

Energetische Querschnitterhebung deutscher

# Theaterspielstätten

und Monitoring Opern- und Schauspielhaus Köln

# **Energetische Querschnittserhebung deutscher Theaterspielstätten und Monitoring Opern- und Schauspielhaus Köln mit Schwerpunkt Komfortuntersuchung**

## Inhalt

Impressum	2
1 Vorwort	5
2 Einleitung	7
2.1 Querschnittserhebung	9
2.1.1 Vorgehensweise bei der Auswahl der Spielstätten	11
2.2 Intensivmonitoring	13
3. Messungen des Raumkomforts	15
3.1 Gestaltung des Dummys	17
3.2 Technisches Konzept	19
4 Messungen der Energieverbräuche	21
5. Ziele des Forschungsprojekts	23
Zuständigkeiten	24
Links	25
Dank	27

# Technology Arts Sciences TH Köln

## Fakultät für Architektur

Institut für Energieeffiziente Architektur<sup>3</sup>

## Fakultät für

## Anlagen, Energie- und Maschinensysteme

Institut für Technische Gebäudeausrüstung

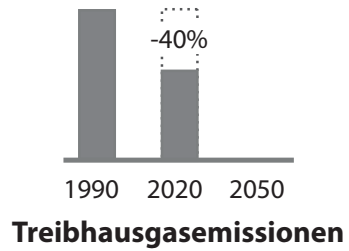
Gefördert durch:



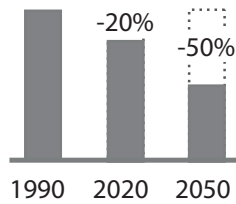
Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

## Klimaziele der Bundesregierung über alle Sektoren



## Primärenergieverbrauch



## Endenergieverbrauch

## Endenergieverbrauch



Verkehr  
30%

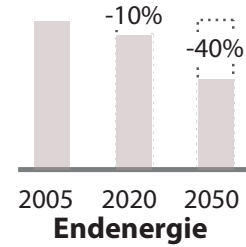


Industrie  
30%



Gebäude  
40%

## Klimaziele der Bundesregierung nach Sektor



## Primärenergie

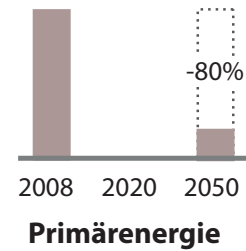


Abb. 01 Klimaziele der Bundesregierung

## 1 Vorwort

Um der globalen Herausforderung des Klimawandels zu begegnen, hat sich die Bundesregierung verschiedene Ziele gesetzt. Eines der Ziele sieht vor, die Treibhausgase bis 2020 im Vergleich zu 1990 um 40% zu senken. Auch der Primärenergieverbrauch soll bis 2020 gegenüber 2008 um 20% und bis 2050 sogar um 50% gesenkt werden. Potentiale, um diese Ziele zu erreichen, werden auch im Gebäudesektor gesehen, da dieser zurzeit einen Anteil von 40% am Endenergieverbrauch hält sowie ein Drittel der CO<sub>2</sub>-Emissionen verursacht. Sowohl im Neubau, der besonders strikten Regeln unterliegt, als auch im Bestand sollen Einsparpotentiale realisiert werden, sodass bis 2050 in diesem Bereich eine Reduzierung des Primärenergiebedarfs um 80% erfolgt sein wird. Eine besondere Vorbildfunktion kommt hierbei den öffentlichen Gebäuden zu. Ein wichtiger Anteil der öffentlichen Bestandsbauten sind kulturelle Einrichtungen, zu denen auch der eigenständige Gebäudetypus der Theaterspielstätten zählt. Auch wenn dieser nur verhältnismäßig wenige Gebäude umfasst, so handelt es sich hierbei jedoch um identitätsstiftende Gebäude vieler Städte, sodass von einer hohen Öffentlichkeitswirksamkeit ausgegangen werden kann.

