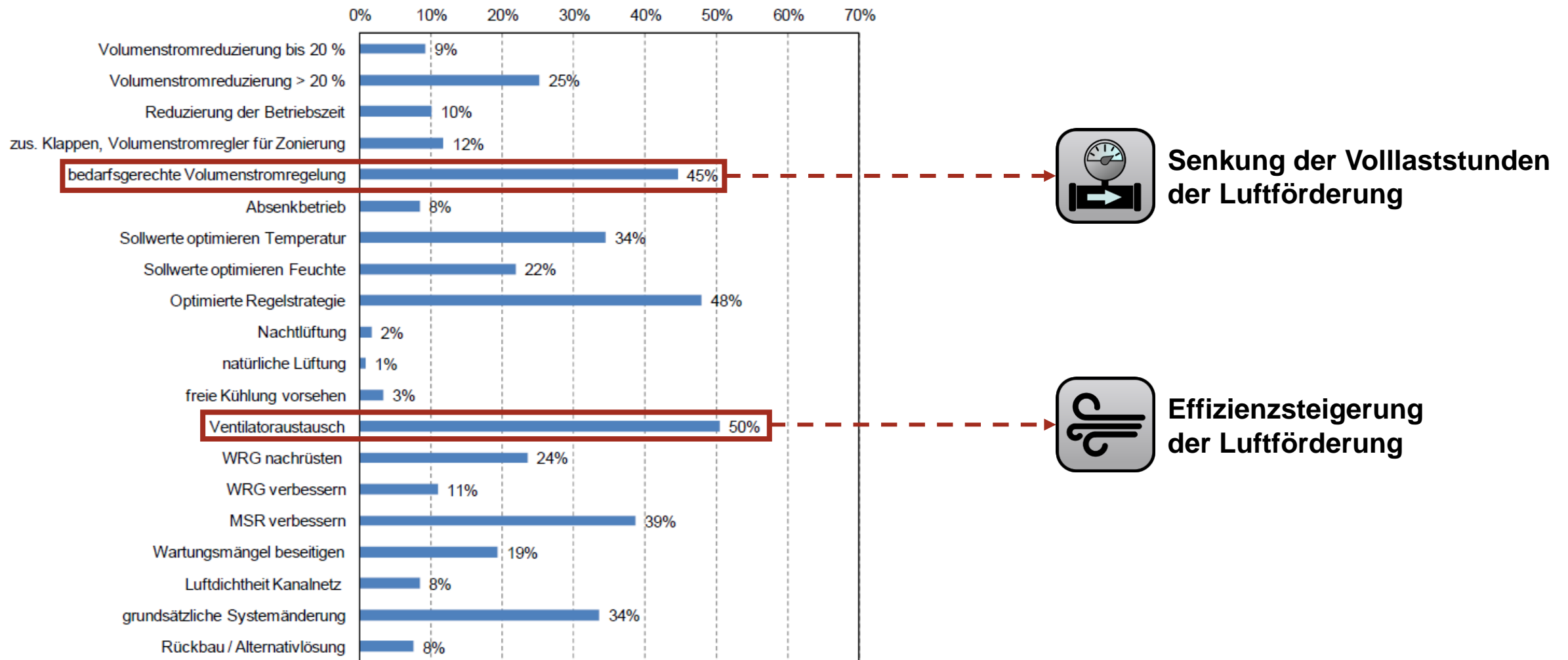


# CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten in der Lüftungstechnik für Büro- und Verwaltungsgebäude in Deutschland

Variable Volumenstromregelung und Erhöhung des Ventilatorwirkungsgrads

# Motivation: Übersicht Emissionseinsparmaßnahmen im Bereich Luftförderung in Gebäuden

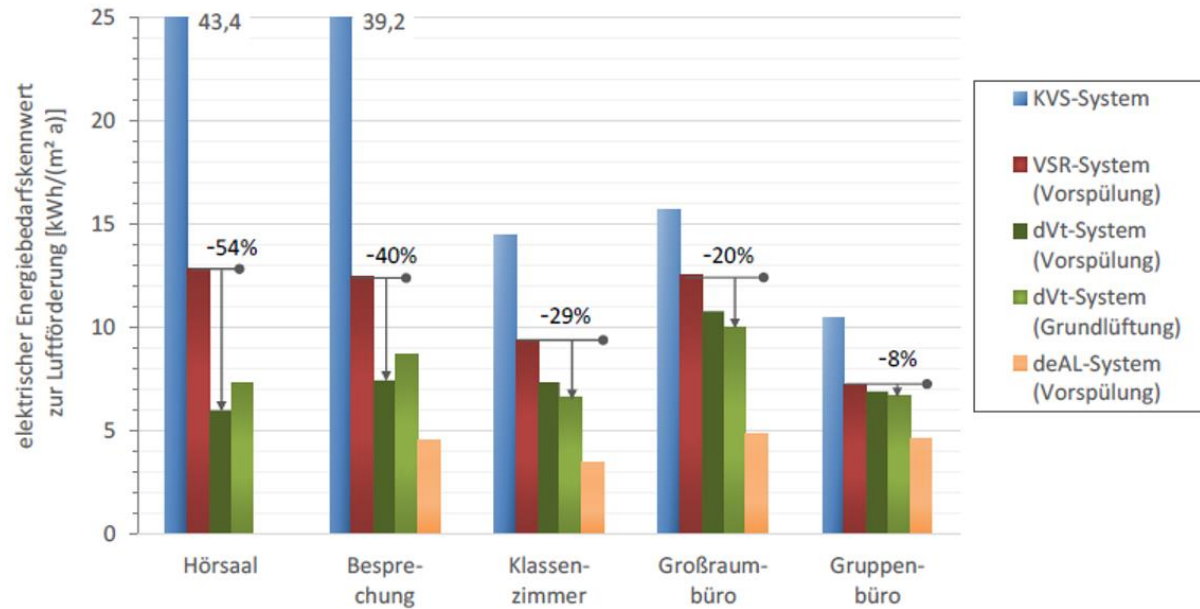


**Statistische Verteilung der Sanierungsempfehlungen nach Kategorien (RLT) – ungewichtete Häufigkeit in Abhängigkeit des Baualters**

