

Forschungsprojekt EULE

Ein interdisziplinärer Ansatz zur
energetischen Betriebsoptimierung an
Hochschulen

7. Forum Energie „Energieeffizienter Campus“
Clausthal, 2014-06-24

Dipl.-Ing. Philipp Bauer
Dipl.-Kffr. Caroline Schäfer
Dipl.-Psych. Stefan Rögele

Universität des Saarlandes





Forschungsprojekt EULE

- Übergeordnetes Projektziel
- Projektkonsortium
- Interdisziplinäre wissenschaftliche Herausforderungen
- Förderrahmen EnOB/EnBop

Spezielle Ziele und Zwischenergebnisse

- Forschungsgruppe Umweltpsychologie
- Lehrstuhl für Betriebswirtschaftslehre, insbesondere Controlling
- Lehrstuhl für Automatisierungstechnik

Dissemination

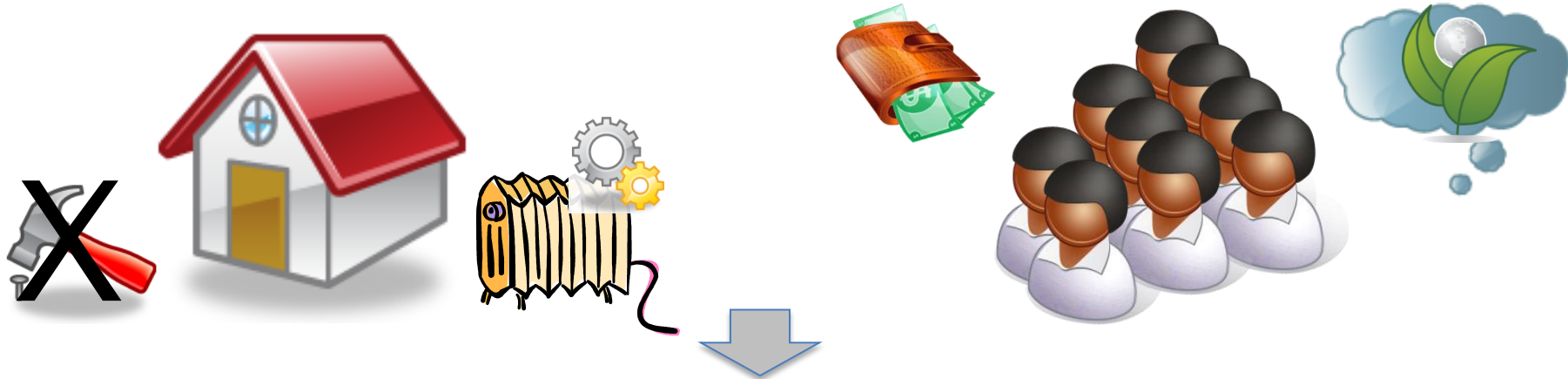
Diskussion



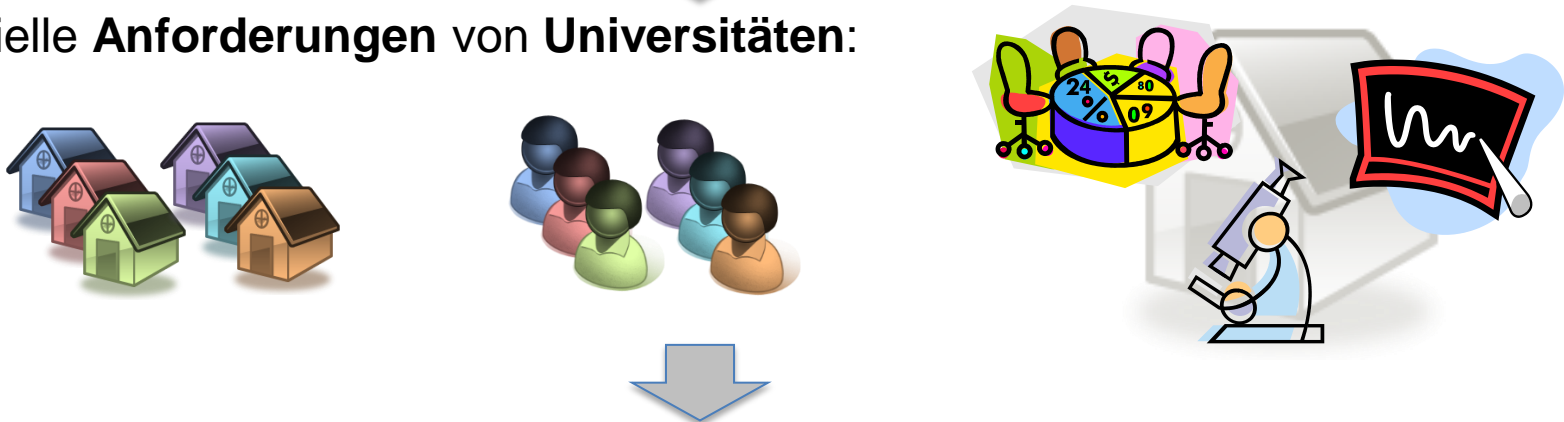
- Energetische Betriebsoptimierung **EnBop**
→ Senkung des Energieverbrauchs des gesamten Campus
- UdS = **Energiemustercampus**
→ Beispielgebend für deutsche und europäische Universitäten
- Spezielle **Anforderungen** von **Universitäten**:
→ Raumnutzung: Büro, Labor, Lehre
→ Gebäudebestand: heterogen (oft veraltet, über Jahrzehnte gewachsen)
- **EULE**:
Innovative Methoden und Werkzeuge zur energetischen Betriebsoptimierung von Universitäten und vergleichbaren Liegenschaften erstellen und anhand von Fallstudien entwickeln
→ **Gemeinsames theoretisches Modell der Einflussnahme** zur energieoptimierten Nutzung von öffentlichen Gebäuden



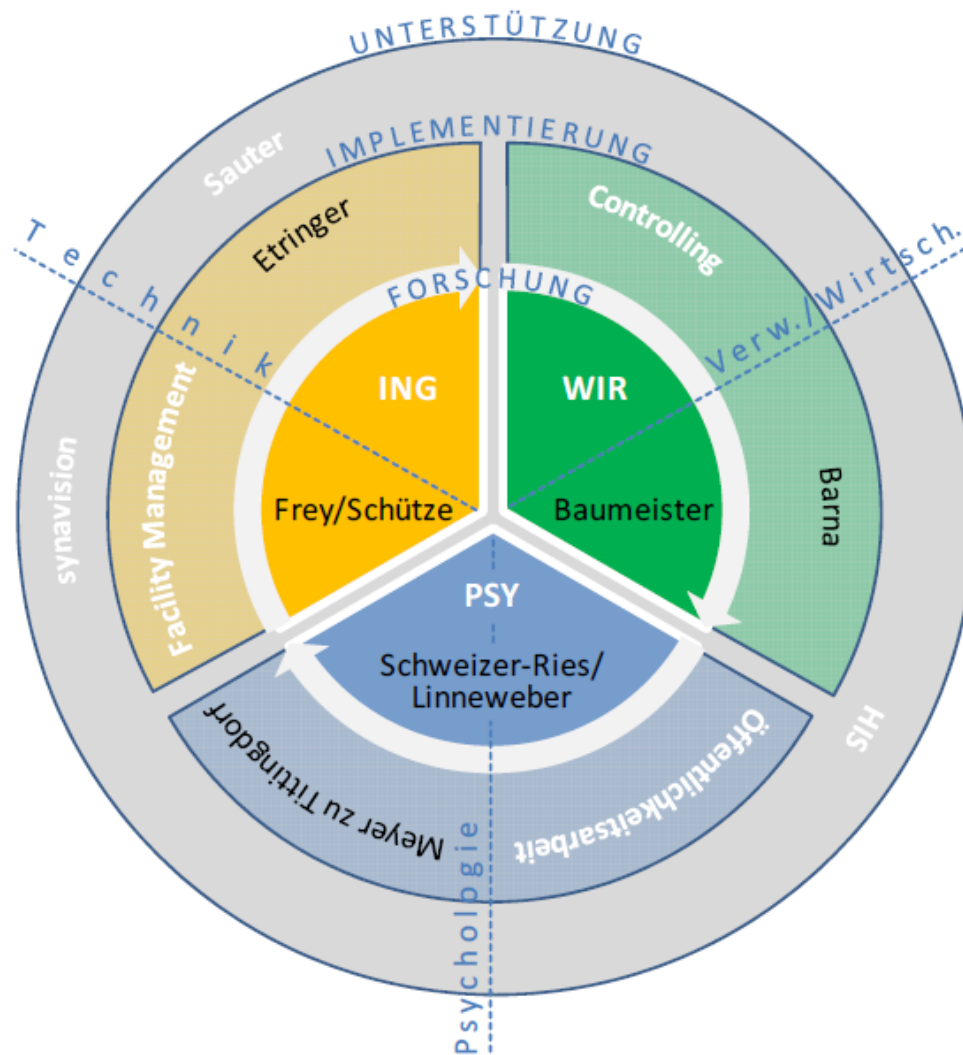
- Energetische Betriebsoptimierung **EnBop**