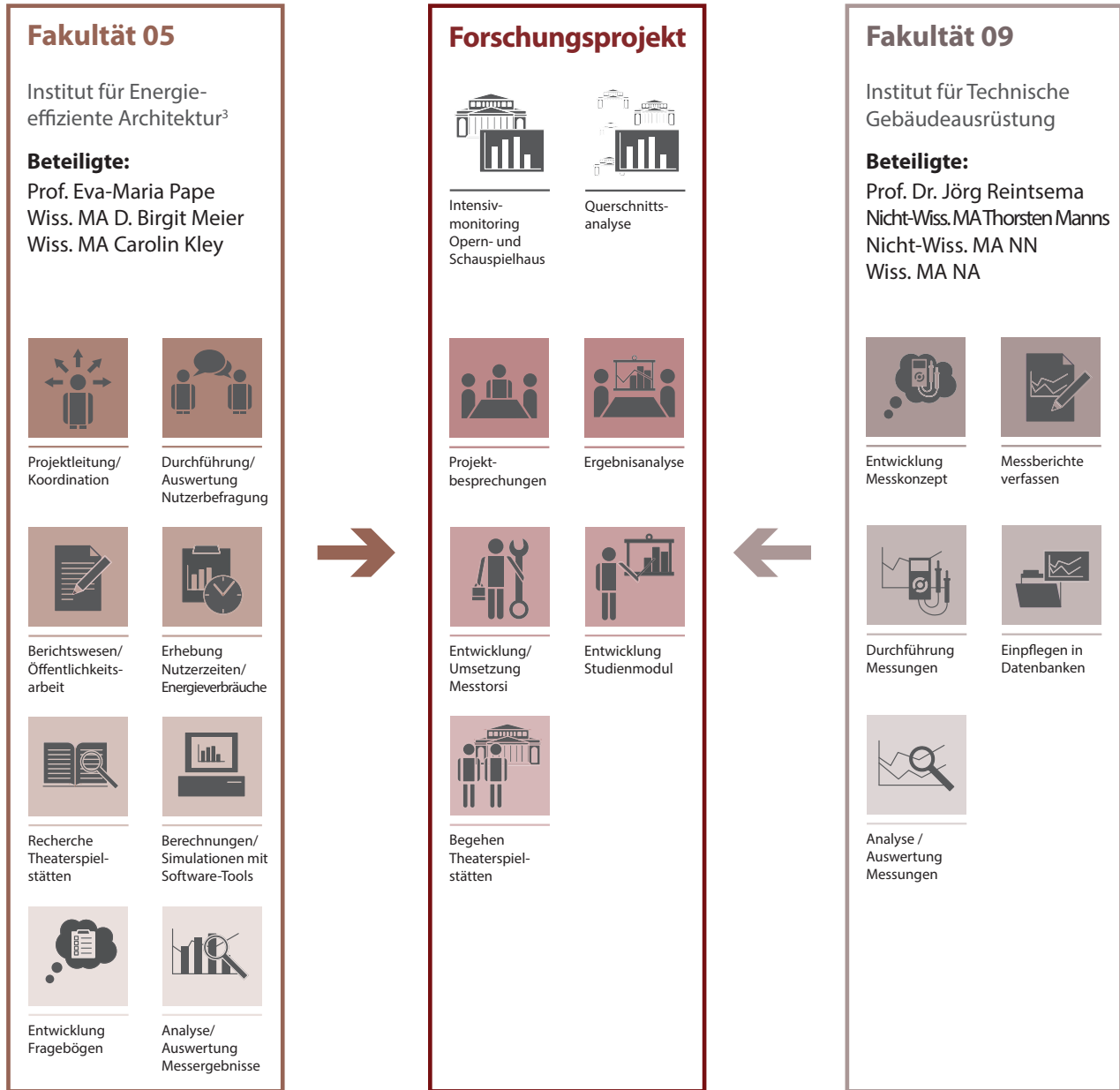


Abb. 02 Organisation des Forschungsprojekts

## 2 Einleitung

Das Projekt „Energetische Querschnittserhebung deutscher Theaterspielstätten und Monitoring Opern- und Schauspielhaus Köln mit Schwerpunkt Komfortuntersuchungen“ wird durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) über eine Laufzeit von insgesamt vier Jahren, bis einschließlich September 2018, gefördert. Es handelt sich um eine interdisziplinäre Zusammenarbeit der Fakultät 05 (Architektur) und der Fakultät 09 (Anlagen-, Maschinen-, und Energiesysteme) der Technischen Hochschule Köln. Dabei ist das Institut für energieeffiziente Architektur der Fakultät 05 unter Leitung von Prof. Eva-Maria Pape für die Organisation des Projekts, Recherche und Analyse verantwortlich, während Fakultät 09 durch das Institut für Technische Gebäudeausrüstung von Prof. Dr. Jörg Reinsema für die Entwicklung des Messkonzepts und die Durchführung der Messungen zuständig ist.

Bisher liegen für den Gebäudetypus Theaterspielstätten weder energetische Kennwerte noch Daten zur Nutzerzufriedenheit vor. Das Forschungsprojekt verfolgt daher sowohl das Ziel, solche zu ermitteln als auch eine Klassifizierung des Bestands dieses Gebäudetypus vorzunehmen sowie das Einsparpotential von Sanierungen aufzuzeigen. Um diese Ziele zu erreichen, gliedert sich das Forschungsprojekt in zwei Teile. Zum einen sollen durch eine Querschnittserhebung charakteristische Kennwerte und Energieverbräuche generiert sowie durch Komfortmessungen mit mobilen Messtorsi Daten zum Raumklima erfasst werden. Zum anderen soll ein Intensivmonitoring des sanierten Opern- und Schauspielhauses, welches den Ergebnissen der Querschnittserhebung gegenüber gestellt wird, Aufschluss über das energetische Einsparpotential einer solchen Sanierung geben.



Abb. 03 Verteilung der Spielstätten auf die Bundesländer



## 2.1 Querschnittserhebung

Für die Querschnittserhebung deutscher Theaterspielstätten wurden zunächst alle relevanten Gebäude erfasst. Im Sinne des Forschungsprojekts handelt es sich bei Theaterspielstätten um solche Gebäude, die eigens und ausschließlich für die Durchführung von Vorstellungen, die den Sparten des Theaters angehören, erbaut worden sind und sich bis heute als solche in der Nutzung befinden. Hier muss außerdem zwischen Gastspiel- und Repertoirehäusern, die sich in der Nutzung stark unterscheiden, differenziert werden. Im Zuge des Forschungsprojekts werden nur öffentlich geförderte Repertoirehäuser, also Häuser mit eigenem Ensemble, in die Betrachtung einbezogen. Von dieser Art bestehen im Bundesgebiet zurzeit 132 Gebäude, von denen sich alleine 10 in der Bundeshauptstadt Berlin befinden. Anhand von

gesammelten statistischen Daten werden Häuser ausgewählt, denen ein Fragebogen zur näheren Untersuchung der Eignung für die Querschnittserhebung zugesendet wird. Aus den vorausgewählten Spielstätten werden wiederum 12 Häuser ausgesucht, in denen Kurzzeitmessungen über einen Zeitraum von 3 Wochen erfolgen. Erfasst werden sowohl energetische Kennwerte als auch Werte zum Raumkomfort im Zuschauersaal. Um eine Vergleichbarkeit der Werte aus den Messungen in den unterschiedlichen Spielstätten zu erreichen, erfolgen die Messungen jeweils in den Übergangszeiten Frühjahr und Herbst. Auf Grundlage dieser Messungen können charakteristische energetische Kennwerte gebildet sowie ein Nutzungsprofil für diesen Gebäudetypus erstellt werden.