Quelle: Chancen der Energetische Inspektion für Gesetzgeber, Anlagenbetreiber und die Branche, H. Schiller, R. Mai, C. Händel, Fraunhofer IRB Verlag, 2014

# Motivation: Einsparpotentiale Luftförderung

## Betriebsweise der Luftförderung



### Elektrischer Energiebedarfskennwert zur Luftförderung im Vergleich

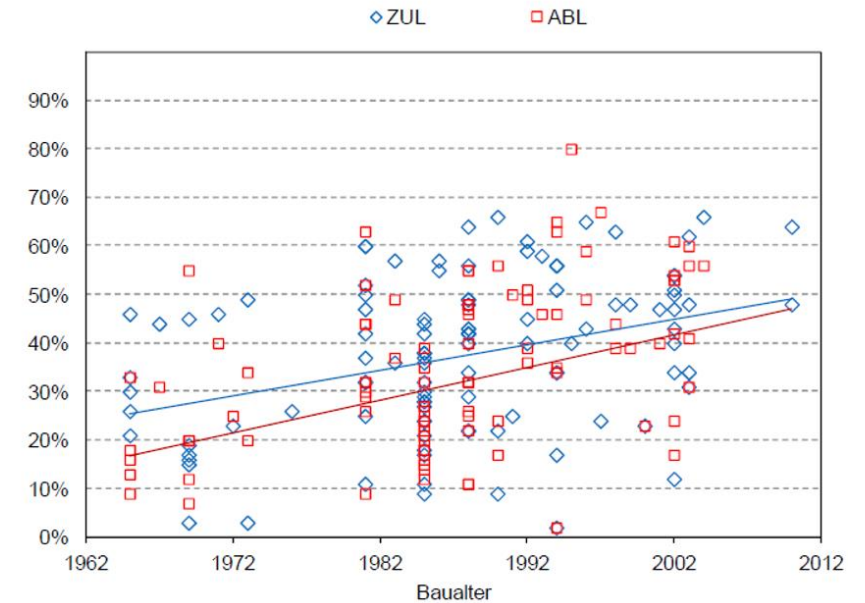
Quelle: Energetische und wirtschaftliche Bewertung von dezentralen Ventilatoren in zentralen Lüftungsanlagen, N. Alsen, Universität Kassel, 2017



### Maßnahme 1

Konstanter Volumenstrom → Variabler Volumenstrom

## Effizienz der Luftförderung



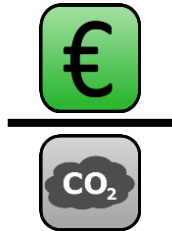
### Ventilator-Systemwirkungsgrade in Abhängigkeit des Baualters

Quelle: Chancen der Energetische Inspektion für Gesetzgeber, Anlagenbetreiber und die Branche, H. Schiller, R. Mai, C. Händel, Fraunhofer IRB Verlag, 2014



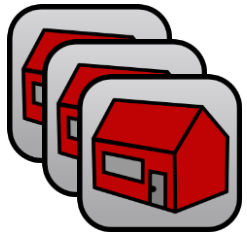
### Maßnahme 2

Steigerung des Ventilatorwirkungsgrads



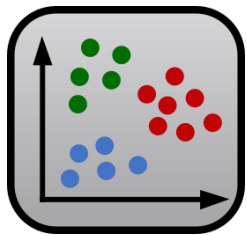
## 1. Ermittlung von CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten der Maßnahmen im Büro- und Verwaltungsbereich