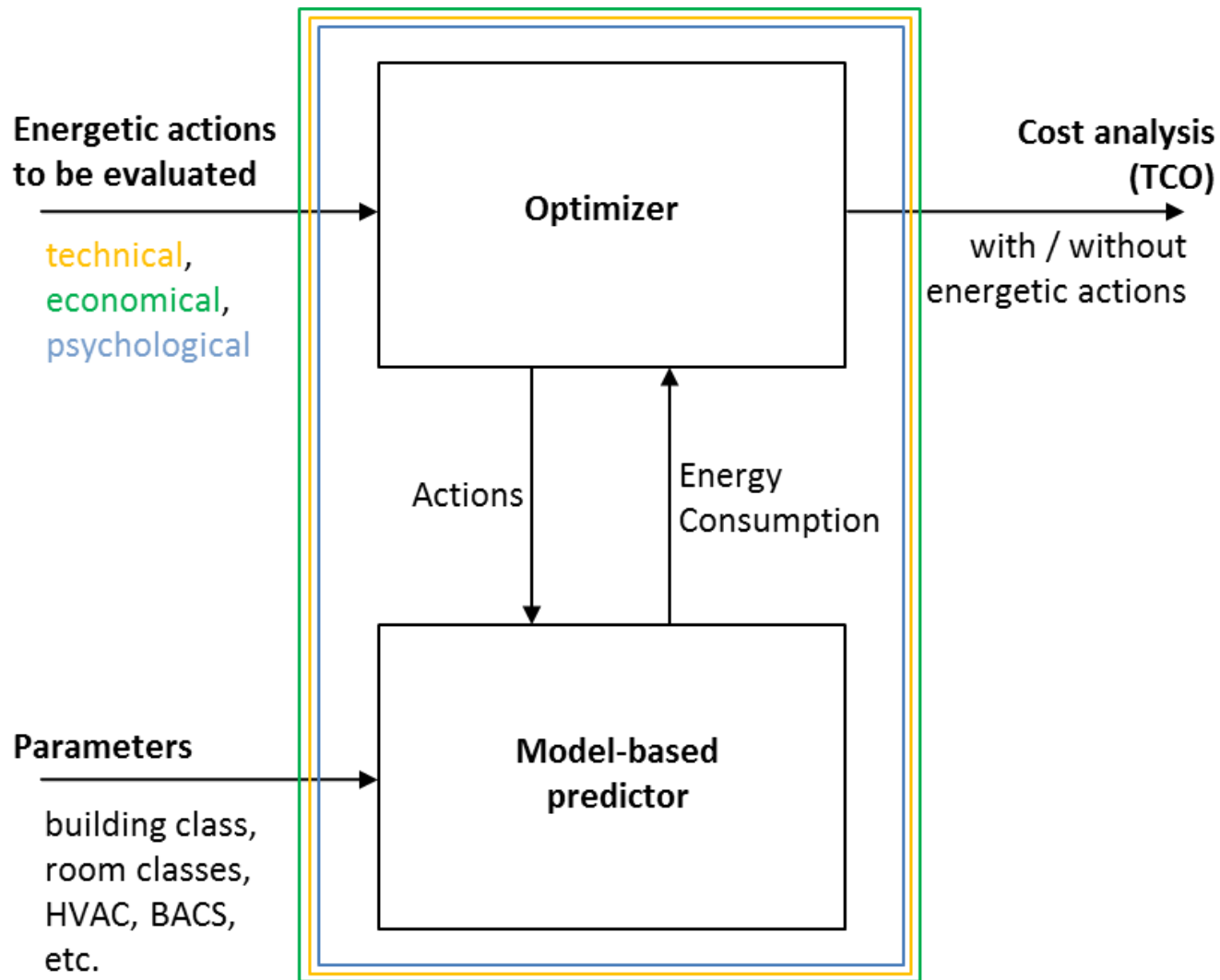


- Spezielle **Anforderungen** von **Universitäten**:








- ➔ UdS = Energiemustercampus: **Gemeinsames theoretisches Modell der Einflussnahme** zur energieoptimierten Nutzung von öffentlichen Gebäuden







-  **EnBau** Forschungsbereich »Energieoptimierter Neubau«
-  **EnSan** Forschungsbereich »Energetische Verbesserung der Bausubstanz«
-  **EnBop** **Forschungsbereich »Energetische Betriebsoptimierung«**
-  **LowEx** Forschungsakzent »Niedrig-Exergie-Technologien«
-  **ViBau** Forschungsakzent »Vakuumisolation im Bauwesen«

[Quelle: <http://www.enob.info/de/forschungsfelder/>]



EnOB-Symposium 2014



**Energieinnovationen in
Neubau und Sanierung**

20. - 21. März 2014

Essen,
Zeche Zollverein



<http://www.enob.info>

- Veranstaltungstermine
 - EnOB-Symposium 2014
 - Beiträge und Poster als PDF



Forschungsprojekt EULE

- Übergeordnetes Projektziel
- Projektkonsortium
- Interdisziplinäre wissenschaftliche Herausforderungen
- Förderrahmen EnOB/EnBop

Spezielle Ziele und Zwischenergebnisse

- Forschungsgruppe Umweltpsychologie
- Lehrstuhl für Betriebswirtschaftslehre, insbesondere Controlling
- Lehrstuhl für Automatisierungstechnik

Dissemination

Diskussion

Spezielle Ziele und Zwischenergebnisse

- **Umweltpsychologie
(PSY)**
- Wirtschaftswissenschaft/Controlling
(WIR)
- Automatisierungstechnik
(AUT)





Zielstellung:

Anstoßen eines universitätsweiten Veränderungsprozessen hin zur größerem Energiebewusstsein und einer Energiekultur

Methodik: Multi-methodaler Ansatz

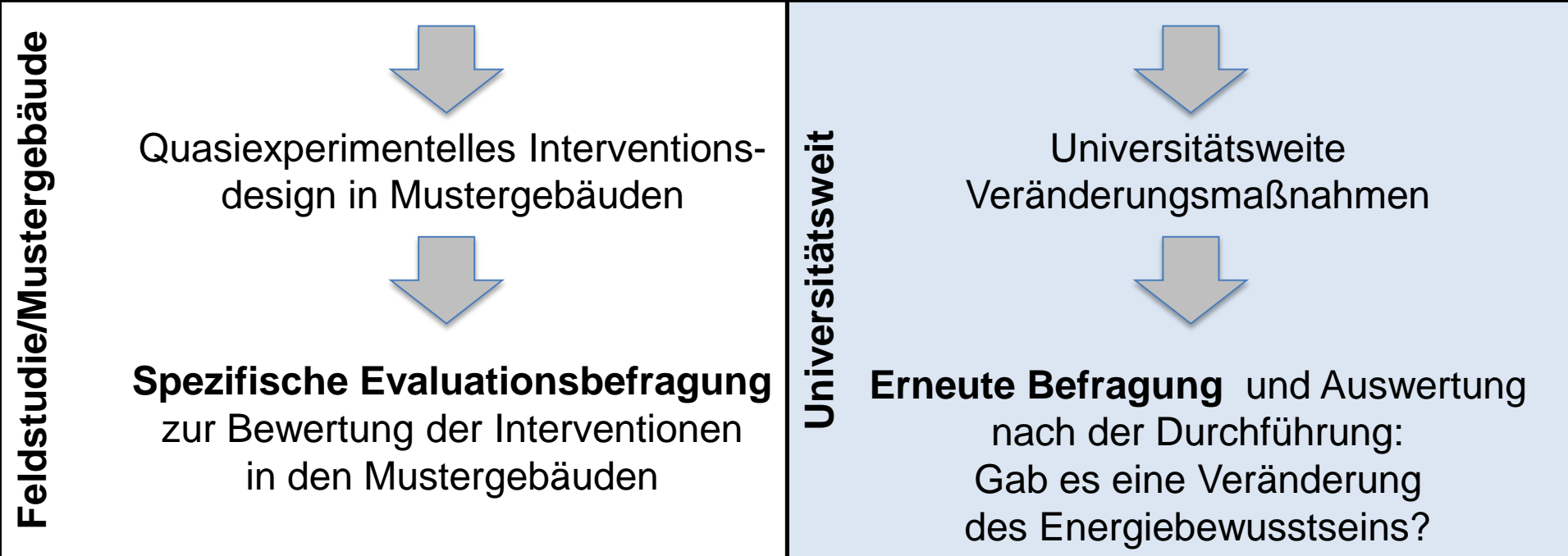
- Fragebogen
- Interviews
- Interventionen
 - Quasiexperimentelles Interventionsdesign in Mustergebäuden
 - Universitätsweite Aktion
- Analyse von energierelevantem Denken und von Verhaltensmustern mit Bezug zum Thema Energie mit Veränderung über die Zeit
- Analyse verschiedener Akteursebenen (wissenschaftl. und nicht-wissenschaftl. Personal, Studierende)



Erhebung und Auswertung **soziale Baseline:**
Energiebewusstsein an der UdS



Ausarbeitung und Durchführung verschiedener **Interventionsstrategien**





- MitarbeiterInnen und Studierende der Universität des Saarlandes
- N = 2150 Personen, Alter = 13-77a, M = 30.6 Jahre, SD = 11.8 Jahre (22% fehlende Angabe)
- Geschlecht: 45% weiblich; 35% männlich, 20% fehlende Angabe

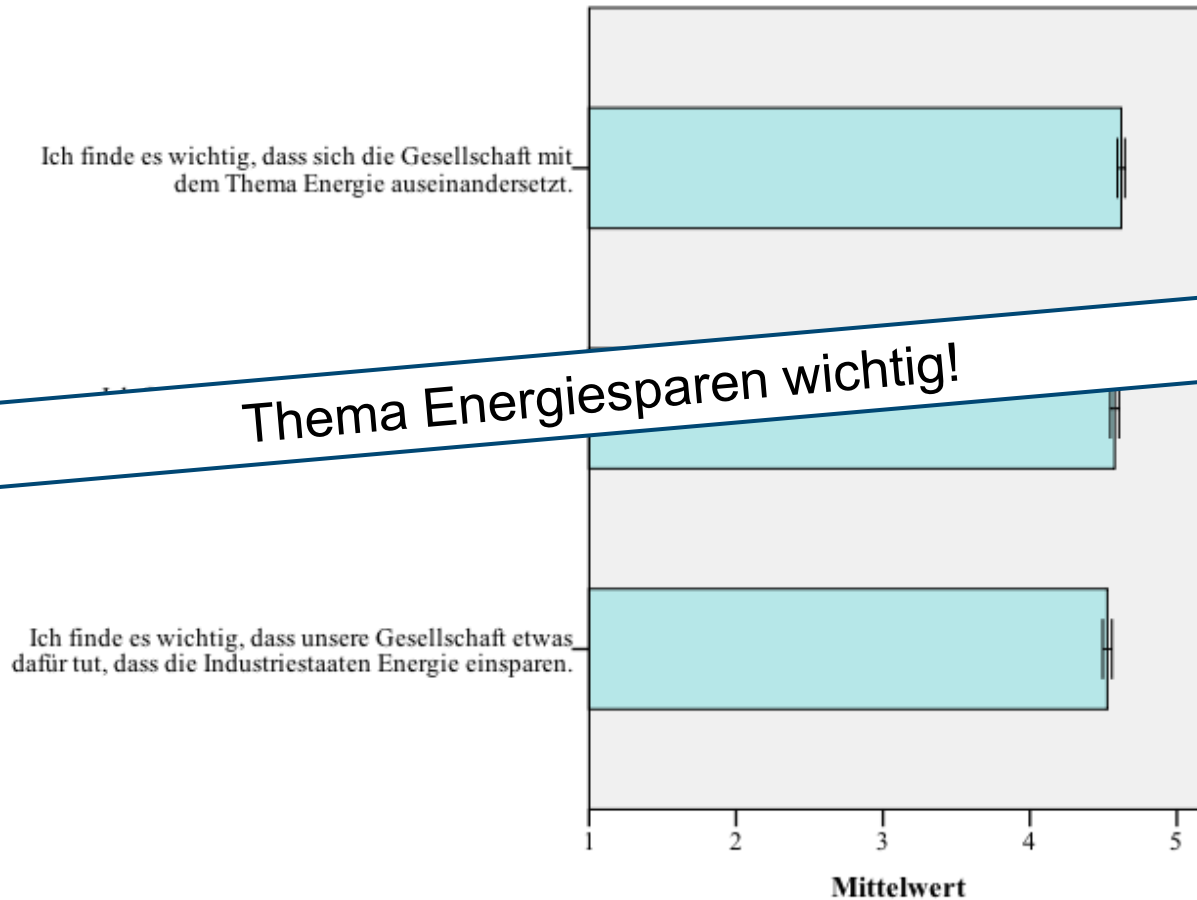
Studierende	Hiwis	Akad. MitarbeiterInnen	ProfessorInnen	Nicht-akad. MitarbeiterInnen	Nicht-akad. Leitung	Sonstige	Fehlend
44%	1%	16%	2%	12%	1%	1%	23%