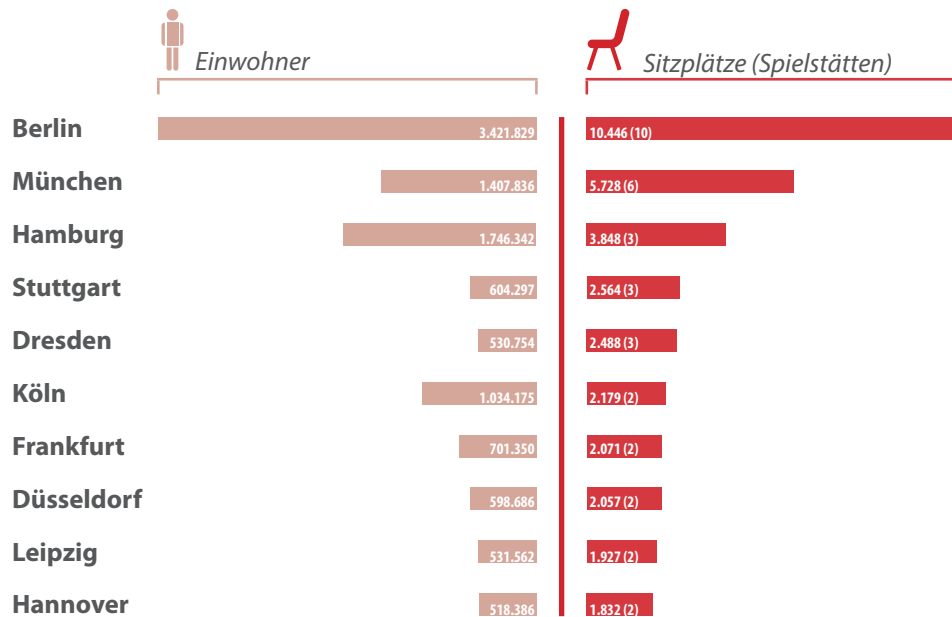


Abb. 04 Städtevergleich der Einwohnerzahlen mit der Sitzplatzkapazität

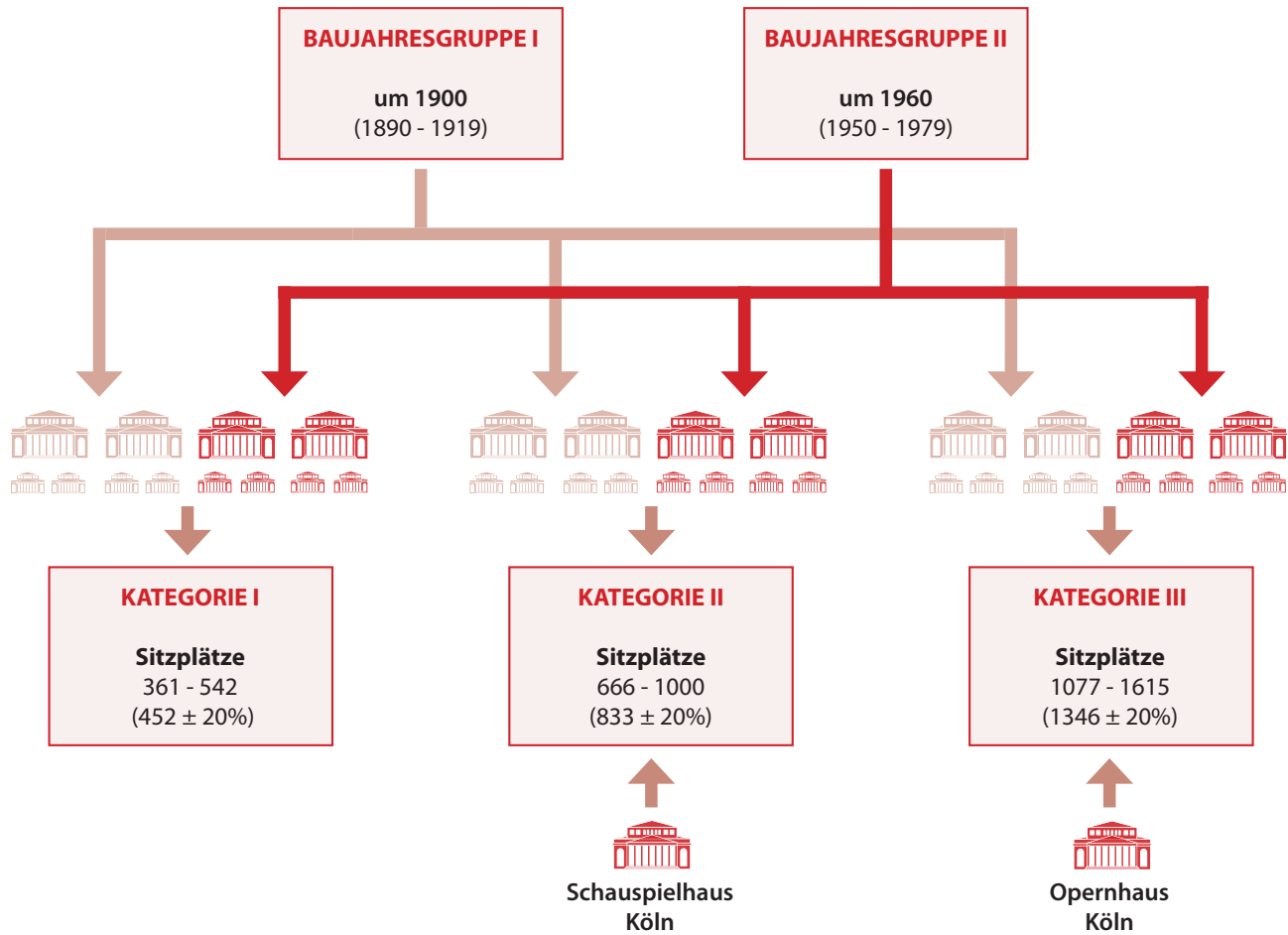


Abb. 05 Auswahl der Theaterspielstätten

## 2.1.1 Vorgehensweise bei der Auswahl der Spielstätten

Um repräsentative und vergleichbare Werte für die Querschnittsanalyse zu erhalten, werden zwei Haupt- und drei Nebenkategorien gebildet aus denen die Auswahl geeigneter Theaterspielstätten erfolgt. Nach Analyse des Gebäudebestands zeichnen sich zwei Zeiträume ab, in denen eine große Anzahl der Theaterspielstätten gebaut wurden. Der erste Zeitraum, in dem insgesamt 45 Schauspielstätten errichtet worden sind, gruppiert sich um die Jahrhundertwende. In den Jahren von 1890 bis 1919 entstanden pro Jahrzehnt mehr als 10 Theaterspielstätten, wodurch sich dieser Zeitraum deutlich vom Durchschnitt abhebt und unter der Bezeichnung „Baujahresgruppe I“ zusammengefasst wird. Der zweite Zeitraum, der insgesamt 31 Bauten umfasst, beinhaltet Theaterspielstätten, die um 1960, also in der Nachkriegszeit, errichtet worden sind. Auch hier lässt sich eine Zeitspanne von drei Jahrzehnten definieren, in der mehr als 10 Spielstätten pro Jahrzehnt entstanden sind. Diese Zeitspanne umfasst die Jahre 1950 bis 1979 und wird als „Baujahresgruppe II“ bezeichnet.

Neben der Einordnung der Spielstätten anhand ihres Baujahrs erfolgt eine weitere Kategorisierung der Spielstätten auf Basis der Zuschauerkapazität. Hierbei orientieren sich zwei Unterkategorien an der Zuschauerkapazität des Kölner Opern- und Schauspielhauses. In diesen beiden Kategorien werden Spielstätten betrachtet, die

im Platzangebot, welches beim Opernhaus 1346 und beim Schauspielhaus 833 beträgt, mit den beiden Kölner Spielstätten vergleichbar sind, während für die Dritte die Auswertung der Zuschauerkapazität aller Spielstätten als Grundlage dient. Betrachtet man die Sitzplatzanzahl in diesen so wird deutlich, dass große Häuser wie die Kölner Spielstätten eher die Seltenheit darstellen, denn 75% der Spielstätten weisen lediglich 878 oder weniger Sitzplätze pro Zuschauersaal auf. Ein Viertel der Spielstätten haben sogar nur eine Kapazität von unter 460 Sitzplätzen. Bei einer Gruppierung der Spielstätten anhand der Sitzplatzanzahl in 100er-Schritten ist es daher nicht verwunderlich, dass in den meisten Spielstätten zwischen 400 und 499 Sitzplätze zur Verfügung stehen. Der Mittelwert dieser Gruppe von 452 bildet die Basis für die dritte Unterkategorie.

Mit der Einteilung der Häuser in die Hauptkategorien durch die Baujahreszahlen und die weitere Eingruppierung dieser durch die Platzkapazität in Nebenkategorien ergeben sich insgesamt sechs Kategorien. Aus jeder dieser Kategorien sollen zur Vergleichbarkeit zwei Spielstätten ausgewählt werden, in denen Messungen stattfinden.