- a) Anlagensimulation
- b) Wirtschaftlichkeitsberechnung



## 2. Ableitung Gesamtanzahl RLT-Anlagen im dt. NWG-Bestand

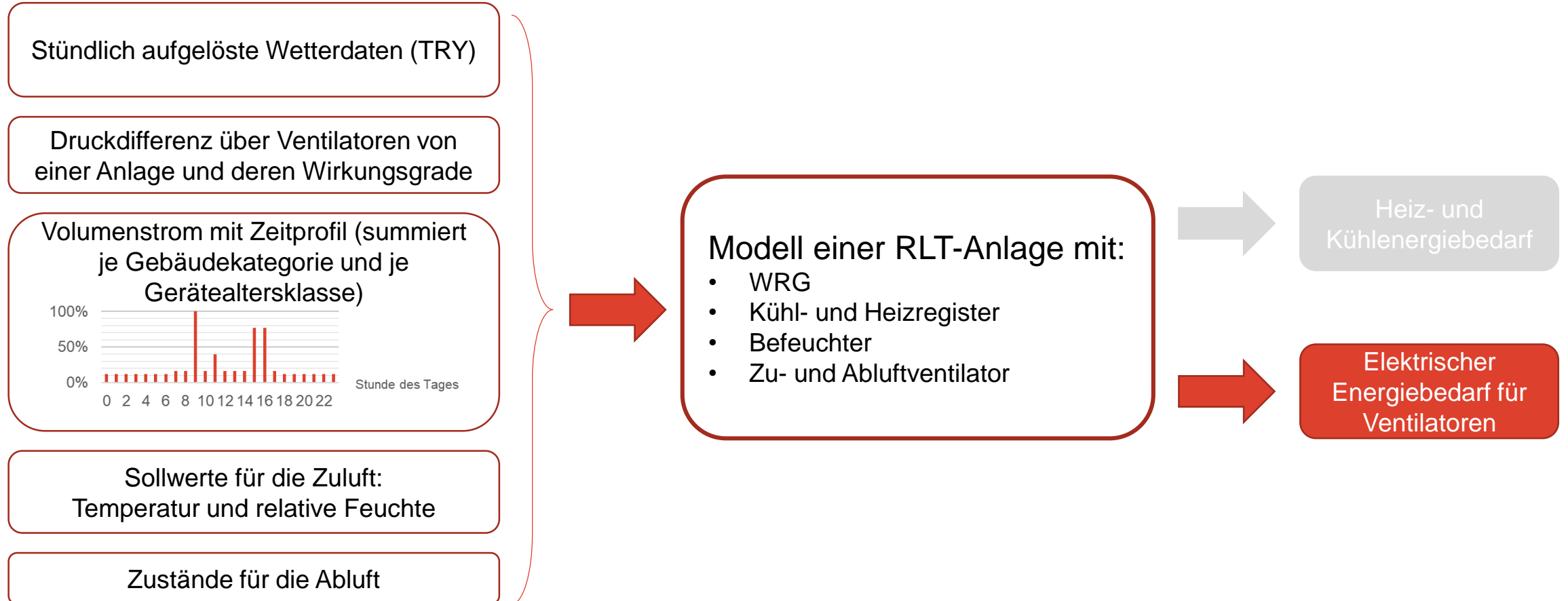
- a) Verkaufsdaten RLT-Herstellerverband 1993 – 2013
- b) Regressionsanalyse für 2014 – 2019
- c) Geräteanzahl in Betrieb aus den Jahren 1993 – 2019: ca. 936.000



## 3. Aufteilung der RLT-Anlagen auf NWG-Kategorien

- a) Definition von NWG-Kategorien
- b) Bestimmung von RLT-Ausstattungswahrscheinlichkeiten je NWG-Kategorie
- c) Zuteilung realer Geräte zu den NWG-Kategorien
- d) Detailbetrachtung der bestehenden Büro- und Verwaltungsgebäude

# Simulationsframework



# Anlagensimulation Bürogebäude

## ■ Eingangsparmeter in Berechnungen für ein Beispielgebäude mit 4.500 m<sup>2</sup> Nutzfläche

Variante	1: KVS	2: VVS	3: VVS + Ventilatortausch
Volumenstromregelung	KVS	VVS	VVS
Maximaler Volumenstrom [m <sup>3</sup> /h]	14.000	14.000	14.000
Druckdifferenz Zuluftventilator* [Pa]	1.082	1.082	1.082
Druckdifferenz Abluftventilator* [Pa]	903	903	903
Systemwirkungsgrade der Ventilatoren für Zu- und Abluft	0,40*	0,40*	0,62**

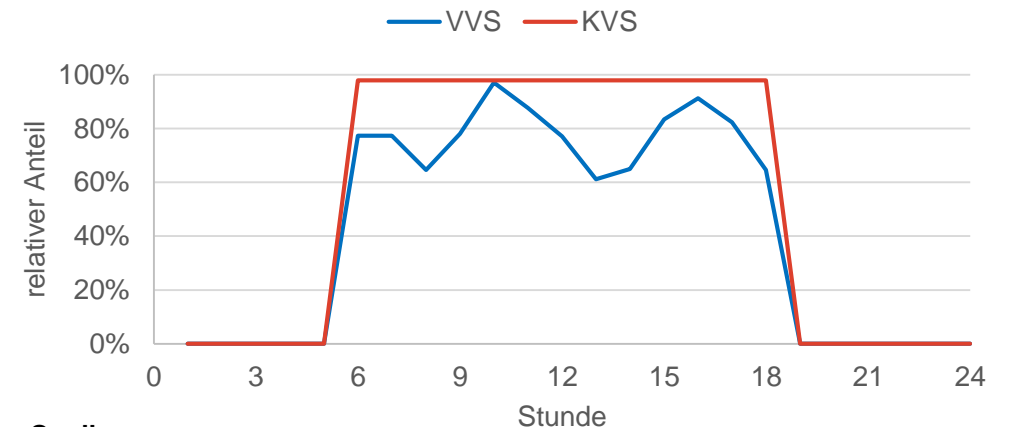
\* Ermittelt mit Verkaufsdaten und Trendlinien in der Studie *Chancen der Energetische Inspektion für Gesetzgeber, Anlagenbetreiber und die Branche*, H. Schiller, R. Mai, C. Händel, Fraunhofer IRB Verlag, 2014

\*\* Beispielwert für Stand der Technik

## ■ Erstellung des Lüftungsprofils für VVS:

- ≡ Lüftungsprofil verschiedener Nutzungsarten
- ≡ Flächenverteilung der Nutzungsarten innerhalb eines typischen Bürogebäudes
- ≡ Gewichtung nach Volumenstrombedarf von jeder Zone
- ≡ Annahme: kein Luftvolumenstrom am Wochenende

Angenommenes Lüftungsprofil am Wochentag



### Quellen

- DIN V 18599-10 (2016)
- SIA 2024 (2015)
- *Energetische und wirtschaftliche Bewertung von dezentralen Ventilatoren in zentralen Lüftungsanlagen*, N. Alsen, 2017