No valid Ordinance	WSchV 1977/1982 (1978 – 1994)	WSchV 1995 & EnEV 2002 ff. (1995-)	Aufenthalt in energetisch unterschiedlichen Gebäuden	Campus Dudweiler	Campus Homburg	Fehlend
17%	6%	26%	10%	1%	5%	35%

- Erfasst:
Allgemeine Wichtigkeit des Energiesparen, Gründe für das Energiesparen, Handlungswissen zum Energiesparen, Eigene Einflussmöglichkeiten auf das Energiesparen, Hemmende Faktoren, Verantwortungszuschreibung für das Energiesparen, Energierrelevante Verhaltensweisen, Identifikation mit der UdS, Demographische Variablen



Allgemeine Wichtigkeit Energiesparen



Antwortskala:

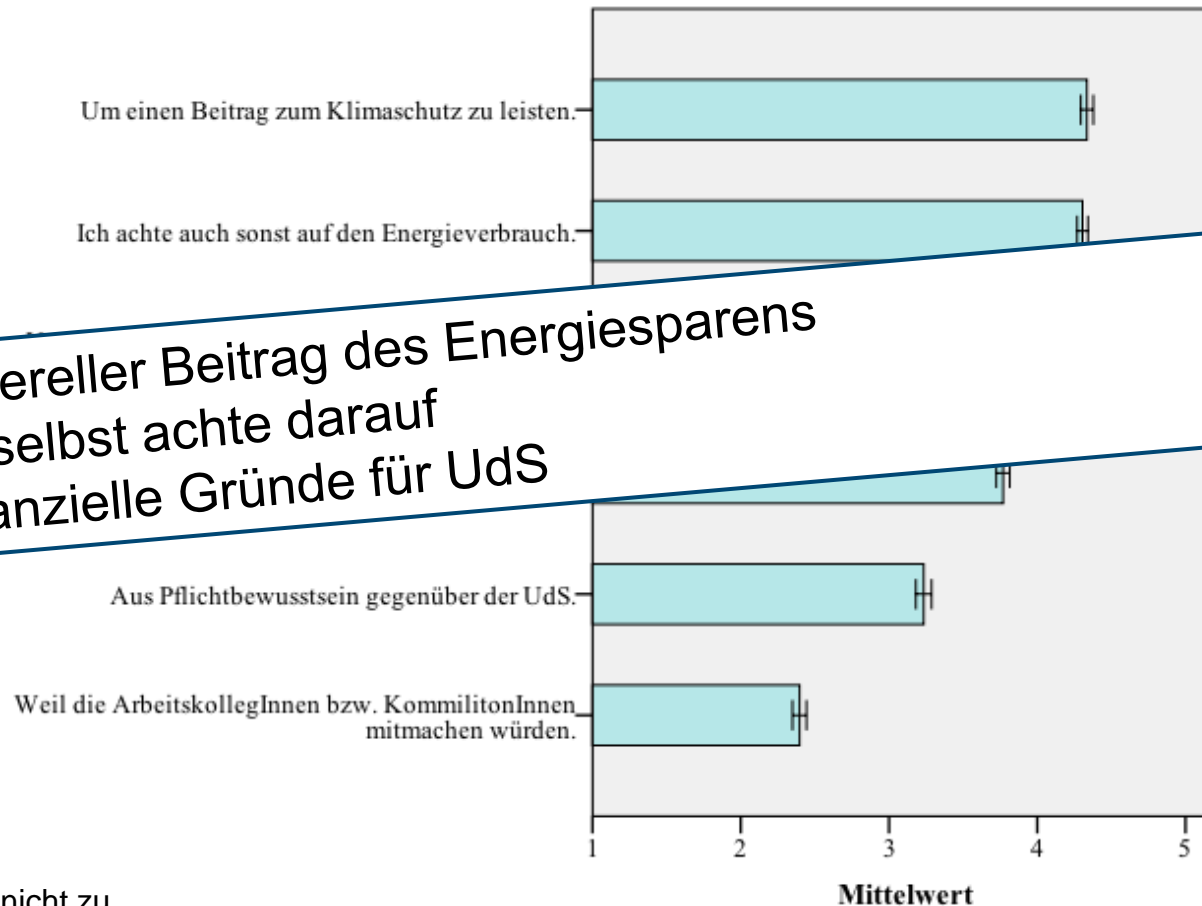
1 = trifft überhaupt nicht zu

5 = trifft voll zu

Fehlerbalken: 95%-Konfidenzintervall



Gründe fürs Energiesparen



- Genereller Beitrag des Energiesparens
- Ich selbst achte darauf
- Finanzielle Gründe für UdS

Antwortskala:

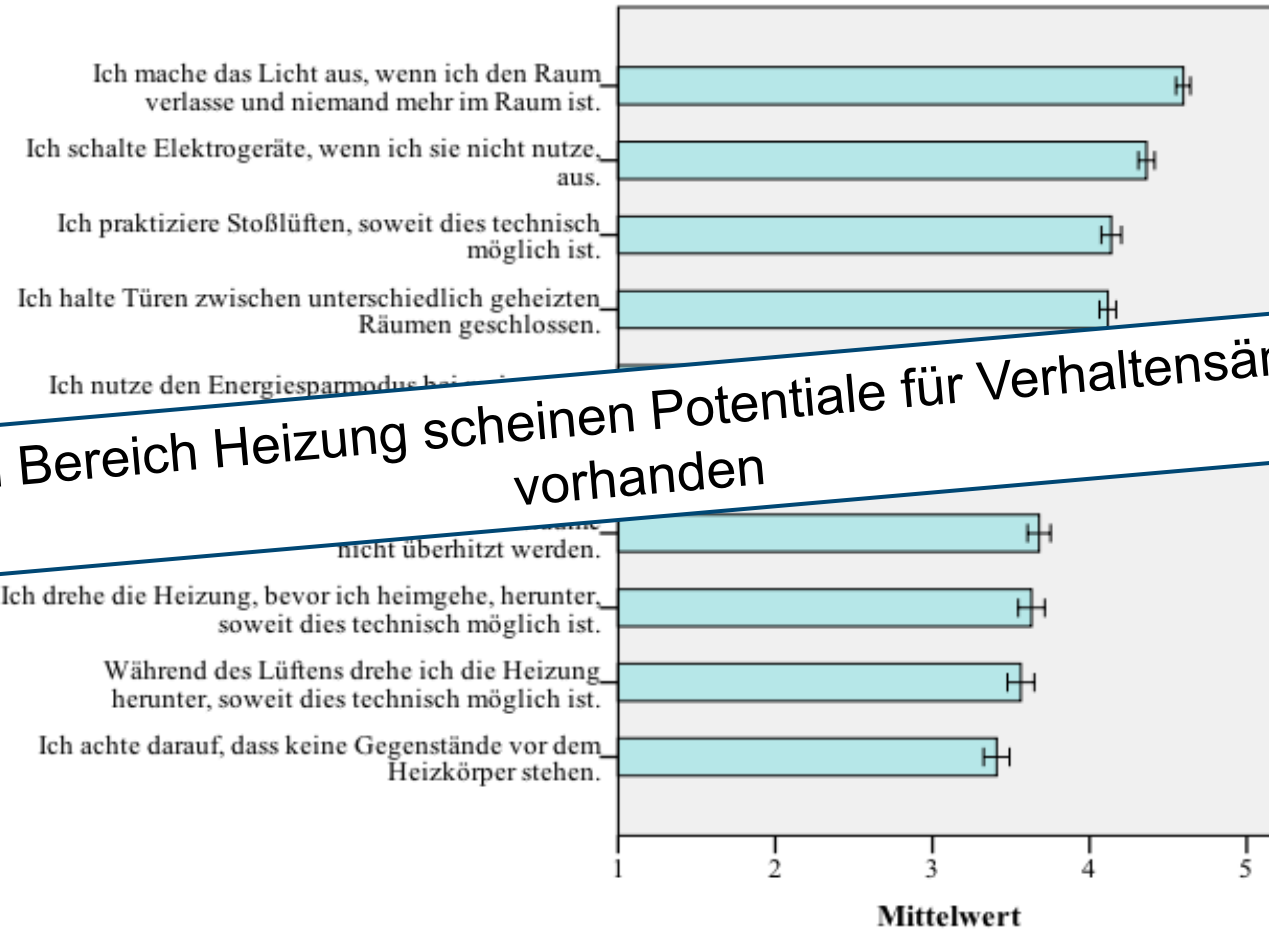
1 = trifft überhaupt nicht zu

5 = trifft voll zu

Fehlerbalken: 95%-Konfidenzintervall



Selbstberichtetes Verhalten



Gerade im Bereich Heizung scheinen Potentiale für Verhaltensänderungen vorhanden

Antwortskala:

1 = trifft überhaupt nicht zu

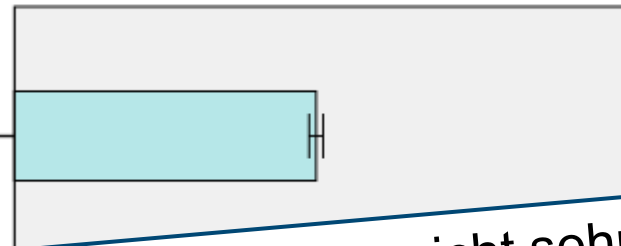
5 = trifft voll zu

Fehlerbalken: 95%-Konfidenzintervall

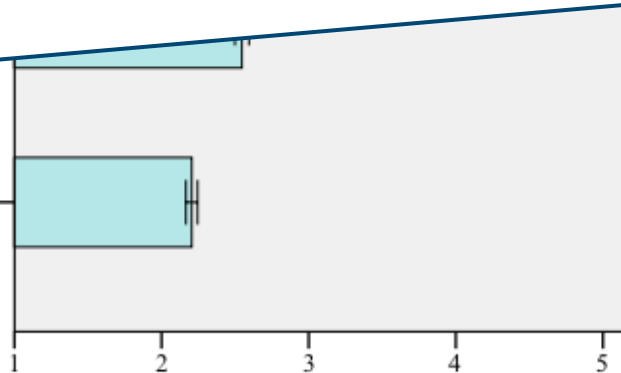


Hemmende/ fördernde Faktoren

Ich habe dringlichere Aufgaben, als mir über meinen Energieverbrauch an der UoS Gedanken zu machen.



Es ist mir zu aufwendig, mehr fürs Energiesparen an der UoS zu tun.