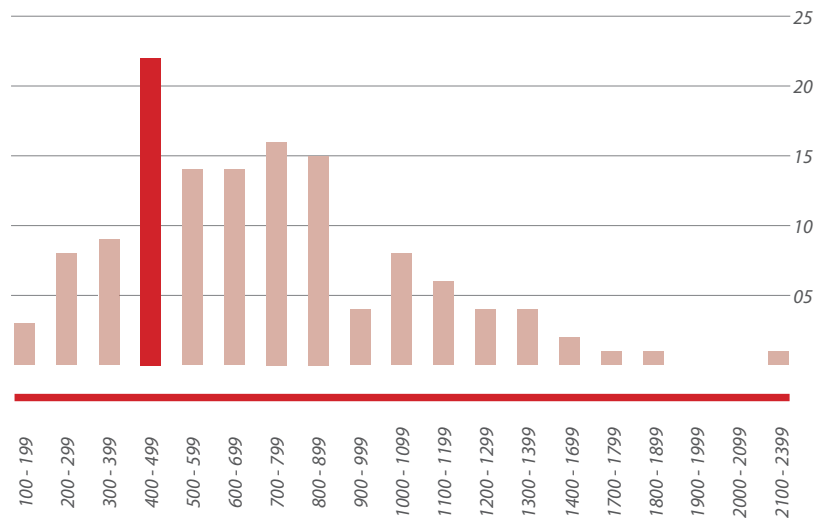


Abb. 06 Anzahl der Theaterspielstätten nach Sitzplatzkapazität (100er Schritte)



Abb. 07 Bühnen der Stadt Köln bei Nacht (Foto: ArgeSBK)



Abb. 08 Bühnen der Stadt Köln bei Tag (Foto: ArgeSBK)

## 2.2 Intensivmonitoring

Die Bühnen Köln, ein Gebäudeensemble aus Oper, Schauspielhaus und Opernterrassen, stellen eines der wichtigsten Kulturdenkmäler der Nachkriegszeit der Stadt dar. Im Jahre 1957, bzw. 1962 vom Kölner Architekten Riphahn geplant und errichtet, setzten sie ein wichtiges Zeichen für die Rückkehr des kulturellen Lebens nach Köln. Seit der Errichtung sind keine grundlegenden Sanierungs- oder Modernisierungsmaßnahmen erfolgt, sodass sich das Ensemble von der Bühnentechnik bis hin zur Gebäudehülle in einem bedenklichen Zustand befand, der eine Sanierung dringend erforderlich machte. Diese verfolgt anspruchsvolle Ziele, denn neben den zu berücksichtigenden denkmalpflegerischen Auflagen, soll ein hoher energetischer Standard erreicht werden, der die nach EnEV geforderten Werte deutlich unterschreitet. Bei der angestrebten Energieeffizienz und dem damit schonenden Umgang des Gebäudes mit wertvollen Ressourcen soll gleichzeitig eine Verbesserung des Innenraumkomforts erfolgen. Der Zustand dieser Kölner Theaterspielstätte vor der Sanierung kann stellvertretend für zahlreiche Gebäude dieses Typus angesehen werden, denn 24% des Gebäudebestands sind nach dem Zweiten Weltkrieg 1945 und dem Inkrafttretens der

1. Wärmeschutzverordnung im Jahre 1977 entstanden, nur etwa 14% entstanden danach. Bei den übrigen Gebäuden, die mit 62% den größten Anteil am Bestand ausmachen, handelt es sich um Bauten aus der Zeit vor dem Zweiten Weltkrieg. Nur wenige Gebäude sind bis heute umfangreich saniert worden, sodass sich viele weitestgehend im Originalzustand befinden.

Am Beispiel der Bühnen Köln soll nun erforscht werden, welches Einsparpotential für diesen Gebäudetypus durch eine Sanierung zu erwarten ist. Zur Aufnahme der benötigten energetischen Daten sowie der Daten zum Raumkomfort wird ein zweijähriges Intensivmonitoring durchgeführt. Infolgedessen sollen besonders bei der Anlagentechnik Optimierungen vorgenommen werden. Neben der Erfassung der objektiven Daten zum Raumkomfort werden Nutzerbefragungen durchgeführt, welche es erlauben, die subjektiven Eindrücke mit den objektiven Daten gegenüberzustellen. Im Anschluss an die Aufnahme der Daten durch das Intensivmonitoring soll eine Überführung in ein Langzeitmonitoring erfolgen.

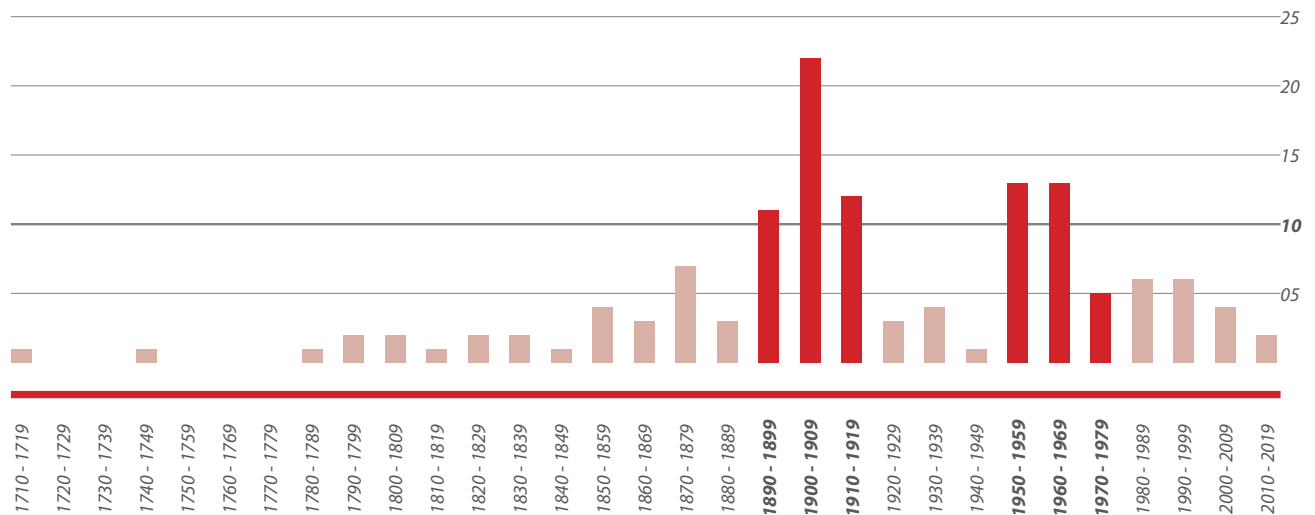


Abb. 09 Anzahl der Theaterspielstätten in Deutschland nach Baujahr (Jahrzehnte)