# Ergebnisse Maßnahmen am Einzelgebäude Büro

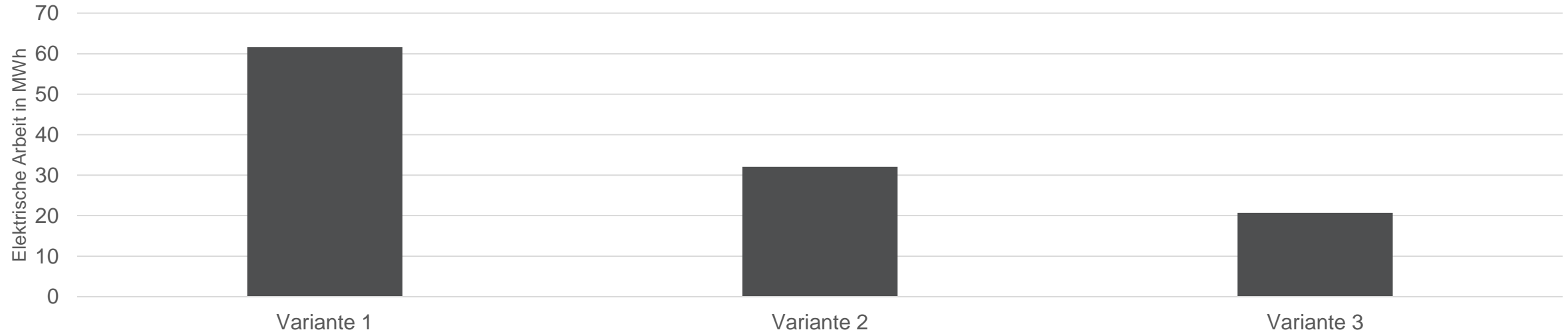
## ■ Eingangsparmeter in Berechnungen für ein Beispielgebäude mit 4.500 m<sup>2</sup> Nutzfläche

Variante	1: KVS	2: VVS	3: VVS + Ventilatortausch
Volumenstromregelung	KVS	VVS	VVS
Maximaler Volumenstrom [m <sup>3</sup> /h]	14.000	14.000	14.000
Druckdifferenz Zuluftventilator* [Pa]	1.082	1.082	1.082
Druckdifferenz Abluftventilator* [Pa]	903	903	903
Systemwirkungsgrade der Ventilatoren für Zu- und Abluft	0,40*	0,40*	0,62**

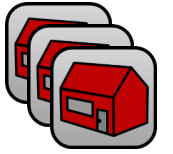
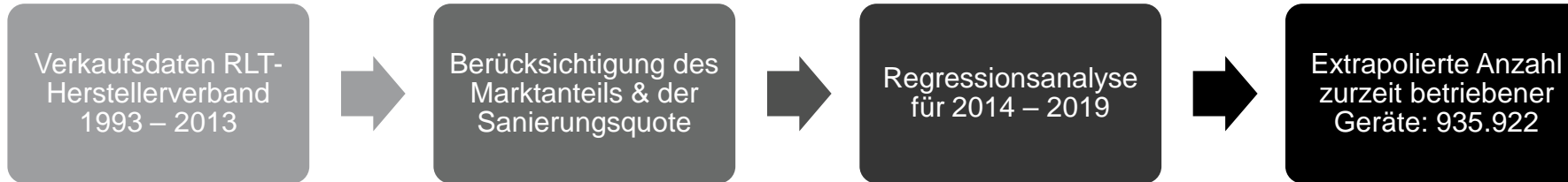
\* Ermittelt mit Verkaufsdaten und Trendlinien in der Studie *Chancen der Energetische Inspektion für Gesetzgeber, Anlagenbetreiber und die Branche*, H. Schiller, R. Mai, C. Händel, Fraunhofer IRB Verlag, 2014

\*\* Beispielwert für Stand der Technik

### Strombedarf der RLT-Anlage



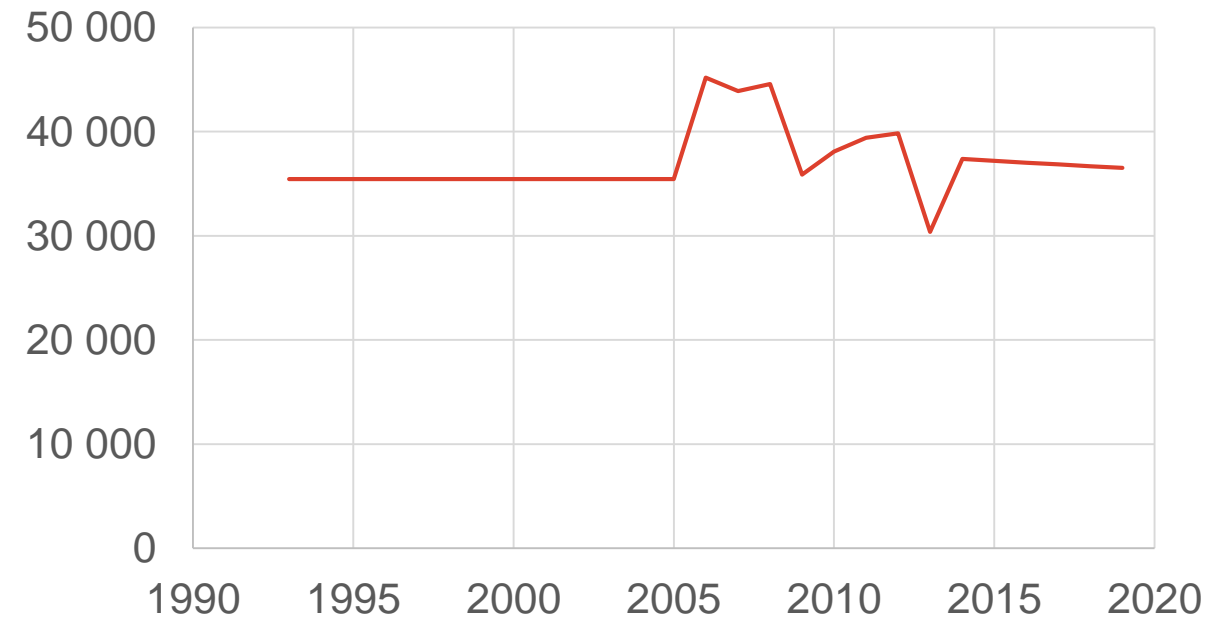
# Ableitung Gesamtanzahl RLT-Anlagen im dt. NWG-Bestand