1 2 3 4 5

Mittelwert

Fehlerbalken: 95%-Konfidenzintervall

- Aufwand, Zeit und andere Aufgaben scheinen nicht sehr stark hinderlich
- Einen niedrigeren Komfort wollen die TeilnehmerInnen nur teils in Kauf nehmen

Antwortskala:

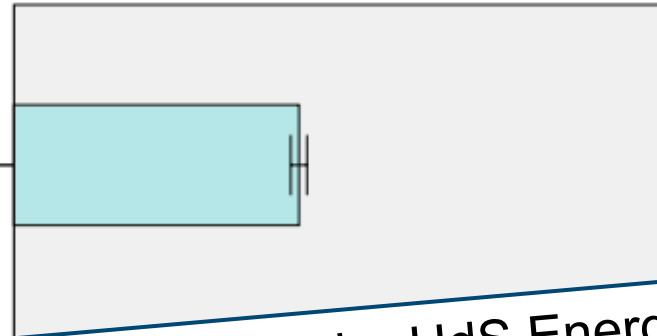
1 = trifft überhaupt nicht zu

5 = trifft voll zu



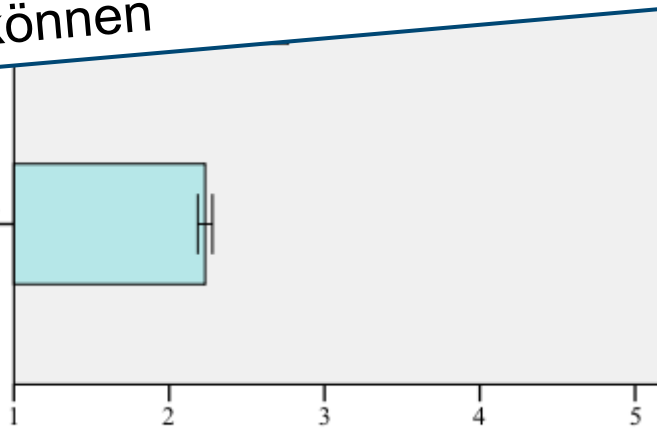
Handlungswissen

Ich weiß, wie ich mich verhalten sollte, um möglichst viel Energie an der UdS zu sparen.



Den TeilnehmerInnen fehlt Wissen, wie sie an der UdS Energie sparen können

Ich habe genug konkrete Informationen, um mehr fürs Energiesparen an der UdS zu tun.



Antwortskala:

1 = trifft überhaupt nicht zu

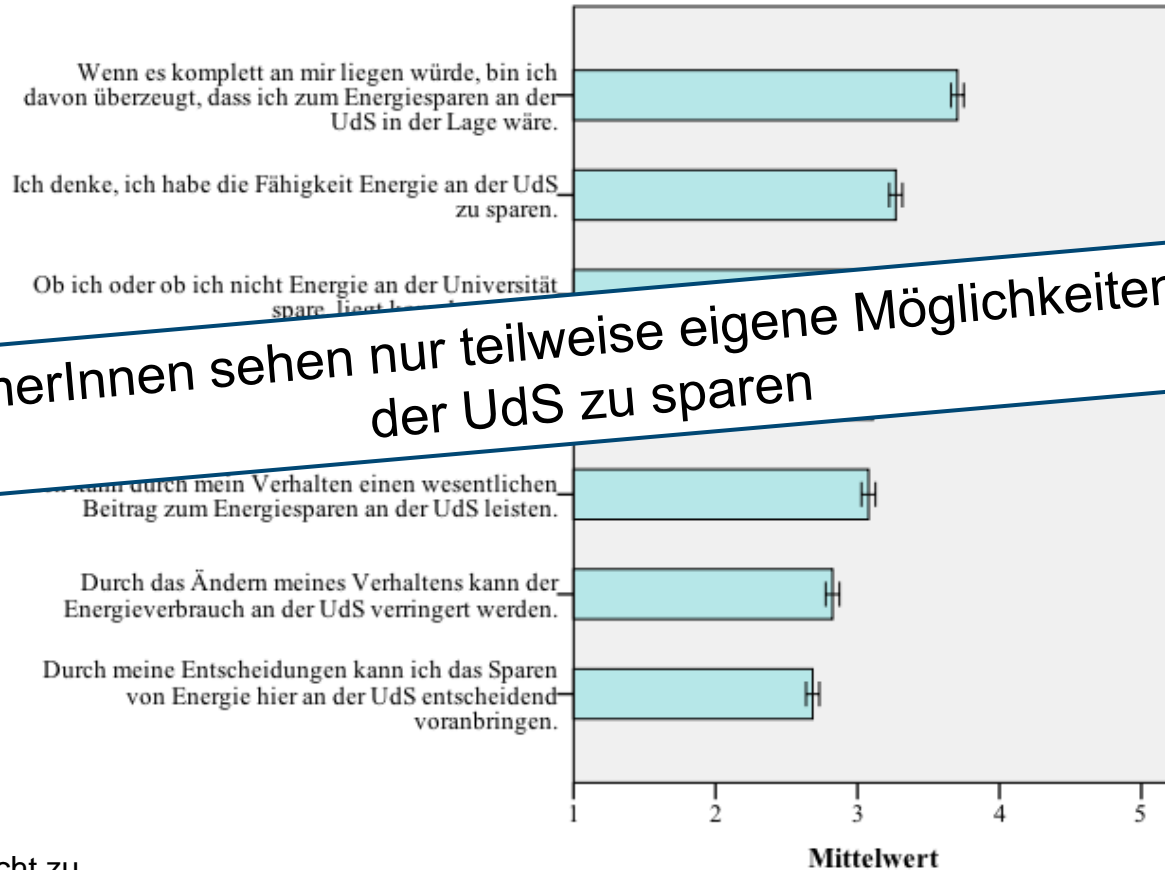
5 = trifft voll zu

Mittelwert

Fehlerbalken: 95%-Konfidenzintervall



Einschätzung der eigenen Möglichkeiten und Fähigkeiten zum Energiesparen



Die TeilnehmerInnen sehen nur teilweise eigene Möglichkeiten, Energie an der UdS zu sparen

Antwortskala:

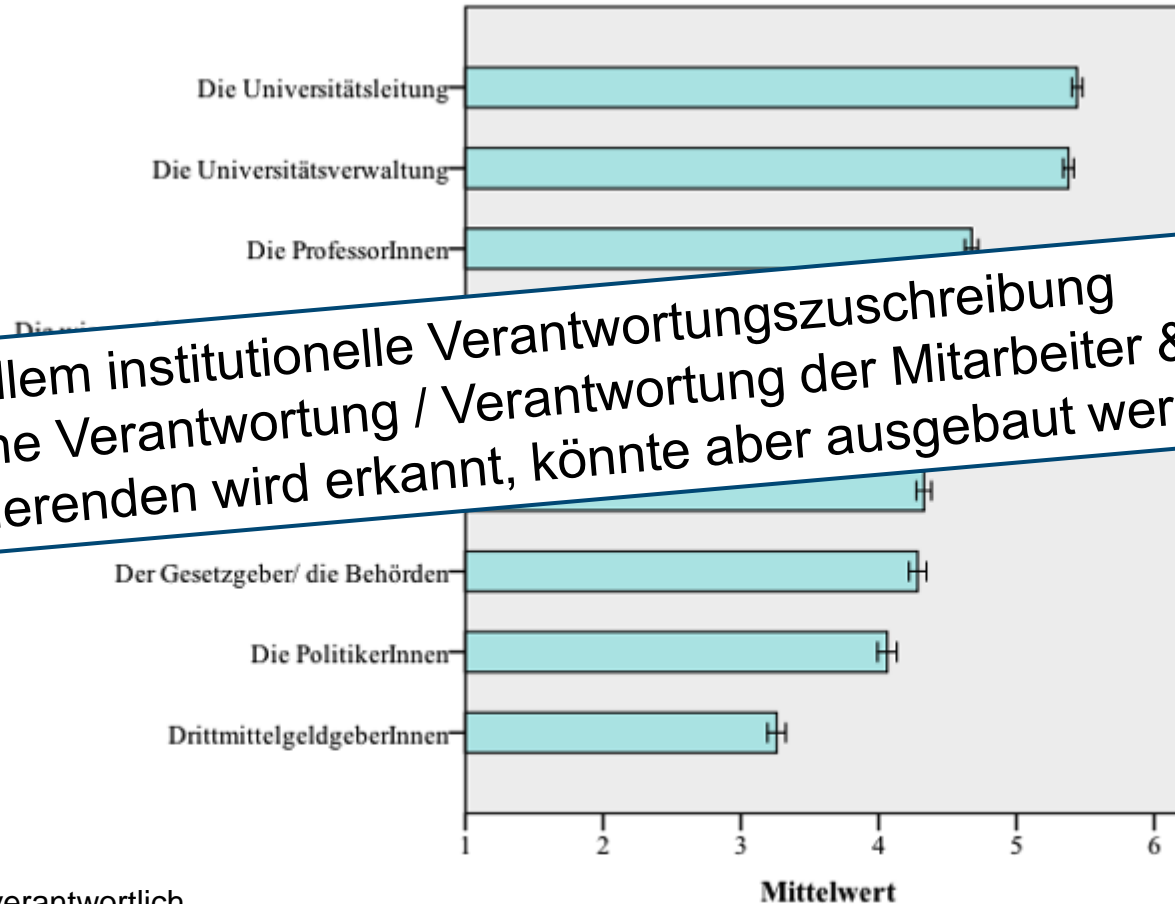
1 = trifft überhaupt nicht zu

5 = trifft voll zu

Fehlerbalken: 95%-Konfidenzintervall



Verantwortung für das Energiesparen an der UdS



- Vor allem institutionelle Verantwortungszuschreibung
- Eigene Verantwortung / Verantwortung der Mitarbeiter & Studierenden wird erkannt, könnte aber ausgebaut werden