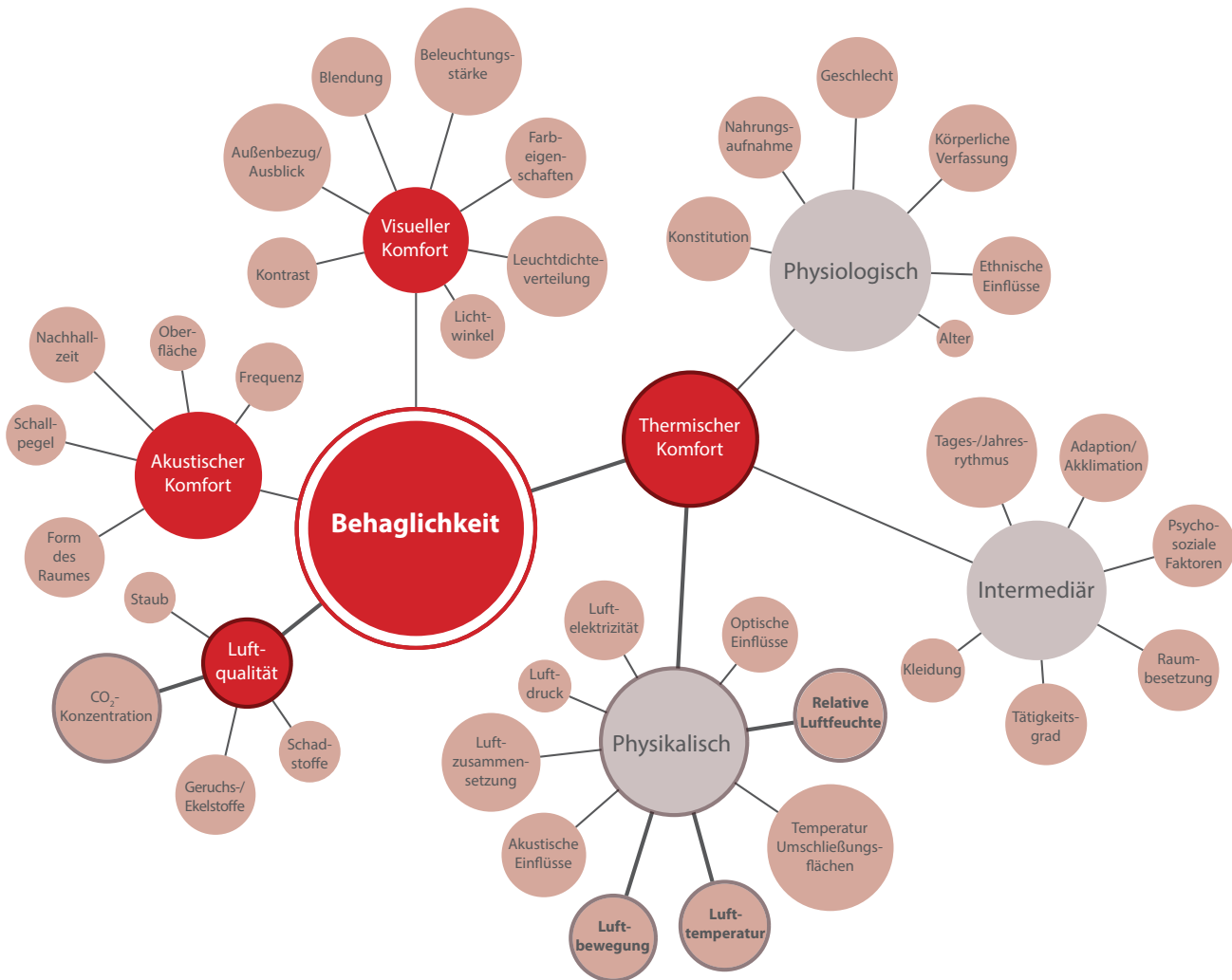


Abb. 10 Einflussfaktoren auf das menschliche Behaglichkeitsempfinden

### 3. Messungen des Raumkomforts

Für jeden einzelnen Zuschauer stellt der Besuch des Theaters einen besonderen Anlass dar, den es unterhaltsam und komfortabel zu gestalten gilt. Für den Komfort ist das Gefühl der Behaglichkeit, die subjektive Empfindung eines physischen und psychischen Zustands, entscheidend. Aufgrund der Subjektivität dieser Empfindung, kann kein bestimmter Wert, sondern nur ein Bereich definiert werden, innerhalb dessen die meisten Menschen ein Gefühl der Behaglichkeit entwickeln. Dieses wird durch unterschiedliche Faktoren beeinflusst, zu denen die Akustik, die visuelle Wahrnehmung, aber auch die thermische Behaglichkeit sowie die stoffliche Belastung der Luft zählen. Um ein realistisches Abbild dieser Empfindungen zu erhalten, müssen Messungen auf der Nutzerebene durchgeführt werden.



Abb. 11 Messtorso „Torsion“ (Foto: Birgit D. Meier)

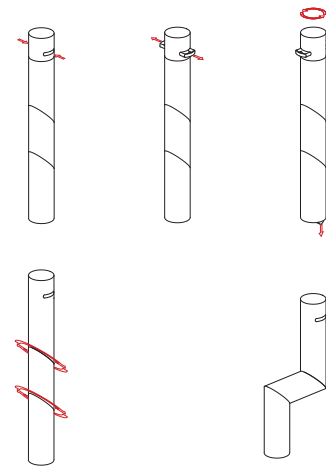
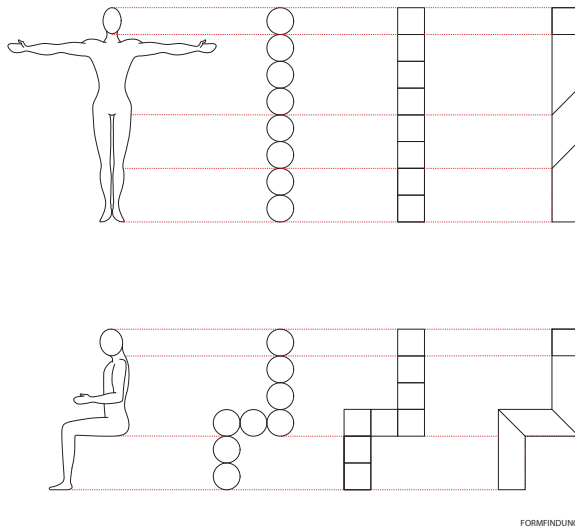


### 3.1 Gestaltung des Dummys

Der Messtorso, der im Zuge des Projekts komforttechnische Daten auf der Nutzerebene erfassen soll, wird eigens an der TH Köln entwickelt, um auf die speziellen Anforderungen des Forschungsprojekts reagieren zu können. Durch die Messungen auf der Nutzerebene befindet sich der Messtorso in direktem Kontakt mit den Zuschauern, weshalb er neben der Aufnahme der Messtechnik einen hohen Gestaltungsanspruch erfüllen muss. Aus diesem Grund wurde unter den Masterstudierenden der TH Köln, Fachbereich Architektur, ein studentischer Realisierungswettbewerb ausgelobt. Neben den beiden bereits erwähnten Kriterien sollte der Dummy, der in Form einer Kunstfigur zu entwerfen war, einen hohen Grad an Flexibilität aufweisen, damit er schnell und einfach in verschiedenen Positionen und an unterschiedlichen Orten in den Spielstätten platziert werden kann.