## ■ Datengrundlage

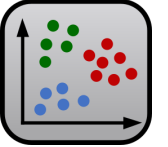
- ≡ 1993 – 2005: abgeschätzter Mittelwert durch RLT-Herstellerband
- ≡ 2006 – 2013: exakte Verkaufsdaten des RLT-Herstellerbands
- ≡ 2014 – 2019: Regressionsanalyse EBC RWTH Aachen

## RLT-Anlagen in Deutschland





# Definition von NWG-Kategorien



- Bildungsgebäude
- Büro- und Verwaltungsgebäude
- Fabrikgebäude
- Lagerhallen
- Werkstattgebäude
- Allgemeine Gewerbe- und Industriegebäude
- Handelsgebäude
- Heilbehandlungsgebäude
- Sporthallen
- Schwimmbhallen
- Kulturbauten
- Beherbergungsgebäude
- Gaststätten und Restaurants



NWG-Kategorien - Gebäudeanteile	
Bildungsgebäude	4,7 %
Büro- und Verwaltungsgebäude	9,8 %
Gewerbe- und Industriegebäude	59,5 %
Handelsgebäude	10,2 %
Heilbehandlungsgebäude	4,2 %
Gaststätten und Restaurants	3,7 %
Kultur, Sport, Herberge	7,9 %

## Nichtwohngebäudekategorien

Quelle: Systematische Datenanalyse im Bereich der Nichtwohngebäude

Erfassung und Quantifizierung von Energieeinspar- und CO<sub>2</sub>-Minderungspotenzialen, BMVBS, 2013

# Aufteilung der RLT-Anlagen auf NWG-Kategorien



## Distanzbasierter Verteilungsalgorithmus

- Grundlage: Volumenströme der RLT-Verkaufsdaten
- Entfernung des Volumenstroms eines einzelnen Gerätes zu mittlerem Volumenstrom einer NWG-Kategorie bestimmt Wahrscheinlichkeit der Zuordnung zu dieser Kategorie



## Gebäudeverteilung

- Zusätzliche Gewichtung des Gebäudeanteils jeder Kategorie in Deutschland



erzeugung		1	2	3	4	5	6
essel Öl/Gas	überwiegend						
ärme	selten						
Biomasse	sehr selten						
	sehr selten						
ieübergabe		1	2	3	4	5	6
he Heizflächen	überwiegend						
nheizung	selten						
izung	gar nicht						
warmwassererzeugung		1	2	3	4	5	6
	sehr selten						
tral elektrisch	oft						
armwasser							
chtung							
stoffröhre							
NaQL							
anische Lü							
e vorhanden							
tisierung							
vorhanden							

## Ausstattungs-wahrscheinlichkeit

- Zusätzliche Gewichtung der Wahrscheinlichkeit, dass ein Gebäude einer Kategorie mit einer RLT-Anlage ausgestattet ist

# Aufteilung der RLT-Anlagen auf NWG-Kategorien: Verteilungsalgorithmus

## ■ Festlegen mittlerer Volumenströme pro NWG-Kategorie



### Distanzbasierter Verteilungsalgorithmus

- Grundlage: Volumenströme der RLT-Verkaufsdaten
- Entfernung des Volumenstroms eines einzelnen Gerätes zu **mittlerem Volumenstrom einer NWG-Kategorie** bestimmt Wahrscheinlichkeit der Zuordnung zu dieser Kategorie

#### Quellen

\* SIA 2024

\*\* Systematische Datenanalyse im Bereich der Nichtwohngebäude Erfassung und Quantifizierung von Energieeinspar- und CO<sub>2</sub>-Minderungspotenzialen, BMVBS, 2013



	Mittlerer Volumenstrom je Gerät [m <sup>3</sup> /h]
<b>Bildungsgebäude</b>	<b>11.319</b>
<b>Büro- und Verwaltungsgebäude</b>	<b>4.053</b>
<b>Gewerbe- und Industriegebäude</b>	<b>1.750</b>
<b>Handelsgebäude</b>	<b>2.045</b>
<b>Heilbehandlungsgebäude</b>	<b>2.341</b>
<b>Gaststätten und Restaurants</b>	<b>1.569</b>
<b>Kultur, Sport, Herberge</b>	<b>4.432</b>

# Aufteilung der RLT-Anlagen auf NWG-Kategorien: Gebäudeverteilung



## Distanzbasierter Verteilungsalgorithmus

- Grundlage: Volumenströme der RLT-Verkaufsdaten
- Entfernung des Volumenstroms eines einzelnen Gerätes zu mittlerem Volumenstrom einer NWG-Kategorie bestimmt Wahrscheinlichkeit der Zuordnung zu dieser Kategorie



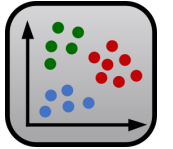
## Gebäudeverteilung

- Zusätzliche Gewichtung des Gebäudeanteils jeder Kategorie in Deutschland



# Aufteilung der RLT-Anlagen auf NWG-Kategorien: RLT-Ausstattungswahrscheinlichkeiten

- Anlagentechnik variiert je nach NWG-Kategorie
- Ableitung von Ausstattungswahrscheinlichkeit für RLT