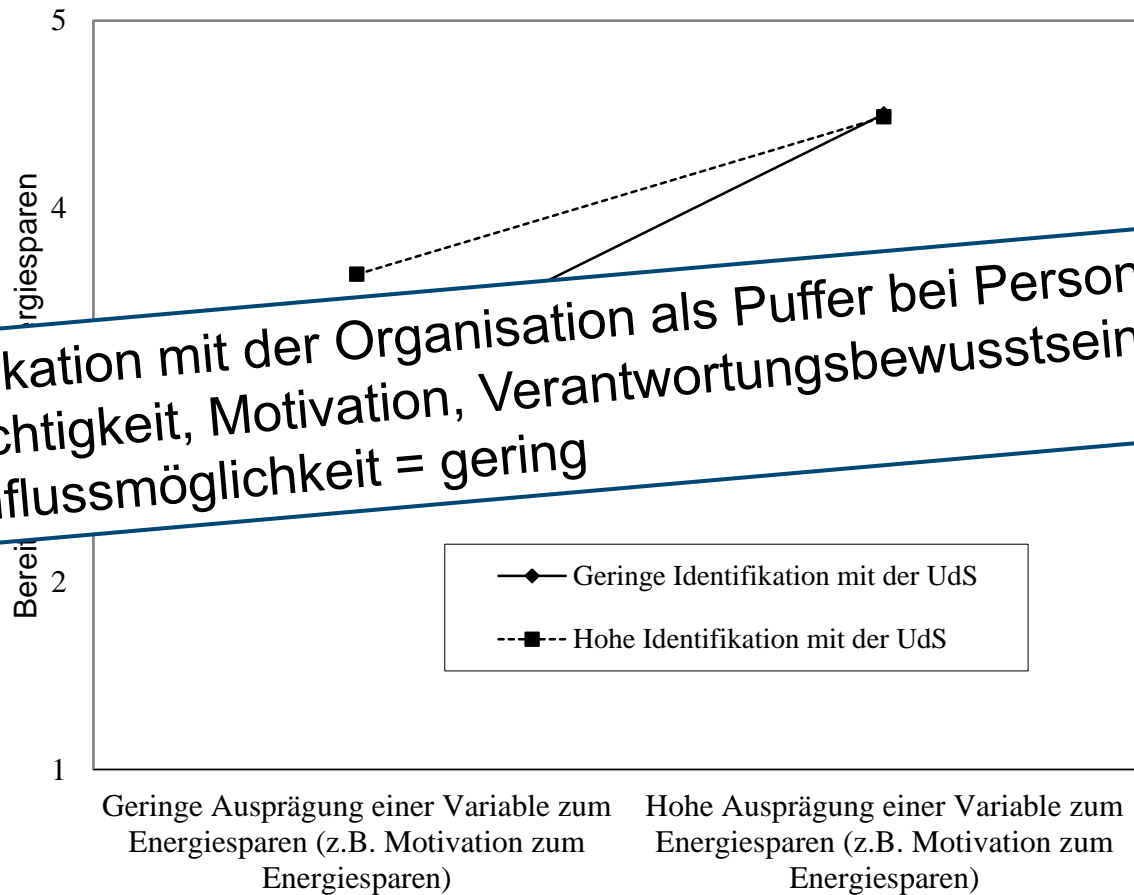
Antwortskala:

1 = überhaupt nicht verantwortlich

6 = hochgradig verantwortlich



Erklärung der Bereitschaft zum Energiesparen



Identifikation mit der Organisation als Puffer bei Personen mit

- Wichtigkeit, Motivation, Verantwortungsbewusstsein, eigene Einflussmöglichkeit = gering

Spezielle Ziele und Zwischenergebnisse

- Umweltpsychologie (PSY)
- **Wirtschaftswissenschaft/Controlling (WIR)**
- Automatisierungstechnik (AUT)





Ziel 1: Entscheidungsunterstützung

Welche Maßnahme der Energieverbrauchsoptimierung
führt für ein bestimmtes **Gebäude**
zu **optimalen Energie- bzw. Kosteneinsparung?**



1. Baseline: Wie aktuelles Entscheidungsverhalten?

Fragebogen:

**„Entscheidungskriterien zur Auswahl von Maßnahmen zur energetischen
Betriebsoptimierung von Bestandsgebäuden“**



Ziel: Analyse **bezgl. Energiesparmaßnahmen** an deutschen Hochschulen

- Welche Maßnahmen?
- Welche Kriterien/Methoden?
- Wünsche und Verbesserungsmöglichkeiten?

Teilnehmerpool: Entscheidungsträger an deutschen Hochschulen

Eingeladener Hochschulen: 394
Davon teilgenommen: **106 (26,9%)**

Ergebnisse:

- **78 % ergreifen bereits Maßnahmen zur Energieverbrauchssenkung**

Davon: > **70 %** Informationskampagnen (Personal & Studierende)
 50 % Schulungen des Facility Management
 > **40 %** Anreizsysteme Personal

- **Gründe:**

Kostenreduzierung, Umweltschutz, Sensibilisierung & Vorbildfunktion



- **Häufig ausschließlich Anfangsinvestitionen entscheidungsrelevant**
- **Selten dynamische Investitionsrechnung (Vergleichsbasis!)**

Häufig genannte Probleme:

Keine klare Quantifizierung der Vorteile möglich

Fehlende Vergleichbarkeit aufgrund unterschiedlicher Voraussetzungen

Fehlendes Fachwissen und -personal

Fehlende Erfahrungswerte und Kenngrößen

Fehlende Datengrundlage – fast nur Schätzungen



Methodische Unterstützung

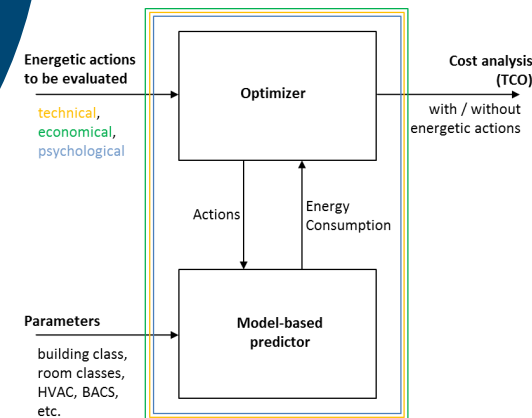
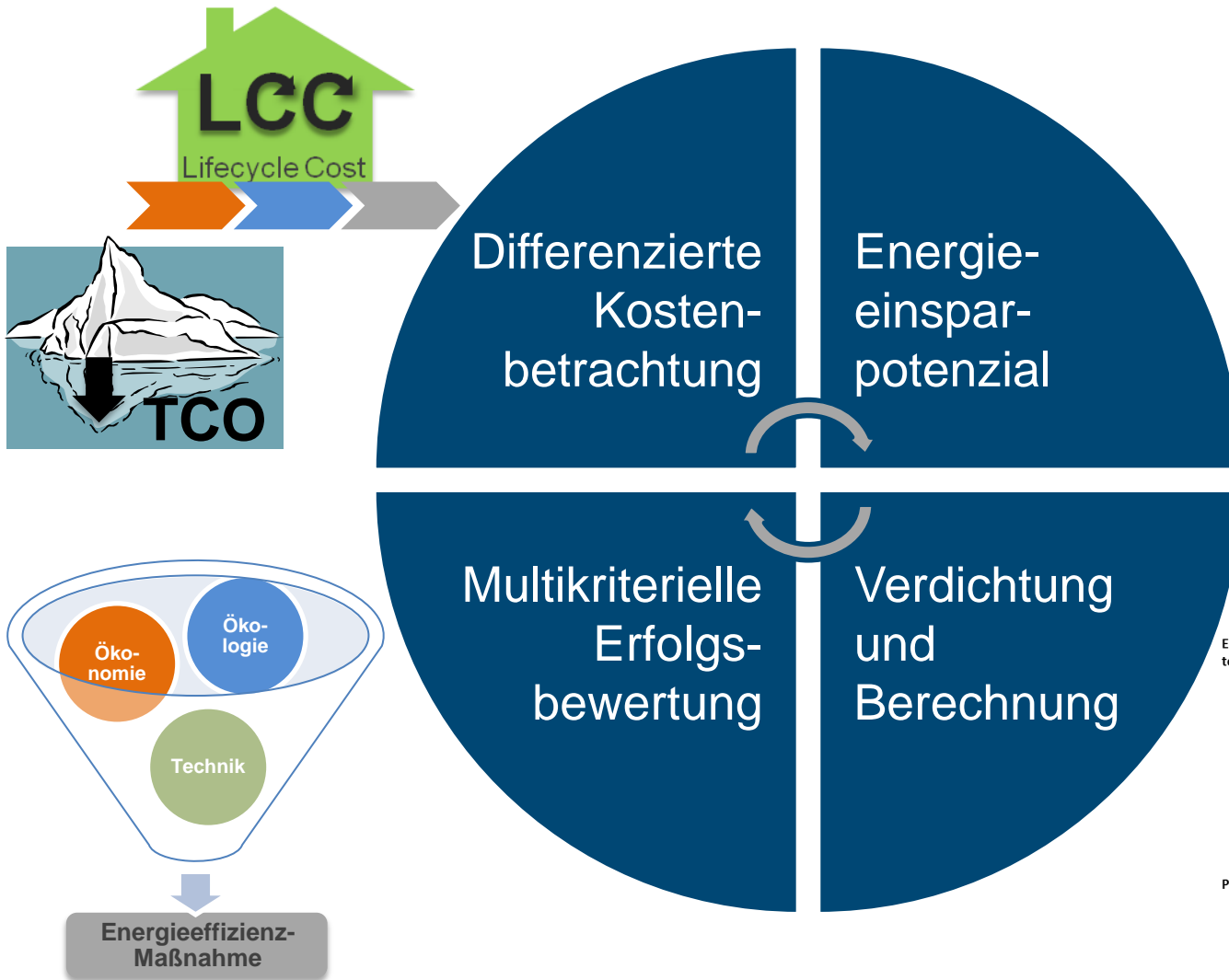


Ziel 1: Entscheidungsunterstützung

Welche Maßnahme der Energieverbrauchsoptimierung
führt für ein bestimmtes **Gebäude**
zu **optimalen Energie- bzw. Kosteneinsparung?**



1. **Baseline: Wie aktuelles Entscheidungsverhalten?**
2. **Analyse der erarbeiteten Maßnahmen (ökonomisch & ökologisch)**





Ziel 1: Entscheidungsunterstützung

Welche Maßnahme der Energieverbrauchsoptimierung
führt für ein bestimmtes **Gebäude**
zu **optimalen Energie- bzw. Kosteneinsparung?**



1. **Baseline: Wie aktuelles Entscheidungsverhalten?**
2. **Analyse der erarbeiteten Maßnahmen (ökonomisch & ökologisch)**
3. **Definition passender Maßnahmen für Gebäudecluster**
4. **Integration in ein multikriterielles Entscheidungstool**



Ziel 2: Anreize für Energieeinsparung

1.