Eine Jury aus Mitgliedern der TH, Vertretern der Bühnen Köln und der Gebäudewirtschaft der Stadt Köln kürten das Projekt „Torsion“ von den Studierenden Michael Lautwein und Max Salzberger zum Sieger. Der Messtorso fügt sich durch die Reduzierung der Form und des Materials (Vollholzoberfläche) behutsam in die Umgebung ein und lässt dem Bühnengeschehen die Möglichkeit zur freien Entfaltung, sodass ein störungsfreier Ablauf des Spielbetriebs gewährleistet ist.

Die Abmessungen von „Torsion“ basieren auf den Proportionen des menschlichen Körpers, sodass genaue Messungen in der Nutzerebene erfolgen können. Durch die Rotation ihrer Elemente kann die Skulptur eine sitzende Haltung einnehmen und als Zuschauer in den Theatersälen Platz nehmen.



Kunstf. Statuette - Kunstfigur  
Michael Lautwein | Max Salzberger  
110754161 | 11076533  
Königs

Abb. 12 Schema zum Konzept

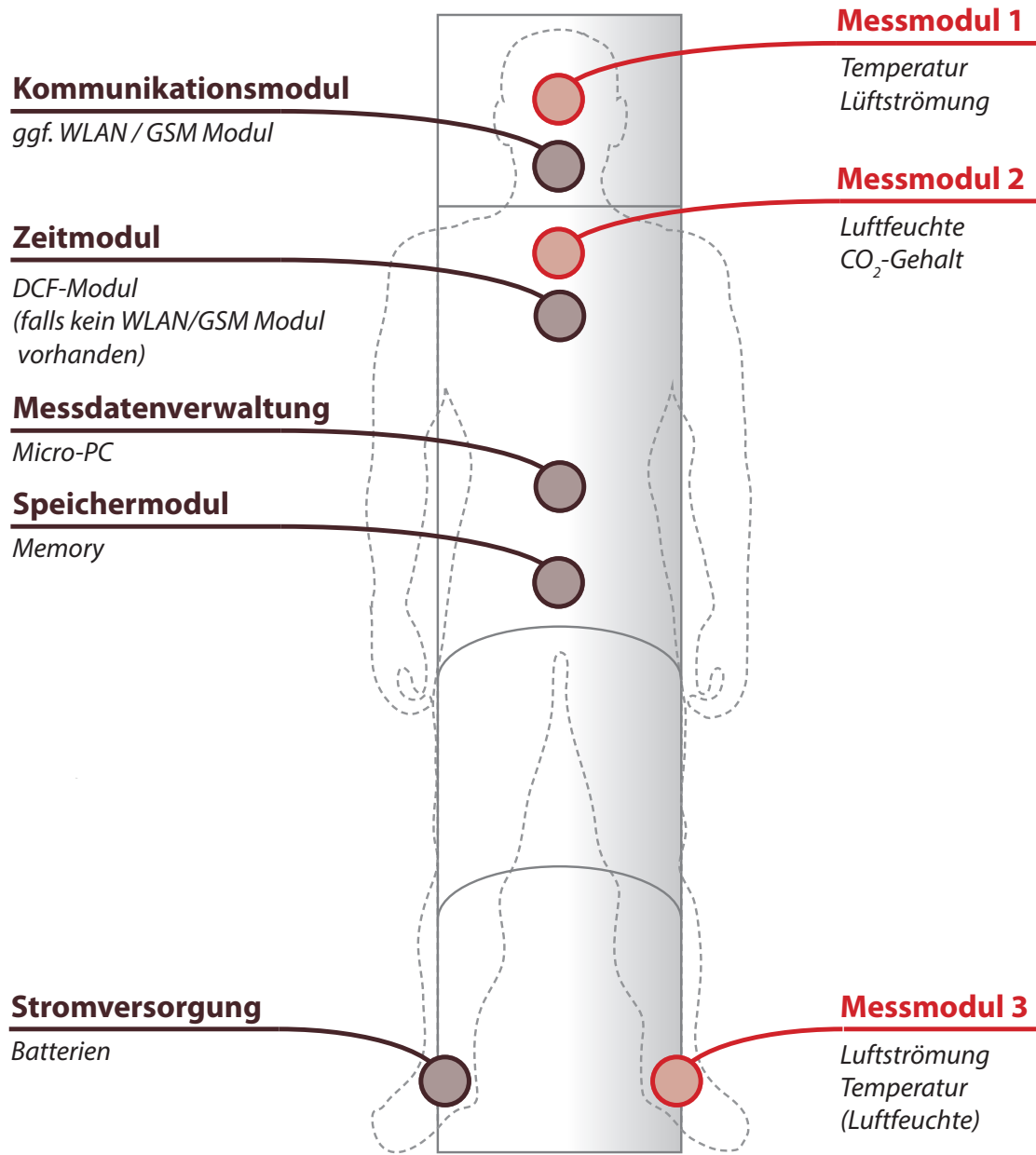
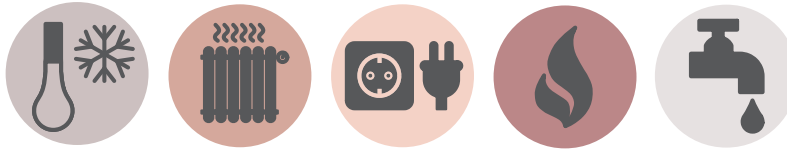