Wärmeerzeugung		1	2	3	4	5	6	7
Heizkessel Öl/Gas	überwiegend		■					
Fernwärme	selten					■		
feste Biomasse	sehr selten						■	
BHKW	sehr selten						■	
Wärmeübergabe		1	2	3	4	5	6	7
statische Heizflächen	überwiegend		■					
Flächenheizung	selten					■		
Luftheizung	gar nicht							■
Trinkwarmwassererzeugung		1	2	3	4	5	6	7
zentral	sehr selten						■	
dezentral elektrisch	oft			■				
kein Warmwasser	gelegentlich				■			
Beleuchtung		1	2	3	4	5	6	7
Leuchtstoffröhre	immer	■						
HQL / NaQL	gar nicht							■
mechanische Lüftung		1	2	3	4	5	6	7
Anlage vorhanden	sehr selten						■	
Klimatisierung		1	2	3	4	5	6	7
Anlage vorhanden	gar nicht							■



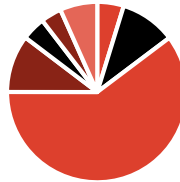
Ausstattungswahrscheinlichkeiten für verschiedene gebäudetechnische Anlagen

Quelle: Typologie und Bestand beheizter Nichtwohngebäude in Deutschland, BMVBS, 2011

# Aufteilung der RLT-Anlagen auf NWG-Kategorien



1. Distanzbasierter Verteilungsalgorithmus

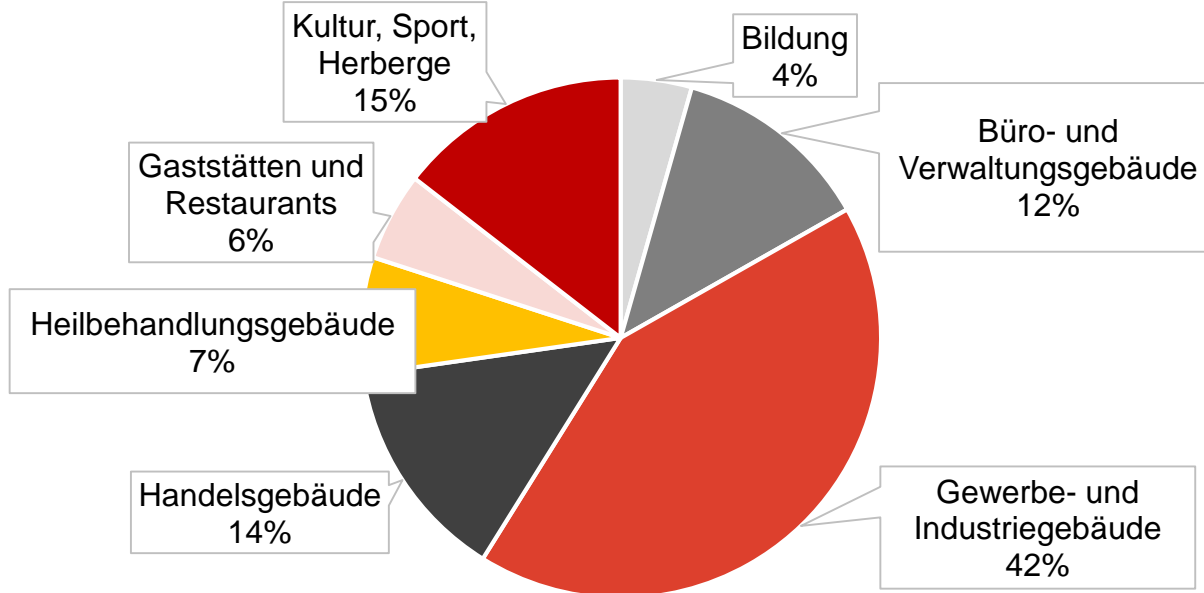


2. NWG-Gebäudeverteilung

Wärmeerzeugung	Überwiegend	1	2	3	4	5	6	7
Heizkessel/Öfen	überwiegend							
Fernwärme	selten							
Feste Biomasse	sehr selten							
Gas	sehr selten							
<b>Wärmepumpe</b>		1	2	3	4	5	6	7
statische Heizflächen	überwiegend							
Flächenheizung	selten							
Luftheizung	gar nicht							
<b>Elektrische Wärmeerzeugung</b>		1	2	3	4	5	6	7
Gas	sehr selten							
dezentral elektrisch	oft							
kein Warmwasser	gelegentlich							
Balkenheizung		1	2	3	4	5	6	7
Leuchtblöcke	immer							