- Bisherige Abrechnungsstruktur: Disparität von Energieverbrauch und Kostenbegleichung

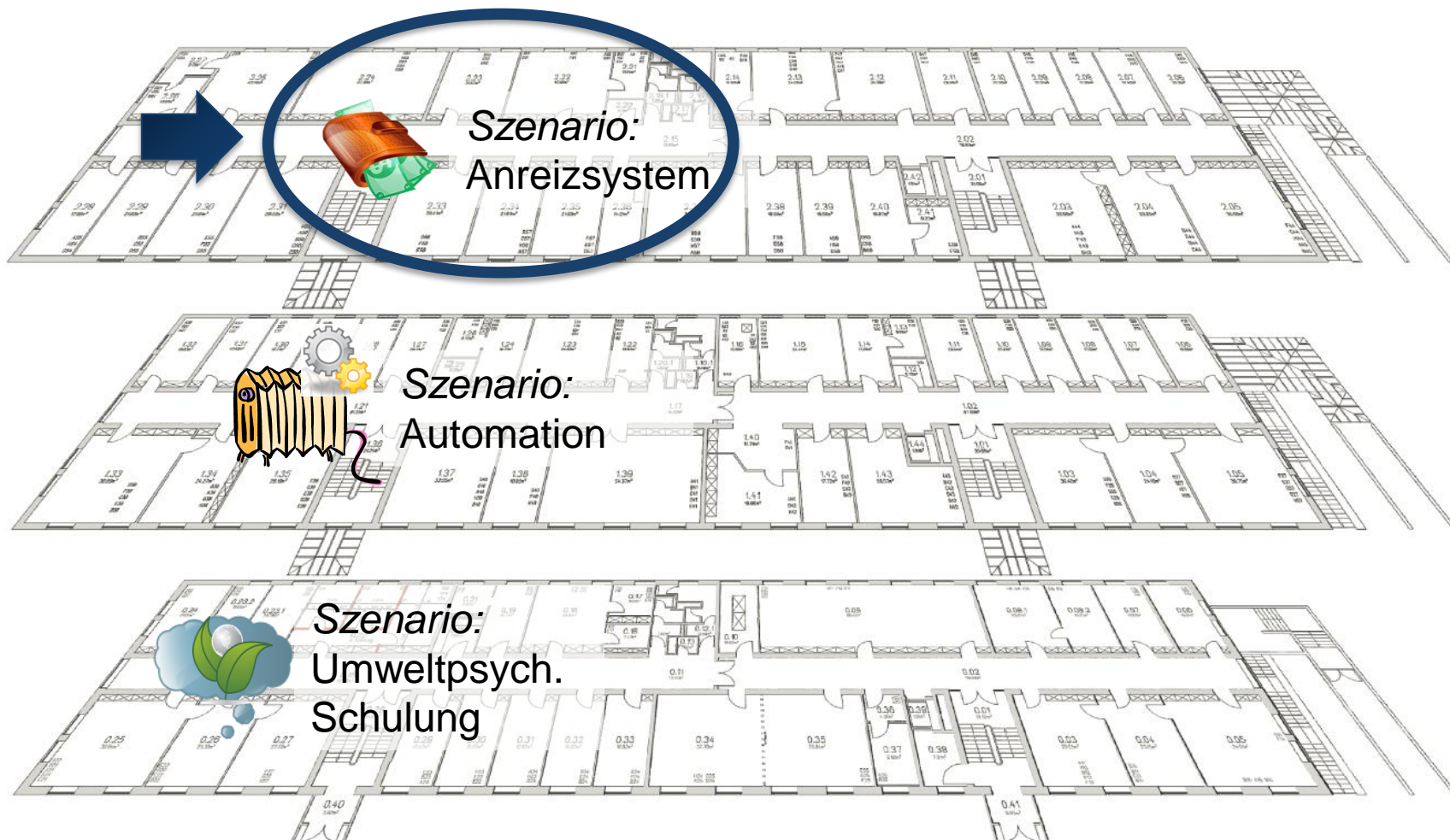
2.

- Fehlende Verantwortlichkeit – fehlende Anreize

3.


- Differierende Nutzungstypologien und Anspruchsgruppen

Konzeption eines
Anreizsystems (Belohnung) zur Energieeinsparung






Durchführbarkeit eines Anreizsystems an Ihrer Hochschule?

Maßnahmen	Nicht durchführbar	Weniger durchführbar	Durchführbar	Sehr gut durchführbar	Keine Angabe
Info-kampagne	3.55%	5.92%	52.07%	34.91%	3.55%
Aushänge / Faltblätter	4.76%	4.76%	48.81%	37.50%	4.17%
Schulungen	4.76%	27.98%	45.24%	17.26%	4.76%
 Anreiz-systeme	12.43%	30.77%	37.28%	13.02%	6.51%



Erfolgsaussichten eines Anreizsystems an Ihrer Hochschule?

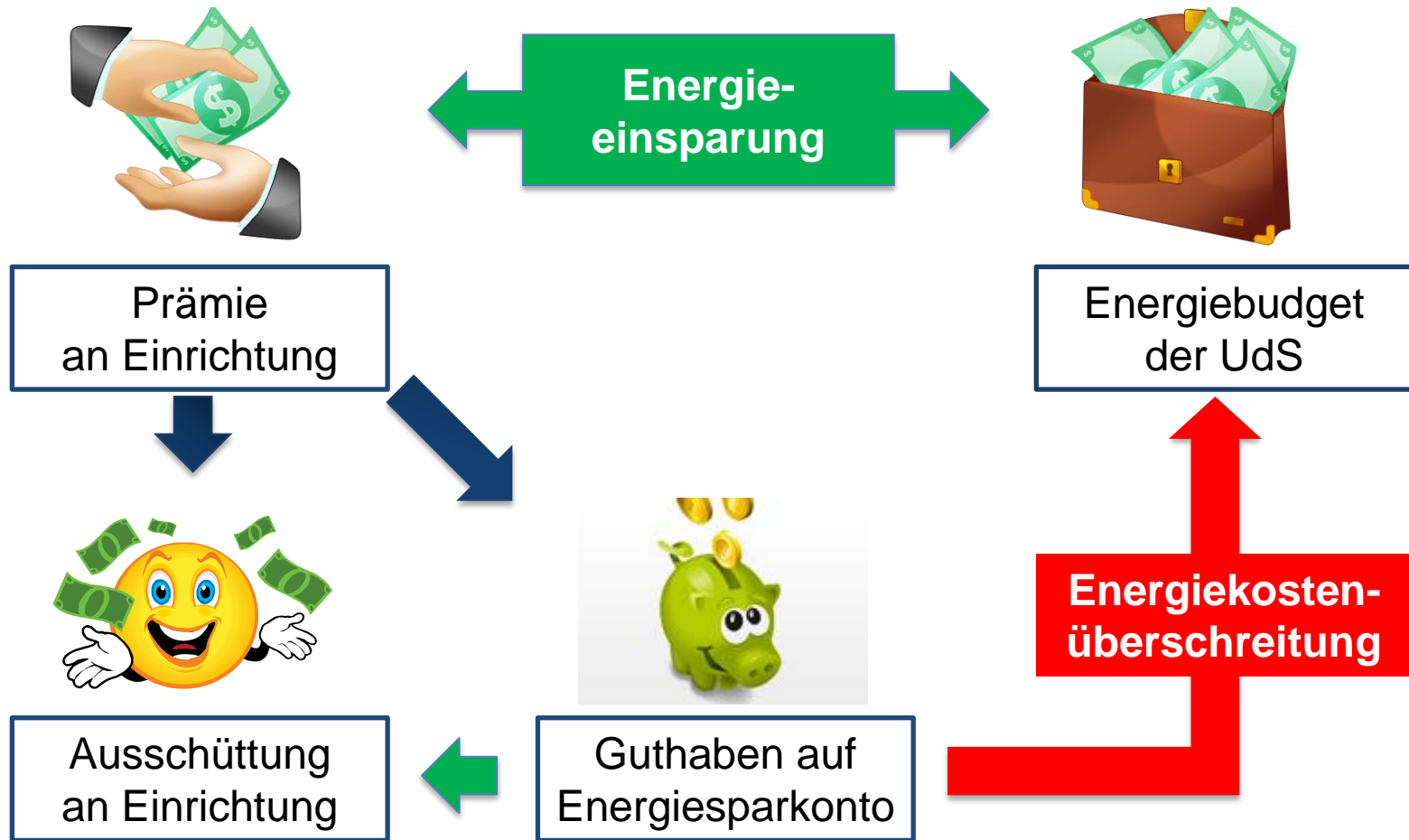
Maßnahmen	Nicht erfolgversprechend	Wenig erfolgversprechend	Sehr erfolgversprechend	Keine Angabe
Info-Kampagne	5.42%	54.82%	33.73%	6.02%
Aushänge / Faltblätter	19.88%	60.84%	14.46%	4.82%
Schulungen	8.43%	45.18%	37.95%	8.43%
 Anreizsysteme	12.65%	25.90%	45.18%	16.27%

Erfolgsbeispiel: Freie Universität Berlin

- Prämiensystem mit 50%iger Ausschüttung
- Kostenersparnis **807.048 €** (2011)
- Energieverbrauchssenkung um etwa **25%** (2011)
- Kosteneinsparung des Projektes (2007 - 2012) **3,5 Mio. €**



Energiespar-Bonusbank





Energiespar-Bonusbank

Vorteile:

- **Indirekte Malus-Beteiligung** ohne Motivationsverlust
- **Langfristige** (positive) Wirkung
- **Nachträgliche Bereinigung** um Nutzungsänderung etc. möglich
- **Zweckbindung** des Bonustopfs

Vgl. hierzu:

Baumeister, A., Schäfer, C.: *Incentivierung dezentraler Energieeinsparungen mit einer Bonusbank. Nicht nur ein universitärer Anwendungsfall.* In: BFuP – Betriebswirtschaftliche Forschung und Praxis, (3) 2014 Sonderheft Energiewirtschaft, S. 25-41.

Spezielle Ziele und Zwischenergebnisse

- Umweltpsychologie
(PSY)
- Wirtschaftswissenschaft/Controlling
(WIR)
- **Automatisierungstechnik
(AUT)**





Ziel: **Energieeffizienz an der UdS steigern** durch Maßnahmen aus Ingenieurwissenschaft, Wirtschaftswissenschaft und Psychologie
&
Gemeinsames theoretisches Modell erstellen, das **übertragbar** ist auf andere **Universitäten** und öffentliche Liegenschaften



Zu schaffende Voraussetzungen durch ING:

- Gesamtprojektleitung und -koordination
- Monitoring repräsentativer Gesamtgebäude (Wärme, elektr. Energie Kälte, elektr. Energie Rest, Wasser)
- Detaillierte Definition von Szenarien zur Anwendung auf Einzelräumen und Raumgruppen
- Konzeption und Koordination der Installationsmaßnahmen
- Monitoring repräsentativer Einzelräume (hauptsächlich Wärme)
- Datenbasis erzeugen für den systematischen Vergleich des Energieverbrauchs unter variablen technischen, betriebswirtschaftlichen und psychologischen Randbedingungen