Abb. 13 Technisches Konzept des Messtorsos

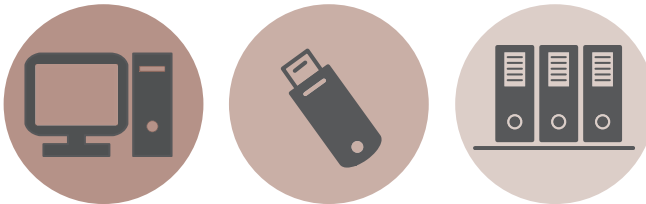
### 3.2 Technisches Konzept

Der Dummy „Torsion“ erfüllt nicht nur einen hohen gestalterischen Anspruch, sondern dient auch als Geräteträger für die empfindliche Messtechnik, welche im Inneren des Messtorsos sicher verstaut und beim Transport vor Beschädigung geschützt ist. Das technische Konzept ist auf die Messung der thermischen Behaglichkeit sowie der Luftqualität ausgelegt. Die Sensoren erfassen die Luftbewegung, die Luftfeuchtigkeit, die Temperatur und den CO<sub>2</sub>-Gehalt der Luft. Ein wichtiger Faktor für die Behaglichkeitsempfindung ist die Intensität der körperlichen Betätigung. Mit abnehmender Aktivität sinkt die Toleranz gegenüber Schwankungen bei den erfassten Faktoren. In der entspannten körperlichen Position, in der sich die Theaterzuschauer befinden, ist die Akzeptanz gegenüber Veränderungen folglich gering. Besonders im Kopf-, Nacken- und Fußbereich ist die Empfindlichkeit besonders hoch, sodass dies die Positionen sind, an denen die Messfühler platziert werden. Die von den Sensoren erfassten Daten werden in einem Mikrocomputer im Bauch des Messtorsos gespeichert und können dort ausgelesen werden. Den Strombedarf der Messtechnik inklusive des Mikrocomputers wird durch Batterien gedeckt, die in den Füßen des Messtorsos untergebracht sind. Durch diese Möglichkeit der Stromversorgung wird zusätzlicher Aufwand für eine Verkabelung und Installation vermieden und ein größtmöglicher Freiraum für die Platzierung des Messtorsos geschaffen.



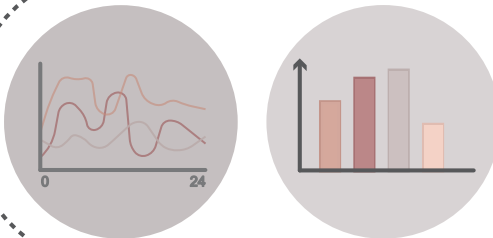
## Aufnehmen

Gesamtverbrauchswerte werden durch Messaufnehmer gesammelt



## Speichern

Aufgenommene Daten werden gespeichert, den Spielstätten zur Verfügung gestellt und archiviert



## Auswerten

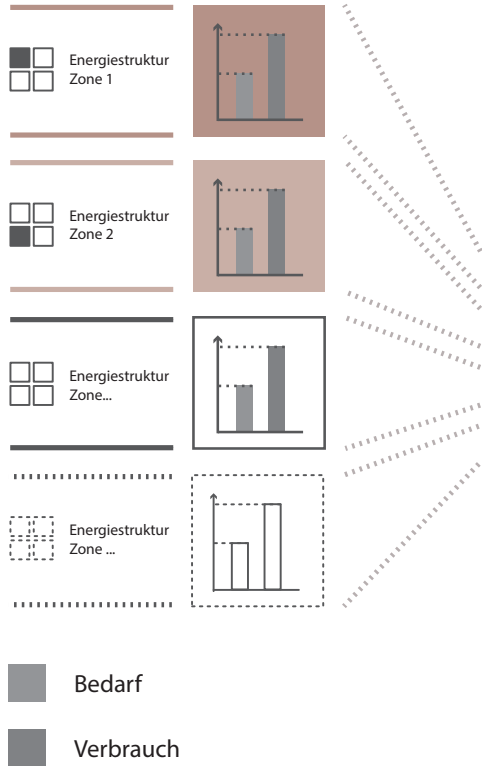
Erstellen von Lastgangprofilen und Auswerten der Energiebedarfswerte

Abb. 14 Verarbeitung der Energieverbrauchswerte

## 4 Messungen der Energieverbräuche

Neben der Erfassung von Daten zum Nutzerkomfort durch den Messtorso werden in den Spielstätten auch Daten zum Energieverbrauch gesammelt. Diese umfassen Werte zum Gas-, Wasser-, Strom-, Wärme- und Kälteverbrauch. Während beim Intensivmonitoring auch einzelne Verbraucher Berücksichtigung finden, werden bei der Querschnittsanalyse nur Gesamtverbrauchswerte erfasst. Dies lässt zwar keine Aussage zum Energieverbrauch der einzelnen Komponenten der Anlagentechnik zu, dennoch lassen sich durch die Erstellung eines Lastgangprofils Rückschlüsse auf das Betriebsmuster der Gebäudetechnik ziehen. Die Technik, die zur Erfassung der Energieströme zum Einsatz kommt, wird in Abhängigkeit der in der Spielstätte vorhandenen Gebäudetechnik nach einer Begehung individuell auf die Gegebenheiten abgestimmt. Sollte bereits eine Erfassung der Energieverbrauchswerte vorhanden sein, so kann auf diese zurückgegriffen werden. Andernfalls besteht die Möglichkeit, Daten durch verschiedene Messaufnehmer, die induktiv oder berührungslos arbeiten, aufzunehmen oder die Daten direkt digital zu erfassen.

## Auswertung nach Zonen



## Auswertung nach Gewerken

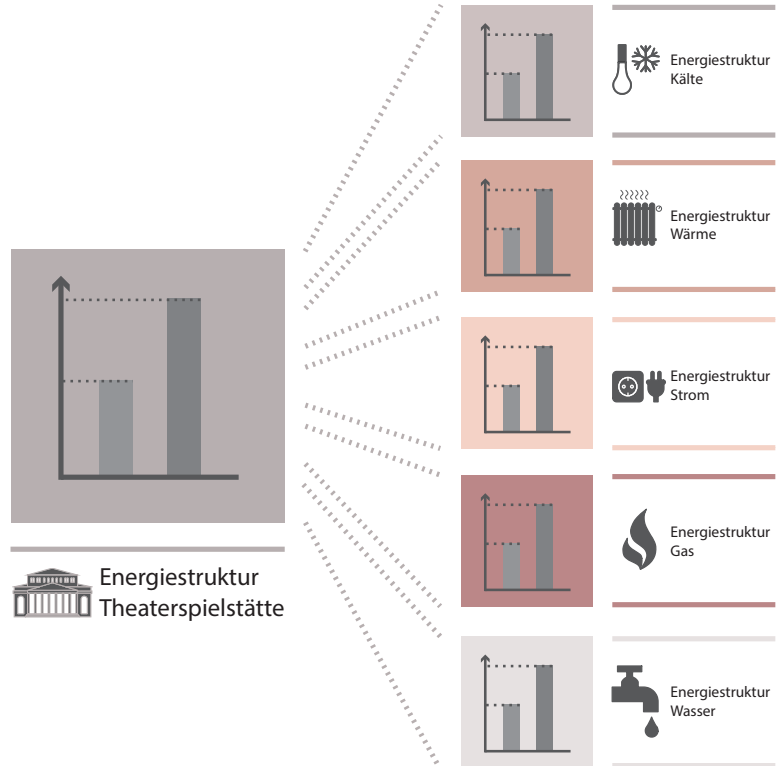


Abb. 15 Verbrauchs- und Bedarfsabgleich in den Theaterspielstätten

## 5. Ziele des Forschungsprojekts

Der Anteil des Gebäudebestands am Gesamtenergieverbrauch in Deutschland beträgt aktuell 40% und verursacht etwa 20% des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes. Ziel der Bundesregierung ist es, das hier liegende Potential zur Energieeinsparung mittels energetischer Gebäudesanierungen zu erschließen. Durch eine umfangreiche Sanierung der Gebäudehülle und die Umrüstung auf moderne Gebäudetechnik wird ein Energieeinsparpotential von bis zu 80% erwartet, weshalb die Maßnahmen der Bundesregierung darauf abzielen, die Sanierungsrate deutlich zu steigern. Beispielhafte Sanierungen prestigeträchtiger Bauten, wie die des Opern- und Schauspielhaus Köln, können durch ihre starke Öffentlichkeitswirksamkeit diese Ziele unterstützen. Durch die Gegenüberstellung des Intensivmonitorings dieses hochwertig sanierten Gebäudes mit der Querschnittsanalyse kann die generierte Energieeinsparung quantifiziert und bewertet werden. Hieraus können Rückschlüsse auf das gesamte, in diesem Gebäudetypus verborgen liegende Einsparpotential gezogen werden. Zum Verständnis der Struktur des Energieverbrauchs in Theaterspielstätten werden die Daten aller für die Querschnittsanalyse ausgewählten Spielstätten in TEK-Tool eingegeben. Bei diesem Excel-basierten Tool, welches an der Universität Wuppertal entwickelt wurde, handelt es sich um ein Werkzeug zur Analyse von Nichtwohngebäuden im Bestand, welches zur Berechnung des Energiebedarfs eine vereinfachte Bilanzierungsmethode in Anlehnung an die DIN V 18599 nutzt, bei der die Bilanz jedoch um den nutzungsspezifischen Stromverbrauch erweitert ist. Da die Struktur des Energieverbrauchs nach

Nutzungszonen und Gewerken abgebildet wird, können insbesondere durch die Gegenüberstellung der errechneten Bedarfswerte mit den gemessenen Energieverbrauchswerten energetische Schwachstellen identifiziert und Einsparpotentiale durch Modernisierungsmaßnahmen realistisch abgeschätzt werden. Des Weiteren entsteht ein Benchmarking des Gebäudetypus Theaterspielstätten, welches die Positionierung der Häuser ermöglicht und eine Identifizierung der Hochverbraucher erlaubt. Zusätzlich zur Ermittlung der aufgewendeten Energie sowie der Einsparpotentiale, können die durch die Messtorsi erhaltenen Daten Aufschluss über den Nutzerkomfort in den verschiedenen Spielstätten geben. Dies ermöglicht eine direkte Überprüfung der Verhältnismäßigkeit von Energieaufwand und Nutzen. Neben der Analyse des Energieeinsparpotentials werden durch das Forschungsprojekt Nutzungsschemata für diesen Gebäudetypus erstellt, die sowohl eine Anpassung der Nutzungsrandbedingungen der DIN V 18599 für Theater- und Verwaltungsbauten als auch Rückschlüsse auf die effiziente Steuerung der Anlagentechnik zulassen. Somit dient das Forschungsprojekt in erster Linie dem Verständnis der Struktur des Energieverbrauchs sowie der Abschätzung des energetischen Einsparpotentials. Darüber hinaus können weitere hilfreiche Erkenntnisse zum Gebäudetypus der Theaterspielstätten herausgearbeitet und in der Praxis angewendet werden.

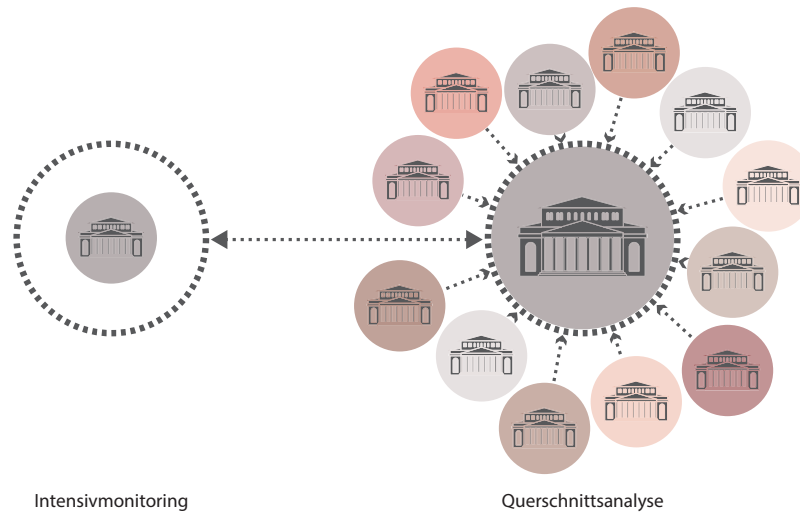


Abb. 16 Intensivmonitoring und Querschnittsanalyse

## Zuständigkeiten

Fördermittelgeber:	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)
Durchführung:	Technische Hochschule Köln, Fakultät für Architektur, Institut für EnergieEffiziente Architektur <sup>3</sup> (EEA <sup>3</sup> )
Projektleitung:	Prof. Dipl.-Ing. Eva-Maria Pape, Wiss. Mitarbeiterin Dipl.-Ing. Birgit D. Meier
Datenanalyse:	Wiss. Mitarbeiterin M.A. Carolin Kley
Komfortmessung:	Prof. Dr. rer. biol. hum. Jörg Reintsema, Fakultät für Energie- und Maschienensysteme, Institut für Technische Gebäudeausrüstung
Messaufbau:	technischer Mitarbeiter Thomas Manns



## Links

Technische Hochschule Köln  
<https://www.th-koeln.de>

Fakultät 05 - Institut für Energieeffiziente Architektur<sup>3</sup>  
<http://akoeln.de/profil/institute/06-eea3/>

Fakultät 09 - Institut für Technische Gebäudeausrüstung  
[https://www.th-koeln.de/anlagen-energie-und-maschinensysteme/startseite-tga-institut\\_12973.php](https://www.th-koeln.de/anlagen-energie-und-maschinensysteme/startseite-tga-institut_12973.php)

## Dank

Wir bedanken uns herzlich bei allen, die das Forschungsprojekt tatkräftig unterstützen. Besonderer Dank für eine gute Zusammenarbeit gilt Hubert Eckart, Geschäftsführer der Deutschen Theatertechnischen Gesellschaft und Dr. Annett Baumast, die sich intensiv dem Thema Kultur und Nachhaltigkeit widmet.

## Impressum

Herausgeber

Technische Hochschule Köln

Fakultät für Architektur

Institut für Energieeffiziente Architektur<sup>3</sup>

Stand 22.01.2016

# Technology Arts Sciences TH Köln

## Fakultät für Architektur

Institut für Energieeffiziente Architektur<sup>3</sup>

## Fakultät für Anlagen, Energie- und Maschinensysteme

Institut für Technische Gebäudeausrüstung

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