3. RLT-Ausstattungs-  
wahrscheinlichkeiten

Verteilung RLT-Anlagen



Anzahl RLT-Anlagen

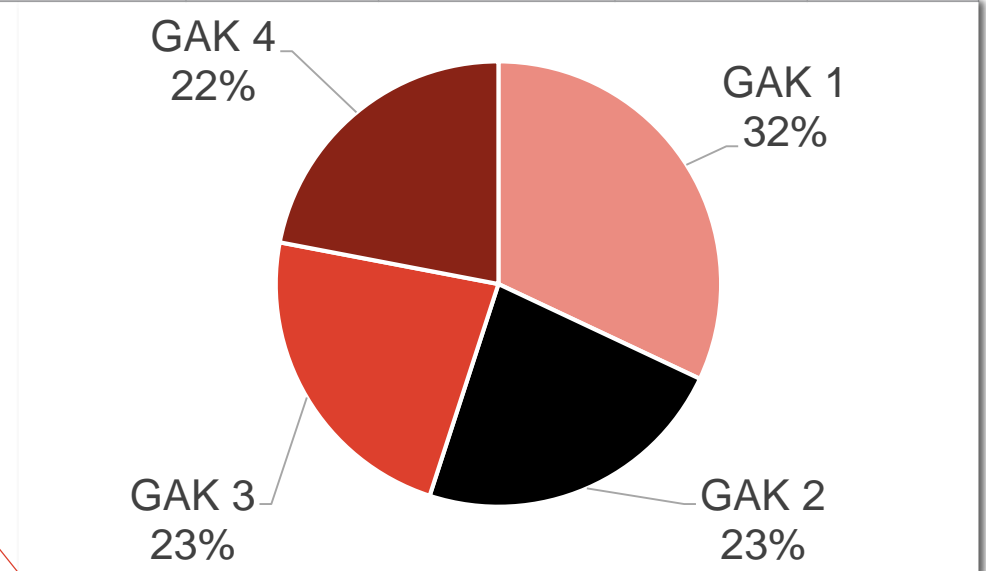
Bildungsgebäude	41.274
Büro- und Verwaltungsgebäude	115.867
Gewerbe- und Industriegebäude	393.930
Handelsgebäude	129.719
Heilbehandlungsgebäude	68.042
Gaststätten und Restaurants	51.289
Kultur, Sport, Herberge	135.802
<b>Gesamt:</b>	<b>935.922</b>

# Fokus Büro- und Verwaltungsgebäude (BuV)

## ■ Berücksichtigung des Gerätealters

Hochrechnung – Anzahl RLT-Anlagen	
Bildungsgebäude	41.274
<b>Büro- und Verwaltungsgebäude</b>	<b>115.867</b>
Gewerbe- und Industriegebäude	393.930
Handelsgebäude	129.719
Heilbehandlungsgebäude	68.042
Gaststätten und Restaurants	51.289
Kultur, Sport, Herberge	135.802
<b>Gesamt:</b>	<b>935.922</b>

Gerätealtersklasse ermittelt aus Verkaufsdaten RLT-Herstellerverband				
Klasse	GAK 1	GAK 2	GAK 3	GAK 4
Jahre	bis 2001	2002 bis 2007	2008 bis 2013	ab 2014



## ■ Gerätealtersklasse

- ≡ Unterschiedliche Ventilatorwirkungsgrade
- ≡ Unterschiedliche Verteilung der KVS- und VVS-betriebenen Anlagen in Deutschland

# Anlagensimulation und Wirtschaftlichkeitsberechnung für BuV in Deutschland



## Maßnahme 1

Umstellung von Konstanter Volumenstromregelung (KVS) auf variable Volumenstromregelung (VVS)



## Maßnahme 2

Maßnahme 1 + Steigerung des Ventilatorwirkungsgrads durch Austausch des Ventilators