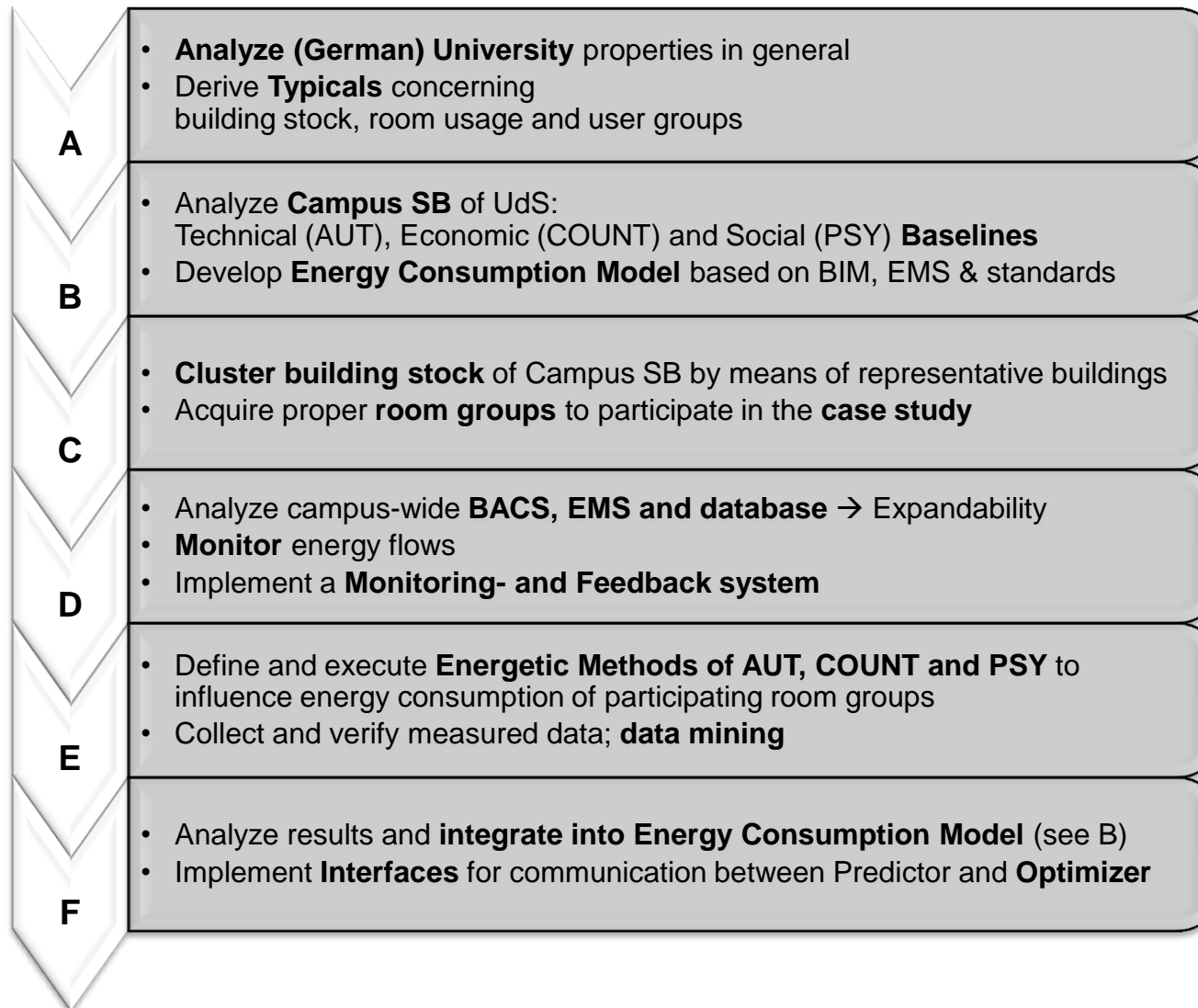
- Einsatz des EnergieNavigator von SynaVision



- Entwicklung eines **Modells zur Energieverbrauchsprädiktion** für Universitätsgebäude und –liegenschaften
- Entwicklung **bedarfsgesteuerter Lüftungs- und Klimatisierungskonzepte**
- Entwicklung von **Automatisierungslösungen** und zugehöriger **Bedienkonzepte**

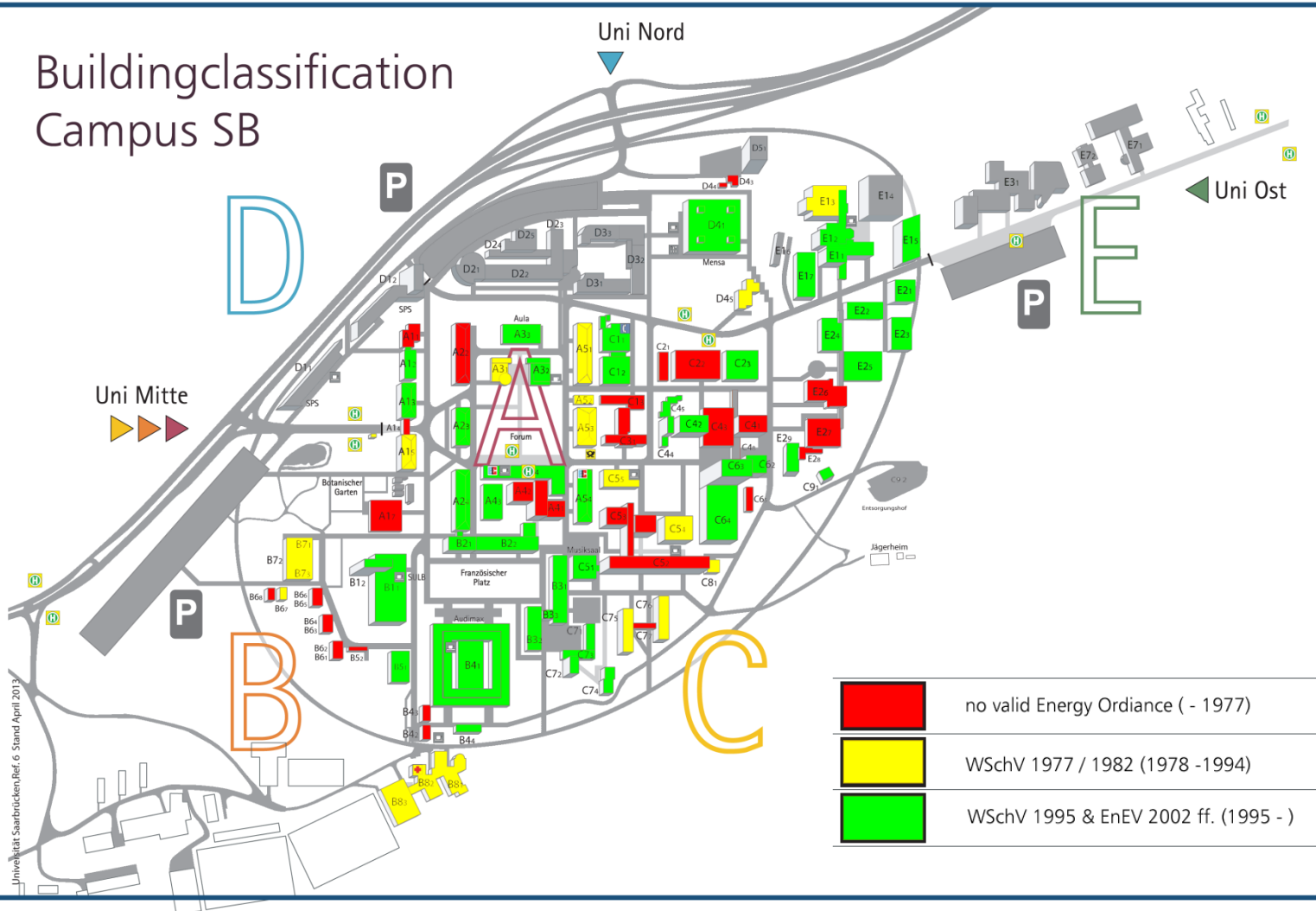


- Integration der Modelle von ING, WIR und PSY in ein **gemeinsames flexibel parametrierbares Tool zur Prädiktion** des Einflusses verschiedener Maßnahmen und deren Auswirkungen

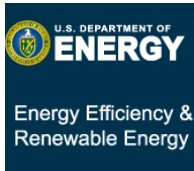




Buildingclassification Campus SB



Universität Saarbrücken, Ref. 6 Stand April 2013



Energy Efficiency & Renewable Energy

EnergyPlus



BT₁

Old building & not renovated



BT₂

Old building & partly renovated

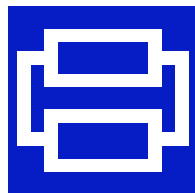


BT₃

New building



BCVTB



MODELICA

Dymola/Modelica



RT₁

Office



RT₂

Laboratory



RT₃

Education



UT₁

Waster



UT₂

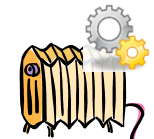
Avg. User



UT₃

Saver

Interdisciplinary research fields



AUT



COUNT






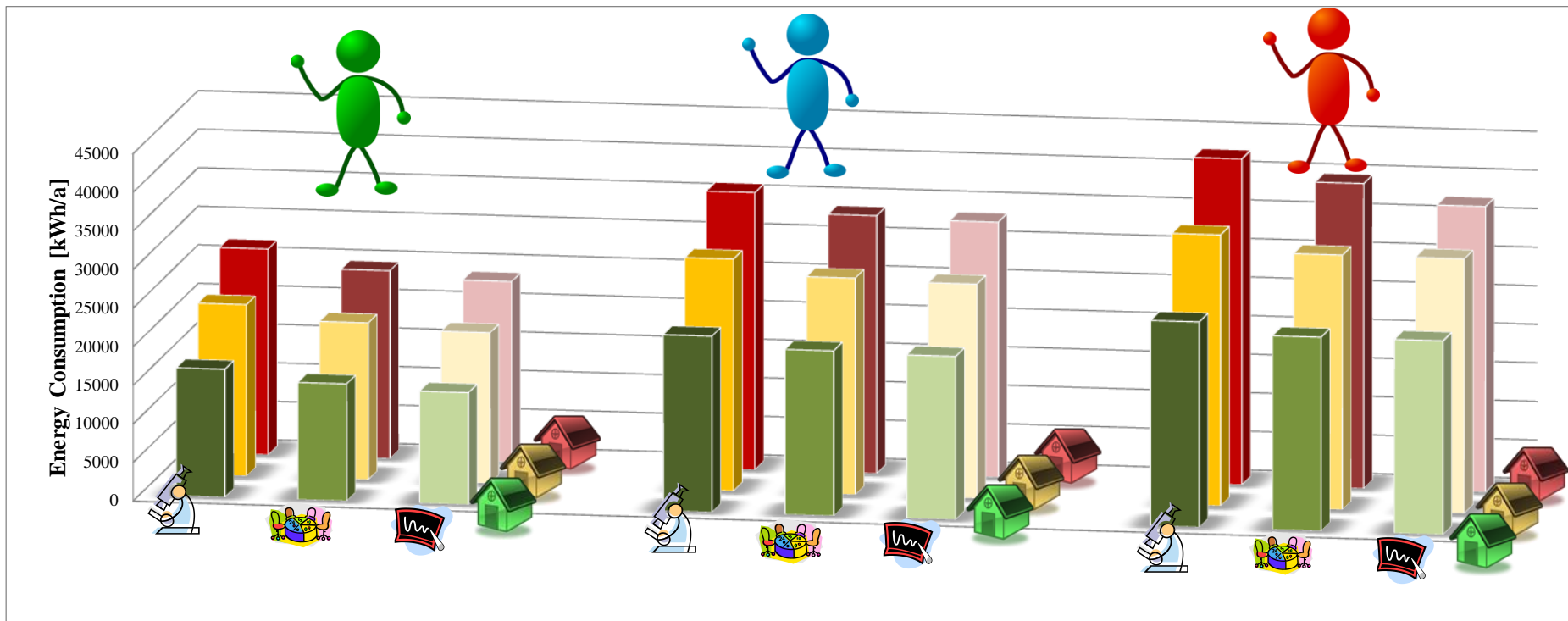
PSY

Microsoft Visual C#

Quellen: simulationresearch.lbl.gov/bcvtb; eere.energy.gov; http://www.3ds.com; http://www.modelon.com; www.msdn.com

