
(Quelle: in Anlehnung an Weltenergieat [8]).*

Energieeffizienz im Bau- und Maschinenwesen,

25. - 27. September 2017

Technische Universität in Liberec

Länder	Energieintensität (koe/\$05p)
Deutschland	0,07
Italien	0,07
Slowakei	0,08
Polen	0,08
Rumänien	0,08
Tschechische Republik	0,09
Serbisch	0,10
Kasachstan	0,12
Russischen Föderation	0,16
Ukraine	0,19



Länder	CO ₂ -Intensität (kCO ₂ /\$05p)
Deutschland	0,24
Italien	0,19
Slowakei	0,24
Polen	0,38
Rumänien	0,28
Tschechische Republik	0,37
Serbisch	0,50
Kasachstan	0,69
Russischen Föderation	0,72
Ukraine	0,73

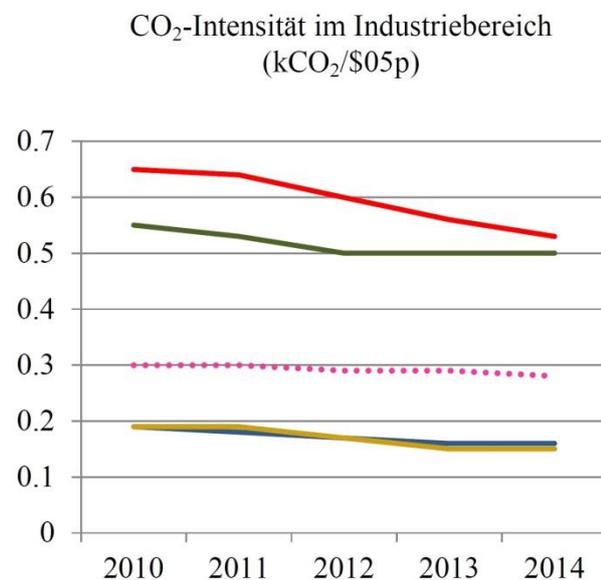


Abb. 3 Energieintensität in den Transformationsländern vs. Deutschland und Italien (Quelle: in Anlehnung an Weltenergieat, 2014 [8]).

Energieeffizienz im Bau- und Maschinenwesen, **25. - 27. September 2017** Technische Universität in Liberec

Die hohe Energieintensität und nicht wettbewerbsfähige Preise für Industrieprodukte in der Ukraine sind vor allem mit dem Einsatz unproduktiver Technologien, dem langsamen Tempo technischer Neugestaltung und der Modernisierung der Produktion und einem schwachen Interesse an Energiemanagementstandards verbunden. Dieses Problem wurde in früheren Publikationen [9-11] genauer betrachtet.

Drittens sollte ebenso der Bedarf an einer Diversifizierung von Energiequellen erwähnt werden. Die Erfahrung von Deutschland und Italien zeigt zum Beispiel, dass eine umsichtige Politik zur Diversifizierung von Energiequellen und Energieerzeugung ein unverzichtbarer Bestandteil von nachhaltiger Entwicklung ist und nachhaltige Energieziele in jedem Land ein Teil des makroökonomischen Rahmens werden sollten. Insbesondere hat sich die deutsche Energiepolitik nach der Verabschiedung des neuen Energiekonzepts im September 2010 stark verändert [12]. Heute basiert der Erfolg deutscher Erfahrungen weitgehend auf den langfristigen und verlässlichen Rahmenbedingungen, die den Investoren das Energieeffizienzgesetz (EEG), das Energiezertifikatgesetz und öffentlich finanzierte Kreditprogramme anbieten. Ziel des EEG ist es, den Anteil der erneuerbaren Energien beim Stromverbrauch auf mindestens 35 Prozent im Jahr 2020 und danach kontinuierlich weiter zu steigern. Bereits im Jahr 2016 lag der Anteil der erneuerbaren Energiequellen am Gesamtenergieverbrauch in Deutschland bei 31,7 Prozent [13].

In der Energiebilanz von Italien dominieren Erdgas und erneuerbare Energiequellen: 48% Gas, 28% erneuerbare Energie, 15% Kohle, 3% Öl und 7% andere Energiequellen [14]. Das ist ein gutes Beispiel für das Wachstum des Energiepotentials anhand der Kombination adaptiven Managements und energiepolitischen Maßnahmen: bspw. die nationalen Programme zur Stimulierung der Energieerzeugung aus der Sonnenstrahlung (italienisch *Conto Energia*) sowie die Programme zur Entwicklung anderer Technologien im Bereich der erneuerbaren Energiequellen (italienisch *Conto Termico*) [15]. Zu diesen Programmen gehören insbesondere Investitionsbeihilfen, Steuererleichterungen, Steuererstattungen, grüne Zertifikate und Direktpreissysteme, einschließlich Tariffestlegungen und Prämienzahlungen. All diese Maßnahmen zielen darauf hin, die Energiequellen zu diversifizieren und den Anteil der erneuerbaren Energiequellen am Endenergieverbrauch und ihre betriebliche Effizienz zu erhöhen [8; 14].

Die Analyse des Weltenergieerates (englisch *World Energy Council*) schätzt, dass in der Ukraine der Anteil an erneuerbaren Energiequellen im Jahr 2016 lediglich 6,5% betrug [8]. In den Empfehlungen wird über die Notwendigkeit einer Zugangserleichterung zur Energetik und Liefersicherheit, der Wirtschaftlichkeitssteigerung und des Wachstums der Anteile an erneuerbaren Energien diskutiert.

Viertens stehen viele Länder vor dem Problem der Energiegerechtigkeit, d. h. Gleichheit und Transparenz im Bereich der Energiedienstleistungen. In diesem Zusammenhang wird die Energiegerechtigkeit als Verfügbarkeit, Zugänglichkeit und Bezahlbarkeit von Energiedienstleistungen für alle potentiellen Verbraucher verstanden, unter anderem für geschäftliche Zwecke und die Bevölkerung.

Die Ukraine hat typische postsowjetische Probleme wie die Monopolisierung im Energiesektor, die administrative Inflexibilität und den Mangel an Transparenz. Einige dieser Themen wurden bereits ausführlich diskutiert, insbesondere in der Monographie „Management für nachhaltige Entwicklung in Transformationsländern“, die auf die Initiative der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus-Senftenberg und der Nationalen Bergbauuniversität der Ukraine³ erstellt wurde [16-17].

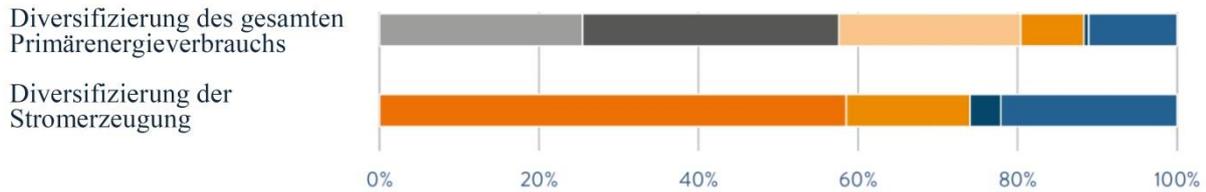
Schließlich ist fünftens die ökologische Nachhaltigkeit des Energiesektors eines der größten Probleme in den Transformationsländern. Dies sollte das Ziel werden, auch wenn es sehr schwer zu erreichen ist. Es ist notwendig, nach Alternativen, Kompromissen und anderen Anstrengungen zu suchen, sowohl von Unternehmen und Behörden, Konsumenten und Verbrauchern als auch von der Produktionsseite, und dem Vertrieb. So produzierte die ehemalige Tschechoslowakei mehr als 70% ihrer Energie aus Braunkohle, einer der schmutzigsten Energiequellen [18]. Heute belegt die Tschechische Republik nur den 54. Platz in der Bewertung nach der ökologischen Nachhaltigkeit [8]. Die tschechische Energiepolitik sieht daher eine Verringerung des Kohleanteils in ihrer Energiebilanz (von 45% auf 20% in den kommenden Jahrzehnten) und eine Erhöhung des Anteils von Erdgas und erneuerbaren Energien vor [19].

Unter Berücksichtigung der europäischen Erfahrungen hat die Ukraine für sich auch eine Politik zur Verringerung des Anteils an Primärenergiequellen beschlossen. Es wird erwartet, dass der Kohleverbrauch von Wärmekraftwerken bzw. Heizkraftwerken im Jahr 2017 26 Mio. 258,7 Tausend Tonnen betragen wird, das sind 16,2% weniger als im Jahr 2016. Darüber hinaus erklärte der Minister für Energie- und Kohleindustrie, dass die Ukraine bis Ende 2019 die Kohlenutzung der Anthrazit-Gruppe aufgeben will [20].

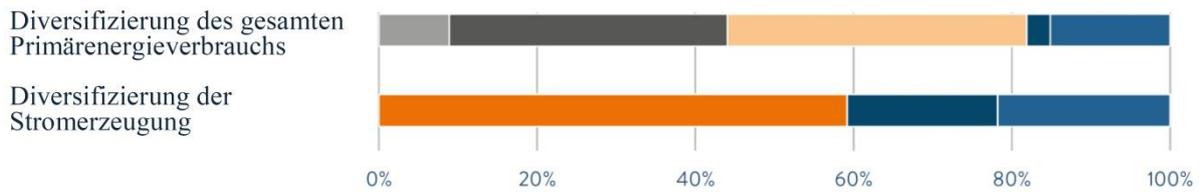
³ Diese Monographien-Reihe wurde von der Deutschen Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) unterstützt.

**Energieeffizienz im Bau- und Maschinenwesen,
25. - 27. September 2017
Technische Universität in Liberec**

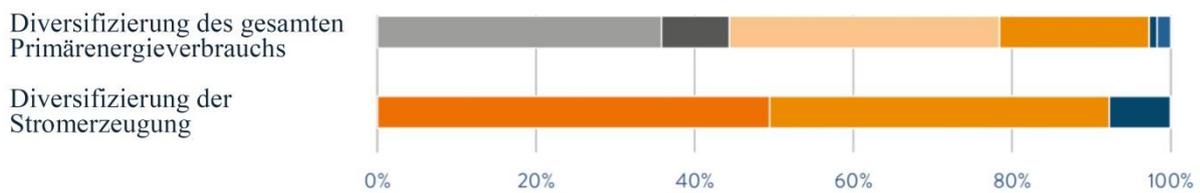
Deutschland



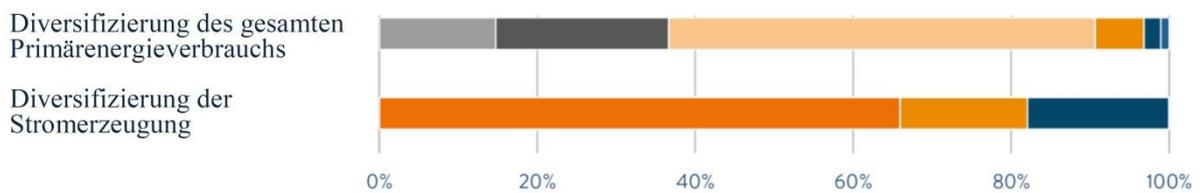
Italien



Ukraine



Russische Föderation



*Abb. 4 Energiemix der Ukraine und der Russischen Föderation in Bezug auf Deutschland und Italien
(Quelle: in Anlehnung an [8]).*

2. Energieeffizienzkriterien in Marktstrategien großer Unternehmen

Die Analyse hat gezeigt, dass die Transformationsländer, vor allem postsowjetische Länder, ein ähnliches Erbe erhalten haben. Darunter ist der Mangel an Erfahrungen in der Steuerung von Energieprozessen zu verstehen sowie das Fehlen von Rechts- und Verwaltungsvorschriften für die Erhöhung der Energieeffizienz als auch der Mangel an Alternativen zu fossilen Brennstoffen und die verschwenderische Nutzung von primären Ressourcen. Der Umfang und die Struktur von Energieproblemen variieren jedoch in den verschiedenen Ländern. Es muss in diesem Zusammenhang betont werden, dass ein Verständnis dieser Parameter das Erkennen der Wichtigkeit des Themas sowie die Verdeutlichung von Chancen und Risiken für eine nachhaltige Geschäftsentwicklung in diesen Ländern ermöglicht.

Dies ist besonders wichtig in der aktuellen wirtschaftlichen Situation, da die internationalen Beziehungen von Unternehmen über einzelne Import- oder Exportgeschäfte hinausgehen und als vielfältige Produktions-, Handels- und Dienstleistungsbeziehungen betrachtet werden. Im Zuge der Globalisierung können große Unternehmen ihre Größe und ihren räumlichen Einfluss erhöhen [21]. Deren verstärkt organisierte Zusammenarbeit und Partnerschaft wird dabei sehr wertvoll. Heute sind globale Wertschöpfungsketten oder GVCs (englisch *global value chains*) eine Hauptform der wirtschaftlichen Beziehungen in der Welt geworden. Auf zahlreichen internationalen Konferenzen, Foren und anderen hochrangigen Treffen werden Maßnahmen zur Stärkung der GVCs diskutiert, insbesondere in Bezug auf Fragen der nachhaltigen Entwicklung, einschließlich Aspekten des Trilemmas der Energieeffizienz. Insbesondere enthält der G20-Aktionsplan für den Zugang zu Energie (englisch *G20 Energy Access Action Plan: Voluntary Collaboration on Energy Access*) ein freiwilliges Paket zur Energiezusammenarbeit⁴ [22].

Für eine Optimierung der komplexen globalen Wertschöpfungsketten werden gegenseitig vorteilhafte Beziehungen zwischen den Unternehmen und deren Partnern erforderlich. Außerdem ist eine erhöhte Transparenz, nicht nur der wirtschaftlichen Aktivitäten des Unternehmens, sondern auch des Energiemanagements (einschließlich der Ströme der Naturressourcen und der Abhängigkeit von ihnen), wichtig. Insofern stellen die Marktstrategien großer Unternehmen ein besonderes Problem dar. Sie erfordern neue Kriterien für den Eintritt in die globalen Wertschöpfungsketten und können damit eine realistischere Einschätzung der Attraktivität eines Unternehmens im globalen Maßstab ermöglichen. Starke Marktpositionen von Unternehmen sollten auf Indikatoren und Kriterien für gemeinsame Aktionen zum Umweltschutz und zur Erreichung der Energieziele in der gesamten Wertschöpfungskette basieren.

In diesem Zusammenhang spüren die Unternehmen, die in ihrer heimischen Wirtschaft die größte Rolle spielen, zunehmend den Druck zweier Faktorgruppen bezüglich der Nachhaltigkeit der Energie, die sie für die erfolgreiche Geschäftsabwicklung berücksichtigen müssen. Die ersten Faktoren hängen mit dem Einfluss des Unternehmens auf die Verbesserung dieser Probleme generell in seinem Land und der Situation in seiner Region zusammen. Die zweite Gruppe von Faktoren bezieht sich auf die Anforderungen und Standards, die für einen bestimmten GVC (oder seinen Hauptpartner) definiert bzw. wertvoll sind. Beide Gruppen dieser Faktoren sind eng miteinander verflochten und haben langfristige und dauerhafte Konsequenzen.

Es ist zu betonen, dass die Anforderungen an die Energiesicherheit der ukrainischen Unternehmen sowohl von externen Partnern als auch durch die Stärkung nationaler Normen zwangsläufig steigen werden. Gemäß dem Assoziierungsabkommen zwischen der Ukraine und der Europäischen Union muss die Ukraine mehr als 350 Rechtsakte in ihre innerstaatliche Gesetzgebung einführen. Mehr als die Hälfte davon wurde bereits umgesetzt: beispielsweise die Richtlinie 2009/28/EG zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen, Normen zur Demonopolisierung des Verbraucherzugangs zu Stromnetzen, zur Stimulierung der Wärmeenergieerzeugung aus alternativen Energiequellen u.a. Diese Reformen entsprechen den fortschreitenden Tendenzen bei der nachhaltigen Entwicklung in den GVCs [23].

Natürlich können sich die Energieeffizienzkriterien in der Marktstrategie je nach Zustand der internen Umgebung des Landes bzw. der Region und den externen Anforderungen an das Geschäft unterscheiden. Daher ist eine spezielle Studie erforderlich, um die kontextuellen Kriterien zu klären. Tabelle 1 zeigt eine Reihe kontextueller Kriterien, die für die Marktstrategien großer Unternehmen in der Ukraine von größter Bedeutung sind. Diese wurden durch eine Umfrage unter den Top-Managern der metallurgischen Unternehmen in Dnipro konkretisiert. Diese Kriterien können verwendet werden, um eine der Strategien hinsichtlich der Ressourcenqualität bzw. der Entwicklung von Unternehmenskompetenzen aufzubauen. Dadurch kann die Energieeffizienz der Kette verbessert werden.

Tab. 1 Kontextkriterien für Marktstrategien ukrainischer Unternehmen (Quelle: eigene Erstellung).

⁴ Diese Aspekte sind zu finden z. B. in der Deklaration des G20-Gipfels am 18./19. Juni 2012 in Los Cabos, Mexiko, im Bericht des Globalen Forums auf der Handelsmesse am 11./12. Februar 2014, im Communiqué der Staats- und Regierungschefs des G20-Gipfels 2015 am 15./16. November in Antalya, Türkei.

Energieeffizienz im Bau- und Maschinenwesen,

25. - 27. September 2017

Technische Universität in Liberec

Wichtigste Energieprobleme der Ukraine	Auswirkungen des Unternehmens auf den Zustand des Landes oder der Region	Der Einfluss von GVC auf das Unternehmen
Mangel an eigenen Energieressourcen	Stabilisierung und Verringerung des Gesamtenergieverbrauchs	Programme zur Optimierung der Energiebilanz
Ungleichgewicht in der Energiebilanz	Verringerung der Nutzung fossiler Ressourcen	Unterstützung von Branchenstandards für eine nachhaltige Entwicklung im Energiesektor, z. B. IRMA (englisch <i>Initiative for Responsible Mining Assurance</i>)
Hohe Energieintensität in allen Sektoren der Wirtschaft	Verringerung der Energieintensität der Produktion	Verringerung der Energieintensität entlang der gesamten globalen Wertschöpfungsketten
Langsame technische und technologische Entwicklung des Unternehmens	Übergang zu energiesparenden Technologien	Festlegung von Energieeffizienzkriterien für Produktion und Produkte
Der relativ geringe Anteil der alternativen erneuerbaren Energiequellen in der Gesamtmenge der Energiequellen	Förderung der Produktion und Nutzung alternativer und erneuerbarer Energiequellen	Die Erweiterung von Programmen zur Entwicklung und Nutzung alternativer erneuerbarer Energiequellen
Monopolisierung des Energiesektors	Unterstützung für alternative Energiemarktbetreiber	Globale Partnerschaftsprogramme zur Unterstützung der Energietechnologien
Mangelnde Transparenz von Großkonzernen und Großunternehmen	Die Umsetzung von Standards für Transparenz und soziale Verantwortung	Programme zur Unterstützung der internationalen Standards für Transparenz und soziale Verantwortung, z.B. EITI (englisch <i>Extractive Industries Transparency Initiative</i>) Unterstützung von Projekten zur Bekämpfung der Steuerhinterziehung, z.B. BEPS (englisch <i>Base Erosion and Profit Shifting</i>)
Niedrige ökologische Nachhaltigkeit bei der Energieproduktion und -nutzung	Einführung der internationalen Standards für Energie- und Umweltmanagementsysteme	Programme zur Reduzierung der energetischen Fußabdrücke (englisch <i>energy footprint</i>) Unterstützung neuer internationaler Standards für Energie- und Umweltmanagementsysteme

3. Methodische Empfehlungen

Die Aussichten für die Entwicklung großer Unternehmen und ihre Rolle in den Ländern mit Transformationswirtschaft sollten durch eine günstige Marktstrategie, welche die spezifischen Trends der

Energieeffizienz im Bau- und Maschinenwesen,

25. - 27. September 2017

Technische Universität in Liberec

Weltwirtschaft berücksichtigt, unterstützt werden. Heute sind die Schlüsselfaktoren der Marktstrategie für große Unternehmen auf internationaler Ebene in zwei Kriteriengruppen einzuteilen:

- Die erste Gruppe der Kriterien bezieht sich auf den Unternehmenseinfluss hinsichtlich der Verbesserung einer bestimmten Situation in einem Land bzw. in einer Region. Dies sind zum Beispiel Energiedefizit, Energieintensität oder die Qualität der Energiedienstleistungen.
- Die zweite Gruppe von Kriterien basiert auf der Erkenntnis, dass jedes Unternehmen in der globalen Wertschöpfungskette bestimmten Anforderungen und Standards unterliegt. Diese internationalen Standards und Initiativen werden auf freiwilliger Basis angewendet.

Beide Gruppen von Kontextkriterien sind eng miteinander verflochten und ergänzen einander. Neue Merkmale einer Marktstrategie werden durch Anwendung einer Reihe von Kriterien erreicht. Infolgedessen enthält die Marktstrategie Parameter, die auf der Grundlage eines Vergleichs zwischen den notwendigen und tatsächlichen Aufgaben der Unternehmen angepasst werden. Dieser Ansatz kann die „Push-Strategie“, die in der ukrainischen Praxis oft verwendet wird, verändern oder erweitern. Mit Hilfe von kontextbezogenen Kriterien kann ein Unternehmen eine „Pull-Strategie“ entwickeln, welche für alle Stakeholder am nützlichsten ist: für das eigene Geschäft, für die Region und das Land sowie für seine Geschäftspartner.

Die globalen Energieeffizienzkriterien, die von großen Unternehmen umgesetzt werden müssen und die einen großen Einfluss auf die Geschäftskette haben können, sollten aktiv gefördert werden.

4. Schlussfolgerungen

Die Forschung hat eine Reihe wichtiger Bestimmungen ermöglicht, insbesondere jene, die sich auf die Verbesserung der Energieeffizienz von Ländern mit Übergangswirtschaft durch Änderung der Marktstrategien ihrer Großunternehmen beziehen. Die Analyse zeigte, dass die Bemühungen der EU-Mitgliedsstaaten für eine Verbesserung der Energieeffizienz sehr wichtig, aber gleichzeitig unzureichend sind. Nachhaltige Entwicklung erfordert globale Ansätze, unter anderem durch die Unterstützung von Energiezielen in Ländern mit Transformationswirtschaft.

Es wurde festgestellt, dass die neuen unabhängigen Staaten eine Reihe von Hindernissen für das Wachstum der Energiesicherheit und der ökologischen Nachhaltigkeit aufweisen. Erstens haben nicht alle neuen Staaten einen ausreichenden Zugang zu fossilen Energieträgern erhalten. Zweitens erfordert die Umsetzung der Ziele der nachhaltigen Entwicklung in den Transformationsländern die Steigerung der Energieeffizienz in allen Bereichen der Wirtschaftsaktivität, insbesondere auf der Ebene der großen Unternehmen. Drittens ist auch eine Anhebung der Diversifikation von Energiequellen notwendig. Viertens stehen viele Länder vor dem Problem der Energiegerechtigkeit, d. h. Gleichheit und Transparenz im Bereich der Energiedienstleistungen. Schließlich ist die ökologische Nachhaltigkeit des Energiesektors eines der größten Probleme in den Transformationsländern.

Um diese Hindernisse zu überwinden, ist es sehr wichtig, dass sich die neuen Länder an den globalen Wertschöpfungsketten gemäß den Grundsätzen der nachhaltigen Entwicklung und der Energieeffizienz beteiligen. In Anbetracht dieser Überlegungen ist die Definition kontextueller Energieeffizienzkriterien für die führenden Unternehmen ein strategisches Schlüsselthema und sollte nicht verschoben werden.

Die Studie hat ein neues Konzept einer Marktstrategie entwickelt, um die globale Entwicklung der nachhaltigen Energie in all ihren Dimensionen zu fördern. Das Konzept schlägt die folgenden zwei Kriterien vor. Die erste Gruppe von Kriterien bezieht sich auf den Unternehmenseinfluss und die Verbesserung einer bestimmten Situation in dem Land bzw. in der Region. Die zweite Kriteriengruppe basiert auf der Berücksichtigung von internationalen Standards und Anforderungen, die in bestimmten globalen Wertschöpfungsketten angewendet werden und daher auf freiwilliger Basis anzuwenden sind. Beide Gruppen kontextueller Kriterien sind eng miteinander verflochten und haben langfristigen Einfluss auf den Geschäftserfolg.

Referenz

- [1] Shvetz V., Palekhova L., Simon S., Palekhov D., Mammadov A. (2015) Convergence of Energy Efficiency Policies in the EU and Countries with Economies in Transition. In: „Socio-Economic and Environmental Problems of the Mining Industry, Construction and Energy Sector“. 11th International Conference on Problems the Mining Industry, Construction and Energy Sector. Tula State University, Russian Federation, 5-6 November 2015. Conference Proceedings. S. 398-405.
- [2] Shvets V., Palekhova L. (2015) Energy Strategy of Ukraine: Modern Challenges. In: Proceedings of the International workshop „Energy supply and energy efficiency“. TU Azerbaijan-Baku, 21.09.2015 - 27.09.2015. Brandenburg University of Technology Cottbus-Senftenberg. S. 7-9.

Energieeffizienz im Bau- und Maschinenwesen,

25. - 27. September 2017

Technische Universität in Liberec

- [3] Palekhova L., Simon S. (2016) Competitive advantages through the implementation of international energy management standards. In: Bulletin of Prydniprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture. No 3 (216). S. 42-51.
- [4] Ukrainisches analytisches Portal. Wie sich der Gasmarkt in den letzten drei Jahren verändert hat – Infografik. <http://finance.bigmir.net/business/71818-Kak-izmenilsja-rynok-gaza-za-poslednie-tri-goda---infografika> (Zugriff am 20.09.2017).
- [5] Naftogaz Ukraine. Offiziellen Website. <http://www.naftogaz.com/www/3/nakwebu.nsf/0/2466DA47F8857E18C2257FB200345AF4?OpenDocument&year=2016&month=05&nt=%D0%9D%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8&> (Zugriff am 20.09.2017).
- [6] Ukrainisches analytisches Portal. Energie der Ukraine. <http://uaenergy.com.ua/post/29818/ukraina-za-8-mes-2017-g-uvelichila-eksport/> (Zugriff am 10.10.2017).
- [7] World Energy Council (2016) World Energy Trilemma 2016: Benchmarking the Sustainability of National Energy Systems. In Partnership with OLIVER WYMAN. WEC, London.
- [8] World Energy Council (2016) Energy Efficiency Indicators Database <https://www.worldenergy.org/data/efficiency-indicators/> (Zugriff am 20.09.2017).
- [9] Palekhova L., Pivnyak G. (2014) Exploring market strategies based on voluntary environmental certification in a Post-Soviet transition economy. In: Voluntary Standard Systems: A Contribution to Sustainable Development / Natural Resource Management in Transition. Volume 1. Springer Heidelberg New York Dordrecht London. S. 165-175.
- [10] Palekhova L., Kizilova M. (2015) Implementation of the energy management systems standard in the industrial sector of Ukraine. In: Proceedings of the International workshop „Energy supply and energy efficiency“. TU Azerbaijan, Baku, 21.09.2015 - 27.09.2015. Brandenburg University of Technology Cottbus – Senftenberg. S. 10-12.
- [11] Palekhova L. (2016) Experience of using voluntary sustainable development standards in energy sphere. 3. Ingenieurtag 2016. Der Fakultät Maschinenbau, Elektro- und Energiesysteme Gus- und Osteuropatag. Neseff-Netzwerktreffen. Tagungsband. Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg. S. 109-113.
- [12] Energie für Deutschland (2017) Fakten, Perspektiven und Positionen. Weltenergierat-Deutschland, Redaktionsgruppe „Energie für Deutschland“. Gertraudenstraße 20 | 10178 Berlin, Deutschland.
- [13] Umweltbundesamt (2017) Erneuerbare Energien in Zahlen. <http://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-energien-in-zahlen> (Zugriff am 20.09.2017).
- [14] IEA Bioenergy Countries' Report (2016). Bioenergy policies and status of implementation. Published by IEA Bioenergy - ExCo: 2016:03. S. 50-56.
- [15] Gestore dei servizi energetici GSE S.p.A. Offiziellen Website. <http://www.gse.it/it/Pages/default.aspx#&panel2-2&panel3-1> (Zugriff am 20.09.2017).
- [16] Schmidt M., Hansmann B., Palekhov D., Pivnyak G., Shemshuchenko Y., Pavlenko A., Shapar A., Shvetz V., Palekhova, L. (Eds.) (2015) Management for Sustainable Development in Transitional Economies: Monograph (in Russian). Universities in Support of Sustainable Development, Vol. 1. PP Accent, Dnepropetrovsk.
- [17] Schmidt M., Hansmann B., Palekhov D., Pivnyak G., Shemshuchenko Y., Pavlenko A., Shapar A., Shvetz V., Palekhova, L., (Eds.) (2016) Management for Sustainable Development in Transitional Economies: Monograph. 2nd Edition, Revised and Expanded (in Russian). Universities in Support of Sustainable Development, Vol. 2. PP Accent, Dnepropetrovsk.
- [18] Gingrich S., Kušková P., Steinbergera J.K. (2011) Long-term changes in CO2 emissions in Austria and Czechoslovakia – Identifying the drivers of environmental pressures. In: Energy Policy 39(2): 535-543.
- [19] Tschechische Republik Industrie 4.0 (2017) Smart Factory Zielmarktanalyse 2017 mit Profilen der Marktakteure. Deutsch-Tschechische Industrie-und Handelskammer (DTIHK). Praha.
- [20] Informationsagentur „Interfax Ukraine“. Anstieg der Stromexporte der Ukraine im 2017. <http://interfax.com.ua/news/economic/416032.html> (Zugriff am 20.09.2017).
- [21] Palekhova L. Problem of responsible production in the energy sector. In: Proceedings of the International workshop „Energy supply and energy efficiency“ TU Azerbaijan, Baku, 21.09.2015 - 27.09.2015. Brandenburg University of Technology Cottbus – Senftenberg. S. 13-15.
- [22] G20 Energy Access Action Plan: Voluntary Collaboration on Energy Access. <https://www.ief.org/events/g20-energy-ministers-meeting-and-conference-on-energy-access-in-sub-saharan-africa> (Zugriff am 20.09.2017).
- [23] Palekhov D. (2016) Energy efficiency targets in development planning. In: Management for Sustainable Development in Transitional Economies: Monograph. 2nd Edition, Revised and Expanded (in Russian). Universities in Support of Sustainable Development, Vol. 2. PP Accent, Dnepropetrovsk. S 370-383.

Vergleich der Wärmespeicherungseffekt der unterschiedlichen Typen der Gebäudehülle

¹A.A. Saikina, ¹V.V. Potekhina, ¹E.M. Gorjatscheva, ¹M.V. Gorelov

Abstrakt *Die modernen Baustoffe der Mauerwerke für Flachbauten wurden untersucht, die Ergebnisse der Berechnung des thermischen Speicherkoeffizienten sowie Temperaturgrafiken für Innenluft und deren Abkühlung bei unterschiedlichen Randbedingungen sind vorgestellt.*

Schlüsselwörter: Wärmeverlust, Flachbauten, Wärmerückhaltevermögen, Energieeinsparung

Heutige Anforderungen an die Energieeffizienz, Langlebigkeit von Strukturen für Flachbau Gehäuse erfordern eine besondere Aufmerksamkeit auf die Wahl von Baustoffen für Außenfassaden [1,2].

Europäischer Baustoffmarkt bietet eine breite Palette von Materialien: verschiedene Arten von Holz, Ziegel (vollen und hohlen), künstliche und natürliche Steine, leichte Materialien (Holzbeton, Betonblöcke, etc.), alle diese Materialien haben sowohl Vorteile im Bezug zueinander, als auch die Mängel.

Holz ist seit langem ein traditionelles Baumaterial für den Bau von Flachbau Gehäusen in dem Land gewesen. Holz hat die folgenden Vorteile: Umweltfreundlichkeit, hohe spezifische Festigkeit, kleinere thermische Ausdehnung beim Erhitzen, chemische Beständigkeit und Leichtigkeit der Verarbeitung. Die Nachteile von Holz sind: biologischen Einfluss auf die Struktur, die Heterogenität der Struktur sowie höhere Brennbarkeit.

Ziegelstein ist ein künstlicher in der richtigen Form gestaltete Stein, das als Bauelement breit verwendet wird. Grundeigenschaften von Ziegel - Festigkeit, Frostbeständigkeit und Wasserbeständigkeit. Ziegelstein wurde bei der Konstruktion der einzelnen Gehäuse mit 80-er Jahren des letzten Jahrhunderts weit verbreitet.

Holzbeton ist ein Baustoff aus einer Mischung aus Beton und Holzhackschnitzel größere Größe hergestellt. Die Vorteile sind: Wärmeleitfähigkeit des Holzbetons, schalldichte und feuerfeste Eigenschaften, jedoch ist der Bau von mehrstöckigen Strukturen (mehr als zwei Stockwerke) unerwünscht. Zu den dieselben Materialien kann auch sog. „ländliche Mauer“ zugeordnet werden. Die letzte wird in [3] diskutiert.

Um die modernen Anforderungen an den Wärmeschutz von Gebäuden zu erfüllen bzw. um Energie zum Heizen bei einer einschichtigen Dicke der Wände von traditionellen Materialien (Ziegel, Beton, Holz) speichern zu können, scheint es heute unanwendbar zu sein. Obergenannte Situation hat sich Forscher gezwungen, neue Materialien und Produkte zu entwickeln, sowie Gebäudesysteme, die die Anforderungen der Festigkeit, Haltbarkeit, Wärmeschutz und zugleich Wirtschaftliche Aspekte erfüllen. Derzeit bieten die meisten dieser Systeme Wandkonstruktion mit mehreren Schichten.

Der Errichtung von Gebäuden müssen in Übereinstimmung mit den Anforderungen an den Wärmeschutz [1] vollgezogen sein. Vor der Inbetriebnahme sollten Tests durchgeführt werden, um die Wärmeabschirmungseigenschaften umschließenden Strukturen und die Wärmespeicherfähigkeit von Gebäuden bestimmen zu können [4]. Allerdings gelten diese Anforderungen nicht nur für Flachbau im Land. Jedoch sind die guten Wärmedämmeigenschaften des Mauerwerks und Wärmerückhaltevermögen des Gebäudes entscheidender Faktoren bei der Auswahl der Wärmequelle für das Gebäude. Die Wärmerückhaltevermögen ermöglichen nämlich die Verwendung von Heizungsanlagen in Flachbauten im intermittierenden Betriebsmodus um Energie zu sparen.

Nach Angaben vom Jahresbeginn 2016 beträgt die Vergasung von ländlichen Siedlungen in Russland etwa 56% [5]. Dies bedeutet, dass eine Bevölkerungsgruppe von etwa 40% der Landbevölkerung unterschiedliche Typen der Festbrennstoffkessel als Wärmequelle in Heizperiode benutzt. Ein wesentlicher Nachteil von Festbrennstoffkessel ist ein ständiger Bedarf an Treibstoffflüchtigkeit und inkonstante Belastbarkeit. In diesem Fall zeigt Mauerwerk gute Wärmedämmeigenschaften in einer Kombination mit einem hohen Koeffizienten der thermischen Akkumulation und kann eine relativ komfortable Bedingungen für Menschen gewährleisten.

¹ Nationale Forschungsuniversität Moskauer Energetisches Institut, anna-anna.z@yandex.ru, lerika2332@gmail.com, elena-goryacheva@mail.ru, gorelov_mikhail@mail.ru

Energieeffizienz im Bau- und Maschinenwesen,

25. – 27. September, 2017

Technische Universität in Liberec

Die Fähigkeit zur Wärmespeicherung ist eine Eigenschaft des Materials, solange die Wärme zu halten, um die Zeit zu bestimmen, während die Innentemperatur einen bestimmten Wert durch die Anforderungen erreicht [2].

Um das Wärmespeichervermögen des Gebäudes zu bewerten wurden vier Gebäude mit dem gleichen Volumen und den gleichen thermischen Widerstände (RCalc) mit jeweiliger Berechnung der Heizungsverläufe modelliert. Schichten zur Endfertigung (Putz, Fliesen, etc.) wurden in dieser Berechnung nicht berücksichtigt. Die thermischen Eigenschaften von Materialien sind in der Tabelle 1 vorgestellt.

Der berechnete Werte des Wärmewiderstandes, der für alle drei Gebäude ca. 6,2-6,9 (m² · K) / W betragen, sind durch die Formel gefunden:

$$R = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \quad (1)$$

Hier α_1 - interne Wärmeübertragungskoeffizienten , W / (m² · K), α_2 - externe Wärmeübergangskoeffizienten , W / (m² · K), δ die Dicke der Wand, m, die Wärmeleitfähigkeit λ -Koeffizient, W / (m · K)

Berechnete Werte des Wärmewiderstands sind wesentlich höher als normalisierte Werte [1], da das Ummauern, die im Vergleich zu den oben genannten Materialien ausgewählt wurden ist nämlich „ländliche Mauer“ [3].

Für Gebäude №1 betrachten dreischichtigen Struktur, bestehend aus Eichenholz, Wolle und Holz.

Konstruktive Lösung für Wände des Gebäudes №2 ist eine dreischichtige Struktur aus Kalksandstein, Steinwolle und keramischen Ziegel.

Die Wände des Gebäudes №3 bilden eine mehrschichtige Struktur Typ „ländliche Mauer“, die symmetrisch um die Längsachse ausgelegt sind und bestehen aus 5 Schichten, nämlich aus gepressten Strohisolationsblöcken, die beiden Kontaktschichten einer Mischung aus Beton und Stroh sowie zwei Trägerschichten aus verstärktem Spritzbeton [2].

Gebäudehülle №4 besteht aus zweischichtigen Struktur: Holzbeton und Mineralwolle.

Tabelle 1 Thermische Eigenschaften von Materialien

Baustoff		Dichte (kg/m ³)	Wärmeleitfähigkeit W / (m · K)	Spezifische Wärmekapazität kJ / (kg · ° C)
Mauer №1	Silicat Ziegel	1500	0,600	0,80
	Mineralwolle	75	0,438	0,84
	Keramischer Ziegel	1800	0,800	0,80
Mauer №2	Bauholz von Eiche	700	0,180	2,40
	Mineralwolle	130	0,039	0,84
	Holzplanke	450	0,150	1,70
Mauer №3	Verstärkte körniger Spritzbeton	2200	0,438	0,84
	Gepresste Stroh Blöcke	500	0,130	2,30
	Lehm	50	0,059	2,30
Mauer №4	Holzbeton	500	0,170	2,30
	Mineralwolle	75	0,039	0,84

Der wichtigste Indikator für Wärmespeicherfähigkeit von Gebäuden ist der Koeffizient der thermischen Akkumulation β .

Akkumulationskoeffizient steigt mit zunehmendem Gewicht der Ummauerung und deren Wärmekapazität und mit der Abnahme der Wärmeverluste des Gebäudes [6].

Koeffizient Wärmespeicherung kann durch die Formel gefunden werden:

$$\beta = \frac{k \cdot \sum \delta_i \cdot c_i \cdot \rho_i \cdot F_i / 2}{Q} = \frac{k \cdot \sum \delta_i \cdot c_i \cdot \rho_i \cdot F_i / 2}{3,6 \cdot \sum k_j \cdot F_j + L \cdot (c \cdot \rho)} \quad (2)$$

Energieeffizienz im Bau- und Maschinenwesen,
25. – 27. September, 2017
 Technische Universität in Liberec

k_t - Korrekturfaktor zur Berechnung der Wärmespeicherung unterschiedlichen Typen der Gebäudehüllen;

δ_i, f_i - Dicke und Fläche der i-ten Gebäudehülle;

c_i, ρ_i - spezifische Wärme und die Dichte der i-ten Materials der Gebäudehülle

K_J - Wärmedurchgangskoeffizient der i-ten Gebäudehülle;

L - Luftmassen -Strömungsrate;

$[(C \cdot \rho)]$ genommen - spezifische Wärme und die Dichte der Luft;

Q_{ud} - spezifischer Wärmeverlust aus dem Raum.

Numerische Werte der Wärmespeicherkoeffizienten wurden für die betrachteten Gebäude erhalten, die Ergebnisse sind in Tabelle 2 vorgestellt.

Tabelle 2. Ergebnisse der Berechnung der thermischen Speicherkoeffizient

Baukonstruktion	β , St.	δ , m	$R_{\text{пач}}$, (m ² ·K)/W
Mauer №1	40,4	0,82	6,27
Mauer №2	37,6	0,55	6,28
Mauer №3: «Ländliche Mauer»	29,6	0,5	6,89
Mauer №4	33,8	0,55	6,64

Jedoch zeigen die Werte die Vorteile und Nachteile der gewählten Gestaltung der Wände nicht. Zur Visualisierung der Ergebnisse sollten die Graphen der Kühlung der Innenlufttemperatur dargestellt werden. Auf der Basis von mathematischen Modellen, die in [6, 7] beschrieben sind, können die Diagramme der Abkühlung der Raumlufttemperatur dargestellt werden. Anfangsbedingungen : Temperatur der Umgebungsluft - minus 25 ° C, die Innenlufttemperatur - 19 ° C, die geometrische und thermische Leistung der Gebäudehülle, sowie die berechneten Werte des Koeffizienten der thermischen Akkumulation sind als Anfangsbedingungen genommen.

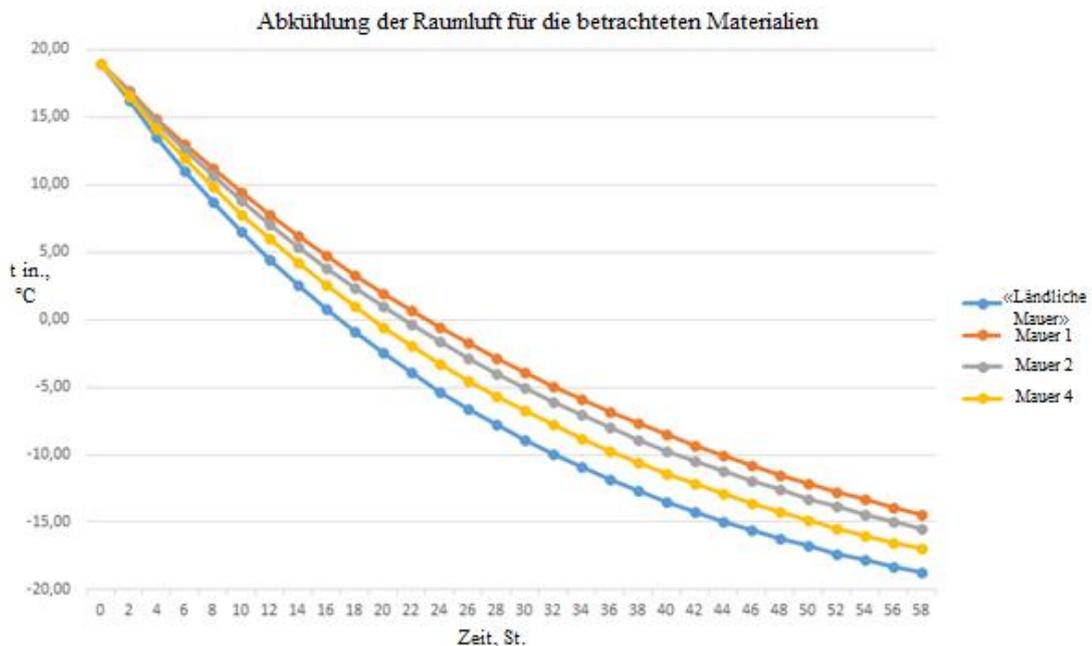


Abbildung.1 Die Dynamik der Abkühlung der Raumluft für die betrachteten Materialien

Somit können die erforderlichen Wärmewiderstandswerte für der Gebäudehülle durch die Verwendung der kostengünstigen organischen Isolierung und einen Teil des „Ländlichen Mauer“ erreicht werden, um Wärmeverluste zu minimieren. Jedoch hat das Gebäude mit solchen Materialien eine geringere Wärmespeicherkapazität. Solche Gebäude lassen sich schnell abkühlen, nachdem das Heizsystem abgeschaltet worden, so dass die Verwendung solcher Materialien nur für vergaste Regionen oder Regionen mit Fernwärme ratsam ist.

Energieeffizienz im Bau- und Maschinenwesen,

25. – 27. September, 2017

Technische Universität in Liberec

Literatur

1. Wärmeschutz von Gebäuden. Die aktualisierte Auflage СНиП 23-02-2003. Moskau. Ministerium für regionale Entwicklung der Russischen Föderation, 2012. Regelbuch 50.13330.2012
2. GOST- Standart 30494-2011. Wohn- und öffentliche Gebäude. Mikroklima-Parameter in den Räumlichkeiten. Moskau: Standartinform, 2013.
3. Golova T.A., Denisova A.P. Energieeffizienz der Mehrschichtkonstruktion "Ländliche Mauer" bei der Gestaltung von Flachbauten // Ingenieur- und Bauzeitschrift. – 2014. – № 8. – с. 9-18.
4. Auftrag von Rostekhnadzor vom 07/07/2008 N 212. Über die Erklärung des Ordens der Organisation der Arbeiten bei der Erteilung der Genehmigungen für die Erlaubnis im Betrieb von Kraftwerken.
5. www.interfax.ru/business/496656 «Das Niveau der Vergasung in Russland im Jahr 2015 überschritten 66%»
6. Kononovich Yu.V. Thermisches Regime von Gebäuden des Massengebäudes. Moskau: Stroyizdat, 1986. 157с.
7. Burtsev V.V. Optimierung des Wärmeverbrauchs von Gebäuden mit Hilfe von automatischen Steuerungssystemen. / V.V. Burtsev // These für einen wissenschaftlichen Grad der Kandidaten der technischen Wissenschaften. - Nowosibirsk, 2007г.

Potential der Energiereduzierung beim Betrieb von Hochleistungsgurtförderern durch Optimierung der Laufeigenschaften von Tragrollen

Robert Schneider, M. Eng.¹, Prof. Dr.-Ing. habil. Sylvio Simon¹, Thomas Rieder, M. Eng.¹,
Stephan Henschler, M. Eng.¹, Jan Magister, M. Eng.¹, Tim Fritsch, B. Eng.¹

Abstrakt: Dieser Artikel beschäftigt sich mit den Auswirkungen von Montageungenauigkeiten von Wälzlager in Tragrollen auf den Laufwiderstand und deren Einsatzdauer. Axial verspannte Lager verursachen eine Erhöhung des Bewegungswiderstandes der Rollen und damit einen gesteigerten Energieverbrauch der gesamten Gurtförderanlage. Darüber hinaus sinkt die Lebensdauer der Lager durch die zusätzliche Axialkraft. In dieser Arbeit werden die Einflussgrößen und Untersuchungsmethoden beschrieben um einen korrekten Lauf der Wälzlager zu gewährleisten. Das Potential zur Energieeinsparung wird beispielhaft anhand eines realen Gurtförderers für den Transport von Braunkohle im Tagebau ermittelt.

Schlüsselwörter: Wälzlager, Lebensdauer, Laufwiderstand, Gurtförderer, Energieverbrauch

1. Einleitung

Gurtförderer werden in vielen Bereichen der Industrie und Rohstoffgewinnung zum Transport von Schütt- oder Stückgut eingesetzt. Sie zeichnen sich durch einen zuverlässigen und ökonomischen Betrieb aus und sind deshalb prädestiniert für die Anwendung in Tagebauen, wo sie teilweise enorme Ausmaße annehmen können. Die weltweit längste Gurtförderanlage befindet sich in Bu Craa in Marokko und dient dem Transport von Phosphaterz von den Minen zur Verschiffung an der Küste, über einer Länge von mehr als 100 km [1].



Abb. 1 - Überdachter Gurtförderer für den Transport von Rohkohle ins Kraftwerk

Trotz des besten Wirkungsgrades aller Stetigförderer für Schüttgut werden - nicht nur für Großanlagen - hohe Antriebsleistungen für den Betrieb benötigt. Ein entsprechendes Potential zur Energiereduzierung ist vorhanden. Die Hauptbestandteile von Gurtförderanlagen sind neben dem Fördergurt an sich auch die Tragrollen. Diese sind in festen Gestellen oder girlandenförmig angeordnet und übernehmen die Stützwirkung für den Gurt und das Fördergut. Da der Laufwiderstand der Tragrollen zu einem großen Teil zum Energieverbrauch des Gurtförderers beiträgt, ist es von besonderem Interesse die Leichtgängigkeit der Rollen zu gewährleisten.

¹ BTU Cottbus-Senftenberg, Fakultät 3: Maschinenbau, Elektro- und Energiesysteme, Fachbereich Werkzeugmaschinen, Universitätsplatz 1, 01968 Senftenberg, Deutschland, tragrollenpruefstand@b-tu.de

2. Laufwiderstand von Tragrollen

Der Laufwiderstand einer Tragrolle setzt zum einen aus den Bewegungswiderständen der inneren Teile und dem Abrollwiderstand an der Kontaktstelle zwischen Fördergurt und Tragrollenmantel und der damit verbundenen Walkarbeit zusammen. Die inneren Widerstände resultieren wiederum aus den Relativbewegungen in den Wälzlagern und den Walkverlusten welche durch die Fettfüllungen in den Lagern und Labyrinthdichtungen hervorgerufen werden. Nach der DIN 22112-2, welche die Anforderungen für Tragrollen in Gurtförderern für den Kohlebergbau unter Tage beschreibt, ist eine Laufreibungskraft von höchstens 3 N, gemessen am Tragrollenmantel, zulässig [2]. Der spezifische Laufwiderstand ist dabei von den unterschiedlichen Rollentypen und -dimensionen sowie von deren Aufbau abhängig. Im Zuge von Qualitätskontrollen von Tragrollen für Hochleistungsgurtförderanlagen, in Anlehnung an die DIN 22112-2, konnte an der BTU CS am Tragrollenprüfstand [3] ein Durchschnittlicher Anlaufwiderstand von 3,6 N ermittelt werden. Gemessen wurden dabei 1198 Tragrollen mit Manteldurchmessern von 159 mm, 194 mm und 219 mm, wie sie hauptsächlich für den Transport von Abraum und Rohkohle im Tagebau verwendet werden. Die, in der DIN 22112-2 behandelten Rollen, sind kleiner und weisen deshalb auch einen geringeren spezifischen Laufwiderstand auf.

Im Zuge von Verschleißuntersuchungen an Tragrollen wurden auch solche überprüft, die einen relativ hohen Anlaufwiderstand ($> 4,5$ N) aufwiesen. Diese Rollen konnten in einen Zusammenhang zu vorzeitigen Lagerausfällen gebracht werden. Eine Stichprobenmessung ergab dabei eine starke Abhängigkeit von geringen Axialspielen (< 25 μm) und hohen Anlaufwiderständen:

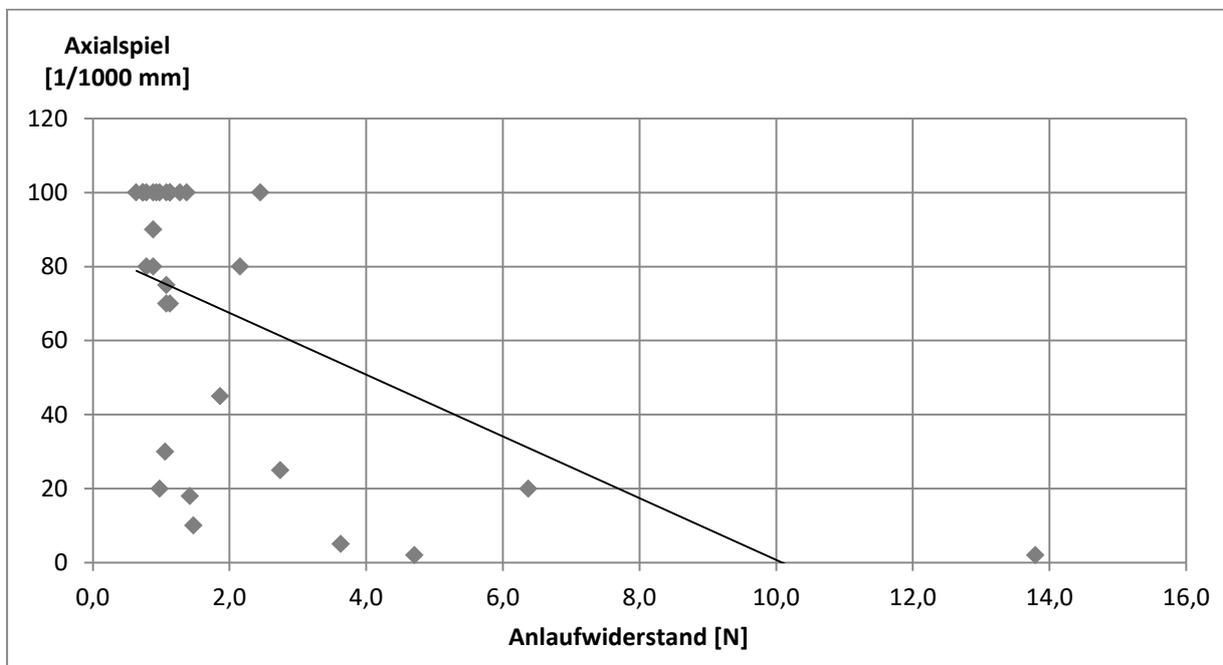


Abb. 2 - Abhängigkeit Anlaufwiderstand – Axialspiel

Um einen einwandfreien Lauf von Wälzlagern zu gewährleisten, ist ein gewisses Betriebsspiel erforderlich, welches sich durch den Einbauzustand und unterschiedliche Materialdehnung bei Temperaturdifferenzen einstellt. Bei Erweiterung der, in der DIN 22112-2 angegebenen, Werte für das Axialspiel auf die in Abb. 2 untersuchten Tragrollendimensionen, sollte dieses mindestens 50 μm betragen.

Bei Axialspielen unter diesem Wert kann ein optimaler Betrieb der Wälzlager bezüglich Lebensdauer und Laufverhalten nicht sichergestellt werden. Ein zu geringes Axialspiel kann daher rühren, dass die Wälzlager nach der Montage nicht ordnungsgemäß freigedrückt wurden und deshalb zueinander verspannt sind (Abb. 3 a).

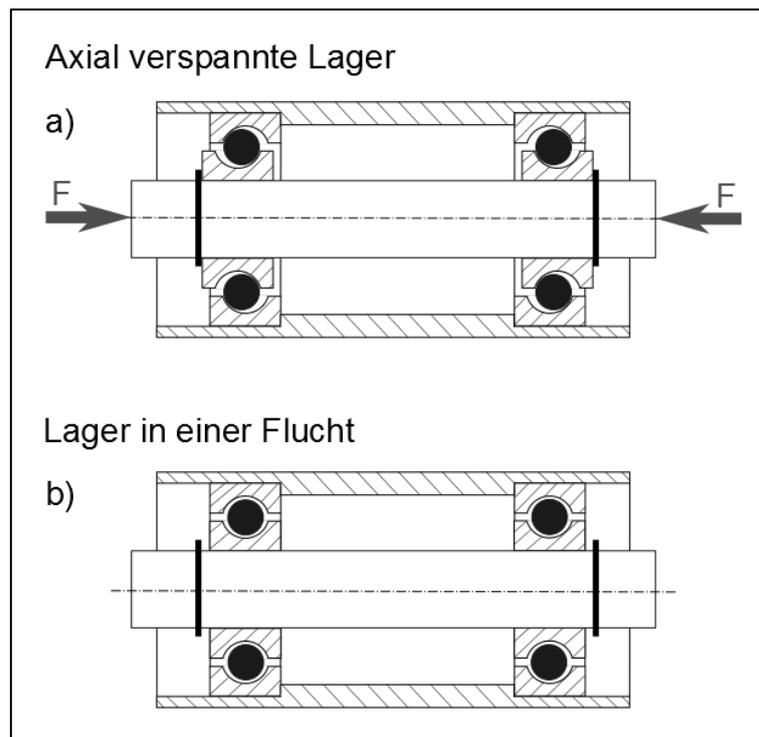


Abb. 3 - Einbausituation der Wälzlager (schematisch)

Das Problem kann behoben werden, indem nachträglich auf beide Seiten der Achse eine Axialkraft F aufgebracht wird. Diese Kraft muss größer als die Passungskräfte an den Bohrungen der Wälzlager sein, um diese auszurichten (Abb. 3 b). Die Laufbahnen von Innen- und Außenring liegen anschließend in einer Flucht und die Lager weisen ein korrektes Betriebsspiel auf.

Bei Versuchen an schwergängigen Tragrollen konnte durch ein nachträgliches Freidrücken eine Reduzierung des Anlaufwiderstands von durchschnittlich 2 N bis 4 N erzielt werden. Die Axialspiele der so behandelten Rollen waren danach im Bereich deutlich über 50 μm . Neben der Sicherstellung der ordnungsgemäßen Laufeigenschaften der Wälzlager kann durch den verringerten Bewegungswiderstand der Tragrollen auch ein verminderter Energieverbrauch des gesamten Gurtförderers erzielt werden.

3. Bewegungswiderstände von Gurtförderanlagen

Die Reduzierung der Laufwiderstände an den Tragrollen lässt sich auf die Energieeinsparung der Gurtförderanlage hochrechnen. Nach der DIN 22101:2011-12 berechnet sich der Leistungsbedarf P_W der Anlage aus dem Produkt der Gesamtheit der Bewegungswiderstände und der Fördergeschwindigkeit v [4]:

$$P_W = F_W \cdot v \quad (1)$$

Die Summe dieser Bewegungswiderstände F_W entspricht dabei allen Trommelumfangskräften F_{Tr} aus Ober- und Untertrum:

$$F_W = \sum_{i=1}^{n_o} F_{W,o,i} + \sum_{i=1}^{n_u} F_{W,u,i} = F_H + F_N + F_{St} + F_S = F_{Tr} \quad (2)$$

Hierin sind:

- Hauptwiderstand F_H
- Nebenwiderstand F_N
- Steigungswiderstand F_{St}
- Sonderwiderstand F_S

Der Tragrollenlaufwiderstand F_R geht dabei in den Hauptwiderstand mit ein.

Für eine existierende Gurtförderanlage mit einem Stahlseil-Fördergurt von 2,5 m Breite soll das mögliche Energieeinsparpotential durch eine Reduzierung der Tragrollenlaufwiderstände beispielhaft ermittelt werden. Die ausgewählte Anlage transportiert Abraum über eine Gesamtstrecke von 3670 m mit einer Fördergeschwindigkeit von konstant 6,6 m/s. Der maximal förderbare Volumenstrom beträgt 15.500 m^3/h und die installierte Antriebsleistung besteht aus vier Elektromotoren zu je 2000 kW. Im Obertrum befinden sich 2376

**Energieeffizienz im Bau- und Maschinenwesen,
25. - 27. September 2017
Technische Universität in Liberec**

3-teilige Girlanden, welche mit Tragrollen vom Typ 219x1050/600 ausgerüstet sind. Der Untertrum ist ebenfalls 3-teilig ausgeführt. In diesem befinden sich 594 Girlanden mit Rollen vom Typ 250x900. Daraus ergibt sich eine Gesamtanzahl von 8910 Tragrollen.

Wenn von einem durchschnittlichen Tragrollenlaufwiderstand von $3,6\text{ N}$ pro Tragrolle ausgegangen wird, ergibt sich ein Gesamtlauferwiderstand von 32076 N für alle Tragrollen. Der Anteil der sich daraus ergebenden Antriebsleistung für den stationären Betriebsfall berechnet sich durch Multiplikation mit der Fördergeschwindigkeit:

$$P_{Tr} = F_{Tr} \cdot v = 32076\text{ N} \cdot 6,6\text{ m/s} = 212\text{ kW}$$

Es wird davon ausgegangen, dass bei einem Teil der verbauten Tragrollen die Wälzlager zu einander verspannt sind und dadurch einen erhöhten Laufwiderstand besitzen. Die mögliche Reduzierung des Tragrollenlaufwiderstands durch eine korrekte Ausrichtung der Wälzlager zueinander wird mit etwa durchschnittlich $1,5\text{ N}$ pro Tragrolle angenommen. Daraus ergäbe sich eine mögliche Leistungseinsparung von etwa 42% bzw. 90 kW für den Tragrollenlaufwiderstand im stationären Betrieb. Bei einer Leistungsaufnahme von 6150 kW bei einer 80% igen Auslastung der Anlage entspräche diese Reduzierung einer Gesamtenergieeinsparung von etwa $1,5\%$. Anteilig gesehen fällt die Ersparnis relativ gering aus, wird der Stromverbrauch jedoch auf das Jahr hochgerechnet, beträgt die Energieersparnis 551880 kWh bei einer 70% igen Einschaltdauer der Gurtförderanlage.

4. Fazit

Die ordnungsgemäße Montage von Wälzlagern in Tragrollen stellt neben einer höchstmöglichen Einsatzdauer auch geringe Laufwiderstände sicher. Für den Betreiber von Gurtförderanlagen ergeben sich so geringere Kosten für Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen sowie für den laufenden Betrieb. Die Bewegungswiderstände der Tragrollen betragen bei der Leistungsaufnahme der Anlage nur einen geringen Teil, durch eine Optimierung lassen sich jedoch schnell einige tausend Kilowattstunden an Energie im Jahr einsparen.

Eine Bewertung des Axialspiels und des Anlaufwiderstands von Tragrollen für Hochleistungsgurtförderanlagen über Tage ist, nach aktuellen Richtlinien, nicht eindeutig festgelegt. Um belastbare Beurteilungskriterien zu entwickeln finden derzeit an der BTU Cottbus-Senftenberg weiterführende Untersuchungen statt.

Quellenverweise

- [1] Western Sahara Resource Watch: „Die Ausfuhr von Phosphaten aus der Westsahara“, Veröffentlicht: 16.06.2010
- [2] DIN 22112-2:2010-12, Gurtförderer für den Kohlenbergbau unter Tage - Tragrollen – Teil 2: Anforderungen
- [3] BTU Cottbus-Senftenberg, Universitätsplatz 1, 01968 Senftenberg: Fakultät 3 – Maschinenbau, Elektro- und Energiesysteme; Tragrollenprüfstand
- [4] DIN 22101:2011-12, Stetigförderer – Gurtförderer für Schüttgüter – Grundlagen für die Berechnung und Auslegung

Passive hygro-thermische Klimatisierung genutzter Pontonräume bei schwimmenden Wohnbauten

Stopp, Horst¹, Strangfeld, Peter¹

Abstrakt: *Der Beitrag befasst sich mit dem Raumklima von Pontons, deren Luftvolumen für die technische Ausrüstung oder für Wohnzwecke genutzt wird. Schwimmende Architektur bekommt auf Grund des stattfindenden gesellschaftlichen und klimatischen Wandels zukünftig eine hohe Wertigkeit. Infolge der gegenüber den Bauten auf dem Festland veränderten äußeren Randbedingungen bedarf es einer Raumklimatisierung, die durch aktive, an den Raum angrenzende Oberflächen gestützt wird. Das gilt sowohl für die thermischen als auch für die hygrischen Parameter. Im Beitrag wird vorzugsweise die hygrische Beeinflussung der Raumluft behandelt. Die quantitative Bestimmung der relativen Luftfeuchtigkeit wird rechnerisch und messtechnisch vorgestellt.*

Schlüsselwörter: Hygrothermie, Klimatisierung, Schwimmende Architektur, Ponton

1. Einführung

Der Begriff passive Klimatisierung ist offiziell nicht eindeutig. In der Regel handelt es sich in Beiträgen mit diesem thematischen Bezug um Raumschließungsflächen oder auch um spezifische Oberflächen innerhalb eines Raumes mit zusätzlich sorptiv wirksamen Grenzflächen zur umgebenden Raumluft. Bislang steht vielfach das thermische Raumklima im Mittelpunkt, beeinflusst durch wärmespeichernde Bauwerksteile. In diesem Beitrag sollen daher die hygrischen Raumklimakomponenten im Vordergrund stehen, zumal derzeit durch höhere Raumluftfeuchten infolge verbesserter Luftdichtigkeiten der Hülle, grünen „Oasen“ im Wohnbereich und höherem hygienischen Standard der damit verbundenen Schimmelbildung eine größere Bedeutung zukommt.

Die Aufgabe einer passiven hygrischen Klimatisierung besteht darin, die relative Luftfeuchtigkeit der Raumluft zielgerichtet zu beeinflussen. Unter üblichen Bedingungen findet immer eine gewisse Adsorption und auch Absorption von Wasserdampfmolekülen an und in den die Luft begrenzenden Baustoffen statt. Dafür verantwortlich zeichnet die sog. Sorptionsisotherme und der Wasserdampfdiffusionswiderstand der Materialien. Die Sorptionsisotherme beschreibt die im Gleichgewichtszustand angelagerte Masse Wasserdampf bei vorgegebener relativer Luftfeuchtigkeit. Eine hohe sorptive Eigenschaft nutzt allerdings wenig, wenn der Widerstand gegenüber Wasserdampfdiffusion hoch bleibt und damit der Weitertransport im Material behindert wird. Beide Größen und der Stoffübergang bedürfen daher der Beachtung, um den Feuchteausaustausch des Materials mit der Raumluft quantitativ beschreiben zu können.

Insbesondere bei einer Nutzung des Raumvolumens der Pontons von schwimmenden Häusern für hochwertige Aufenthaltsräume, bei denen eine natürliche Lüftung nur stark eingeschränkt gewährleistet werden kann, sollte die passiv gestützte Raumklimatisierung bereits in der Planungsphase mehr Beachtung finden.

2 Schwimmende Wohnbauten

Schwimmende Bauten sind „in“. Das gilt für die Eigendarstellung von Regionen und Städten wie für den touristischen Betrieb und die Anpassung an klimatische und gesellschaftliche Veränderungen. Rotterdam mit seinem schwimmenden Kongress-zentrum oder Seoul mit einem schwimmenden Vergnügungszentrum für über 6000 Besucher sind berechte Zeugnisse städtischen Wollens und einer Selbstdarstellung der Administration und ihrer Bürger. In Südostasien wird eine Jahrhunderte alte Kultur des Lebens auf dem Wasser wieder belebt, um den Tourismus zu befördern. Die Niederlausitz im Osten Deutschlands - eine Tagebaufolgelandschaft mit beispielhaftem Strukturwandel – steht für die größte künstlich geschaffene Seenlandschaft im europäischen Raum. Schwimmende Häuser mit unterschiedlichem Nutzungscharakter wirken auch hier als touristische Anziehungspunkte. Neben der Belegung und Inszenierung touristischer Attraktionen besitzt die Thematik infolge des aktuellen Klimawandels und dem damit verbundenen Anstieg der Meeresspiegel einen ernst zu nehmenden, existenziellen Hintergrund. Nicht nur die Infrastruktur der Küsten ist bedroht, auch Flusseinzugsgebiete werden durch den Rückstau der Flüsse bzw. den verminderten Abflussgradienten während der Hochwasserereignisse stärker gefährdet. Aufschwimmbare Bauten können die Wirtschaftlichkeit der anzulegenden Retentionsflächen entsprechend der durch die EU-Administration vorgegebenen Hochwasserschutzmanagementpläne verbessern.

¹ Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg, FG Bauphysik und Gebäudetechnik, D- 03048 Cottbus, Lipezker Str.47

**Energieeffizienz im Bau- und Maschinenwesen,
25-27 September, 2017
Technische Universität in Liberec**

Bislang dient das Pontonvolumen in der Regel zur sicheren Gewährleistung eines dauerhaften Auftriebs. Nicht nur aus wirtschaftlicher Sicht steht für künftige schwimmende Siedlungsstrukturen die zusätzliche Nutzung des Pontons für Technikzubehör und hochwertige Aufenthaltsräume an, wie dies teilweise bereits in den Niederlanden geschieht. Für weitere Details darf auf entsprechende Literatur verwiesen werden [1]. Die Bilder 1 und 2 zeigen Pontonvarianten aus Stahl und Beton. Bei letzterer handelt es sich um eine Fertigungslinie mittels sog. WU-Beton in den Niederlanden. Dabei wird allerdings eine Wasserstraßenverbindung vorausgesetzt, so dass die in einer Fertigungshalle komplett hergestellten Objekte schwimmend zum Bestimmungsort gebracht werden können.



Bild 1 Einschwimmen von Stahlpontons für schwimmende Häuser vom Typ "Ar-che" am Geierswalder See im Lausitzer Seen Land,



Bild 2 Fertigungslinie für Pontons aus WU – Beton in den Niederlanden, Fa. Arkenbouw

3 Gekoppelter Wärme-Feuchtetransport

Der Fortschritt auf vielen Gebieten der Bauphysik zeichnet sich auch dadurch ab, dass heutige hygrothermische Problemstellungen im Differenzklima an Hüllflächen von Gebäuden in der Regel als

gekoppelte Energie-Stofftransportvorgänge betrachtet und auch berechnet werden können. Eine mathematisch-physikalische Modellierung und das rechenstechnische Rüstzeug stehen hierfür ausreichend validiert zur Verfügung. Allerdings existieren auch noch Lücken, die beispielsweise die direkte Kopplung zwischen hygrothermischen Vorgängen innerhalb von Bauteilen sowie auf deren Oberflächen und den angrenzenden Luftströmungen betreffen und nicht in allen Fällen mittels pauschalierter Wärme- und Stoffübergangskoeffizienten korrekt erfassbar sind [2]

3.1 Sprungantwortfunktion

Für das dynamische Geschehen ergibt die sog. Sprungfunktion wertvolle Hinweise. Sie liefert für sprungförmige Änderungen der Umgebungsfeuchte φ Aussagen über die damit veränderbaren Feuchtemengen einer Probe. Hierbei kommt indirekt auch der Widerstand gegenüber dem diffusiven Transport innerhalb des Materials ins Spiel. Eine analytische Lösung für die in der Zeit t pro Flächeneinheit ausgetauschten Feuchtmassen $m(t)/A$ beschreibt die Beziehung (1). Hierfür sind die Kennwerte als konstant und der Stoffbereich als isotherm betrachtet worden [3].

$$\frac{m(t)}{A} = p_s \cdot (\varphi_{Luft} - \varphi_{Wand}) \cdot \left\{ \frac{2\sqrt{t \cdot b_D}}{\sqrt{\pi}} - \frac{\delta_L \cdot \rho_W \cdot w_h}{\mu \cdot \beta \cdot p_s} \left[1 - e^{\left(\frac{\mu \cdot \beta}{\delta_L}\right)^2 \cdot a_D \cdot t} \left(\operatorname{erfc} \left(\frac{\mu \cdot \beta}{\delta_L} \cdot \sqrt{a_D \cdot t} \right) \right) \right] \right\}$$

$$a_D = \frac{\delta_L}{\mu} \cdot \frac{p_s}{\rho_W \cdot w_h} \qquad b_D = \sqrt{\frac{\delta_L}{\mu} \cdot \frac{\rho_W \cdot w_h}{p_s}} \qquad (1)$$

μ = Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl w_h = maximale hygroskopische Feuchte R = Gaskonstante T = Absoluttemperatur p_s = Wasserdampf-sättigungsdruck	ρ = Wasserdichte φ = rel. Luftfeuchte $\delta = 1,85 \cdot 10^{-10} \text{ s}$ β = Stoffübergangskoeffizient
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Die Größe a_D kann man analog der Temperaturleitfähigkeit als Maß für die Signalgeschwindigkeit der diffusiven Feuchtefeldausbreitung innerhalb des Materials betrachten. Die sich ergebenden Zahlenwerte liegen bei Baustoffen um Größenordnungen niedriger als die Kennwerte für die sich ausbreitenden Temperatursignale. Daraus ergeben sich im Vergleich zu thermischen Prozessen wesentlich längere Einstellzeiten für das Feuchtegleichgewicht bei Veränderung der Umgebungsbedingungen [4]. Tendiert der Stoffübergangswiderstand bei ausreichender Luftumspülung gegen null, erhält man zur Bestimmung der ausgetauschten Feuchtemengen für die Zeitperiode von 12h bei 20°C und einem Feuchtesprung von 50%/80% die einfache Näherung

$$\frac{m(t)}{A} = \text{const} \cdot \sqrt{\frac{w_h}{\mu}} \qquad \text{const} \approx 1,4 \text{ kg/m}^2 \qquad (2)$$

3.3 Aufnahme der Sprungantwortfunktion

Mit Hilfe einer SPS_μ - Anlage lässt sich heute ohne einen zeitintensiven Exsikkatoreinsatz das Sprung-Antwort –Verhalten von Baustoffproben und bei sorgfältiger Probenpräparation mit ausreichender Erfahrung auch von Baustoffelementeoberflächen rationell und ausreichend genau bestimmen. Bei Kenntnis der in einem Zeitintervall pro Flächeneinheit mit der Raumluft agierenden Feuchtmengen ist auch die Einflussnahme auf die Raumluftfeuchte bekannt. Das Bild 3 zeigt neben den unterschiedlichen sorptiven Eigenschaften der verschiedenen Baumaterialien auch die Möglichkeit der Beeinflussung des sorptiven Verhaltens der Grundbaustoffe durch Additive (dotierte Calciumsilikat Platte). Mit den heute verfügbaren hochempfindlichen Mikrowagen lassen sich die sorptiv bedingten Feuchtmasseänderungen kleiner Proben teilautomatisiert relativ rasch ermitteln. Das häufig erwähnte, ausgeprägte sorptive Verhalten von Lehm- und Zementbaustoffen ist stark abhängig vom spezifischen Tonmineraliengehalt und damit von der jeweils verfügbaren Lehmabbaustelle.

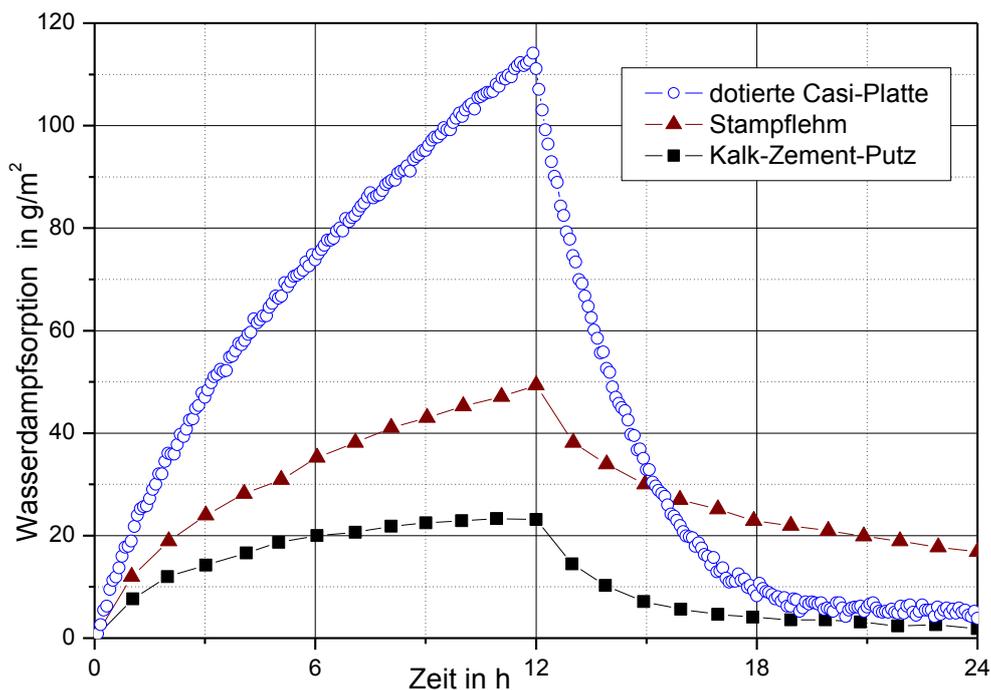
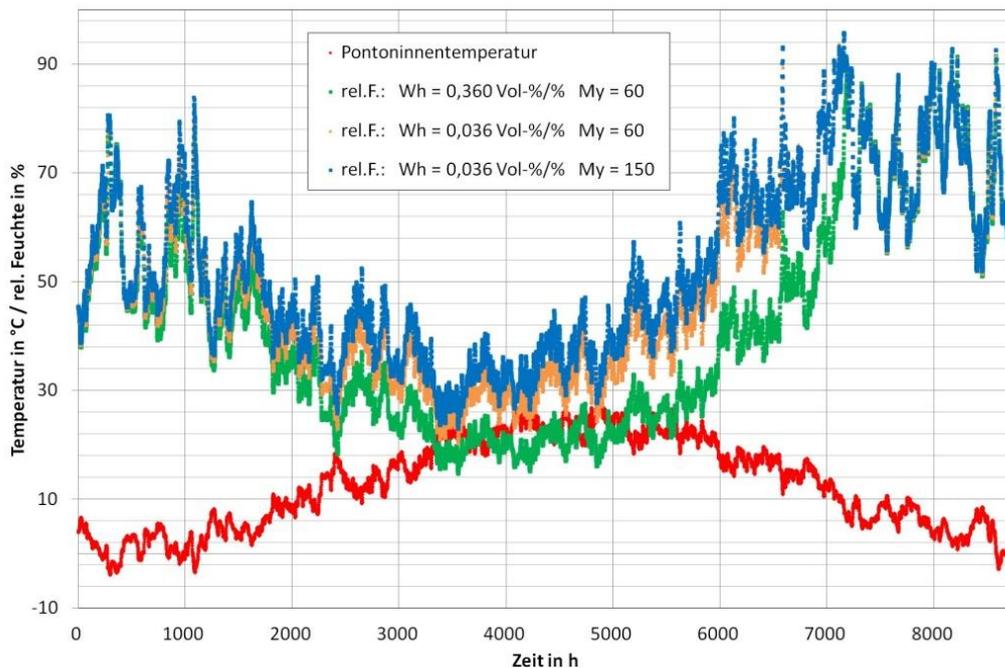


Bild 3 Vergleich zeitabhängiger Feuchteauf- und -entladevorgänge hygroskopisch wirkwirksamer Baustoffoberflächen bei sprungförmiger Änderung angrenzender relativer Raum-Luftfeuchten mit jeweils 50% auf 80% und von 80% auf 50% Sprüngen

4 Passiv gestützte, hygrothermische Raumklimatisierung eines Stahlpontons

Das Bild 4 zeigt den Einfluss sorptiv aktiver Raumbegrenzungsflächen für einen Stahlponton mit den Abmessungen 2,5m x 5,5m x 1,5m und 0,4m Eintauchtiefe. Der Stahlblechmantel besitzt beidseitig eine Dicke von 5mm, die eingelegte Mineralwolle der WLG 035 eine Schichtdicke von 50mm. Als Außenklima dient der Meteorolog. Datensatz Potsdam für die Lufttemperaturen und rel. Luftfeuchten mit einer Luftwechselrate von $0,1 \text{ h}^{-1}$. Die numerische Simulation erfolgt mit dem Rechenprogramm CLIMT [5], da die Angaben zur Luftfeuchtermittlung mit der Software TRNSYS nicht nachvollziehbar erscheinen. Das Programm CLIMT zur Bestimmung des Raumklimas in Abhängigkeit aller Außenklimakomponenten beruht auf analytischen Lösungen, besitzt eine physikalisch nachvollziehbare Grundlage und dient insbesondere Planungsbüros für eine nutzerfreundliche Bearbeitung der Thematik. Für die umgebenden Wassertemperaturen werden eigene, vor Ort gewonnene Messergebnisse genutzt.



*Bild 4 wh: max hygroskopische Feuchte von 0,036 Vol%/rel.F um den Faktor 10 erhöht.
μ: Wasserdampfdiffusionswiderstandsfaktor von 150 auf 60 vermindert,
→ um 20% verringerte Raumluftheuchte*

5 Zusammenfassung und Ausblick

Für künftige Diskussionen sollte der Begriff „passiv gestützte Raumklimatisierung“ genutzt werden. Er ist anzuwenden, wenn für das Einhalten vorgegebener Raumklimare nicht nur die Verwendung bauklimatisch aktiver Materialien, sondern auch deren Wirkung quantitativ nachgewiesen wird.

Das bedeutet für künftige Entwicklungen:

- gezielter Einsatz von Baustoffen und Bauelementen mit nachgewiesenen bauphysikalischen Kennwerten bzw. Materialfunktionen zur energieeffizienten Raumklimatisierung
- Beachtung des Sorptionsverhaltens von Raummaterialien als zeitlich veränderbare Größe
- Anpassung der Lüftung an die vorhandenen Raumluftparameter
- Gezielte Luftführung der Zuluft, um mit dem gezielten, zeitweisen Entfeuchten sorptiver Speicher der Hüllfläche gleichzeitig die Zuluft zu befeuchten, d.h. der Volumenstrom der Zuluft muss sowohl zeitlich als mengenmäßig in Abhängigkeit ihrer Qualität und des Zustandes der sorptiven Speicher sowie der Luftparameter in den genutzten Räumen steuerbar sein.
- Beachtung der Möglichkeiten einer passiv gestützten Klimatisierung bei Nutzung des Pontonvolumens schwimmender Häuser für Technik- und Aufenthaltsräume

6 Literaturverzeichnis

- [1] Stopp H., Strangfeld P.: Schwimmende Wohnbauten. Beuth Verlag GmbH Berlin-Wien-Zürich
- [2] Gnoth S.: Zum thermischen und hygrischen Verhalten von Bauteilen mit offenen und geschlossenen Hohlräumen. Diss., TU Dresden/FH Lausitz, 2008.
- [3] Häupl P.: Bauphysik Klima-Wärme-Feuchte-Schall. Verlag Ernst&Sohn, 2008
- [4] Stopp H., Strangfeld P., Toepel, T.: Sonderdruck Bauphysik 30 (2008), H.1, Verlag Ernst&Sohn
- [5] Häupl P., Bishara A., Hansel, F.: Modell und Programm CLIMT zur einfachen Ermittlung der Raumluf-temperatur u. - feuchte bei quasifreier Klimatisierung. Bauphysik 3 (2010), H. 3, S. 185-206

Anwendung von Energieeffizienzkriterien für Marktstrategien von Großunternehmen in den Transformationsländern

Ildar A. Sultanguzin¹, Ekaterina V. Zhigulina¹, Jurij V. Yavorovsky¹, Ivan D. Kalyakin¹, Alexandr V. Govorin¹, Alexandre A. Krolin², Sergey V. Guzhov²

Abstrakt: *Der Artikel stellt die Strategie für die Entwicklung der Energieversorgung für die Nationale Forschungsuniversität "Moscow Power Engineering Institute" (MPEI) Gebäude, basierend auf „Green Bbuilding“ Technologie vor. Das Entwerfen des mathematischen Modells eines mit der technischen Bibliothek der Universität verbundenen Lehrgebäudes des MPEI wurde in Passiv-Haus-Planungs-Paket und design PH-software erfolgt. Die Parameter des Energieversorgungssystems mit dem niedrigsten Energieverbrauch für das ausgewählte Gebäude werden vorgestellt.*

Schlüsselwörter: Green Building, Passivhaus, null-Energie-Gebäude, Energieverbrauch.

Auslegung einer energieeffizienten Konstruktion mit minimalem Energie-Verbrauch für ein energiesparendes Gebäude ist eine der grundlegenden Aufgaben bei der Lösung der Probleme der Energieeinsparung in Russland. Optimale Lösungen werden für Nord, Mittel und Süd-Klimazonen unter Berücksichtigung Ihrer spezifischen Eigenschaften geschätzt.

Eine Lösung für die Optimierung der Aufgabe durch ein mathematisches Modell erlaubt es, die optimalen Parameter der Energie-Versorgung-system, an dem der Strom Unabhängig von dem betrachteten Objekts erreicht werden würde, zu bestimmen. Die Nutzung der erneuerbaren Energien und Maßnahmen zur Schonung fossiler Brennstoffe sind dringend erforderlich, da die bestehenden Reserven kurz vor der Erschöpfung stehen.

In Übereinstimmung mit dem Bundesgesetz № 261-FZ vom 23.11.2009 "Über die Energieeinsparung und die Energieeffizienz zu erhöhen und auf Änderungen in bestimmte Gesetze der Russischen Föderation" ab 01.01.2010 der staatlichen (kommunalen) Institutionen sollten folgende Voraussetzung sichergestellt werden: die Reduktion der Aufnahme von Wasser, Diesel und andere Kraftstoffe wie Erdgas, Wärme, Strom und Kohle soll unter vergleichbaren Bedingungen für fünf Jahre gewährleistet. Damit sollte es nicht weniger als 15% des tatsächlichen Volumens genutzt, die von Ihnen im Jahr 2009 jede dieser Ressourcen mit der jährlichen Abnahme dieser Menge von mindestens 3% genutzt wurden.

Nationale Forschungsuniversität "Moscow Power Engineering Institute" ist eine der größten technischen Universitäten Russlands. MPEI Infrastruktur besteht aus neun pädagogischen Gebäuden, die Hunderte der akademischen und wissenschaftlichen Laboratorien, Trainings-experimentelle Wärme-Kopplungs-Anlage aus fünf Gebäuden, des Studierenden Hostels, pilot-Produktionsanlage, Gesundheits-Zentrum, Kulturhaus, Saal, Sport-Komplex "Energiya" und Schwimmbad.

Als allerwichtigste Aufgabe erkennt Nationale Forschungsuniversität MPEI Ihre Verantwortung für die Studierenden und für die Gesellschaft, selbst ein Beispiel der meisten Energie effizienten Organisation zu sein und die Energie-sparende Technologien zu entwickeln. Trotz der Tatsache, dass MPEI regelmäßig eine Energie-Umfrage (Abb. 1) [1,2] vollzieht und trotz dessen, dass es viele energieeffiziente Maßnahmen an MPEI implementiert wurden, sind die Bedingungen für alle Gebäude des Campus ziemlich weit von den Standarten des Passivhauses oder fast-null-Energie-Gebäude.

Basierend auf obengenannte Tatsachen, wurde eine Gruppe der wissenschaftlichen Mitarbeiter, Professoren und MPEI- Zugehörige entwickelt mit einem Vorschlag, eine Strategie der Energieversorgung für MPEI Gebäude, basierend auf Green Building Technologien zu entwickeln und implementieren.

Ähnliche Projekte werden in den letzten Jahren in Europa realisiert. Zum Beispiel, das Verwaltungsgebäude der Tu Wien, [3,4], renoviert in 2015, – das erste Hochhaus in Europa, das mehr Energie produziert als verbraucht. Dieses Gebäude wird als ein öffentliches Gebäude bezeichnet, das jährlich von etwa 800 Mitarbeitern und bis zu 1.800 Schülern täglich bedingt. Im Oktober 2015 wurde Technische Universität Wien, in deren Eigentum das Gebäude ist, von der österreichischen Staatspreises für herausragende Leistungen im Bereich von Technologien für Umweltschutz und Energieeffizienz (Kategorie "Forschung und Innovation") Ausgeschrieben. Es gibt auch ähnliche Beispiele von mehrgeschossigen Wohngebäuden, wie das Aktiv-StadtHaus in Frankfurt am Main, mit Wohnfläche von 10714 Quadratmetern, errichtet im Jahr 2015 [5].

¹ Industrielle Termische Energieanlagen, Nationale Forschungsuniversität "MPEI", Moskau, Russland, ZhigulinaYV@mpei.ru

² Energie-Management, Nationale Forschungsuniversität "MPEI", Moskau, Russland

Energieeffizienz im Bau- und Maschinenwesen,
25. - 27. September 2017
 Technische Universität in Liberec

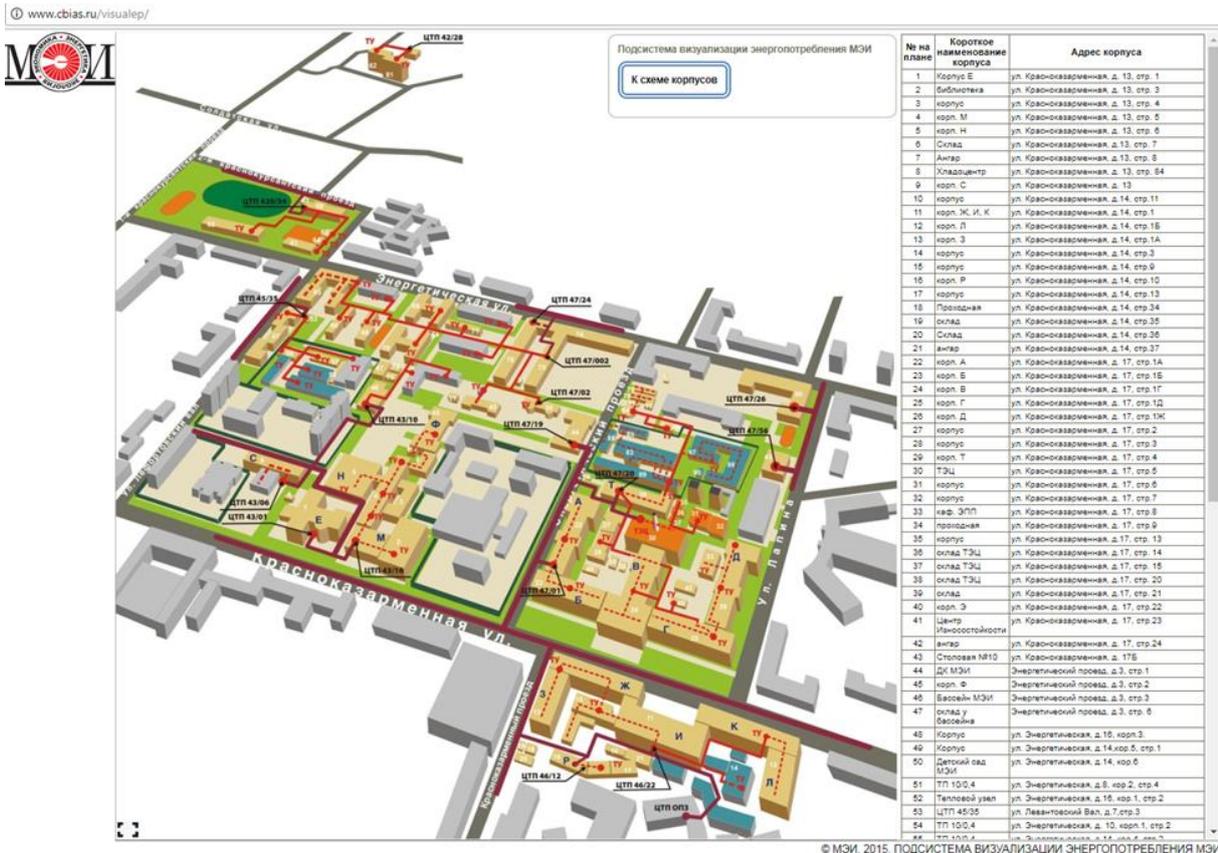


Abb. 1 Energie-Verteilung und-Verbrauch von MPEI Visualisierungs-subsystem.

Die wichtigsten Etappen der bevorstehenden Arbeit in MPEI:

I. Rekonstruktion der folgenden MPEI Gebäude: E, M und die Wissenschaftliche -Technische Bibliothek (STL) von MPEI auf der Grundlage der Umsetzung der „Green Building—Strategie und Passivhaus Projektierungs-Paket (PHPP)

1. Bestimmung des vorhandenen Energieverbrauchs und Einrichtung von mathematischen Modellen für die Gebäude E, M und STL in der drei-dimensionalen Modellierung software-Paket, designPH und Passivhaus-Bauweise PHPP, basierend auf Energie-audit-Ergebnisse.

2. Entwicklung und Umsetzung des Programms für Thermische Schutz des Gebäudes Programms durch die Anwendung moderner und modernster Baustoffe und Technologien

- Die Wärmedämmung der Außenwände
- Einrichtung der energiesparenden Fenster und Türen
- Dämmung des Dachs und Zwischenboden
- Isolierung der Kellerbereichen
- Die Verwendung der „phase-change-Materialien—(PCM)

3. Entwicklung der Energieversorgung für Gebäude, basierend auf modernen und fortschrittlichen energiesparenden Technologien

- Heizung
- WWS
- Lüftungsanlage
- Klimaanlage
- Beleuchtung
- Elektrische Energieversorgung
- Die Automatisierung der einzelnen Subsysteme
- Das Überwachungssystem und das integrierte Regelung der gesamten Energie-Versorgung-system

4. Umsetzung der Strategie für grüne Technologien durch Nutzung der erneuerbare Energien:

- Solar-Kollektoren
- PV- Anlagen
- Die kombinierte Produktion der elektrischer und thermischer Energie-Technologie auf Basis von BIPV und BIPVT (Gebäude-Integrierte Photovoltaik, Solarkollektoren und ihre Integration in das Dach und die Fassaden)

Energieeffizienz im Bau- und Maschinenwesen,

25. - 27. September 2017

Technische Universität in Liberec

- Kombinierte Produktion des Stroms, der Wärmeenergie und Kälteenergie mit dem Einsatz von PVT-Technologie und Absorptionskältemaschinen
 - Windkraftanlagen
 - Wechselrichter und die elektrischen Akkumulatoren
 - System von täglichen, wöchentlichen und saisonalen thermischen Energiespeicherung
5. Wirtschaftliche Bewertung der Projektumsetzung
6. Analyse und Auswahl der Projekte mit Energieeinsparung und minimalen Aufwand
7. Analyse und Auswahl der „Green-Building–Projekte mit der Nutzung der nötigen Mitteln führt zu fast-null-Energie-Gebäude
- II.Rekonstruktion der anderen Gebäude des MPEI Campus basiert sich auf der Umsetzung der Strategie für grüne Gebäude:
1. Akademischen und administrativen Gebäuden;
 2. Wohngebäuden und Wohnheimen;
 3. Institutionen der Kultur und der Medizin, Gebäude der öffentlichen Gastronomie und Geschäfte.

Der erste Schritt der Planung wurde bereits vollgezogen. Die mathematischen Modelle von Gebäuden M und STL wurde in der drei-dimensionalen Modellierung software-Paket, designPH und Passivhaus-Bauweise PHPP [6,7] basierend auf der Energie-audit-Ergebnisse [1,2] entwickelt.

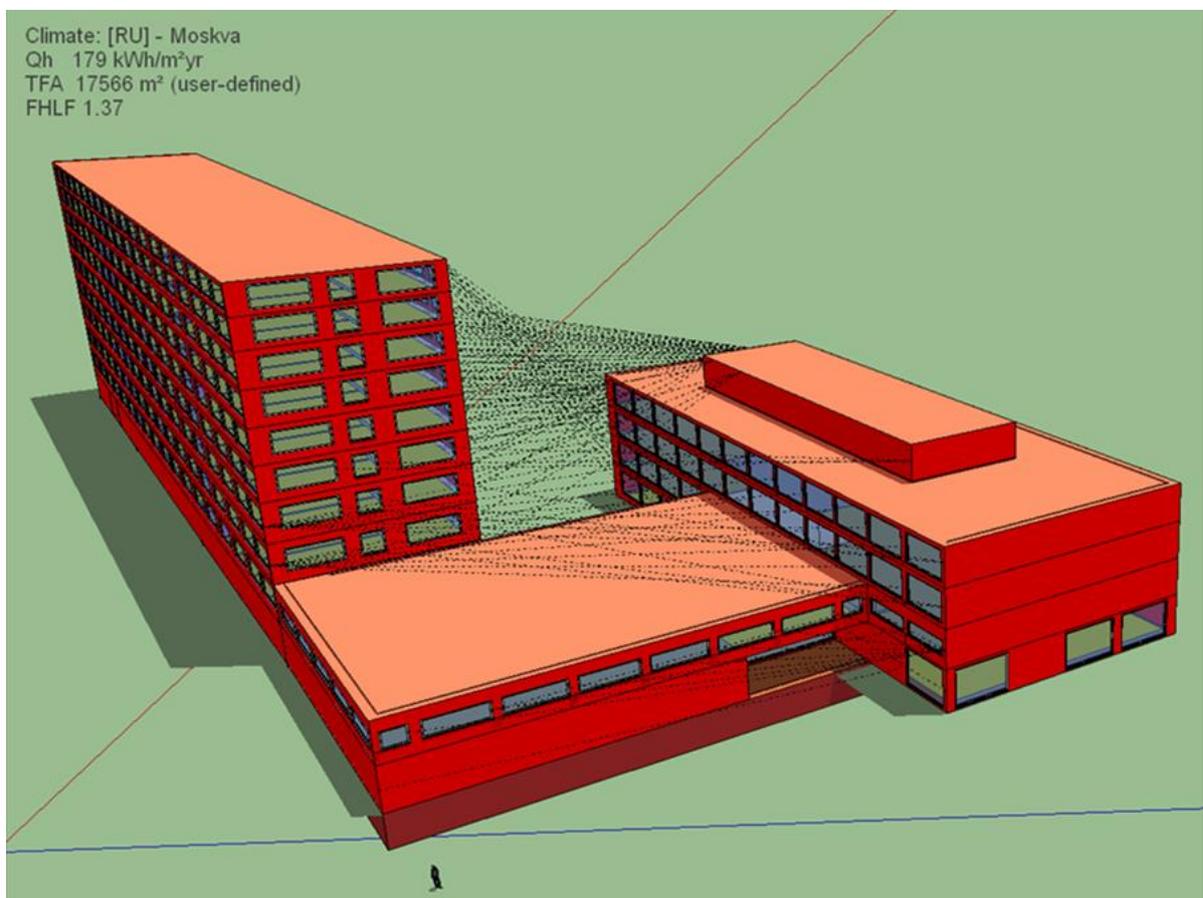


Abb. 2 Lehrgebäude „M“ und Wissenschaftlich-Technische Bibliothek MPEI.

Das 3-D Modell der M-Gebäude und der Wissenschaftlich-technischen Bibliothek ist in Abb.2 vorgestellt. Die Ergebnisse der Modellierung der Gebäude vor der Sanierung sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tab. 1 .Die Ergebnisse der Modellierung der Gebäude derzeit

Energieeffizienz im Bau- und Maschinenwesen,
25. - 27. September 2017
 Technische Universität in Liberec

▼ Annual Heat Demand								
Total heat losses (kWh/a)	Total free heat gains (kWh/a)	Utilisation factor	Treated Floor Area (m ²)	Ann. Heat Demand (kWh/a)	Specific Ann. Heat Demand, Q _h (kWh/m ² a)			
3683513.34	527381.10	1.00	17566.41	3136160.15	178.53			
▼ Transmission heat losses								
Total Heat Loss Area (m ²)	Area Weighted U-value (W/m ² K)	Av. Temp. Factor	Ann. Htg. Degree Hours (kKh)	Transmission Heat Loss (kWh/a)	Q _t (kWh/m ² a)			
24111.59	1.34	0.89	116.00	3431520.82	195.35			
▼ Ventilation heat loss								
Treated Floor Area (m ²)	Ventilation volume (m ³)	Eff. air exchange rate	Heat capacity of air	Ann. Htg. Degree Hours (kKh)	Ventilation heat loss (kWh/a)	Q _v (kWh/m ² a)		
17566.41	43916.02	0.14	0.33	116.00	231992.52	13.21		
▼ Solar heat gains								
Group nr.	Area Group	Win. area (m ²)	Glazing area (m ²)	g-value	Reduction factor	Radiation, G _s	Solar heat gain (kWh/a)	Q _s (kWh/m ² a)
2	North Windows	219.10	176.06	0.50	0.49	148.15	7898.35	0.45
3	East Windows	2108.01	1734.09	0.50	0.50	322.18	169187.71	9.63
4	South Windows	338.83	277.24	0.50	0.50	448.60	37659.61	2.14
5	West Windows	2116.02	1737.66	0.50	0.50	219.29	115380.12	6.57
6	Horizontal Windows	0.00	0.00				0.00	0.00
		4781.95	3925.05				330125.80	18.79
▼ Internal heat gain								
Treated Floor Area (m ²)	Internal heat gain rate (W/m ²)	Heating period (days/a)	Heating period (kh/a)	Internal heat gain (kWh/a)	Q _i (kWh/m ² a)			
17566.41	2.10	222.80	5.35	197255.30	11.23			

Energetische Prüfung hat ausgegeben, dass die Gebäude M und STL wesentliche Wärme-Verluste durch Fenster und Außenwände haben. Thermische infrarote Inspektion wurde außerhalb des Gebäudes durchgeführt. Auf der Abb.3 sind thermische Wärmeverluste durch Außenwände und Fenster deutlich zu sehen. Es weist drauf hin, dass die Erhöhung der Wärmedämmung der Wände und Ersatz der Bestandfenster durch energieeffiziente Fenster dringend erforderlich wäre.

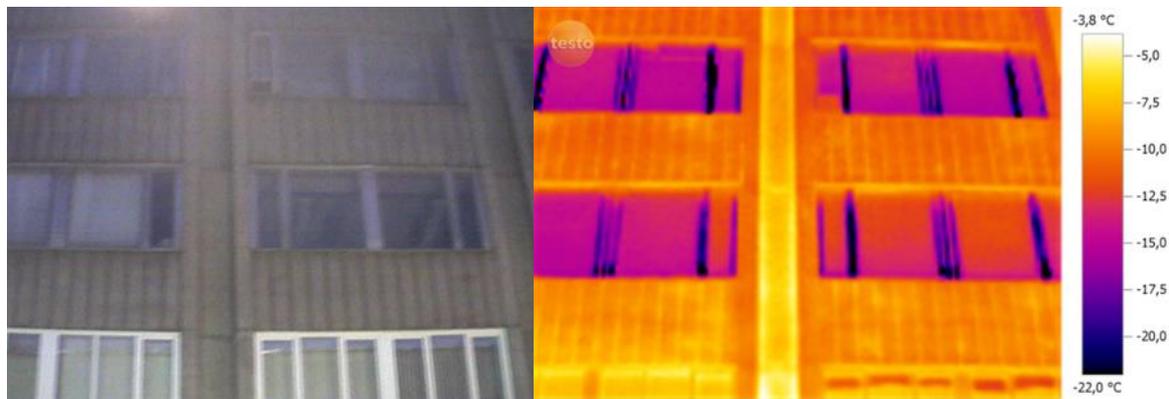


Abb. 3 Thermische infrarote Inspektion von außerhalb des Gebäudes M..

Energetische Prüfung hat auch gezeigt, dass die Innentemperatur im Gebäude „M—ca. 22,5 – 25,2 °C im Dezember 2016 – Januar 2017 betrug, damit war die Außentemperatur bei +1,5 - -26 °C. Ist-Innen-Temperatur war damit deutlich höher als Soll- Temperatur von 20 - 22 °C. Es bedeutet, dass es notwendig ist, ein automatisches Heizungssystem zu entwickeln, was zur wesentlichen Energieeinsparung für die Heizung führen wird.

Für die Auslegung der Lüftungssystem wurden normale Daten für Lüftung für Gebäude M-und STL- verwendet, ohne Rückwärmegewinnung der Abluft.

Die Installation der Lüftungsgeräte mit 80 – 90 % wärmerückgewinnungsgrad und 50 – 80% Luftfeuchtigkeit- Effizienz verringert den Verlust von Wärme mit der Abluft. Gemäß der Empfehlungen des Passivhaus-Institutes [8] die Gebäudehülle muss in sehr luftdichten Weise gebaut werden, n₅₀ < 0.6 h-1 ist erforderlich, und < 0,3 empfohlen. Auch im Interesse eines vertretbaren operativen Kosten, sollen die Lüftungsanlagen im Gebäude der Universität in regelmäßigen Abständen oder nach Bedarf ins Betrieb zugeführt

Energieeffizienz im Bau- und Maschinenwesen,
25. - 27. September 2017
 Technische Universität in Liberec

werden. Die Regelung der Luftmengen sollte nach Bedarf bestimmt werden, aufgrund der CO₂-Gehalt der Luft und abhängig von der Belegung Dichte.

Für das entscheidende Problem der Klimaanlage im Sommer ist es erforderlich, eine effektive Technische Ausrüstung für spezifische Bedingungen auszulegen. Hier werden verschiedene Systeme, einschließlich Wärmepumpen analysiert und ausgewählt.

Realisierung des Energiespar-Programms auf den Aufbau von M- und STL-Rekonstruktion erlaubt eine Verringerung der spezifischen Energie-Verbrauch für die Heizung von 179 kW·h/(m²·Jahr) bis ca. 25 kW·h/(m²·Jahr). Die Ergebnisse der vorläufigen Modellierung der Gebäude nach der Rekonstruktion sind in Tabelle 2 dargestellt.

Tab. 2 Die Ergebnisse der Modellierung der Gebäude nach der Rekonstruktion

▼ Annual Heat Demand								
Total heat losses (kWh/a)	Total free heat gains (kWh/a)	Utilisation factor	Treated Floor Area (m ²)	Ann. Heat Demand (kWh/a)	Specific Ann. Heat Demand, Q _h (kWh/m ² a)			
954294.72	533305.57	0.98	17566.41	434216.34	24.72			
▼ Transmission heat losses								
Total Heat Loss Area (m ²)	Area Weighted U-value (W/m ² K)	Av. Temp. Factor	Ann. Htg. Degree Hours (kKh)	Transmission Heat Loss (kWh/a)	Q _t (kWh/m ² a)			
24111.59	0.27	0.89	116.00	722302.20	41.12			
▼ Ventilation heat loss								
Treated Floor Area (m ²)	Ventilation volume (m ³)	Eff. air exchange rate	Heat capacity of air	Ann. Htg. Degree Hours (kKh)	Ventilation heat loss (kWh/a)	Q _v (kWh/m ² a)		
17566.41	43916.02	0.14	0.33	116.00	231992.52	13.21		
▼ Solar heat gains								
Group nr.	Area Group	Win. area (m ²)	Glazing area (m ²)	g-value	Reduction factor	Radiation, G _s	Solar heat gain (kWh/a)	Q _s (kWh/m ² a)
2	North Windows	219.10	179.58	0.50	0.50	148.15	8056.39	0.46
3	East Windows	2108.01	1764.93	0.50	0.51	322.18	172194.94	9.80
4	South Windows	338.83	282.30	0.50	0.50	448.60	38346.77	2.18
5	West Windows	2116.02	1768.85	0.50	0.51	219.29	117452.17	6.69
6	Horizontal Windows	0.00	0.00				0.00	0.00
		4781.95	3995.66				336050.27	19.13
▼ Internal heat gain								
Treated Floor Area (m ²)	Internal heat gain rate (W/m ²)	Heating period (days/a)	Heating period (kh/a)	Internal heat gain (kWh/a)	Q _i (kWh/m ² a)			
17566.41	2.10	222.80	5.35	197255.30	11.23			

Die Aussichten für die Entwicklung großer Unternehmen und ihre Rolle in den Ländern mit Transformationswirtschaft sollten durch eine günstige Marktstrategie, welche die spezifischen Trends der

Gebäude M- und STL- befinden sich auf Krasnokazarmennaya Strasse, und von der Südseite gibt es keine Gebäude, die eine Schattung auf Decken, Fassaden und Dächer schafft und verhindert somit Solarstrahlung. Es bedeutet, dass es möglich und sinnvoll wäre, eine Gebäude-integrierten Photovoltaik-Anlage an Fassaden und BIPVT Panels [9-11] auf den Dächern der Gebäude M und STL zu installieren.

Die Berechnung mit PHPP Software [6,8] hat gezeigt, dass es möglich ist, fast-null-Energie-Bilanz [3-5] für das Gebäude „M—und die STL mit der Verwendung von BIPV und BIPVT Technologien für das gut isolierende, energiesparende Gebäude zu schaffen.

Die Forschungsgruppe der Autoren liegen Große Hoffnung an das vorgeplante Projekt und seine Implementierung in MPEI.

Alle anderen Gebäude der MPEI Campus könnten auf der Basis der Erfahrung mit dem M-Gebäude und STL Gebäude rekonstruiert werden, die als grüne fast-null-Energie-Gebäude realisiert werden.

Schlussfolgerungen

Die vorliegende Arbeit schlägt vor, der Strategie der Entwicklung der Energieversorgung für Lehrgebäude des MPEI campus basierend auf „Green Building—Technologie. Die Realisierung betrachtet weitere Aufbau der

**Energieeffizienz im Bau- und Maschinenwesen,
25. - 27. September 2017
Technische Universität in Liberec**

anderen Gebäude im MPEI, basierend sich auf Beispiel des M-Gebäude und der Wissenschaftlichen und Technischen Bibliothek.

Die Untersuchungen werden in die Zukunft gemeinsam mit NESEFF Partner fortfahren.

Referenz

- [1] Krolin, A. A. Guzhov, S. V., MPEI — moderne Plattform für die Förderung von energiesparenden Technologien // Regionale Energie-und Energieeffizienz, 2015, special issue, Pp. 4 – 5..
- [2] Dragunov. V. K., A. A. Krolin, Guzhov, S. V., et.al. Die Energie-monitoring und Energie-sparende Maßnahmen in der Universität mit der Nutzung von Informationssystemen // Wissenschaftliche und methodische Probleme und neue pädagogische Technologien, 2014, №6,- Pp. 32 – 38.
- [3] Preisgekrönte Energie-plus-Gebäude in Wien-TU // SAUTER Facts, 2015, No. 33, S. 22-23.
- [4] Bismarck M. Rekonstruktion der Tu Wien // Bau hoch-Technologie, 2016, keine. 4, Pp. 18 – 21.
- [5] Elovhov A. E. ein Beispiel für die Implementierung in Deutschland-Wohn-Gebäude mit positiver Energiebilanz // Eurotrasporti. 2016, Themenheft "Energie-Effizienz. Energie speichern. Umwelt", Pp. 28 – 33.
- [6] Feist V. Grundlegende Bestimmungen über die Bauweise von Passivhäusern. M.: OOO «KONTIPRINT», 2015. 144 S.
- [7] Sultanguzin I., Kalyakin I., Govorin A., Khristenko B., Yavorovsky Yu. Optimierung der Energie-effiziente aktive Haus // 3. INGENIUERTAG 2016. Der Fakultat Maschinenbau, Elektro - und Energiesysteme Gus - und Osteuropatag. NESEFF-NETZWERKTREFFEN 2016. Tagungsband. Brandenburgische Technische Universität. Cottbus-Senftenberg. 14-15 November 2016. S. 8 - 12.
- [8] Passivhaus-Schulen – Anforderungen // https://passipedia.org/planning/non-residential_passive_house_buildings/passive_house_schools/passive_house_schools_requirements.
- [9] Debbarma M., K. Sudhakar, Baredar P. Thermische Modellierung, exergie-Analyse, performance von BIPV und BIPVT: A review // Erneuerbare und Nachhaltige Energie Bewertungen, 2017, Vol. 73, S. 1276-1288.
- [10] Biyik E., Araz, M., Hepbasli A., et.al. Ein Schlüssel Bewertung von Gebäude-integrierte Photovoltaik (BIPV) Systeme // Engineering Science and Technology, an International Journal, 2017, Vol.20, S. 833-858.
- [11] Lamnatou Ch., Mondol J. D., Chemisana D., Maurer C. Modellierung und simulation von Gebäude-Integrierte thermische Solaranlagen: Verhalten des Systems // Erneuerbare und Nachhaltige Energie Bewertungen, 2015, Vol. 45, S. 36-51

Steigerung der Energieeffizienz durch synergetische Betrachtung

Magdalena Tarkiewicz¹

Abstrakt: *Viele Fachbereiche beschäftigen sich heutzutage mit dem anspruchsvollen Thema, welches in jedem Gebiet aus einem anderen Blickwinkel betrachtet wird. Mit dem folgenden Beitrag wird es dargestellt, wie die Energieeffizienz durch eine synergetische Betrachtung und Zusammenarbeit mehrerer Fachbereiche, wie Bauwesen, Maschinenwesen und Wirtschaftswissenschaften, steigen kann. Die Nutzung und Realisierung von zahlreichen Synergiepotenzialen zwischen den Wissensgebieten soll es ermöglichen, komplementäre Lösungen für die Reduktion des Energieverbrauchs und die Umweltschonung zu entwickeln und im Endeffekt eine energieeffiziente Umgebung nachhaltig und wirtschaftlich zu gewährleisten.*

Schlüsselwörter: *Energieeffizienz von Materialien, Gebäuden, Prozessen, Anlagentechnik*

1. Energieeffizienz im politischen und gesellschaftlichen Kontext

Die Steigerung der Energiepreise sowie die wachsende Nachfrage nach Energie verursachen, dass das Thema der Energieeffizienz immer mehr an Bedeutung im politischen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Kontext gewinnt. Auch der Klimawandel und die Beschränkung der Ressourcenverfügbarkeit tragen dazu bei, dass die Reduktion des Energieverbrauchs bzw. die Energieeinsparung eine langfristige Zielsetzung von Landesregierungen bilden.

Ein hohes Einsparpotenzial erweisen vor allem Gebäude, die 40% des Energieverbrauchs in Deutschland ausmachen. Sie sind auch für die Produktion von ca. 33% der CO₂-Emissionen verantwortlich. Die durch die Bundesregierung definierten Ziele im Bereich der Energieeffizienz setzen eine Reduktion des Heizverbrauchs um 20% bis zum Jahr 2020, des Primärenergiebedarfs um 80% bis Jahr 2050 sowie das Schaffen eines klimaneutralen Gebäudebestands voraus. Das Erreichen der anspruchsvollen Zielsetzung erfordert daraus folgend eine grundsätzliche und komplexe Analyse sowie Entwicklung neuer Strategien und Energieentwicklungspläne, die verschiedene Umsetzungsmaßnahmen abwickeln lassen.

2. Fachübergreifender Energieentwicklungsplan zur Reduktion des Energieverbrauchs

Die ganzheitliche Betrachtung des anspruchsvollen Energiethemas und der damit verbundenen vielschichtigen Anforderungen sind damit ohne das Einbeziehen von Kompetenzen aus verschiedenen Wissenschaftsdisziplinen nicht möglich. Die Lösung der komplexen Fragestellung kann damit nur durch die Zusammenarbeit an den Schnittstellen v.a. der folgenden Bereiche: Bauphysik, Baukonstruktion, Energietechnik und Ökonomie realisierbar sein.

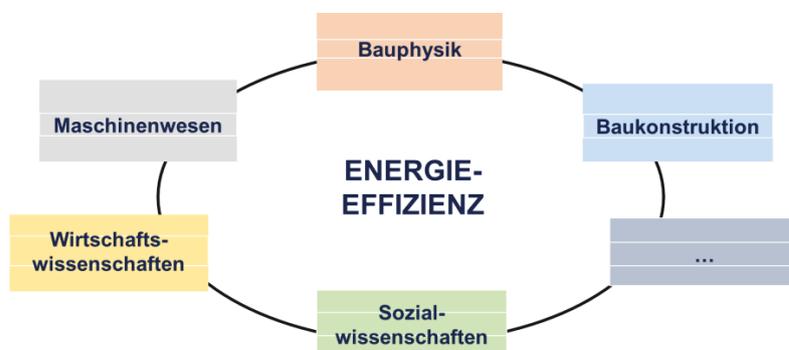


Fig. 1 Synergetische Betrachtung des Themas der Energieeffizienz.

¹ Technische Universität Dresden, Fakultät Architektur, Institut für Bauklimatik magdalena.tarkiewicz@tu-dresden.de

Steigerung der Energieeffizienz durch synergetische Betrachtung

Magdalena Tarkiewicz¹

Abstrakt: *Viele Fachbereiche beschäftigen sich heutzutage mit dem anspruchsvollen Thema, welches in jedem Gebiet aus einem anderen Blickwinkel betrachtet wird. Mit dem folgenden Beitrag wird es dargestellt, wie die Energieeffizienz durch eine synergetische Betrachtung und Zusammenarbeit mehrerer Fachbereiche, wie Bauwesen, Maschinenwesen und Wirtschaftswissenschaften, steigen kann. Die Nutzung und Realisierung von zahlreichen Synergiepotenzialen zwischen den Wissensgebieten soll es ermöglichen, komplementäre Lösungen für die Reduktion des Energieverbrauchs und die Umweltschonung zu entwickeln und im Endeffekt eine energieeffiziente Umgebung nachhaltig und wirtschaftlich zu gewährleisten.*

Schlüsselwörter: *Energieeffizienz von Materialien, Gebäuden, Prozessen, Anlagentechnik*

1. Energieeffizienz im politischen und gesellschaftlichen Kontext

Die Steigerung der Energiepreise sowie die wachsende Nachfrage nach Energie verursachen, dass das Thema der Energieeffizienz immer mehr an Bedeutung im politischen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Kontext gewinnt. Auch der Klimawandel und die Beschränkung der Ressourcenverfügbarkeit tragen dazu bei, dass die Reduktion des Energieverbrauchs bzw. die Energieeinsparung eine langfristige Zielsetzung von Landesregierungen bilden.

Ein hohes Einsparpotenzial erweisen vor allem Gebäude, die 40% des Energieverbrauchs in Deutschland ausmachen. Sie sind auch für die Produktion von ca. 33% der CO₂-Emissionen verantwortlich. Die durch die Bundesregierung definierten Ziele im Bereich der Energieeffizienz setzen eine Reduktion des Heizverbrauchs um 20% bis zum Jahr 2020, des Primärenergiebedarfs um 80% bis Jahr 2050 sowie das Schaffen eines klimaneutralen Gebäudebestands voraus. Das Erreichen der anspruchsvollen Zielsetzung erfordert daraus folgend eine grundsätzliche und komplexe Analyse sowie Entwicklung neuer Strategien und Energieentwicklungspläne, die verschiedene Umsetzungsmaßnahmen abwickeln lassen.

2. Fachübergreifender Energieentwicklungsplan zur Reduktion des Energieverbrauchs

Die ganzheitliche Betrachtung des anspruchsvollen Energiethemas und der damit verbundenen vielschichtigen Anforderungen sind damit ohne das Einbeziehen von Kompetenzen aus verschiedenen Wissenschaftsdisziplinen nicht möglich. Die Lösung der komplexen Fragestellung kann damit nur durch die Zusammenarbeit an den Schnittstellen v.a. der folgenden Bereiche: Bauphysik, Baukonstruktion, Energietechnik und Ökonomie realisierbar sein.

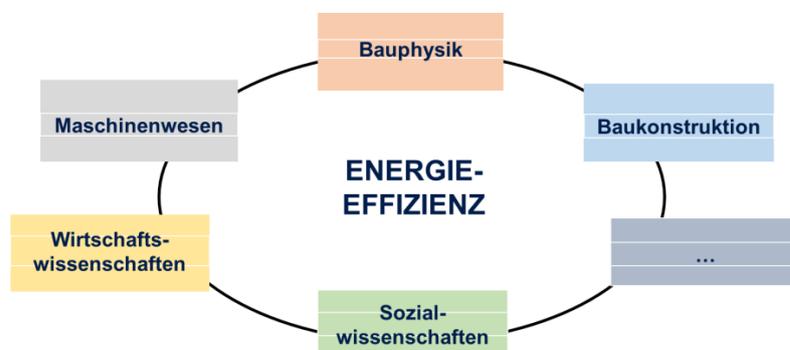


Fig. 1 Synergetische Betrachtung des Themas der Energieeffizienz.

¹ Technische Universität Dresden, Fakultät Architektur, Institut für Bauklimatik magdalena.tarkiewicz@tu-dresden.de

**Energieeffizienz im Bau- und Maschinenwesen,
25. - 27 September, 2017
Technische Universität in Liberec**

Die ersten zwei Gebiete erforschen im Zusammenhang mit der Energieeffizienz den Einfluss ausgewählter Materialien und Konstruktionen, bzw. ihrer Eigenschaften auf die Senkung oder Erhöhung des Energieverbrauchs. Die Entwicklung neuer Baumaterialien mit optimierten hygrothermischen Parametern und innovativer Technologien, die es ermöglichen, die Eigenschaften der Gebäudehülle an die Außenbedingungen anzupassen, kann im Kontext des Klimawandels die energetischen Aspekte deutlich beeinflussen. Dies betrifft vor allem Wärmeverluste über die Gebäudehülle, häufiger Fall in historischen Gebäuden, oder die Überhitzung von Räumen in modernen Bauten, die über einen ungenügenden sommerlichen Wärmeschutz verfügen und bei hohen Temperaturen zusätzlichen Bedarf an Kühlung erfordern.

Spezialisten aus dem Gebiet des Maschinenwesens, dem Bereich der Energietechnik und Energieversorgungssysteme, bringen weitere Ansätze zu Energieeinsparungen durch die Reduktion des Energieverbrauchs bei der Heizung, Kühlung und Beleuchtung. Bei der Optimierung der Energieversorgung handelt es sich um die effektive Steuerung der Anlagentechnik, Optimierung von Anlagenkomponenten, Anwendung effizienter Energiespeicher oder Entwicklung von Wärme-Kälteverbundsystemen. Steigende Rolle spielen weiterhin regenerative Energiequellen, wie Photovoltaik, Solarthermie oder Geothermie, die in gesamte Energiekonzepte eingebunden und in der gebäudeintegrierten Form bei Architekturlösungen angewendet werden.

Einen enormen Einfluss auf die Gebäudeenergiebetrachtung im Kontext des gesellschaftlichen Wandels spielen überdies die soziale Ebene und daraus folgend soziologische Studien, die bisher im geringeren Maßstab mitberücksichtigt wurden. Das Nutzerverhalten bei der Gebäudenutzung und die aktuellen Lebensmodelle bilden schließlich einen der entscheidenden Faktoren bei der Berechnung bzw. einer plausiblen Einschätzung der Höhe des Energieverbrauchs.

Die weitere Optimierung des Energieverbrauchs bieten wirtschaftlich-ökologische Untersuchungen, die das Energiethema während des ganzen Lebenszyklus des Gebäudes bzw. Bauteils betrachten lassen. Unter dem Schwerpunkt der Nachhaltigkeit und Energieeffizienz können Bauprodukte, Dienstleistungen, Prozesse sowie vor allem die verwendeten innovativen und auf die Senkung des Energieverbrauchs ausgerichteten Technologien systematisch analysiert werden. Aus dem ökonomischen und ökologischen Winkel kann ihre Analyse zur Reduktion der CO₂-Emissionen, des Energieverbrauchs und damit der Betriebskosten beitragen. Dies muss in den Zeiten des Klimawandels unbedingt mitberücksichtigt werden.

3. Gekoppelte Simulationssoftware zur Unterstützung des Planungsprozesses des energieeffizienten Bauens

Die Energieeffizienz von Gebäuden und Ressourcen kann man bereits in der Entwurfsphase deutlich beeinflussen, wobei die Konsequenzen der ausgewählten Lösungen im gesamten Lebenszyklus des Gebäudes bemerkbar sind. Bereits dann werden verschiedene Lösungen für die architektonische Gestaltung, die Baukonstruktion, die technische Gebäudeausrüstung und die Steuerungs- und Regelungstechnik analysiert und bewertet. Auch die Betriebsphase erfordert eine zuverlässige Prognose des Energieverbrauchs und der damit verbundenen Kosten, die mit Hilfe von dynamischen numerischen Simulationen erstellt werden kann.

An der Anwendung einer spezialisierten Simulationssoftware wird man dementsprechend bei der komplexen Fragestellung nicht vorbeikommen. Die Kopplung von verschiedenen Programmen ist nicht nur hilfreich für die effiziente Gestaltung des Planungsprozesses, sondern auch unentbehrlich, um die Unsicherheiten zu eliminieren und die besten Varianten auszuwählen.

Zur Betrachtung der komplexen Thematik der Energieeffizienz im Maßstab eines Bauteils, eines Raumes und des ganzen Gebäudes inkl. Anlagen- und Regelungstechnik wird in verschiedenen Fachbereichen unterschiedliche Software verwendet. Die genannten Computerprogramme ermöglichen im Einzelnen u.a. Gebäudeenergiesimulationen, Strömungssimulationen, Simulationen der Heizung, Lüftung, Klimatechnik sowie der Innenraumluft und der Behaglichkeit in Räumen zu erstellen, was schematisch in der unteren Grafik dargestellt wurde.

**Energieeffizienz im Bau- und Maschinenwesen,
25. - 27 September, 2017
Technische Universität in Liberec**

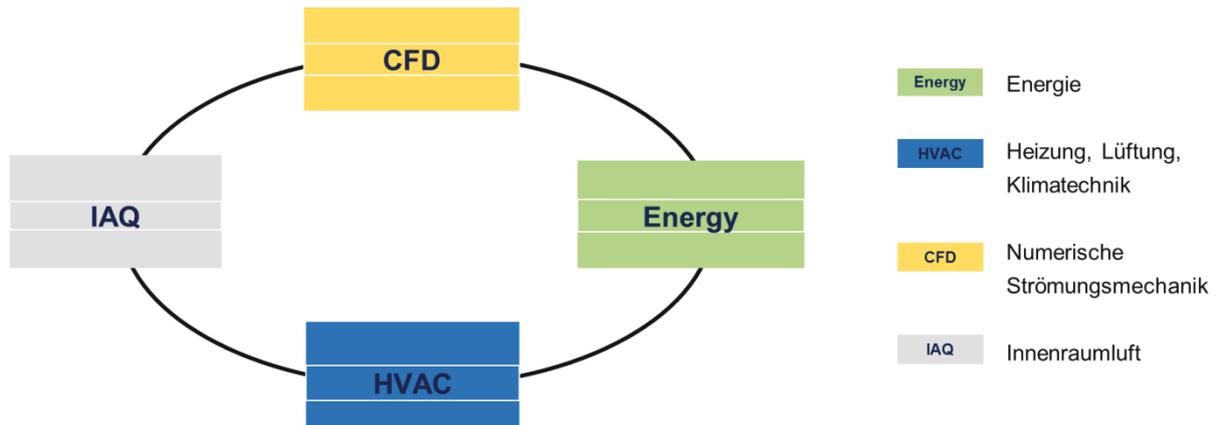


Fig. 2 Kopplung der Software aus verschiedenen Fachbereichen (in Anlehnung an Weiß, D., BauSIM 2016, Dresden).

Im Praxisfall integriert das Programm BIM HVAC Tool bereits thermische Gebäudesimulationen und Strömungssimulationen, die nicht nur im Bauwesen und in der Architektur, sondern auch stark im Bereich des Maschinenwesens Anwendung finden. Es verfügt über die grafische Benutzeroberfläche, die die Ergebnisse der Energiebedarfsanalysen grafisch darstellen lässt.

Seine Kopplung mit den thermischen Mehrzonensimulations-Solvern wie NANDRAD oder Energy Plus ermöglicht es, u.a. die Berechnung der Kühllast und des sommerlichen Wärmeschutzes sowie demzufolge die Bewertung der Behaglichkeit durchzuführen, die bereits in der Planungsphase von Bauwerken erforderlich ist. Dabei werden neben den Bauteilen und thermischen Zonen auch solche Elemente wie HVAC-Systeme, Verschattungs- oder Verteilungssysteme abgebildet.

Die ganzheitliche energetische Analyse von Gebäuden wird durch eine weitere Kopplung der Software für energetische und bauklimatische Gebäudesimulationen mit der Software für die Abbildung von Anlagen- und Regelungskomponenten vereinfacht. Die anlagentechnische Seite wird in dem beschriebenen Fall durch die Modelica-Sprache repräsentiert.

Die Bauteilseite wird in der Simulationskette durch die Delphin-Software vertreten, die vor allem für die Analyse des Wärme-, Feuchte- und Stofftransports in kapillarporösen Baustoffen verantwortlich ist. Sie wird vor allem für die Wärmebrückenanalyse, Berechnung des Heizenergiebedarfs und Bemessung der Innendämmsysteme eingesetzt.

Die mit Hilfe der Delphin-Software erstellten Daten können weiterhin die Randbedingungenangaben dem Programm OpenFoam anbieten, dem Marktleader für Strömungssimulationen im Gebiet des Maschinenbaus. Die frei verfügbare Software ermöglicht nach der Kopplung eine große Anwendung für Ingenieure und Architekten. Sie wird u.a. bei der entsprechenden Platzierung von Türluftschleiern, dem Entwurf großer Innenhöfe durch die Analyse der Luftströmungswege und der Bewertung der Behaglichkeit verwendet. Die Kopplung des Programms mit der Software CONTAM ermöglicht die Vergrößerung des Spektrums von Energieeffizienzuntersuchungen um die Analyse der Innenraumluft und Ventilation in Räumen und vereinfacht damit die Definition der Schadstoffkonzentration und des Luftzugs.

Die Bildung einer fachübergreifenden Software-Kette für die Betrachtung von energieeffizienzbezogenen Fragestellungen im Maßstab des Bauteils, des Raums und des ganzen Gebäudes mit Hilfe der oben beschriebenen Programme wird skizzenhaft in der untenstehenden Grafik dargestellt.

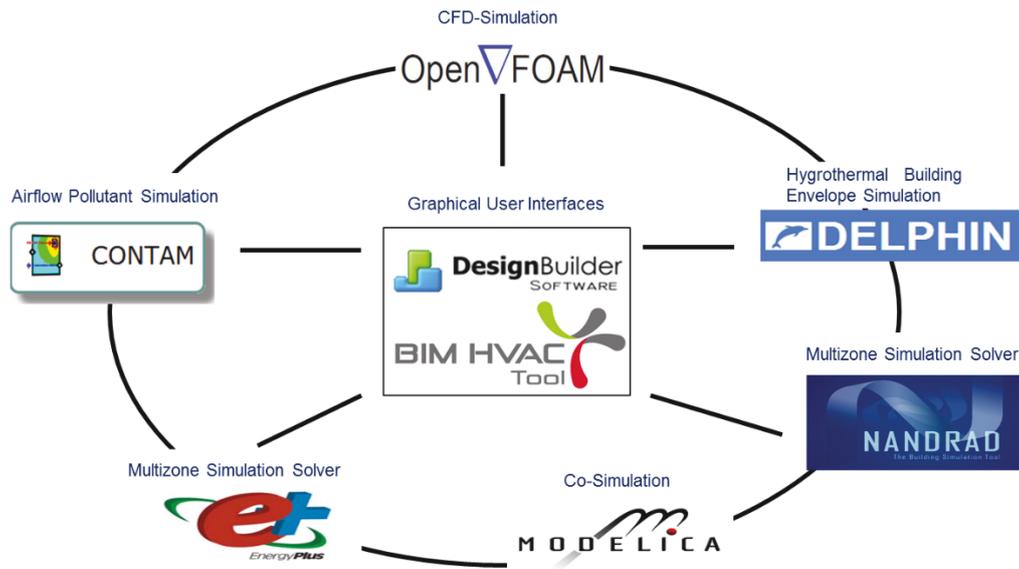


Fig. 2 Kopplung der ausgewählten, vorhandenen Software im Bereich der Energieeffizienz (in Anlehnung an Weiß, D., BauSIM 2016, Dresden)

4. Schlussfolgerung

Die in dem Beitrag dargestellten Lösungsansätze seitens der verschiedenen Fachbereiche, der Bauphysik, Baukonstruktion, des Maschinenwesens, der Energietechnik und -versorgung, sowie Ökonomie deuten darauf hin, dass die effektivsten Methoden zur Steigerung der Energieeffizienz durch ihre enge Zusammenarbeit entwickelt werden. Deren Kopplung lässt im Endeffekt das Maximum der Vorteile nutzen sowie den Energieverbrauch und die CO₂-Emissionen erfolgreicher reduzieren. Die synergetische Denkweise zeigt sich sowohl am Beispiel der Entwicklung von ganzheitlichen Energieentwicklungsplänen als auch der Kopplung der in verschiedenen Gebieten zur Planung und Analyse verwendeten Simulationstools.

Der interdisziplinäre Ansatz zur Integration der in dem Beitrag genannten Softwarelösungen ermöglicht schließlich durch den Austausch von Daten, bzw. ihre mehrfache Nutzung komplexe Fragestellungen zeit- und kosteneffizient zu bearbeiten. Die synergetische Werkzeugkettenbildung begünstigt dabei die Zusammenarbeit verschiedener Fachplaner, erhöht dementsprechend die Qualität des Entwurfsprozesses sowie seiner Ergebnisse und sichert die Umsetzung der gemeinsam entwickelten, auf die Steigerung der Energieeffizienz ausgerichteten Maßnahmen.

Literatur

- [1] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit: Kurzinformatio Energieeffizienz, 06.11.2013.
- [2] www.bmub.bund.de/P235/
- [3] Die Bundesregierung: Energie sparen. 10.08 2017. <https://www.bundesregierung.de/Content/DE/StatistischeSeiten/Breg/Energiekonzept/02-energieeffizienz.html>.
- [4] Felsmann C., Grunewald J., Weller B., Günther E.: CAMPER - CAMPusEnergieverbrauchsReduktion., Dresden, 2015
- [5] Grunewald J., Clauss C., Blochwitz T., Unger R.: Entwicklung der Kopplungstechnologie von Komplexmodellen für Bauteil-, Raum- und Gebäudesimulation mit Modelica-basierten Anlagen-, Regelungs-, und Nutzermodellen., Dresden, 2013
- [6] Paepcke A., Schwan T., Nicolai A.: Schnittstellen für die Co-Simulationskopplung zwischen Gebäude- und Heizungsanlagen-simulation, in Proceedings of the BauSim 2016, Dresden, 2016
- [7] Weiß D., Hoch R., Tian T.: Integration von thermischer Gebäudesimulation und Strömungssimulation in einer Nutzungsoberfläche- BIM HVAC Tool, in Proceedings of the BauSim 2016, Dresden, 2016
- [8] Weiß D., Thorwarth D., Hoch R.: BIM im Quartier. Simulationsverfahren und –anwendung im Projekt CAMPER, Forum Bauinformatik, Dresden, 2017

Verwendung der Turboexpansionsmaschinen in Heizkraftwerken

M.Eng. M.V. Tjunjaev¹, Prof. Dr.- Ing.habil V.V. Kulitshikchin¹

Zurzeit gibt es in Deutschland eine bestimmte Menge an im Betrieb stehenden Turboexpansionsanlagen, mit jeweiliger Leistungskapazität von hunderten Kilowatt [1]. Obergenannten Anlagen dienen zur Elektroenergieerzeugung durch Nutzung der Überdruck des zu den bestimmten Objekten zugeführten überschüssigen Erdgases, und spielen damit eine Rolle eines Drosselschiebers in Erdgasregelstation. Die Verwendung solcher Anlagen in Deutschland wird im Zusammenhang mit den gesetzlichen Zulagen zu den Kosten des gelieferten in KWK-Betrieb erzeugten Stromes durchgeführt.

In der Russischen Föderation steigt in den letzten Jahren Interesse an der Verwendung von solchen Maschinen für verschiedene Energieanlagen, insbesondere in Heizungsanlagen. Turboexpansionsanlagen sind für die zentrale Wärmeversorgung der Industrie und Wohnungs- und Kommunalwirtschaft entwickelt, sowie um Spitzenlasten in Fernwärmanlagen zu decken. Der Bau des Bezirk Kessels erfordert weniger Investitionen und kann in einer kürzeren Zeit als der Bau von Wärmekraftwerk der gleichen Heizleistung erfolgen [2].

In Russland werden hauptsächlich die Heizkessels (siehe Tabelle 1) verwendet, die für die Erzeugung von Warmwasser mit einer Temperatur von 150 ° C in Heizungs- ausgelegt sind, sowie für Lüftung und Warmwasserversorgung der industriellen und häuslichen Gebrauch und den technologischen Zwecken.

Tabelle 1. Technische Daten

Kennwert	KB-ГМ-11,63-150	KB-ГМ-23,26-150	KB-ГМ-35-150
Leistung in MW	11,63	23,26	35
Art des Brennstoffs	Gas/Öl		
Berechnete übermäßiger Wasserdruck am Einlass des Kessels MPa	2,5		
Minimaler absoluter Druck des Wassers am Kesselaustritt MPa	1,0		
Die Wassertemperatur am Einlass	70		
Die Wassertemperatur am Auslass	150		
Wasserverbrauch	123,5	247	370
Spritverbrauch	1290/1220	2580/2450	3870/3680

Tabelle 1 zeigt technische Daten von verschiedenen Anlagentypen:

- Leistung in kW
- Art des Brennstoffs
- Berechnete übermäßiger Wasserdruck am Einlass des Kessels MPa
- Minimaler absoluter Druck des Wassers am Kesselaustritt MPa
- Die Wassertemperatur am Einlass
- Die Wassertemperatur am Auslass
- Wasserverbrauch
- Spritverbrauch

Aus der Tabelle 1 folgt, dass es hauptsächlich Erdgas als Brennstoff in Heizkesseln verwendet wird, und Wassereintrittstemperatur beträgt 70 ° und Ausgangstemperatur 150 ° C. Somit sind entsprechend viele Autoren alle Voraussetzungen (Verfügbarkeit von Warmwasser für Erdgaserhitzung, bevor es in die Turboexpansionsanlage geht, sowie Erdgas mit einem hohen Anfangsdruck vor dem Eintritt in Erdgasregelstation) für die Einführung der Turboexpansionsanlagen in Wärmekreislauf des Heizkessels.

Die Einführung dieser Anlagen stellt dem Heizwerk Strom für den Eigenbedarf zur Verfügung (Pumpenantrieb, Beleuchtung, automatische Regelung, Instrumentierung, etc.) sowie den Überschuss an das Netz zu geben, somit den Kauf von Elektrizität abzulehnen.

¹ 1Nationale Forschungsuniversität Moskauer Energetisches Institut

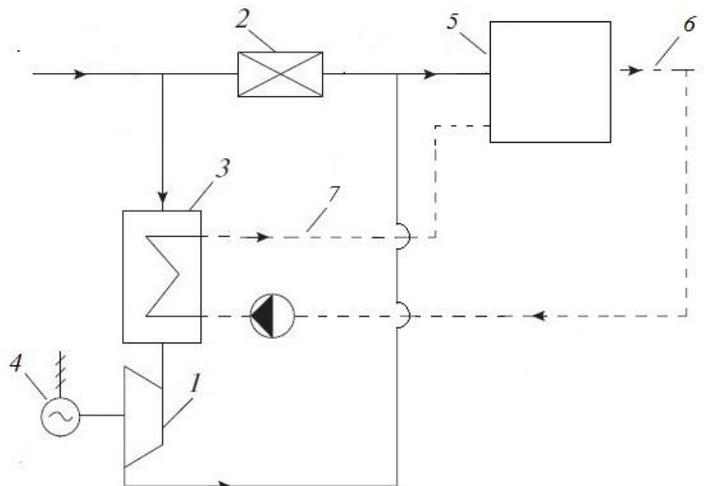


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Turboexpanderanlage im Heizkessel 1 - Turboexpanderanlage 2 - Erdgasregelstation, 3 - ein Wärmetauscher zum Vorwärmen vor Erdgas vor Turboexpanderanlage, 4 - elektrischer Generator 5 - Heizkessels, 6 - die Kühlmittelversorgungsleitung (heißes Wasser) vom Boiler 7 - Kühlmittel -Abführleitung aus dem Wärmetauscher am Eingang zum Kessel.

Erinnern eine Reihe von Empfehlungen der Autoren richtet jedoch die meiste Aufmerksamkeit auf die Berechnung der wirtschaftlichen Vorteile aus der Einführung von obengenannten Anlagen im Wärmekreislauf des Heizwerkes, und vergessen damit, dass eine der wichtigsten Voraussetzungen, zusammen mit den oben genannten, ist auch ein Erdgasverbrauch auf der ganzen Energieanlage.

In diesem Fall kann der entscheidende Faktor bei der Umsetzung der Turboexpanderanlage auf Heizwerk genau Erdgasverbrauch werden, was durch die Ergebnisse der Berechnungen bestätigt wird.

Berechnungen wurden ausgeführt, um den primären Parameter TU Strömungsteil (Schaufellängen) für echte Beziehungen Erdgasdrücke auf der Erdgasregelstation bei den unterschiedlichen Temperaturen von Erdgas vor und nach der vorhandenen Turboexpansionsanlage zu bestimmen.

Die Berechnungen wurden unter Verwendung des Verfahrens [3] durchgeführt, für eine Nenndrehzahl von 3000 W / m, da die Verwendung von Hochgeschwindigkeitszug -Getriebe mit Druckausgleicher zwischen dem elektrischen Generator und Turboexpander verringern die Zuverlässigkeit des Systems.

Die Tabellen 2 und 3 und die Figuren 2 und 3 geben Übersicht über die berechneten Ergebnisse für verschiedene Drücke und Temperaturen des Erdgases zum ersten Stufe Eingang in den Turboexpander. Berechnungen wurden für Erdgasverbrauch von 1000 Nm³ / h (0,38 kg / s) durchgeführt. Dieselben Berechnungen wurden mit minimalem Erdgasverbrauch für die Gewährleistung Schaufellänge 15 mm auf der ersten Stufe zu erreichen.

Tabelle 2. Ergebnisse der Berechnung die Längen der Düsenschaufeln der ersten Stufe axial zum Turboexpander bei unterschiedlichen Drücken am Einlass der Stufe und gleichen Druckabfall von 0,05 MPa.

Druck am Einlass eines Turbo-Expanders P _{BX} , MPa	Temperatur am Einlass eines Turbo-Expanders T _{BX} , K	Druck beim Ausgang P _{BIX} , MPa	Schaufellänge beim Erdgasverbrauch über 1000 m ³ /St (0,38 kg/s) L _{сн} , MM	Minimale Erdgasverbrauch für die Gewährleistung Schaufellänge 15 mm G _{нr.min} , M3/St (kg/s)
0,4	330	0,35	1,275	11763,2 (4,47)
0,7	330	0,65	1,339	11210,5 (4,26)
0,9	330	0,85	1,645	9105,3 (3,46)
1,1	330	1,05	1,867	8026,3 (3,05)

**Energieeffizienz im Bau- und Maschinenwesen,
25. – 27. September, 2017
Technische Universität in Liberec**

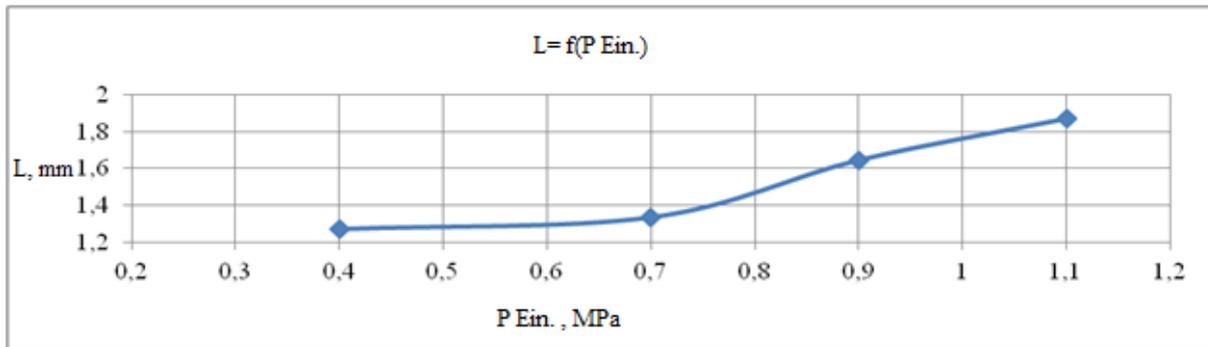


Abbildung 2. Ergebnisse der Berechnung Tabelle 2.

Tabelle 3. Ergebnisse der Berechnung die Längen der Schaufeln der ersten Stufe Düse axial DHA bei verschiedenen Gastemperaturen am Einlaß der Stufe.

Druck am Einlass eines Dieselgenerators P_{BX} , MPa		Temperatur am Einlass eines Dieselgenerators T_{BX} , K	Druck beim Ausgang aus Dieselgenerator P_{BIX} , MPa	Schaufellänge beim Erdgasverbrauch über 1000 m ³ /ч (0,38 кг/с) L_{CH} , mm	Minimale Erdgasverbrauch für die Gewährleistung Schaufellänge 15 mm $G_{tr.min}$, M ³ /St (kg/s)
0,7	300	0,65	1,277	11736,8 (4,46)	
0,7	330	0,65	1,339	11210,5 (4,26)	
0,7	360	0,65	1,349	11105,3 (4,22)	

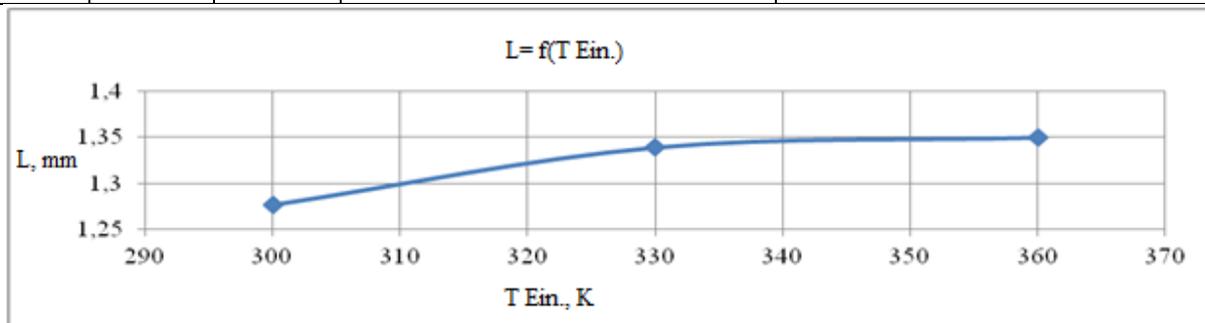


Abbildung 3. Ergebnisse der Berechnung Tabelle 3.

Wie es aus den Tabellen 2 und 3 und aus den Figuren 2 und 3 zu sehen ist, wird es mit Änderungen in Druck und Eintrittstemperatur des Erdgases vor Turboexpander in weiten Bereichen keine erhebliche Steigerung der ersten Stufe Schaufellänge des Turbotenders gegeben.

Die Länge der Schaufeln der ersten Stufe erhöht sich auf einen akzeptablen Wert von 15 mm mit einer Erhöhung der Erdgasströmungsgeschwindigkeit, beispielsweise von 8026,3 bis 11763,2 Nm³ / h (Tabelle 2) und 11.105,3 bis 11.736,8 Nm³ / h (Tabelle 3).

Aus der Tabelle 1 Leistungskessel folgt, dass Erdgasverbrauch Ratenbereiche 1290 bis 3870 Nm³ / h liegt. Dies bedeutet, dass eine Turboexpansionsanlage nur in Heizungsanlagen eingesetzt werden kann, die zwischen 3 bis 9 Kesseln desselben Typs eingestellt ist.

Auf der Grundlage der Berechnungen für verschiedene Verhältnisse von Druck und Temperatur von Erdgas wurden die Minimalwerte bestimmt, unterhalb denen die TU Schaffung wegen der Unmöglichkeit der Herstellung Strömungsteil TU undurchführbar ist mit der Länge des Messer, auch an der modernsten Prozessausrüstung.

Energieeffizienz im Bau- und Maschinenwesen,

25. – 27. September, 2017

Technische Universität in Liberec

Die Ergebnisse der numerischen Untersuchungen zeigen, dass die Entwicklung von Empfehlungen für die Verwendung von Turboexpander für kleine Energieanlagen, insbesondere in Heizungsanlagen mit geringem Erdgasverbrauch, zusammen mit der Definition der wirtschaftlichen Merkmale des Turboexpanders durchgeführt werden und mit ihrem Baumaß bestimmt werden.

Literatur:

- 1 Bergmann R. Stromerzeugung durch Erdgas-Entspannung am Beispiel eines großen Erdgas-Verbrauchers. / Tagungsband Konferenz an der Brandenburgischer Technischen Universität (Cottbus-Senftenberg, Deutschland), 2016, s. 19-20.
2. Industrielle Wärme- und Energietechnik und Wärmetechnik. Nachschlagewerk. Unter der allgemeinen Redaktion von VA Grigoriev und VM Zorin. Buch 4. Moskau, Energoatomizdat. 1991.
3. Stepanets AA Energiesparende Turboexpander. Moskau: OOO Nedra-Geschäftszentrum, 1999.

Vergleich verschiedener Optionen für die autarke Heizungssystem in einem Wohnhaus

¹Y.V.Yavorovski, ¹A.J.Likhaeva¹

Abstrakt Ziel der Arbeit ist es, die Möglichkeiten der Wärmeversorgung im Dmitrovsky-Bezirk der Region Moskau errichteten Wohnhauses zu betrachten, in der Abwesenheit der Möglichkeit, eine zentrale Gasversorgung mit dem Haus zu verbinden. Die Berechnungen der thermischen Belastungen für Heizsysteme und Warmwasserversorgung wurden durchgeführt. Auf der Basis der Berechnungen wurde die Ausrüstung für die Wärmeversorgung des Hauses ausgewählt und verschiedene Optionen der Wärmeversorgungssysteme verglichen.

Schlüsselwörter: Wärmeversorgung, Wärmepumpe, Gasholder, Landhaus

1. Einführung.

Erdgas ist der geeignetste und häufigste Brennstoff für den Einsatz in Ferienhäusern. Laut Statistik arbeiten etwa 50% aller in Russland betriebenen Kessel in Gas, 30% auf Dieselmotoren, etwa 10% auf Strom und etwa 5% auf Festbrennstoff. Gas ist die günstigste Option für Heizung - es ist wirtschaftlich, bequem und billig, und in Russland ist Erdgas sehr häufig. Allerdings gibt es ein großes Problem mit Gas, nämlich: die Hauptgasleitung ist nicht in jedem Bereich verfügbar, besonders groß ist das Problem in den von den Städten entfernten Regionen. Auch in der Moskauer Region gibt es viele Orte, wo es unmöglich ist, Gas zu verbinden, oder der Prozess ist lang, schwierig und sehr teuer. Deshalb müssen die Bewohner solcher Orte alternative Wege nutzen, um ihre Häuser mit Heizenergie zu versorgen.

Ein von den alternativen Wärmeversorgungssystemen für ein Haus ein System, das aus der autonomen Erwärmung mit Propan-Butan, das aus einem unterirdischen Gasspeichertank, einem Gasgenerator, einem Gaskessel, Absperrventilen, Versorgungsleitungen und verschiedenen Hilfseinrichtungen besteht. Zu einem anderen alternativen Heizungssystem können die zurzeit Popularität erlangende Systeme auf der Basis einer Wärmepumpe zugeordnet werden.

Die Vorteile der autonomen Heizsysteme beinhalten die Möglichkeit, die Temperatur abhängig von der Temperatur der Außenluft zu steuern, die Möglichkeit, die Heizungsanlage gegebenenfalls zu schließen und dadurch das Geld für kommunale Kosten zu sparen. Zu den bedeutendsten Nachteilen solcher Systeme gehören die hohen Kosten der Haupt- und Nebenausrüstung sowie die Installations- und Wartungskosten.

Der Zweck der Arbeit ist es, die Wärmeversorgungsoptionen für ein zweistöckiges Wohnhaus m² im Dmitrovsky Bezirk der Moskauer Region mit einer Fläche von 148 m², in der Abwesenheit der Möglichkeit der Verbindung einer zentralen Gasversorgung mit dem Haus, aber bei der Verbindung des Hauses zu elektrischen Netzwerken zu betrachten.

2. Ergebnisse der Berechnung von Wärmeenergiebedarf des Hauses

Die erste Phase der Arbeit war die Berechnung des Wärmeenergiebedarfes des Hauses; entsprechende Werte sind in Tabelle 1 dargestellt. Als Ergebnis wurde eine kombinierte Grafik für die Dauer der Wärmebelastung der Heiz- und Warmwasserversorgungsanlagen (WWH) gezeichnet, wonach der jährliche Wärmeverbrauch für Heiz- und Warmwasserversorgungssysteme mit einer Leistung von 24081 kWh / Stunde herausgegeben wurde.

Tabelle 1. Ergebnisse der Berechnung von Wärmeenergiebedarf des Hauses

Wärmeenergiebedarf	Jährliche Wärmeenergieverbrauch	Durchschnittliche Wärmeleistung	
		Heizperiode	Sommer
9,8 kW	17077 kW St/a	0,87 kW	0,7 kW

¹ Nationale Forschungsuniversität Moskauer Energetisches Institut

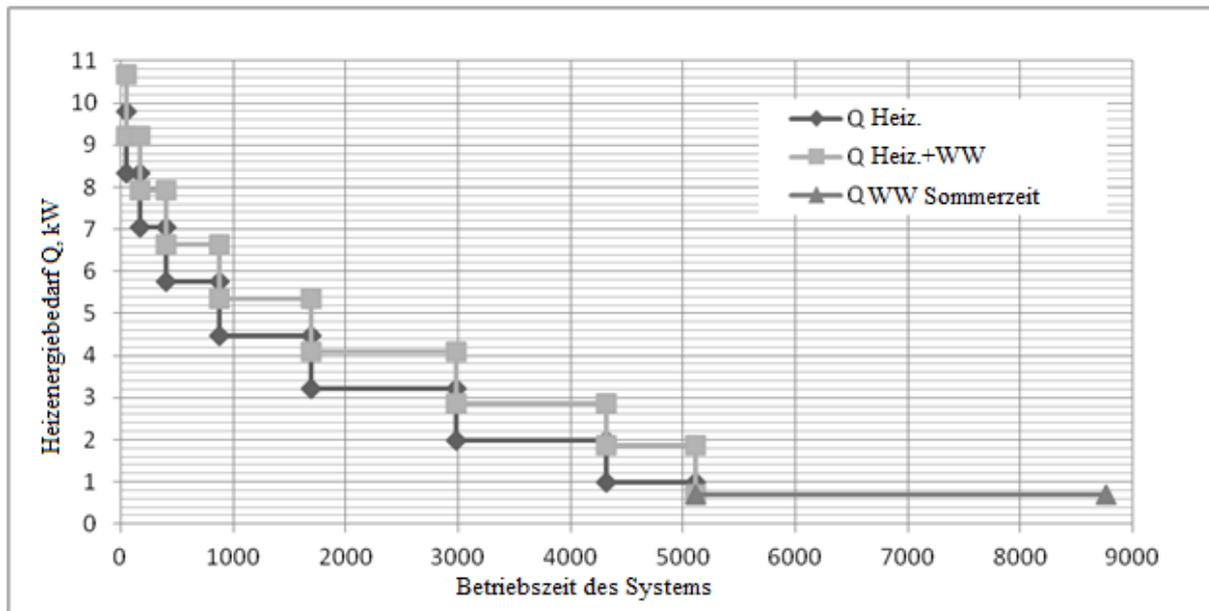


Abbildung.1 Kombinierte Grafik für die Dauer der Wärmebelastung der Heiz- und Warmwasserversorgungsanlagen

3. Alternative Systeme der autonomen Wärmeversorgung

Die nächste Stufe war die Betrachtung verschiedener autonomer Wärmeversorgungssysteme und deren Elemente und die Auswahl der geeignetsten Optionen für die gegebene Klimazone.

3.1. Autarke Wärmeversorgung mit Elektrokessel

Als Hauptsystem wurde ein System der autonomen Wärmeversorgung genommen, dessen Wärmequelle ein Elektrokessel ist. Für die Analyse wurde ein zweireihiger Elektrokessel „Savitr Premium 12“ mit einer Leistung von 12 kW gewählt, die Berechnung des Stromverbrauchs des Systems wurde durchgeführt und die Kosten des Lebenszyklus des Systems (gleich 30 Jahre) wurden erhalten. So würde der jährliche Stromverbrauch des Systems etwa 45616 kWh / Jahr betragen mit Stromkosten um 155,1 Tausend Rubel jährlich.

Tabelle 2. Lebensdauer eines autonomen Wärmeversorgungssystems mit Elektrokessel

Investitionskosten	Wartungskosten
75,6 Tausend Rubel	4652,9 Tausend Rubel

3.2 Autonome Heizungsanlage mit einem Gaskessel auf der Basis des Gastanks

Bei der Betrachtung eines autarken Wärmeversorgungssystems mit einem Gastank wurde ein Vergleich zwischen Boden- und unterirdischen Gashalter durchgeführt. Als Ergebnis des Vergleichs wurde der unterirdische Gashalter aufgrund der folgenden Vorteile gewählt. Einer der Hauptvorteile ist der ununterbrochene und zuverlässige Betrieb, der darauf zurückzuführen ist, dass der Betrieb dieser Art von Gashalter nicht von der Außentemperatur abhängt und die Installation der gewählten Gerätetypen die Erhaltung des ursprünglichen Erscheinungsbildes des Grundstücks ermöglicht. Durch den Entwurf werden unterirdische Gashalter in vertikale und horizontale unterteilt. Beim Vergleich wurde ein horizontaler unterirdischer Gasholder gewählt, weil Die horizontale Gestaltung sorgt für eine stabile und hohe Produktivität und die im Tank gefüllte Propan-Butan-Mischung bildet einen Verdampfungsspiegel, dessen Bereich ausreichend ist, um das Gas im erforderlichen Volumen zu verdampfen. Notwendige Elemente dieses Systems sind ein Gaskessel und Gastank.

Für die Analyse wurden Gashalter Marke Chemet in verschiedenen Größen mit einem durchschnittlichen Preis auf dem Markt und einem Gaskessel der Marke Protherm Jaguar 11 JTV gewählt.

Die Berechnung des Gasverbrauchs durch Heiz- und Warmwasserversorgungssysteme wurde durchgeführt, die Periodizität der Gasholder-Abfüllung und die Kosten für den Lebenszyklus des Systems wurde berechnet. Es wurde festgestellt, dass die meisten profitabel wären der Kauf und die Verwendung eines Gas-Tank mit einem Volumen von 9200 Liter, die alle 2 Jahre nachgefüllt werden soll.

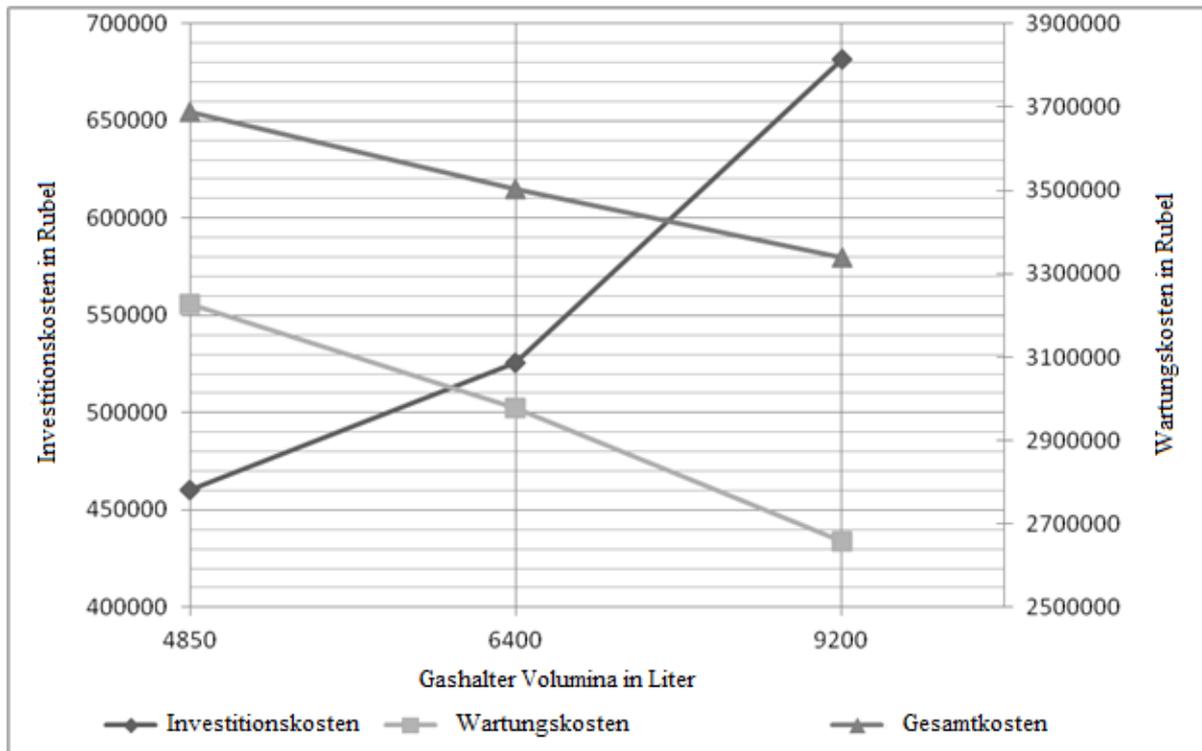


Abbildung 2. Die Kosten des Lebenszyklus des autonomen Wärmeversorgungssystems mit einem Gaskessel auf der Basis des Gasholders

Die Investitionskosten für die Installation eines autonomen Wärmeversorgungssystems mit einem Gasgenerator werden auf 726,1 Tausend Rubel geschätzt und werden für 21% der Gesamtkosten des Systems für seinen Lebenszyklus verantwortlich sein. Die Betriebskosten (Betankung, einschließlich Wartung) belaufen sich auf 7.400 Rubel pro Monat und 2658 Tausend Rubel für den gesamten Lebenszyklus des Systems, (gleich 30 Jahre), was wird 79% der Kapitalkosten ausmachen.

3.3. Autonome Wärmeversorgung mit Wärmepumpe

Für ein System der autonomen Wärmezufuhr, dessen Energiequelle eine Wärmepumpe ist, wurde eine vertikale Wasser-Wärmepumpe ausgewählt, die eine Reihe von Vorteilen gegenüber anderen aufweist: der Wirkungsgrad der Wärmepumpe hängt nicht von der Temperaturänderung der Außenluft ab, die Installation erfordert keine großen Flächen und es gibt keine Beschränkungen für Landschaftsbau und Landschaftsdesign.

Bei der Auswahl der Wärmepumpe wurde eine Reihe von Wärmepumpen verschiedener Marken und Kapazitäten und deren Abhängigkeit von den Investitionskosten des Systems berücksichtigt. Die Firma Danfoss hat eine Serie der DHP-H Wärmepumpen verschiedener Kapazitäten mit einem durchschnittlichen Marktpreis und Spitzen-Kessel, wo es nötig ist.

Für die ausgewählten Wärmepumpen wurde eine Machbarkeitsstudie durchgeführt: Die Investitions- und Betriebskosten des Systems wurden für den Lebenszyklus berechnet. Es wurde herausgegeben, dass der Kauf und die Nutzung eines autonomen Wärmeversorgungssystems mit einer Wärmepumpe von 8 kW eine profitabelste Option wäre. Zur Deckung der Spitzenbelastungen wird ein Elektrokessel mit einer Leistung von 4 kW verwendet.

Die Investitionskosten für den Kauf und die Installation des Systems werden auf 730,8 Tausend Rubel geschätzt, was 54% der Gesamtkosten des Systems für einen Lebenszyklus von dreißig Jahren beträgt. Betriebskosten sind damit 1,75 Tausend Rubel pro Monat und 63,73 Tausend Rubel für den gesamten Lebenszyklus, was 46% der Gesamtkosten des Systems für ganzen Lebenszyklus beträgt.

Diese Systeme wurden ohne Berücksichtigung der Zuverlässigkeit berücksichtigt, wobei ein solcher Faktor wie die Zuverlässigkeit zu berücksichtigen ist. Bei der Installation eines elektrischen Spitzenkessels bei unvorhergesehenem Ausfall der Wärmepumpen-Komponenten werden die Kapitalkosten des Systems für seinen Lebenszyklus um 2% erhöht und werden damit 56% der Gesamtkosten betragen, was 795,6 Tausend Rubel entspricht, während die Wartungskosten wiederum um 2% abnehmen werden und werden damit 44% der Gesamtkosten betragen.

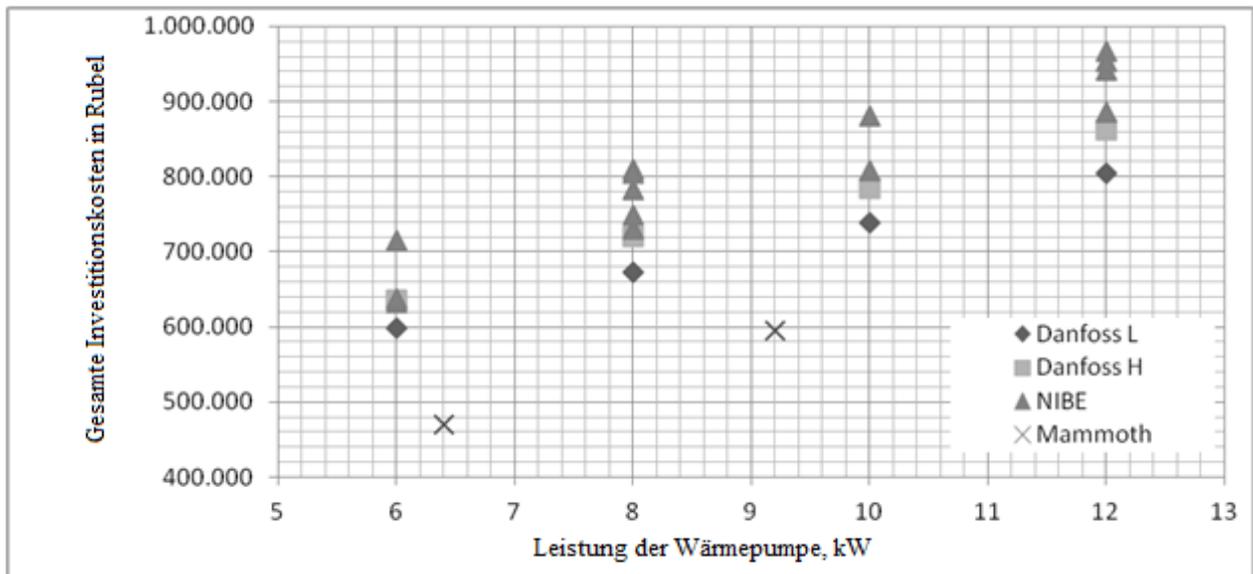


Abbildung 3. Erdwärmepumpen Vertikaltyp verschiedene Marken

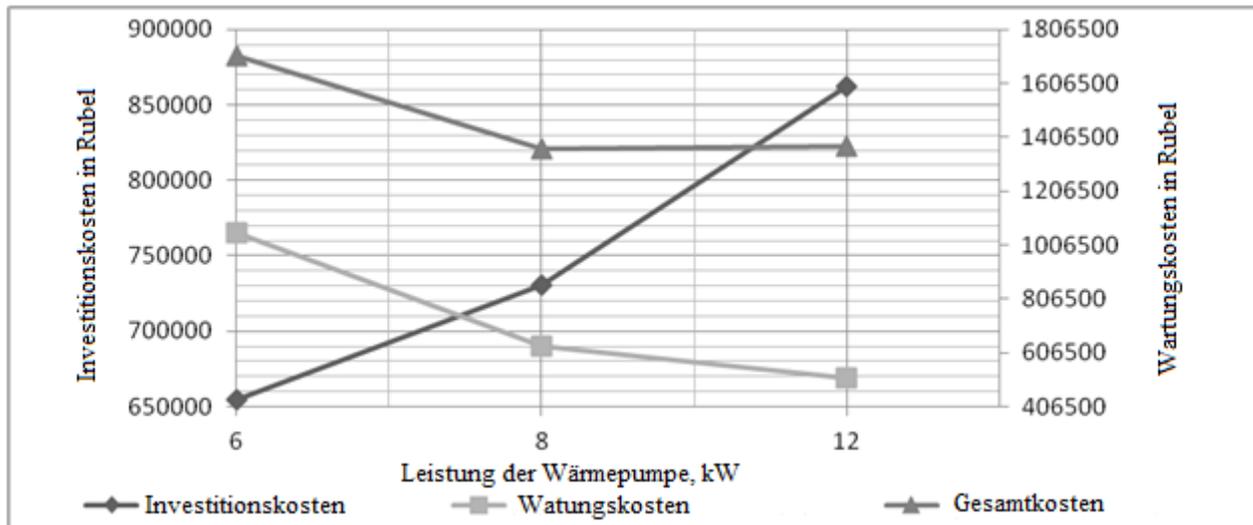


Abbildung 4. Lebensdauer eines autonomen Wärmeversorgungssystems mit einer Wärmepumpe

4. Vergleich verschiedener Optionen für autonome Heizsysteme

Im letzten Teil der Arbeit wurden verschiedene Optionen für autonome Wärmeversorgungssysteme durchgeführt. Als Ergebnis wurde ein System mit einer Wärmepumpe und einem Elektrokessel gewählt. Die Gesamtkosten des Systems für den gesamten Lebenszyklus betragen 1362,48 Tausend Rubel, was 2,5 mal günstiger ist als ein autonomes Wärmeversorgungssystem mit Gashalter und 3,5 mal günstiger als ein System mit Elektrokessel als Wärmequelle.

**Energieeffizienz im Bau- und Maschinenwesen,
25. – 27. September, 2017
Technische Universität in Librec**

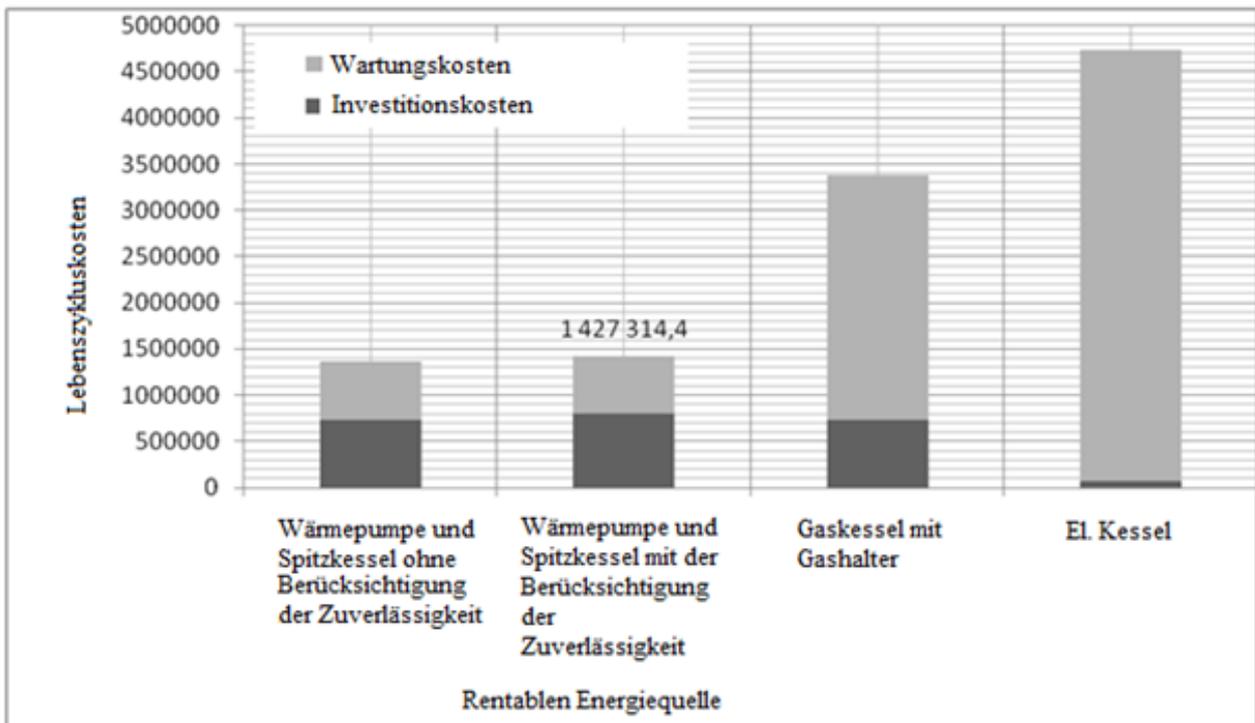


Abbildung 5. Wirtschaftliche Vergleich der unterschiedlichen Wärmeversorgungssysteme

Literatur

1. Internetquelle: SP 50.13330.2012. Wärmeschutz von Gebäuden Zugriffsmodus: http://www.tsuab.ru/upload/filesarchive/files/SP_50_13330_2012_Teplovaja_zashhita_zdanij__Aktualizirovannaja_redakcija_SNiP_23_02_2003_file_1_1391.pdf
2. SNiP II-3-79 *. Gebäude Wärmetechnik / Gosstroy von Russland. - Moskau: GUP TSPP, 1998.
3. Malyavina Ye. G. Wärmeverlust des Gebäudes. Referenzhandbuch, Moskau, AVOK-PRESS, 2007
4. Aufbau und Betrieb von Wasserheizungsnetzen: Nachschlagewerk / V. I. Maniuk, J. I. Kaplinsky, E. B. Khizh und andere.-3. Aufl., Pererab. und zusätzlich-Moskau: Stroiizdat, 1988.- 432 S.

Kvalifikace bez hranic: Vybudování partnerství v oblasti výzkumu techniky budov ke vzdělávání vědeckých následovníků v příhraničním regionu

Grenzenlos Qualifiziert: Aufbau einer Kompetenzpartnerschaft im Bereich Bauforschung zur Qualifizierung wissenschaftlichen Nachwuchses in der Grenzregion

Cíle projektu: Vývoj a sestavení dlouhodobého interdisciplinárního a přeshraničního partnerství mezi univerzitami v oblasti výzkumu ve stavebnictví. Předpokládá se dosažení celkové odborné kvalifikace následující generace výzkumných kapacit kooperačních partnerů.

Projektziel: Das übergeordnete Ziel besteht in der Entwicklung einer langfristigen, interdisziplinären und grenzüberschreitenden Kooperationspartnerschaft zwischen den Universitäten im Bereich der Bauforschung. Es soll eine komplementäre fachliche Qualifizierung der Nachwuchskräfte der Kooperationspartner erreicht werden.

Program:

Program spolupráce Svobodný stát Sasko - Česká republika 2014-2020
Kooperationsprogramm Freistaat Sachsen - Tschische Republik 2014-2020

Poskytovatel: Evropská unie. Evropský fond pro regionální rozvoj.

Finanzierung: Europäische Union. Europäischer Fonds für regionale Entwicklung.

Partneři/Partner:

Hlavní partner: Technische Universität Dresden
Lead-Partner: Technische Universität Dresden



Projektový partner: Technická Univerzita v Liberci
Projektpartner: Technická Univerzita v Liberci



Období: 04/2016 - 03/2019

Zeitraum: 04/2016 - 03/2019



Europäische Union. Europäischer
Fonds für regionale Entwicklung.
Evropská unie. Evropský fond pro
regionální rozvoj.



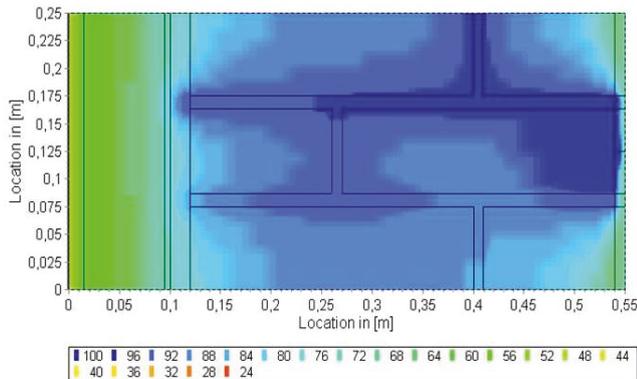
Ahoj sousede. Hallo Nachbar.
Interreg V A / 2014-2020

86

Odpovědný řešitel na TUL:
doc. Ing. Karel Fraňa, Ph.D.
email: karel.frana@tul.cz
telefon: 48 535 2878
48 535 3436

Software DELPHIN

Software DELPHIN für hygrothermische Bauteilsimulationen in Forschung und Ingenieurspraxis



Einsatzbereiche

DELPHIN ist ein Simulationsprogramm für den gekoppelten Wärme-, Feuchte-, und Stofftransport in kapillarporösen Baustoffen und ermöglicht eine realistische Vorhersage des thermischen und hygrischen Verhaltens von Bauteilen und Anschlussdetails. DELPHIN wird sowohl in der Praxis als auch in der Forschung eingesetzt.

Praxisbezogene Anwendungsfälle sind unter anderem:

- Wärmebrückenberechnung mit Beurteilung hygrischer Problemstellen (z.B. Oberflächen-kondensat, internes Kondensat)
- Bemessung und Bewertung von Innendämmsystemen
- Beurteilung von hinterlüfteten Fassaden und belüfteten Dächern
- Instationäre Berechnung des Transmissionsverlustes von Bauteilen unter Berücksichtigung der feuchteabhängigen Wärmeleitfähigkeiten
- Bewertung von Trocknungsvorgängen (Keller, Einbaufeuchte, Flutfolgen, ...)
- Einschätzung des Schimmelwachstumsrisikos

Leistungsumfang der Software

Die Software DELPHIN verfügt für die Praxisanwendung über eine professionelle und selbsterklärende Nutzeroberfläche. Diese ermöglicht die grafische Eingabe von Konstruktionsdetails, die Zuweisung der Materialien, der Klimadaten und anderer Eigenschaften. Sämtliche Eingaben sind vom Nutzer einsehbar und editierbar.

Die Modelle für die abgebildeten physikalischen Prozesse beruhen auf dem aktuellen Forschungsstand. Berechenbar sind u.a. Wand- und Fußbodenheizungen, Rohrdurchströmungen, Kontaktbedingungen innerhalb der Konstruktion, Strahlungsaustausch- und Strömungsmodelle für Hohlräume innerhalb der Konstruktion.

Die Berechnungsergebnisse können für beliebige Stellen innerhalb der Konstruktion und für beliebige Kennwerte erzeugt werden. Der leistungsfähige Postprozessor erlaubt frei anpassbare 2D und 3D-Diagramme und beinhaltet praxisrelevante Auswertungsmodelle, z.B. die Analyse von Frost-Tau-Wechseln, Holzerstörungsmodelle, Schimmelwachstumsmodelle.

Der Solver ist in Hinblick auf die Rechengeschwindigkeit optimiert und es ist die zeitgleiche Simulation mehrerer Projekte möglich.

Besondere Programmfunktionen

Materialmodellierung: Die ca. 200 im Programm enthaltenen Materialdatensätze entsprechen dem aktuellen Stand der Forschung. Jeder Datensatz basiert auf Messungen zahlreicher Baustoffproben im IBK-eigenen Labor. Aus den Messergebnissen werden im Rahmen einer Kalibrieremethode die Materialfunktionen erstellt. Diese Funktionen werden mittels eigens entwickelter Labortests im Abgleich der Messergebnisse mit den per DELPHIN simulierten Testergebnissen überprüft. In den Datensätzen sind beispielsweise auch Holz in unterschiedlichen Wuchsrichtungen sowie adaptive Dampfbremsen enthalten.

Post-Processing: Das integrierte Ergebnisanalysetool beinhaltet die Erstellung und Bearbeitung von 2D und 3D-Diagrammen mit zahlreichen Ausgabekenngrößen (z.B. Wassergehalte in Volumen- und Masse-%, Eismassenanteil, Frost-Tau-Wechseln, Wasserdampfdruck) und selbstdefinierten Zeitrastern (z.B. sekundlich, täglich).

Es sind zudem Auswertungen für besondere Schadensvorhersagemodelle integriert, unter anderem das Schimmelwachstumsmodell und das Holzerstörungsmodell nach Viitanen.

Název	Energieeffizienz im Bau- und Maschinenwesen
Autor	Kolektiv autorů
Určeno pro	širokou veřejnost
Vydavatel	Technická univerzita v Liberci, Studentská 1402/2, Liberec
Schváleno	Rektorátem TU v Liberci dne 12.9.2017 , čj. RE 41/17
Vyšlo	v září 2017
Počet stran	69
Vydání	1.
Rok prvního vydání	2017
Tiskárna	Vysokoškolský podnik Liberec, spol. s r.o., Studentská 1402/2, Liberec
Číslo publikace	55-041-17

Tato publikace neprošla redakční ani jazykovou úpravou.

ISBN 978-80-7494-362-1

**Energieeffizienz im Bau- und Maschinenwesen,
25. - 27 September, 2017
Technische Universität in Liberec**

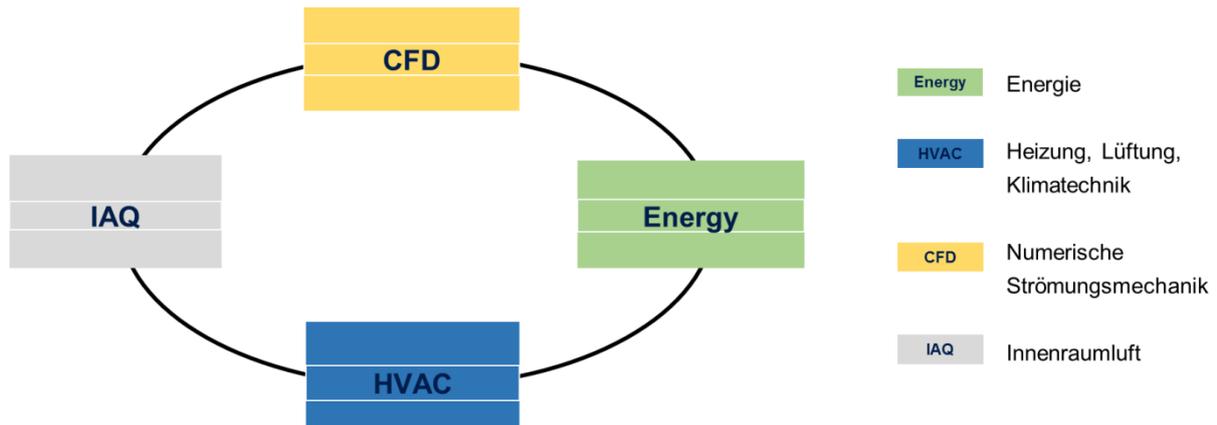


Fig. 2 Kopplung der Software aus verschiedenen Fachbereichen (in Anlehnung an Weiß, D., BauSIM 2016, Dresden).

Im Praxisfall integriert das Programm BIM HVAC Tool bereits thermische Gebäudesimulationen und Strömungssimulationen, die nicht nur im Bauwesen und in der Architektur, sondern auch stark im Bereich des Maschinenwesens Anwendung finden. Es verfügt über die grafische Benutzeroberfläche, die die Ergebnisse der Energiebedarfsanalysen grafisch darstellen lässt.

Seine Kopplung mit den thermischen Mehrzonensimulations-Solvern wie NANDRAD oder Energy Plus ermöglicht es, u.a. die Berechnung der Kühllast und des sommerlichen Wärmeschutzes sowie demzufolge die Bewertung der Behaglichkeit durchzuführen, die bereits in der Planungsphase von Bauwerken erforderlich ist. Dabei werden neben den Bauteilen und thermischen Zonen auch solche Elemente wie HVAC-Systeme, Verschattungs- oder Verteilungssysteme abgebildet.

Die ganzheitliche energetische Analyse von Gebäuden wird durch eine weitere Kopplung der Software für energetische und bauklimatische Gebäudesimulationen mit der Software für die Abbildung von Anlagen- und Regelungskomponenten vereinfacht. Die anlagentechnische Seite wird in dem beschriebenen Fall durch die Modelica-Sprache repräsentiert.

Die Bauteilseite wird in der Simulationskette durch die Delphin-Software vertreten, die vor allem für die Analyse des Wärme-, Feuchte- und Stofftransports in kapillarporösen Baustoffen verantwortlich ist. Sie wird vor allem für die Wärmebrückenanalyse, Berechnung des Heizenergiebedarfs und Bemessung der Innendämmsysteme eingesetzt.

Die mit Hilfe der Delphin-Software erstellten Daten können weiterhin die Randbedingungenangaben dem Programm OpenFoam anbieten, dem Marktleader für Strömungssimulationen im Gebiet des Maschinenbaus. Die frei verfügbare Software ermöglicht nach der Kopplung eine große Anwendung für Ingenieure und Architekten. Sie wird u.a. bei der entsprechenden Platzierung von Türluftschleiern, dem Entwurf großer Innenhöfe durch die Analyse der Luftströmungswege und der Bewertung der Behaglichkeit verwendet. Die Kopplung des Programms mit der Software CONTAM ermöglicht die Vergrößerung des Spektrums von Energieeffizienzuntersuchungen um die Analyse der Innenraumluft und Ventilation in Räumen und vereinfacht damit die Definition der Schadstoffkonzentration und des Luftzugs.

Die Bildung einer fachübergreifenden Software-Kette für die Betrachtung von energieeffizienzbezogenen Fragestellungen im Maßstab des Bauteils, des Raums und des ganzen Gebäudes mit Hilfe der oben beschriebenen Programme wird skizzenhaft in der untenstehenden Grafik dargestellt.

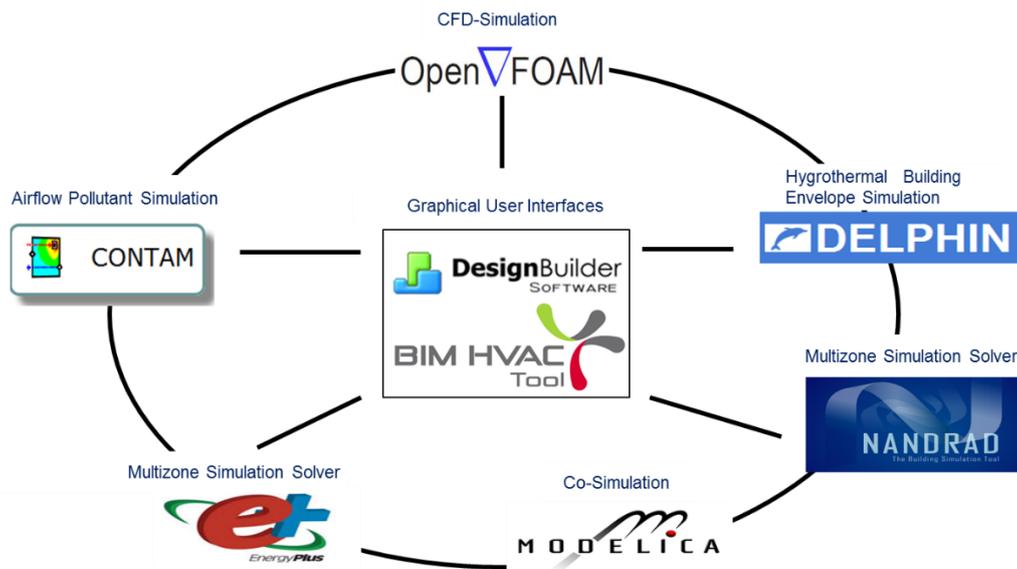


Fig. 2 Kopplung der ausgewählten, vorhandenen Software im Bereich der Energieeffizienz (in Anlehnung an Weiß, D., BauSIM 2016, Dresden)

4. Schlussfolgerung

Die in dem Beitrag dargestellten Lösungsansätze seitens der verschiedenen Fachbereiche, der Bauphysik, Baukonstruktion, des Maschinenwesens, der Energietechnik und -versorgung, sowie Ökonomie deuten darauf hin, dass die effektivsten Methoden zur Steigerung der Energieeffizienz durch ihre enge Zusammenarbeit entwickelt werden. Deren Kopplung lässt im Endeffekt das Maximum der Vorteile nutzen sowie den Energieverbrauch und die CO₂-Emissionen erfolgreicher reduzieren. Die synergetische Denkweise zeigt sich sowohl am Beispiel der Entwicklung von ganzheitlichen Energieentwicklungsplänen als auch der Kopplung der in verschiedenen Gebieten zur Planung und Analyse verwendeten Simulationstools.

Der interdisziplinäre Ansatz zur Integration der in dem Beitrag genannten Softwarelösungen ermöglicht schließlich durch den Austausch von Daten, bzw. ihre mehrfache Nutzung komplexe Fragestellungen zeit- und kosteneffizient zu bearbeiten. Die synergetische Werkzeugkettenbildung begünstigt dabei die Zusammenarbeit verschiedener Fachplaner, erhöht dementsprechend die Qualität des Entwurfsprozesses sowie seiner Ergebnisse und sichert die Umsetzung der gemeinsam entwickelten, auf die Steigerung der Energieeffizienz ausgerichteten Maßnahmen.

Literatur

- [1] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit: Kurzinformatio Energieeffizienz, 06.11.2013.
- [2] www.bmub.bund.de/P235/
- [3] Die Bundesregierung: Energie sparen. 10.08 2017. <https://www.bundesregierung.de/Content/DE/StatistischeSeiten/Breg/Energiekonzept/02-energieeffizienz.html>.
- [4] Felsmann C., Grunewald J., Weller B., Günther E.: CAMPER - CAMPusEnergieverbrauchsReduktion., Dresden, 2015
- [5] Grunewald J., Clauss C., Blochwitz T., Unger R.: Entwicklung der Kopplungstechnologie von Komplexmodellen für Bauteil-, Raum- und Gebäudesimulation mit Modelica-basierten Anlagen-, Regelungs-, und Nutzermodellen., Dresden, 2013
- [6] Paepcke A., Schwan T., Nicolai A.: Schnittstellen für die Co-Simulationskopplung zwischen Gebäude- und Heizungsanlagen-simulation, in Proceedings of the BauSim 2016, Dresden, 2016
- [7] Weiß D., Hoch R., Tian T.: Integration von thermischer Gebäudesimulation und Strömungssimulation in einer Nutzungsoberfläche- BIM HVAC Tool, in Proceedings of the BauSim 2016, Dresden, 2016
- [8] Weiß D., Thorwarth D., Hoch R.: BIM im Quartier. Simulationsverfahren und -anwendung im Projekt CAMPER, Forum Bauinformatik, Dresden, 2017

Kvalifikace bez hranic: Vybudování partnerství v oblasti výzkumu techniky budov ke vzdělávání vědeckých následovníků v příhraničním regionu

Grenzenlos Qualifiziert: Aufbau einer Kompetenzpartnerschaft im Bereich Bauforschung zur Qualifizierung wissenschaftlichen Nachwuchses in der Grenzregion

Cíle projektu: Vývoj a sestavení dlouhodobého interdisciplinárního a přeshraničního partnerství mezi univerzitami v oblasti výzkumu ve stavebnictví. Předpokládá se dosažení celkové odborné kvalifikace následující generace výzkumných kapacit kooperačních partnerů.

Projektziel: Das übergeordnete Ziel besteht in der Entwicklung einer langfristigen, interdisziplinären und grenzüberschreitenden Kooperationspartnerschaft zwischen den Universitäten im Bereich der Bauforschung. Es soll eine komplementäre fachliche Qualifizierung der Nachwuchskräfte der Kooperationspartner erreicht werden.

Program:

Program spolupráce Svobodný stát Sasko - Česká republika 2014-2020

Kooperationsprogramm Freistaat Sachsen - Tschische Republik 2014-2020

Poskytovatel: Evropská unie. Evropský fond pro regionální rozvoj.

Finanzierung: Europäische Union. Europäischer Fonds für regionale Entwicklung.

Partneři/Partner:

Hlavní partner: Technische Universität Dresden

Lead-Partner: Technische Universität Dresden



Projektový partner: Technická Univerzita v Liberci

Projektpartner: Technická Univerzita v Liberci



Období: 04/2016 - 03/2019

Zeitraum: 04/2016 - 03/2019



Europäische Union. Europäischer
Fonds für regionale Entwicklung.
Evropská unie. Evropský fond pro
regionální rozvoj.



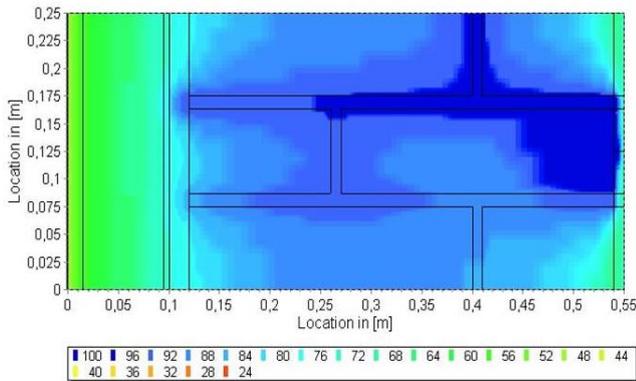
Ahoj sousede. Hallo Nachbar.
Interreg V A / 2014-2020

86

Odpovědný řešitel na TUL:
doc. Ing. Karel Fraňa, Ph.D.
email: karel.frana@tul.cz
telefon: 48 535 2878
48 535 3436

Software DELPHIN

Software DELPHIN für hygrothermische Bauteilsimulationen in Forschung und Ingenieurspraxis



Einsatzbereiche

DELPHIN ist ein Simulationsprogramm für den gekoppelten Wärme-, Feuchte-, und Stofftransport in kapillarporösen Baustoffen und ermöglicht eine realistische Vorhersage des thermischen und hygrischen Verhaltens von Bauteilen und Anschlussdetails. DELPHIN wird sowohl in der Praxis als auch in der Forschung eingesetzt.

Praxisbezogene Anwendungsfälle sind unter anderem:

- Wärmebrückenberechnung mit Beurteilung hygrischer Problemstellen (z.B. Oberflächen-kondensat, internes Kondensat)
- Bemessung und Bewertung von Innendämmsystemen
- Beurteilung von hinterlüfteten Fassaden und belüfteten Dächern
- Instationäre Berechnung des Transmissionsverlustes von Bauteilen unter Berücksichtigung der feuchteabhängigen Wärmeleitfähigkeiten
- Bewertung von Trocknungsvorgängen (Keller, Einbaufeuchte, Flutfolgen, ...)
- Einschätzung des Schimmelwachstumsrisikos

Leistungsumfang der Software

Die Software DELPHIN verfügt für die Praxisanwendung über eine professionelle und selbsterklärende Nutzeroberfläche. Diese ermöglicht die grafische Eingabe von Konstruktionsdetails, die Zuweisung der Materialien, der Klimadaten und anderer Eigenschaften. Sämtliche Eingaben sind vom Nutzer einsehbar und editierbar.

Die Modelle für die abgebildeten physikalischen Prozesse beruhen auf dem aktuellen Forschungsstand. Berechenbar sind u.a. Wand- und Fußbodenheizungen, Rohrdurchströmungen, Kontaktbedingungen innerhalb der Konstruktion, Strahlungsaustausch- und Strömungsmodelle für Hohlräume innerhalb der Konstruktion.

Die Berechnungsergebnisse können für beliebige Stellen innerhalb der Konstruktion und für beliebige Kennwerte erzeugt werden. Der leistungsfähige Postprozessor erlaubt frei anpassbare 2D und 3D-Diagramme und beinhaltet praxisrelevante Auswertungsmodelle, z.B. die Analyse von Frost-Tau-Wechseln, Holzerstörungsmodelle, Schimmelwachstumsmodelle.

Der Solver ist in Hinblick auf die Rechengeschwindigkeit optimiert und es ist die zeitgleiche Simulation mehrerer Projekte möglich.

Besondere Programmfunktionen

Materialmodellierung: Die ca. 200 im Programm enthaltenen Materialdatensätze entsprechen dem aktuellen Stand der Forschung. Jeder Datensatz basiert auf Messungen zahlreicher Baustoffproben im IBK-eigenen Labor. Aus den Messergebnissen werden im Rahmen einer Kalibrieremethode die Materialfunktionen erstellt. Diese Funktionen werden mittels eigens entwickelter Labortests im Abgleich der Messergebnisse mit den per DELPHIN simulierten Testergebnissen überprüft. In den Datensätzen sind beispielsweise auch Holz in unterschiedlichen Wuchsrichtungen sowie adaptive Dampfbremsen enthalten.

Post-Processing: Das integrierte Ergebnisanalysetool beinhaltet die Erstellung und Bearbeitung von 2D und 3D-Diagrammen mit zahlreichen Ausgabekenngrößen (z.B. Wassergehalte in Volumen- und Masse-%, Eismassenanteil, Frost-Tau-Wechseln, Wasserdampfdruck) und selbstdefinierten Zeitrastern (z.B. sekundlich, täglich).

Es sind zudem Auswertungen für besondere Schadensvorhersagemodelle integriert, unter anderem das Schimmelwachstumsmodell und das Holzerstörungsmodell nach Viitanen.