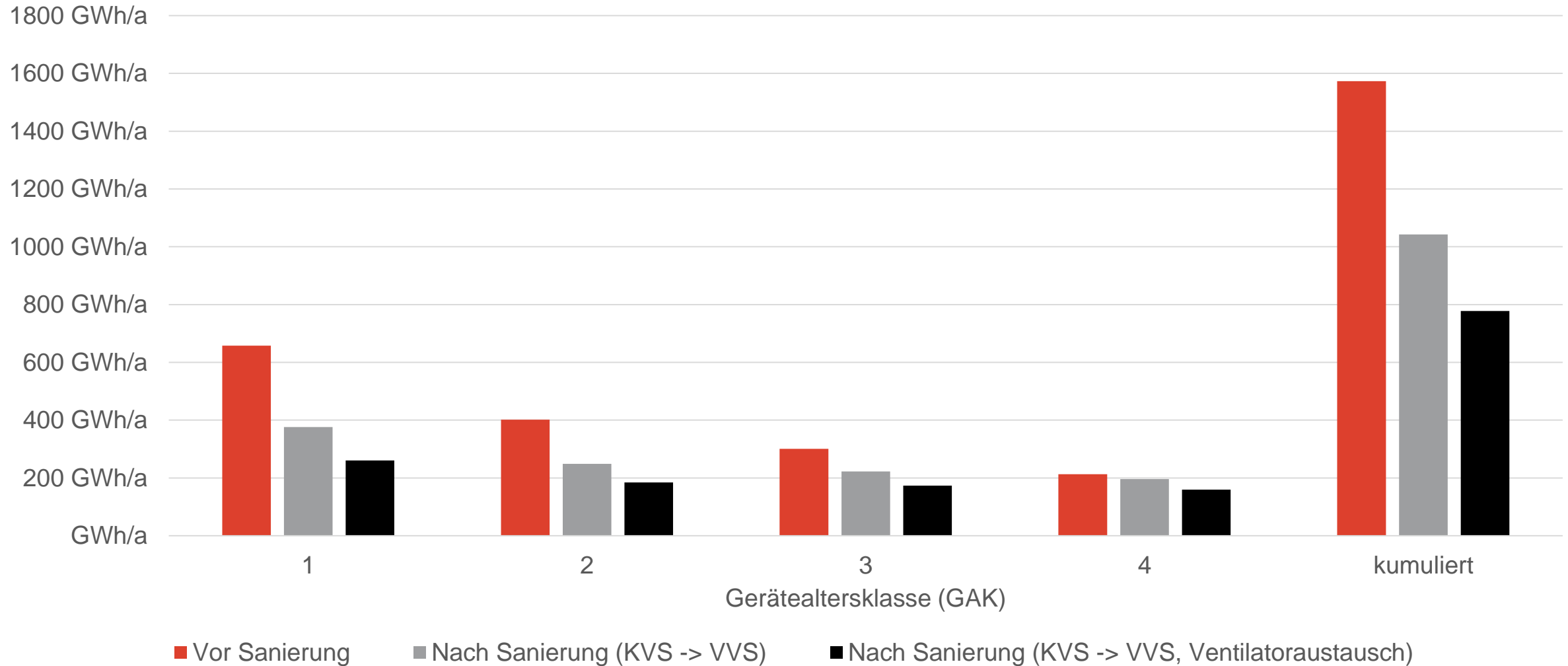
### Randbedingungen

Ökonomisch	
Nutzungsdauer	15 a
Nominalzins	2,2 %
Inflationsrate	1,4 %
Realzins	0,8 %
Rentenbarwertfaktor	14,08
Instandhaltung und -setzung anteilig an Investition pro Jahr	2,35 %
Stromkosten	16,4 ct./kWh
Ökologisch	
Emissionsfaktor Strom	518 g/kWh
Emissionen Herstellung	500 g/€-Invest
Emissionen Wartung	220 g/€-Wartung



# Detailbetrachtung Büro- und Verwaltungsgebäude (BuV)

## Strombedarf aller BuV-Gebäude in Deutschland mit masch. Lüftungsanlage



# CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten der Luftförderung für den Bestand der Büro- und Verwaltungsgebäude



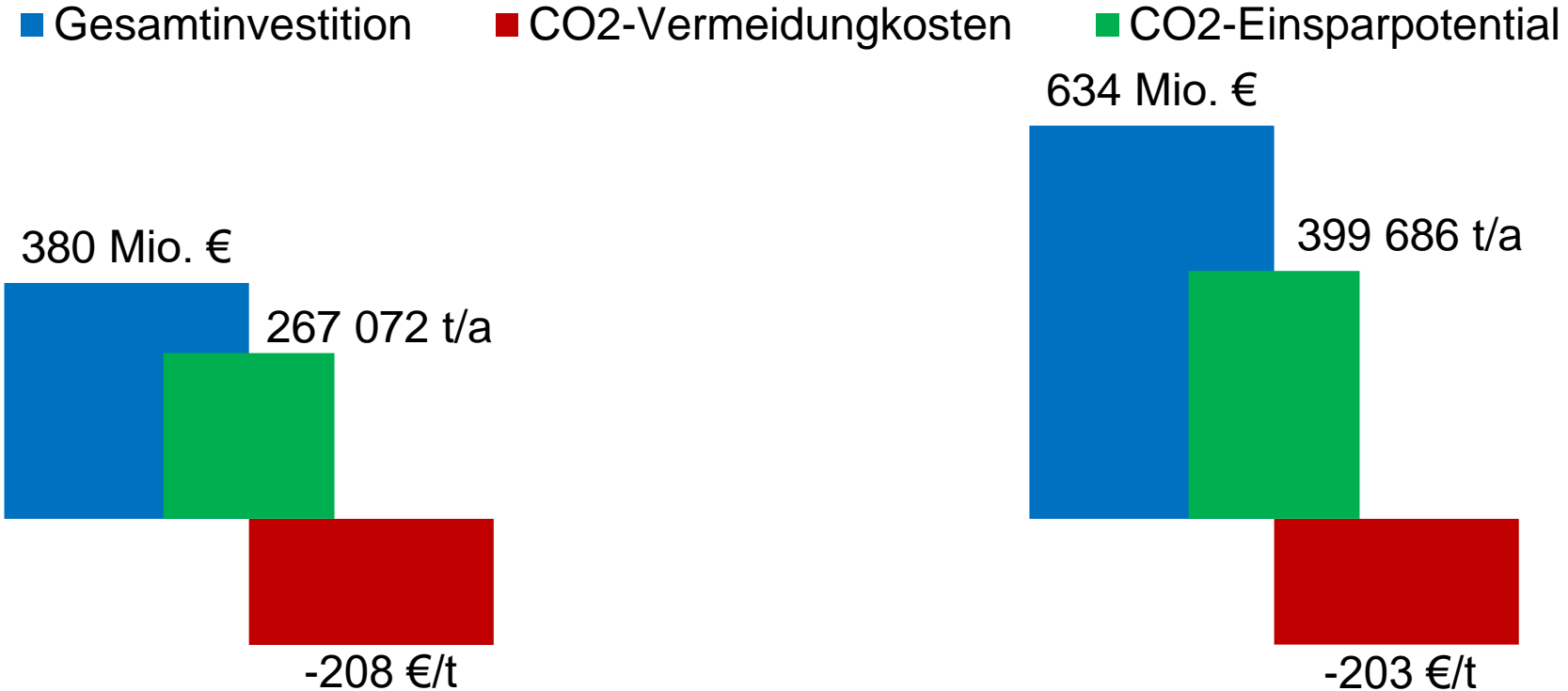
## Maßnahme 1

Umstellung von Konstanter Volumenstromregelung (KVS) auf variable Volumenstromregelung (VVS)



## Maßnahme 2

Maßnahme 1 + Steigerung des Ventilatorwirkungsgrads durch Austausch des Ventilators



## ■ Investitionen

≡ Maßnahme 1: Umstellung KVS → VVS

= 6.000 €

= Volumenstromregler, Sensorik, Verkabelung, Montage, Programmierung

≡ Maßnahme 2: Maßnahme 1 + Ventilatortausch

= Maßnahme 1 + 4.000€ = 10.000 €

= Maßnahme 1 + Material und Montage für Ventilatortausch