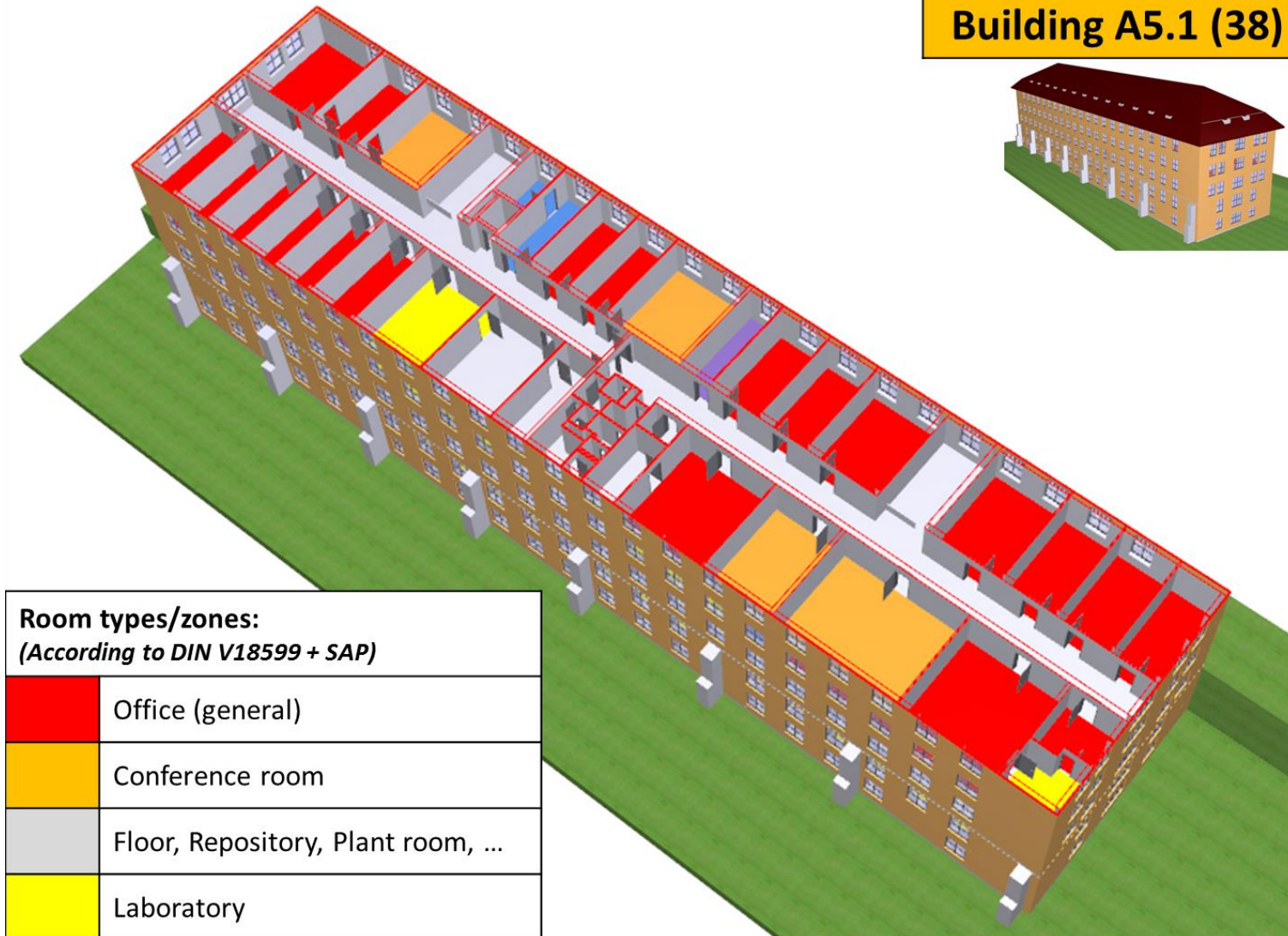
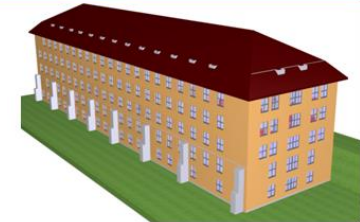


User type (Mode) Parameter				
		UT1	UT2	UT3
Thermal	nightSetback	Never	PRBS_nightSetback_50%	Always
	weekendSetback	Never	PRBS_weekendSetback_50%	Always
Electrical	nightEnergySave	Never	PRBS_nightEnergySave_50%	Always
	weekendEnergySave	Never	PRBS_weekendEnergySave_50%	Always





Building A5.1 (38)



Room types/zones: (According to DIN V18599 + SAP)	
	Office (general)
	Conference room
	Floor, Repository, Plant room, ...
	Laboratory



Forschungsprojekt EULE

- Übergeordnetes Projektziel
- Projektkonsortium
- Interdisziplinäre wissenschaftliche Herausforderungen
- Förderrahmen EnOB/EnBop

Spezielle Ziele und Zwischenergebnisse

- Forschungsgruppe Umweltpsychologie
- Lehrstuhl für Betriebswirtschaftslehre, insbesondere Controlling
- Lehrstuhl für Automatisierungstechnik

Dissemination

Diskussion



Conference papers (reverse chronological)

- Bauer, P.; Siegart, C.; Felgner, F.; Frey, G.: *“OWLracle” – Predicting the Impact of Interdisciplinary Energy Efficiency Methods at German Universities using BCVTB*. Proceedings of the 40th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON'14), Dallas, USA, Oct. 2014. [ACCEPTED]
- Baumeister, A.; Schäfer, C.: *Incentivierung dezentraler Energieeinsparungen mit einer Bonusbank - Nicht nur ein universitärer Anwendungsfall*. in: BFuP – Betriebswirtschaftliche Forschung und Praxis, (3) 2014 Sonderheft Energiewirtschaft, pp. 25-41. [IN PRESS]
- Bauer, P.; Frey, G.: *Engineering eines Energieverbrauchsprädiktors und Metamodellierung für universitäre Liegenschaften*. Proceedings of the Kongress Automation 2014, Baden-Baden, Germany, Jul. 2014. [ACCEPTED]
- Bauer, P.; Schäfer, C.; Rögele, S.; Baumeister, A.; Schweizer-Ries, P.; Frey, G.: *Energieverbrauchsoptimierung an universitären Liegenschaften*. Proceedings of the Kongress Facility Management, ISBN 978-3-8007-3576-1, VDE-Verlag, pp. 429-438, Frankfurt/Main, Germany, Feb. 2014.
- Bauer, P.; Schäfer, C.; Rögele, S.; Baumeister, A.; Schweizer-Ries, P.; Frey, G.: *Engineering a Predictive Energy Consumption Model for University Properties*. Proceedings of the 7th IEEE European Modelling Symposium on Mathematical Modelling and Computer Simulation (EMS 2013), ISBN 978-1-4799-2578-0 (CD), IEEE computer society, pp. 360-366, Manchester, UK, Nov. 2013.



Other Publications and Presentations: Congresses, colloquia, ... (reverse chronological)

- Frey, G.; Bauer, P.: *Energetische Betriebsoptimierung an universitären Liegenschaften – das Decision Tool aus dem Forschungsprojekt EULE Energiemustercampus*. Presentation at FM Summer School, University of Kaiserslautern, Kaiserslautern, Germany, Sept. 2014. [INVITED]
- Bauer, P.; Schäfer, C.; Rögele, S.; Baumeister, A.; Schweizer-Ries, P.; Frey, G.: *Forschungsprojekt EULE: Ein interdisziplinärer Ansatz zur energetischen Betriebsoptimierung an Hochschulen*. Presentation at 7th Forum Energie, Clausthal, Germany, Jun. 2014.
- Bauer, P.; Schäfer, C.; Rögele, S.; Baumeister, A.; Schweizer-Ries, P.; Frey, G.: *Das Forschungsprojekt EULE an der Universität des Saarlandes*. Presentation at ATA-Tagung, Saarbrücken, Germany, Jun. 2014.
- Bauer, P.; Schäfer, C.; Rögele, S.; Baumeister, A.; Schweizer-Ries, P.; Frey, G.: *Energiemustercampus UdS - Liegenschaftsweite Energieverbrauchsoptimierung*. Poster Presentation at EnOB-Symposium Energieinnovationen in Neubau und Sanierung (EnOB 2014), P2-52, Essen, Germany, Mar. 2014.
- Syarova, I., Hildebrand, J., & Schweizer-Ries, P. *Towards a Sustainable Energy Culture - How to establish Energy Sustainability in a University*. 10th biennial Conference on Environmental Psychology, Magdeburg, Sep. 2013.
- Bauer, P.: *Energy efficiency at public properties*. Colloquium at Universidade de Brasília, bilateral exchange program PROBRAL of Deutscher Akademischer Austausch Dienst DAAD, Brazil, Apr. 2013.
- Bauer, P.; Frey, G.: *Energiemustercampus UdS – Liegenschaftsweite Energieverbrauchsoptimierung*. icbp2012 - International Conference on Building Performance, Berlin, Oct. 2012.



Forschungsprojekt EULE

- Übergeordnetes Projektziel
- Projektkonsortium
- Interdisziplinäre wissenschaftliche Herausforderungen
- Förderrahmen EnOB/EnBop

Spezielle Ziele und Zwischenergebnisse

- Forschungsgruppe Umweltpsychologie
- Lehrstuhl für Betriebswirtschaftslehre, insbesondere Controlling
- Lehrstuhl für Automatisierungstechnik

Dissemination

Diskussion

philipp.bauer@aut.uni-saarland.de
c.schaefer@con.uni-saarland.de
stefan.roegele@fg-upsy.com

AUT
Lehrstuhl für Automatisierungstechnik

LEHR-
STUHL 
CONTROLLING

 FORSCHUNGSGRUPPE
UmweltPsychologie



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages