

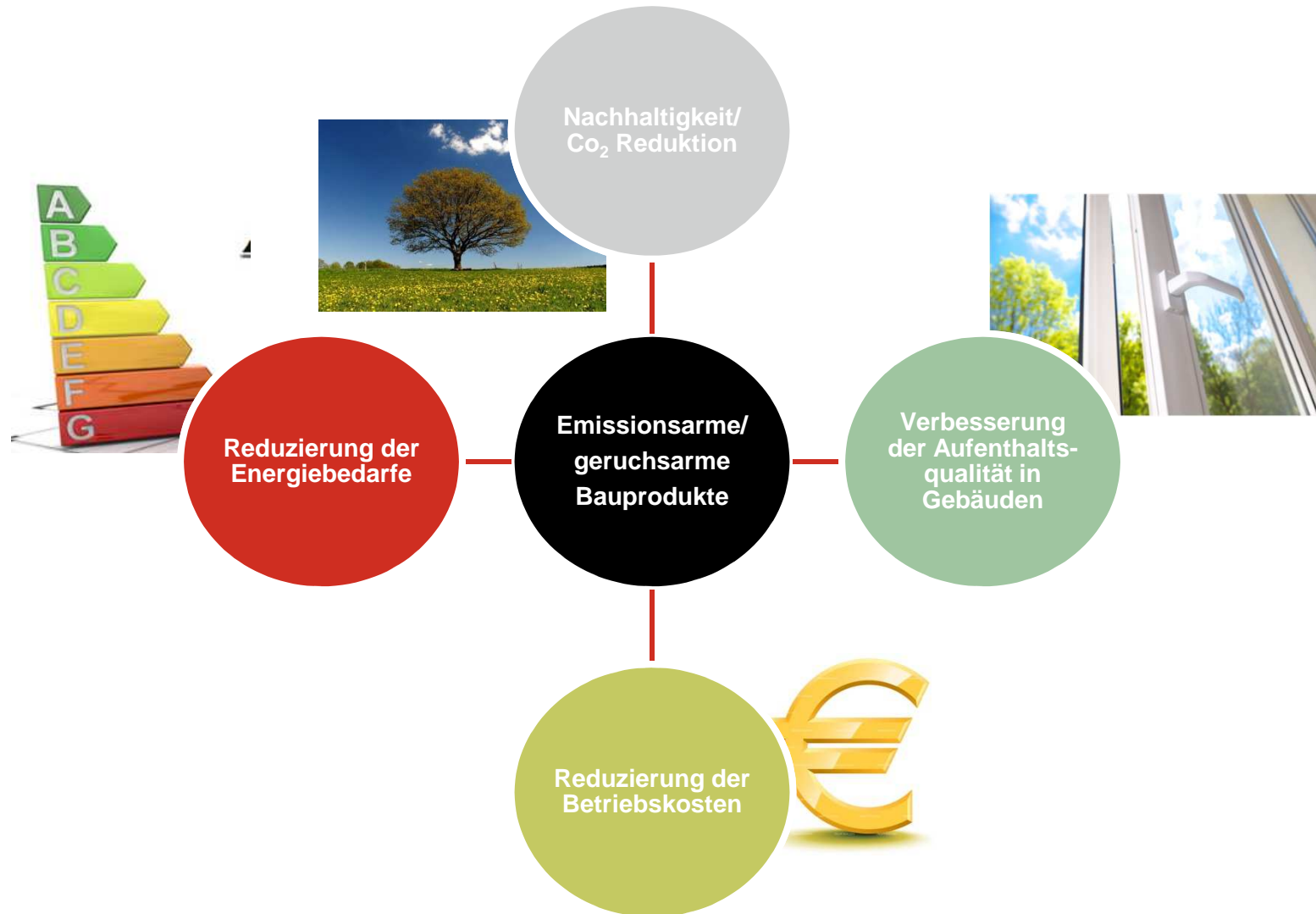
Nachhaltiges und energieeffizientes Bauen – nur mit geruchsarmen Bauprodukten!

**Univ.-Prof. Dr.-Ing.
Dirk Müller**

**RWTH Aachen University
E.ON Energy Research Center
Institute for Energy Efficient Buildings and Indoor Climate
Germany**

Fachkonferenz zum Abschluss der Pilotphase des AgBB zur Geruchsprüfung von Bauprodukten

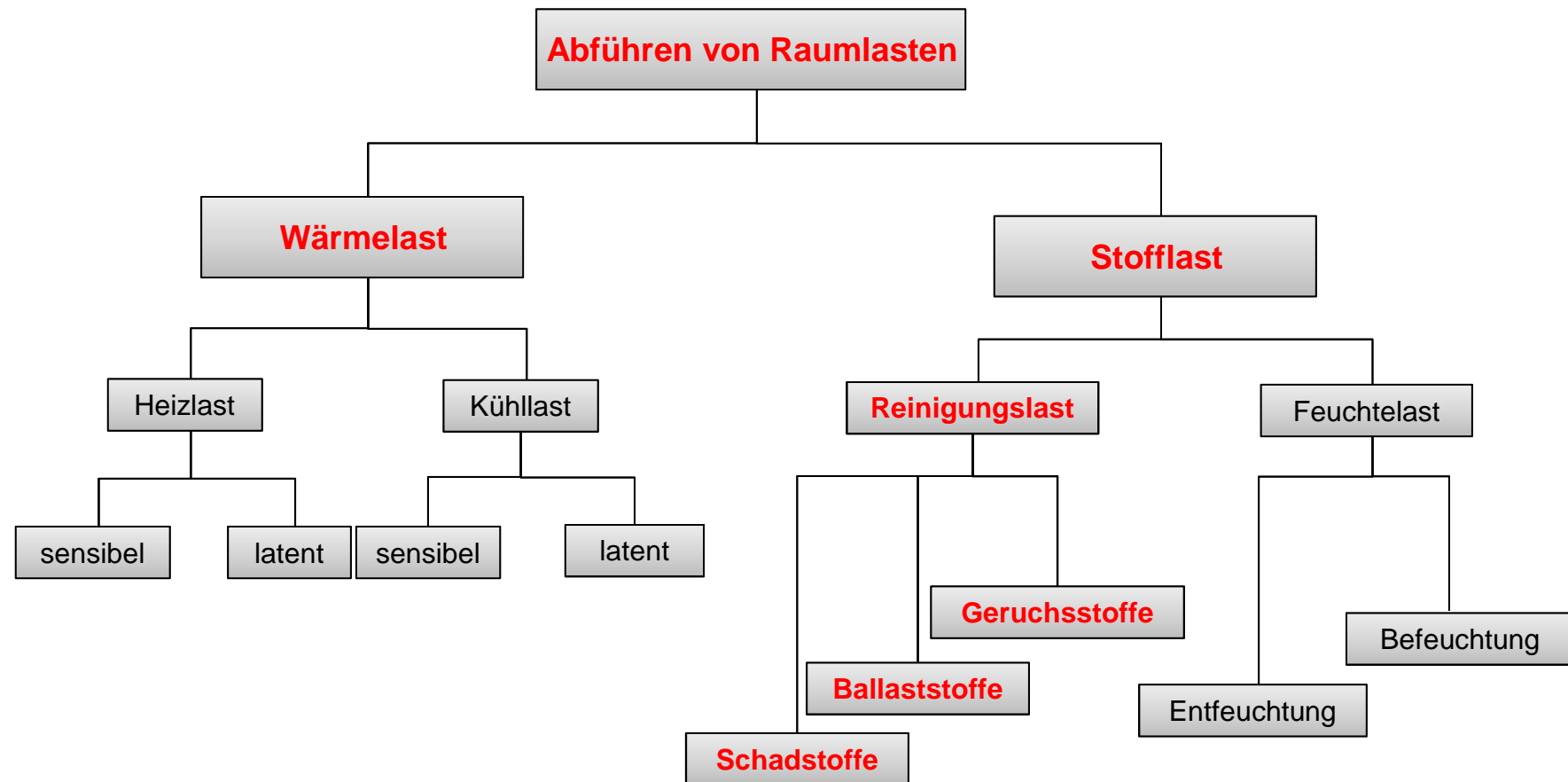
Emissionsarme Bauprodukte- ein zentraler Bestandteil auf dem Weg zum energieeffizienten Bauen



Gliederung

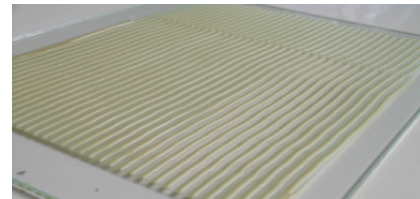
- **Raumlasten in Gebäuden**
- Einführung Luftqualität
- Bewertung der Raumluftqualität mit Probanden
- Einführung von Materialkennlinien
- Berechnungsgrundlagen für den Luftvolumenstrom
- Bedarfsgeregelte Lüftung
- Beispielrechnung: Heizwärmebedarf eines Großraumbüros bei unterschiedlichen Anwesenheitsprofilen und Gebäudekategorien
- Zusammenfassung

Raumlasten in Gebäuden



Verunreinigungsquellen im Raum

- Personen
 - Bioeffluenzen
 - Raucher
- Zuluftqualität
 - RLT-Anlagen
 - Außenluftqualität
- Raumausstattung
 - Möbel
 - Teppich
 - Wandfarbe



Wahrgenommene und messbare Größen

Zu den technisch messbaren Größen der Luftqualität gehören:

- gasförmige Inhaltsstoffe
- Partikel und Fasern
- Pilzsporen
- Viren
- Bakterien
- Allergene



Zu den nur durch den Menschen wahrgenommenen Kriterien für die Luftqualität gehören:

- Geruchsintensität
- Geruchseindruck/Hedonik
- Akzeptanz (empfundene Luftqualität)

Gliederung

- Raumlaster in Gebäuden
- Einführung Luftqualität
- Bewertung der Raumluftqualität mit Probanden
- Einführung von Materialkennlinien
- Berechnungsgrundlagen für den Luftvolumenstrom
- Bedarfsgeregelte Lüftung
- Beispielrechnung: Heizwärmebedarf eines Großraumbüros bei unterschiedlichen Anwesenheitsprofilen und Gebäudekategorien
- Zusammenfassung

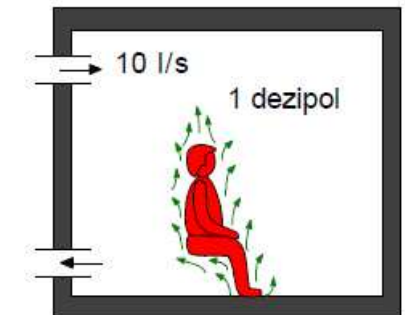
Einführung Luftqualität

- Jeder Mensch empfindet Luftqualität anders.
- Grundsätzlich wird beim Betreten eines Raumes die Luftqualität deutlich schlechter eingestuft als bei längerem Aufenthalt (Adaptionseffekt).
- Durch die energetisch optimierte Bauweise von Gebäuden muss heute gezielter gelüftet werden als zu früheren Zeiten.
- Anforderungen an die Luftqualität:
 - Das Einatmen der Luft darf kein Gesundheitsrisiko (z.B. Sick Building Syndrome) darstellen
 - Die Luft soll als frisch und angenehm empfunden werden



Kurze Historie der Luftqualität

- Mitte 19. Jahrhundert, Hygieniker Max Pettenkofer
 - Einführung des CO_2 Gehalts als Indikator für die Verunreinigung durch Personen
 - CO_2 Konzentration von 1.000 ppm (Pettenkoferzahl) sollte nicht überschritten werden.
- 1936/1937, Yaglou
 - Luftqualität wird direkt beim betreten des Raumes durch Menschen beurteilt (keine Adaptionseffekte).
 - Subjektive Bewertung, die über statistische Auswertungen über die Unzufriedenheit der Nutzer objektiviert werden.
- Mitte 20. Jahrhundert, Ole Fanger
 - Nachweis bezüglich eines negativen Einflusses zwischen schlechter Raumqualität und Asthma bei Kindern sowie Einbußen der Produktivität am Arbeitsplatz
 - Einführung der Einheit „Olf“ und „dezipol“ als Maßstab für die Stärke einer Geruchsbelastung

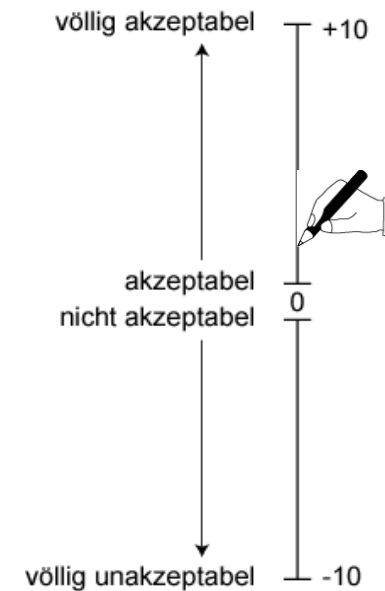


Gliederung

- Raumlaster in Gebäuden
- Einführung Luftqualität
- **Bewertung der Raumluftqualität mit Probanden**
- Einführung von Materialkennlinien
- Berechnungsgrundlagen für den Luftvolumenstrom
- Bedarfsgeregelte Lüftung
- Beispielrechnung: Heizwärmebedarf eines Großraumbüros bei unterschiedlichen Anwesenheitsprofilen und Gebäudekategorien
- Zusammenfassung

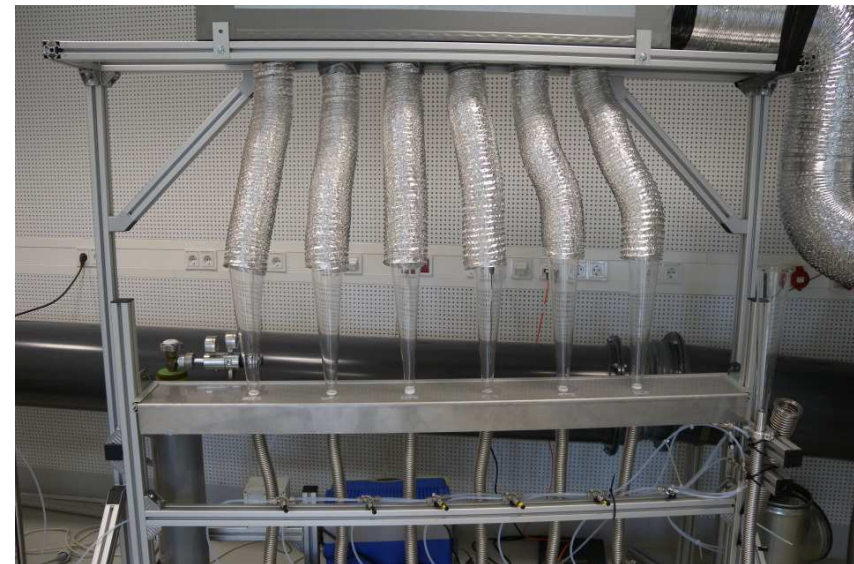
Sensorische Bewertung der Luftqualität nach DIN EN ISO 16000-28

- Bewertung der Luftqualität ohne Vergleichsmaßstab:
 - Akzeptanz Abfragen
 - 2-Punkt-Skala oder Akzeptanzskala.
 - obere Grenze bei 100% Unzufriedener.
 - große Zahl an Testpersonen (min. 15 Personen) notwendig.
 - Hedonische Bewertung
 - 9 Punkt-Skala.
 - Frage: „Stellen Sie sich vor, Sie würden mehrere Stunden täglich der Luft ausgesetzt sein. Wie angenehm ist die Luftqualität?“
 - min. 8 untrainierte Probanden.



Sensorische Bewertung der Luftqualität nach DIN EN ISO 16000-28

- Bewertung mit Vergleichsmaßstab
 - Die empfundene Intensität wird mit einem Vergleichsmaßstab (unterschiedliche Acetonkonzentrationen) bestimmt.
 - Zur Verhinderung von Adaptionseffekten muss die Nase zwischendurch mit neutraler Luft „gespült“ werden.
 - Mindestens 8 trainierte Probanden sollten eingesetzt werden.



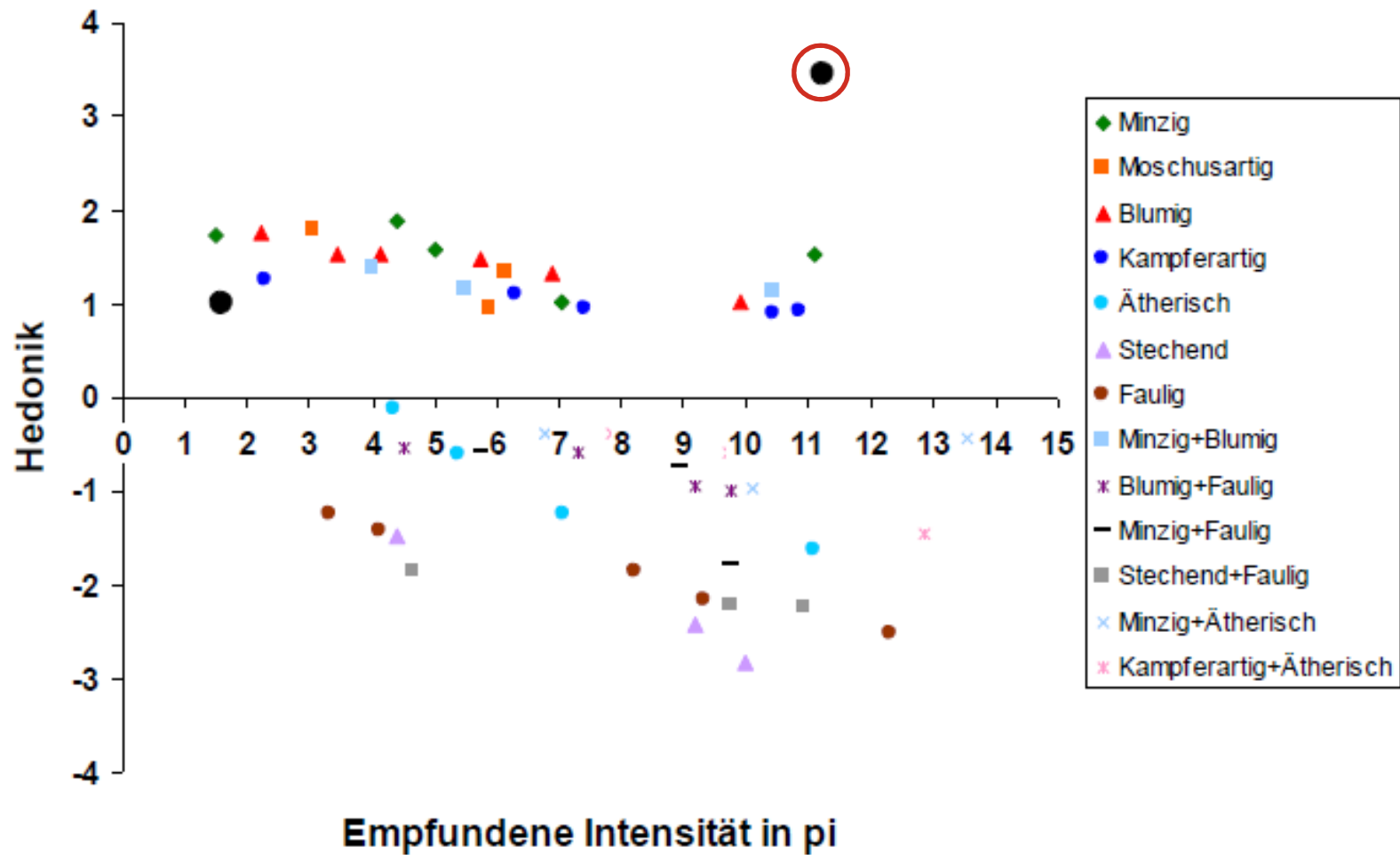
Empfundene Intensität Π

- Die empfundene Intensität Π kann nur mit trainierten Probanden unter Einsatz eines Vergleichsmaßstabes bestimmt werden.
- Die Einheit von Π ist pi. Dabei entspricht 0 pi einer Konzentration von $20 \text{ mg}_{\text{Aceton}}/\text{m}^3_{\text{Luft}}$. Diese Konzentration entspricht der Geruchsschwelle von Aceton in Luft.
- Bei dieser Geruchsschwelle können 50 % der Probanden einen Acetongeruch wahrnehmen.
- Der Vergleichsmaßstab besteht aus sechs Trichtern mit linear abgestuften Acetonkonzentrationen.

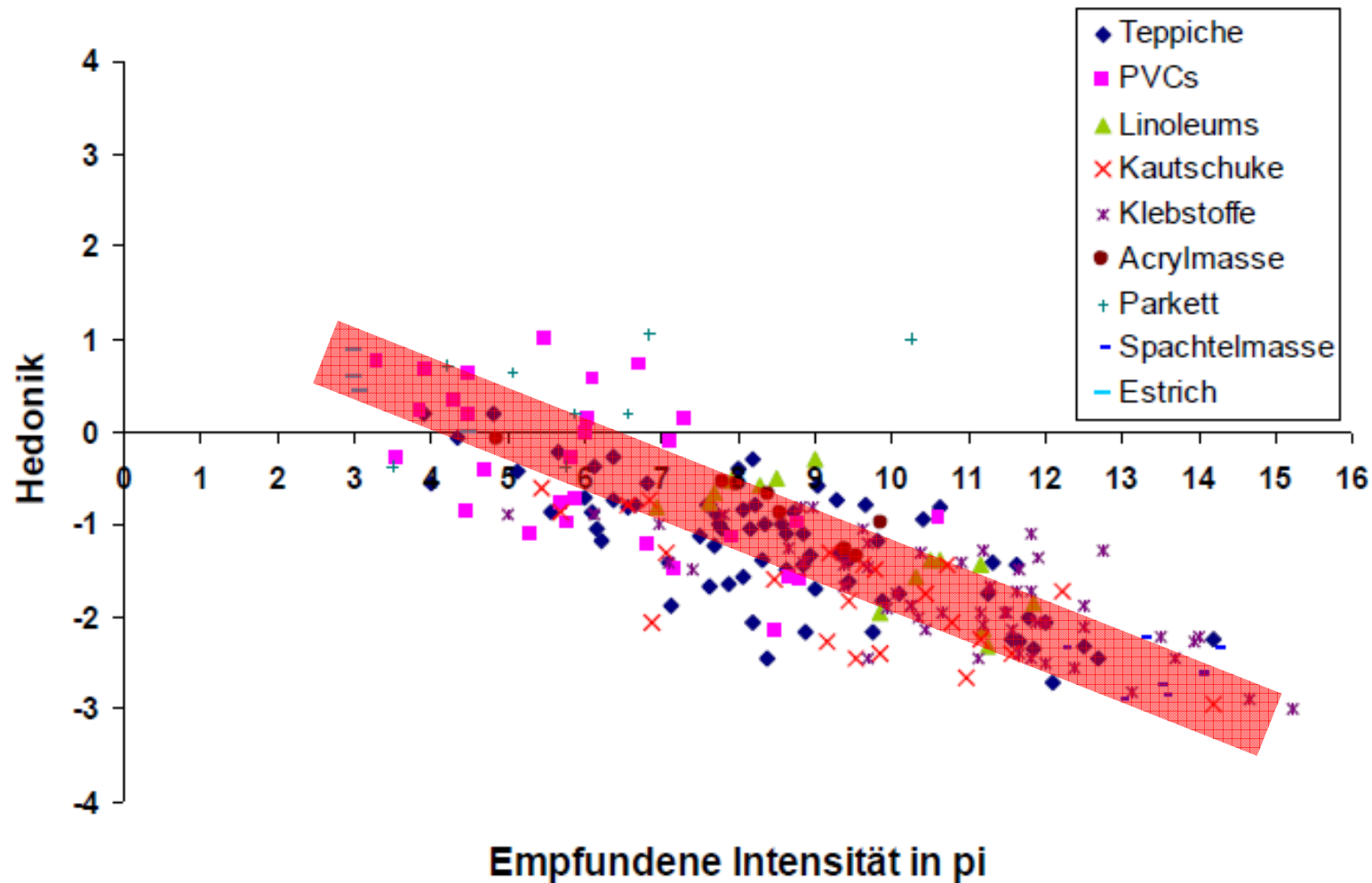
Probandenbewertung nach DIN EN ISO 16000-28

- Um valide und reproduzierbare Ergebnisse zu erhalten, müssen statistische Grenzwerte eingehalten werden.
- Bei der Analyse der Daten wird grundsätzlich von einer Normalverteilung aller Größen ausgegangen
- Die Genauigkeit der Bewertung, ausgedrückt durch den Vertrauensbereich (Konfidenzintervall, 90%), muss bei der Bewertung folgenden Anforderungen genügen:
 - Akzeptanz bei ± 2 ,
 - Hedonik bei ± 1 ,
 - Intensität bei ± 2 pi.
- Wird die geforderte Genauigkeit nicht erreicht, muss innerhalb von 30 h eine zweite Messung erfolgen.

Abhängigkeiten zwischen sensorischen Messgrößen



Abhängigkeiten zwischen sensorischen Messgrößen bei Bauprodukten

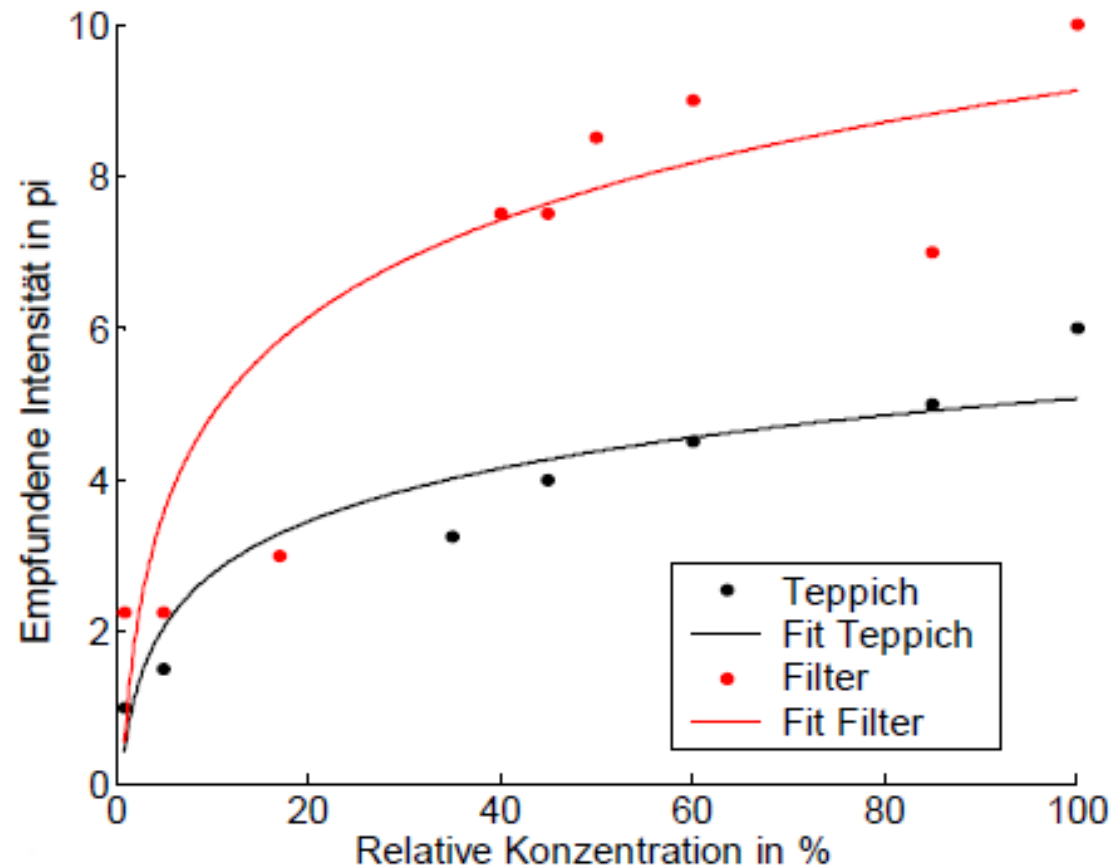


Gliederung

- Raumlaster in Gebäuden
- Einführung Luftqualität
- Bewertung der Raumluftqualität mit Probanden
- Einführung von Materialkennlinien
- Berechnungsgrundlagen für den Luftvolumenstrom
- Bedarfsgeregelte Lüftung
- Beispielrechnung: Heizwärmebedarf eines Großraumbüros bei unterschiedlichen Anwesenheitsprofilen und Gebäudekategorien
- Zusammenfassung

Kennlinie eines geruchsrelevanten Bauproduktes

- Alle Geruchsstoffe besitzen eine logarithmische Kennlinie in Bezug auf die Verdünnungsstufe: $\Pi = a \cdot \log_{10}\left(\frac{A_q}{A_{q0}}\right)$

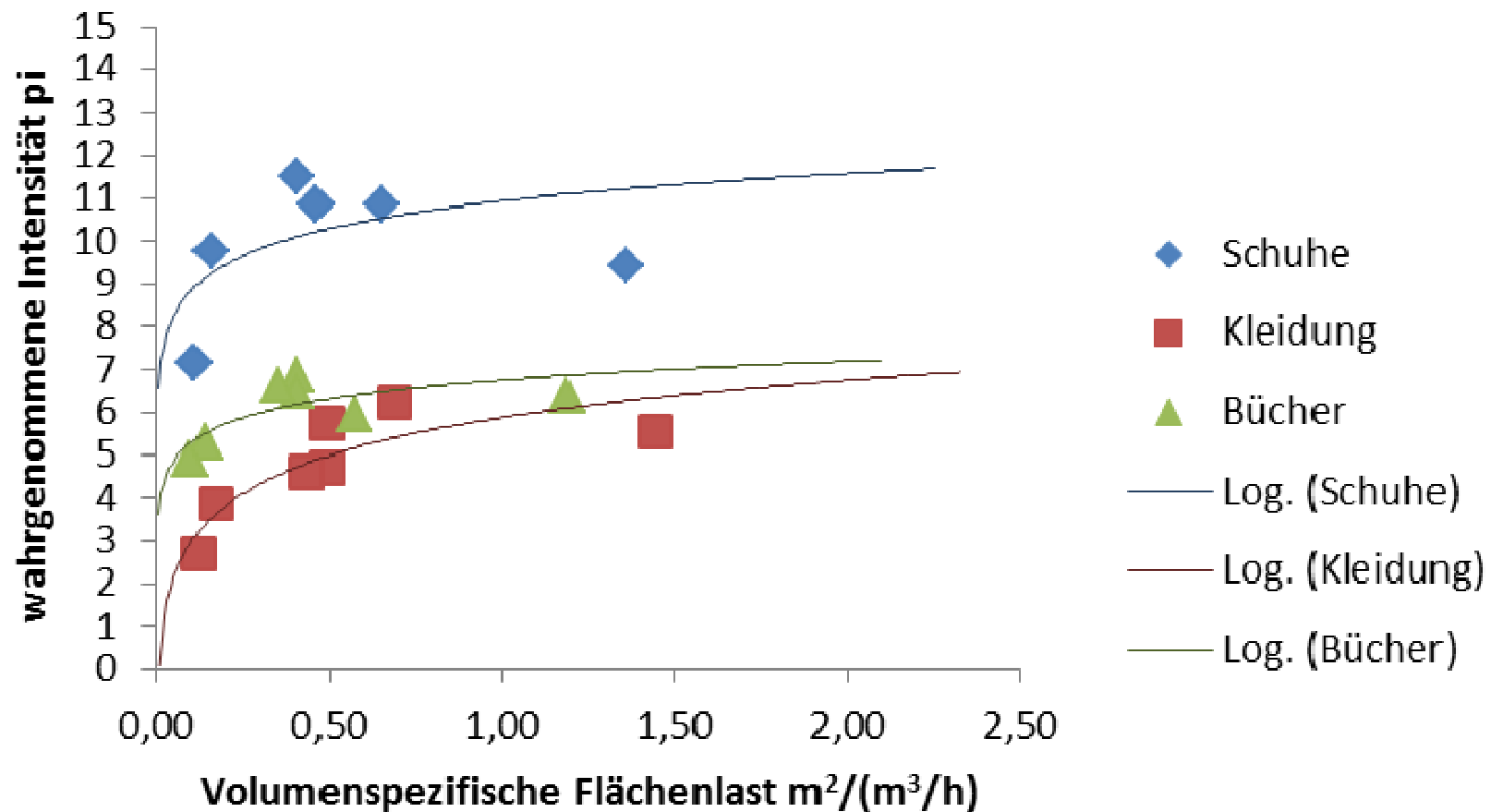


Geruchsuntersuchungen von Warenhausprodukten

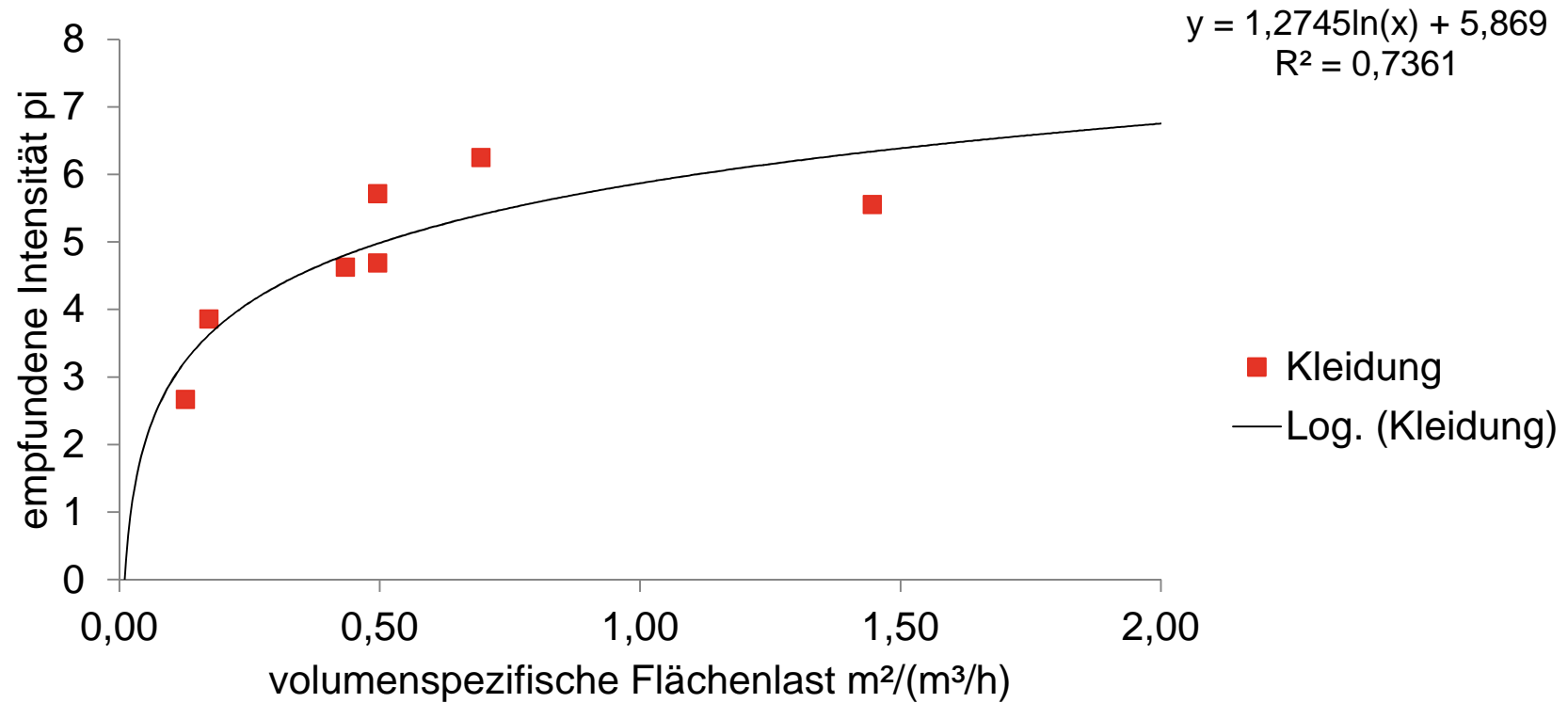
- Untersuchung der Geruchsintensität verschiedener Warengruppen (Schuhe, Kleidung, Bücher) bei unterschiedlichen Luftvolumenströmen mit Probanden im Luftqualitätslabor
- Bestimmung des zeitlichen Abklingverhaltens der Waren über 4 Tage (Lüftung 24 Std/Tag, LW 3,5 1/h)
- Nach 96 Stunden Aufnahme der Verdünnungskennlinien mit unterschiedlichen Luftvolumenströmen



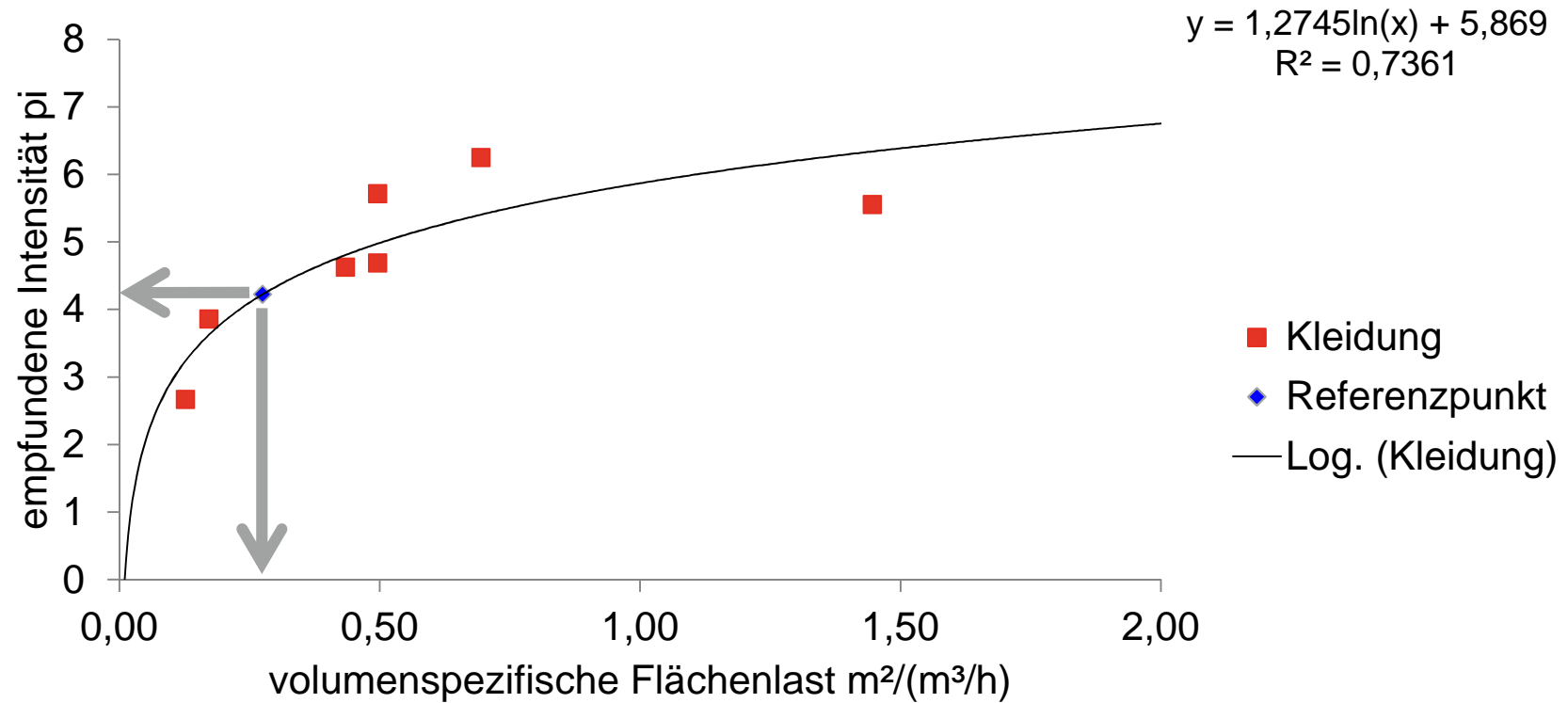
Verdünnungskennlinien von typischen Verkaufsgütern in Warenhäusern



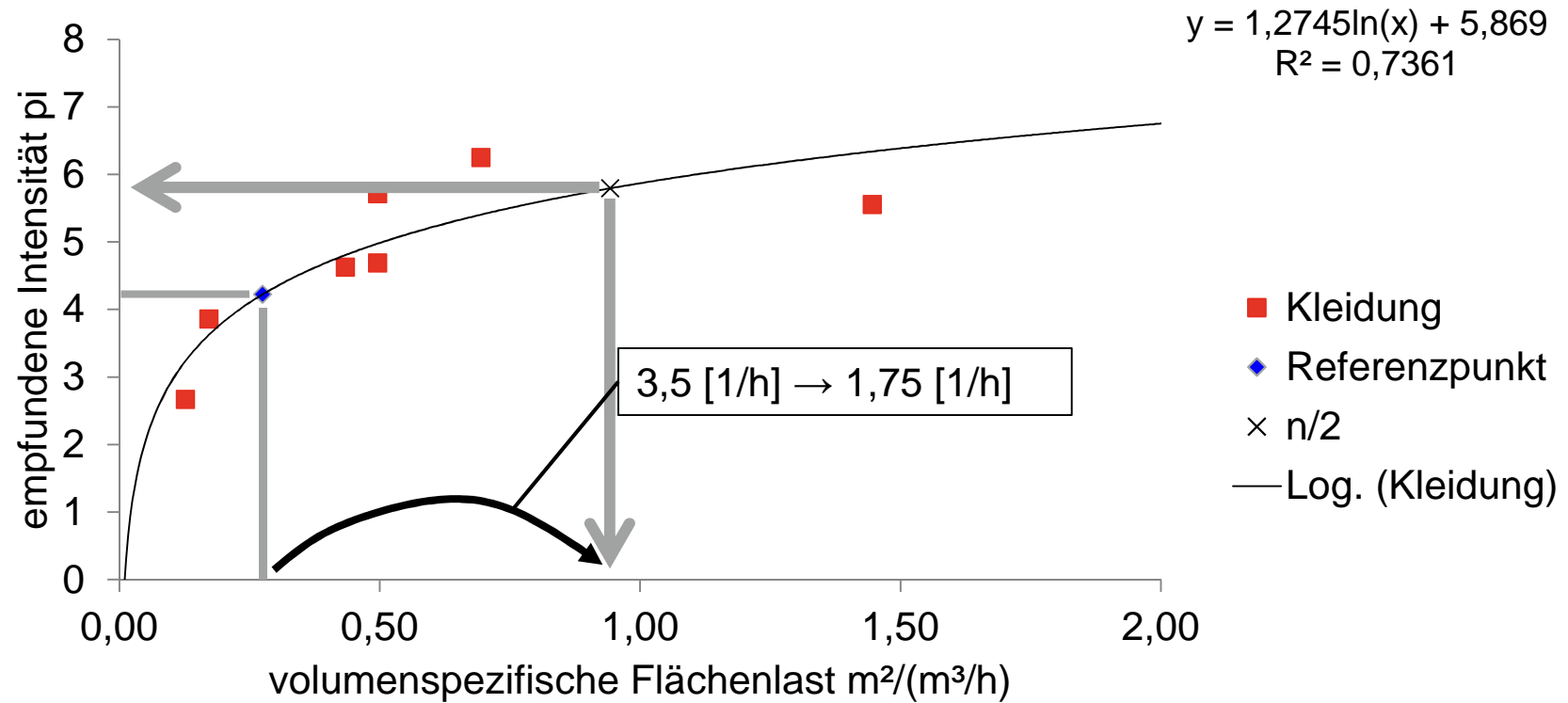
Verdünnungskennlinie: Kleidung



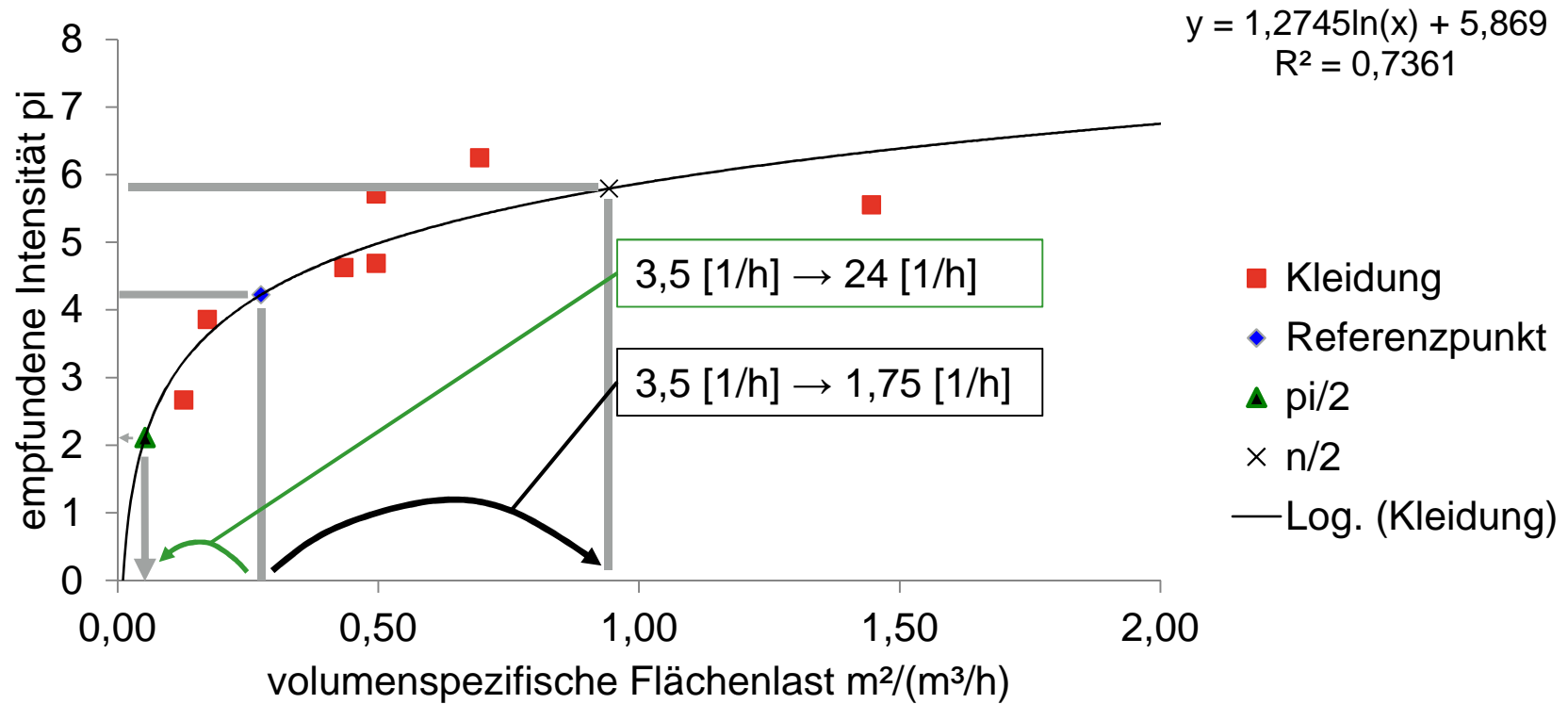
Referenzfall- derzeitig eingestellter Luftwechsel



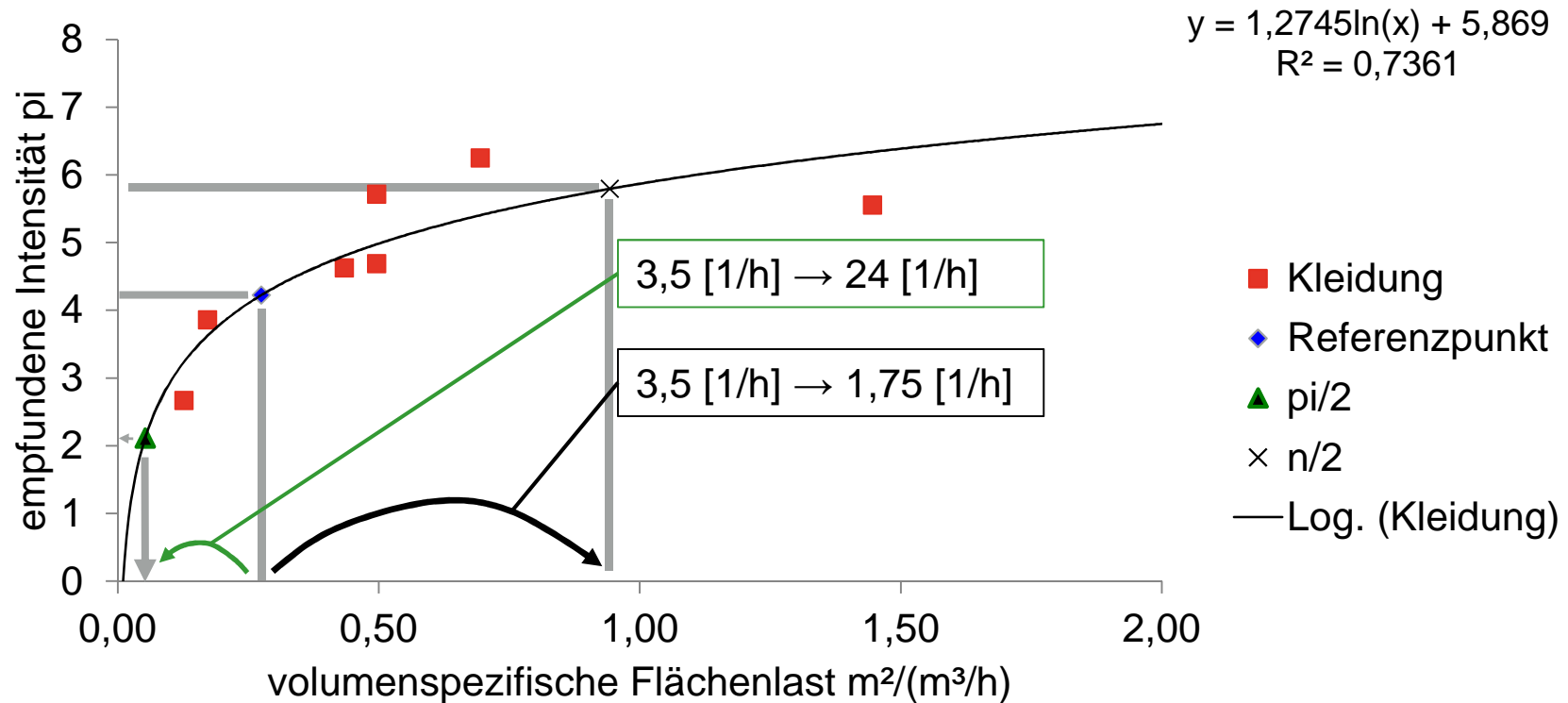
Halbierung des Luftwechsels $n/2$



Halbierung der Intensität $\pi/2$



Energieeinsparpotentiale durch Reduzierung der Volumenströme



- Halbierung des Luftwechsels realisierbar ohne wesentliche Verschlechterung der empfundenen Luftqualität

Gliederung

- Raumlasten in Gebäuden
- Einführung Luftqualität
- Bewertung der Raumluftqualität mit Probanden
- Einführung von Materialkennlinien
- **Berechnungsgrundlagen für den Luftvolumenstrom**
- Bedarfsgeregelte Lüftung
- Beispielrechnung: Heizwärmebedarf eines Großraumbüros bei unterschiedlichen Anwesenheitsprofilen und Gebäudekategorien
- Zusammenfassung

Relevante Europäische Normen

- DIN EN 13779 – Lüftung von nicht Wohngebäuden – allgemeine Grundlagen und Anforderungen für Lüftungs- und Klimaanlage und Raumkühlsysteme
- DIN EN 15251 – Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden – Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik
- DIN V 18599 – Energetische Bewertung von Gebäuden, Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwasser und Beleuchtung
- DIN EN 12831 – Heizungsanlagen in Gebäuden - Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast

Auslegung nach dem Luftwechsel

- Kennzahl für Strömungsenergieangebot
- Ziel ist eine raumerfüllende Strömungsstruktur
- Keine Angabe über Schadstoffbelastung
- Luftwechselberechnung:

$$n_{\text{LW}} = \frac{\dot{V}_{\text{ZL}}}{V_{\text{R}}} \left[\frac{1}{\text{h}} \right]$$

- Im Rahmen der EnEV wird für Wohngebäude ein Mindestluftwechsel angegeben ($0,5 \text{ h}^{-1}$). Dieser Wert berücksichtigt den Feuchtigkeitshaushalt einer Wohnung.

Notwendige Luftmengen nach DIN EN 15251

- Grundlegende erforderliche Lüftungsraten für die Abschwächung von Emissionen von Personen und Bauprodukten

Kategorie	Erwarteter Prozentsatz Unzufriedener	Luftvolumenstrom l/s, Person
I	15	10
II	20	7
III	30	-
IV	>30	<4

Kategorie	Sehr schadstoffarmes Gebäude	Schadstoffarmes Gebäude	Nicht schadstoffarmes Gebäude
I	0,5 l/s, m ²	1 l/s, m ²	2,0 l/s, m ²
II	0,35 l/s, m ²	0,7 l/s, m ²	1,4 l/s, m ²
III	0,3 l/s, m ²	0,4 l/s, m ²	0,8 l/s, m ²

Gesamtlüftungsrate für einen Raum DIN EN 15251

Beispiel 1: Großraumbüro 200 m², 20 Pers., nicht schadstoffarm, Klasse II

$$q_{\text{tot}} = 20 \cdot 7 \text{ l/s} + 200 \text{ m}^2 \cdot 1,4 \text{ l/s, m}^2 = 467 \text{ l/s} = 1714 \text{ m}^3/\text{h}$$

Beispiel 2: Großraumbüro 200 m², 20 Pers., sehr schadstoffarm, Klasse II

$$q_{\text{tot}} = 20 \cdot 7 \text{ l/s} + 200 \text{ m}^2 \cdot 0,35 \text{ l/s, m}^2 = 210 \text{ l/s} = 756 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$q_{\text{tot}} = n \cdot q_p + A \cdot q_B$$

q_{tot} Gesamtlüftungsrate des Raums, in l/s;

n Auslegungswert für die Anzahl der Personen im Raum,

q_p Lüftungsrate für die Belegung bzw. Nutzung je Person (l/s, Person)

A Grundfläche des Raums, m²

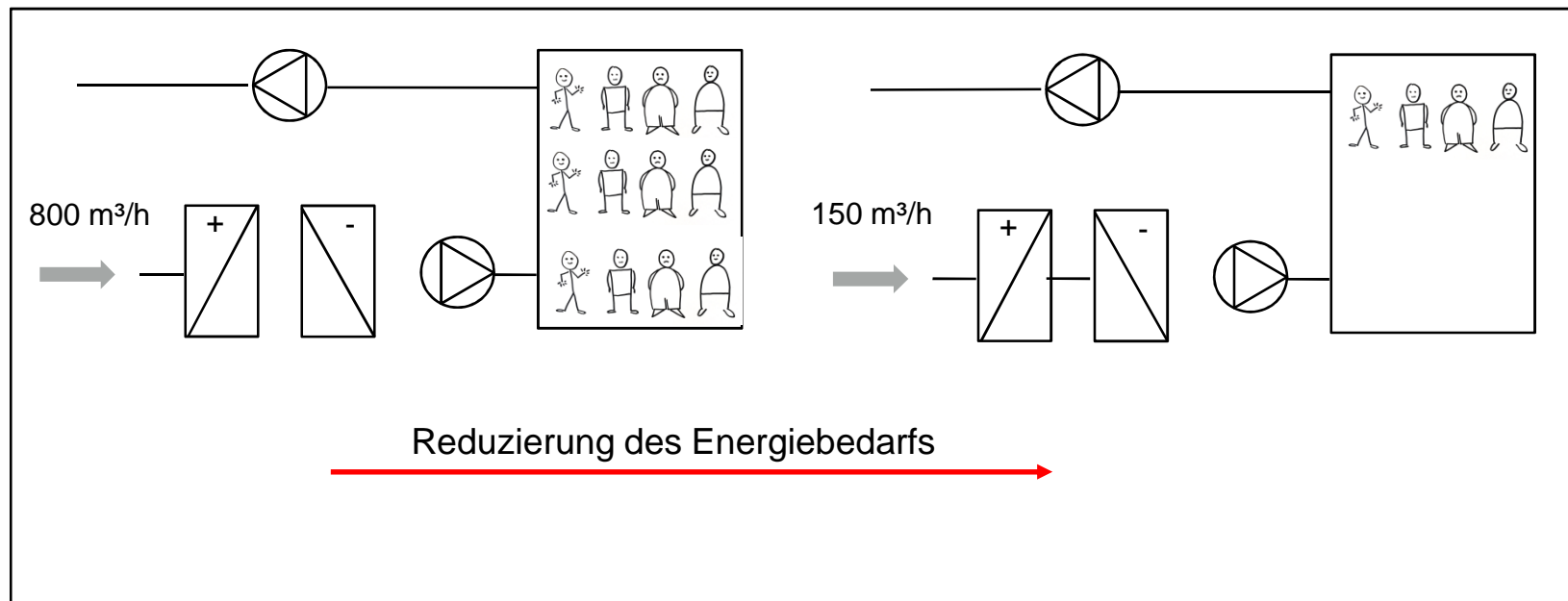
q_B Gebäudeemissionen bezogene Lüftungsrate, l/s, m²

Gliederung

- Raumlasten in Gebäuden
- Einführung Luftqualität
- Bewertung der Raumluftqualität mit Probanden
- Einführung von Materialkennlinien
- Berechnungsgrundlagen für den Luftvolumenstrom
- Bedarfsgeregelte Lüftung
- Beispielrechnung: Heizwärmebedarf eines Großraumbüros bei unterschiedlichen Anwesenheitsprofilen und Gebäudekategorien
- Zusammenfassung

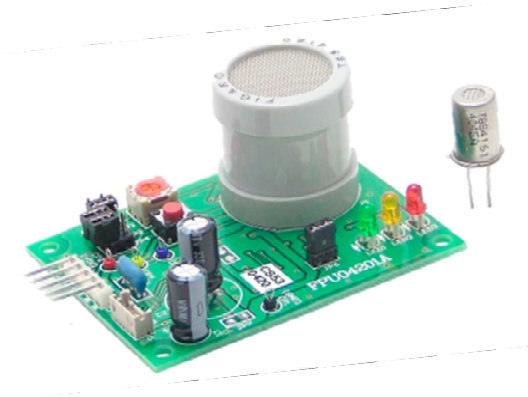
Prinzipschaubild: Bedarfsgeregelte Lüftung

- Reduzierung des Außenluftanteils
- Bei nicht konstanter Nutzung des Raum ergibt sich im Tagesverlauf ein Überangebot
- Durch Transport der Luft und Konditionierung erhöht sich unnötig der Energiebedarf ohne bedarfsgeregelte Lüftung

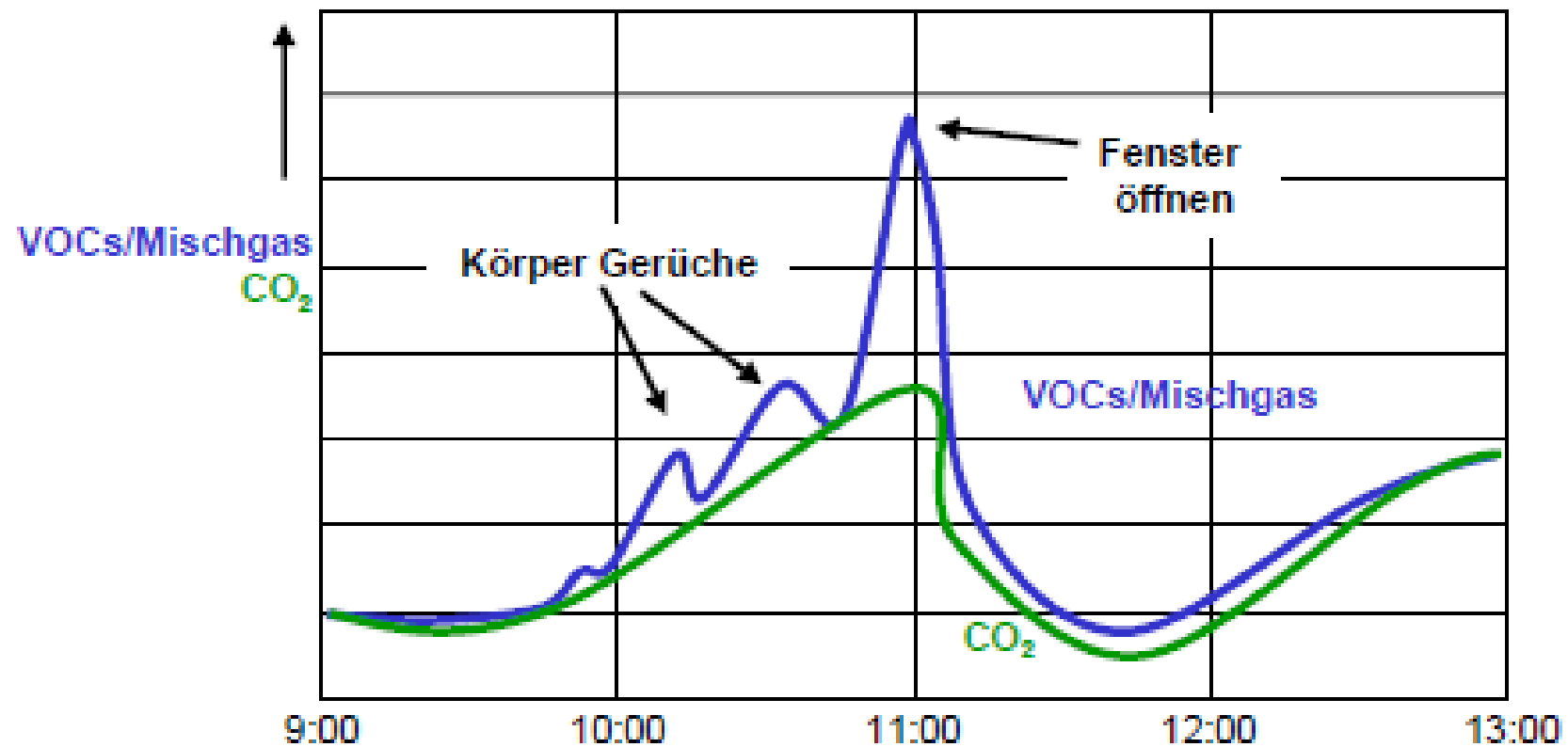


Luftqualitätsgesteuerte Regelung der Außenluftmengen

- Verwendung von CO₂ Sensoren (Infrarot)
 - Erlaubt nur Bezug auf Personenlasten.
Indikator für zu geringe Lüftung.
 - Keine Aussage über Schadstoffe anderer Natur.
- Verwendung von breitbandigen Multigassensoren
 - Erfassung von VOCs
- Luft-Wasser-Systeme
 - Trennung zwischen thermischen und stofflichen Lasten
- Energetisch optimierter Betrieb von Luftverteilsystemen
 - Ventilatoren mit Frequenzumrichtern



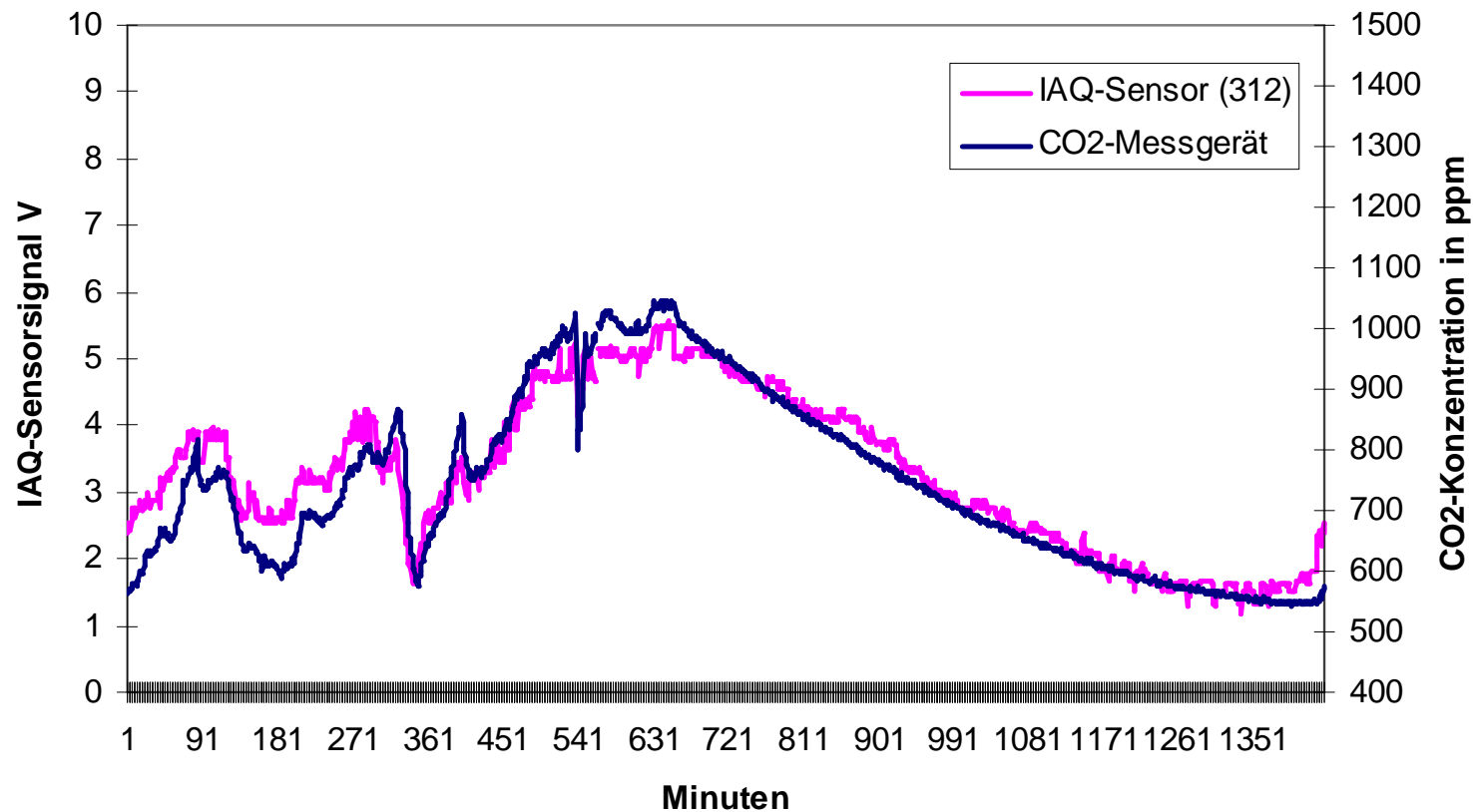
Zusammenhang zwischen VOCs und CO₂



Quelle: Sensortec GmbH/ Ins

Korrelation: IAQ-Sensoren und CO₂ Messgerät

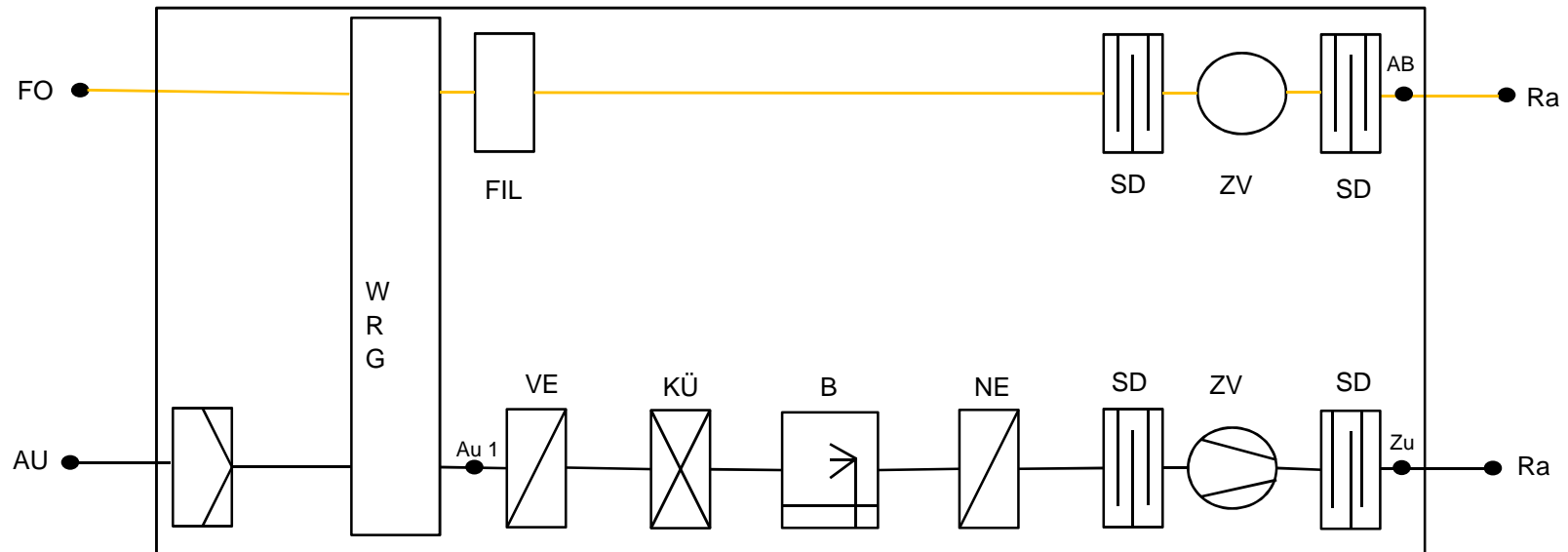
- Korrelation zwischen IAQ-Sensoren und einem externen Messgerät zur Messung der CO₂-Konzentration in der Raumluft



Gliederung

- Raumlaster in Gebäuden
- Einführung Luftqualität
- Bewertung der Raumluftqualität mit Probanden
- Einführung von Materialkennlinien
- Berechnungsgrundlagen für den Luftvolumenstrom
- Bedarfsgeregelte Lüftung
- **Beispielrechnung: Heizwärmebedarf eines Großraumbüros bei unterschiedlichen Anwesenheitsprofilen und Gebäudekategorien**
- Zusammenfassung

Raumluftechnische Anlage mit Wärmerückgewinnung



AB- Abluft	KÜ- Kühler
AU- Aussenluft	NE- Nacherhitzer
ZU- Zuluft	SD- Schalldämpfer
Ra- Raumluft	VE- Vorerhitzer
Ab- Abluftventilator	WRG- Warmerückgewinner
B- Befeuchter	ZV- Zuluftventilator
FIL- Filter	FO- Fortluft

Beispielrechnung eines Großraumbüros mit variablem und konstantem Anwesenheitsprofil

■ Daten Raum:

- Grundfläche 1000 m²
- Mittlerer U-Wert 0,6 W/m² K
- Max. Belegung 100 Personen
- 1000 m² Teppichboden
- Raumkategorie II

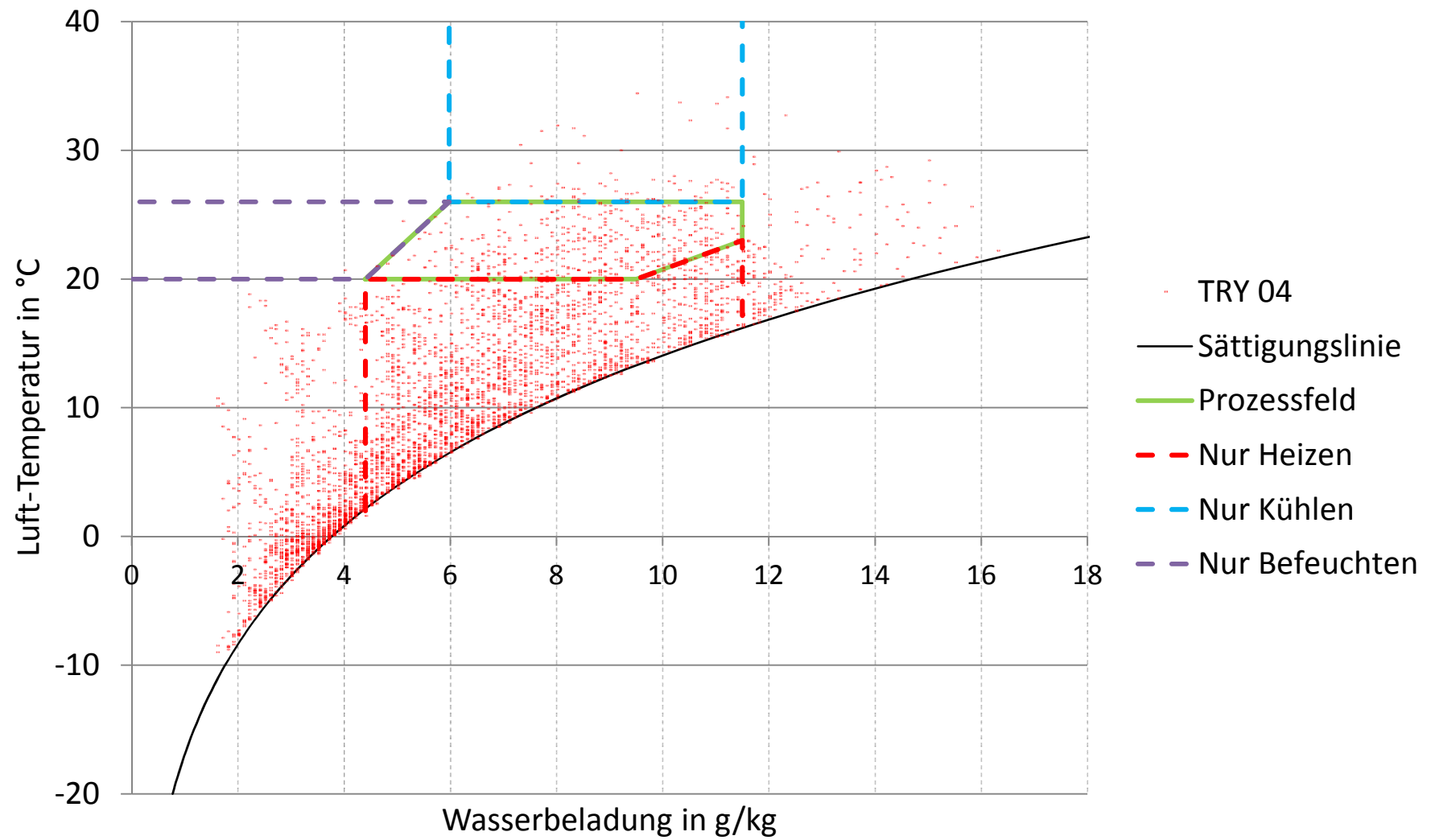


www.Wagenhuber-gmbh.de

■ Daten Lüftung:

- Grundlüftung 7 l/s
- Wetterdaten TRY 01
- Maschinelle Lüftung mit 60 % WRG
- Wirkungsgrad Ventilator 0,6

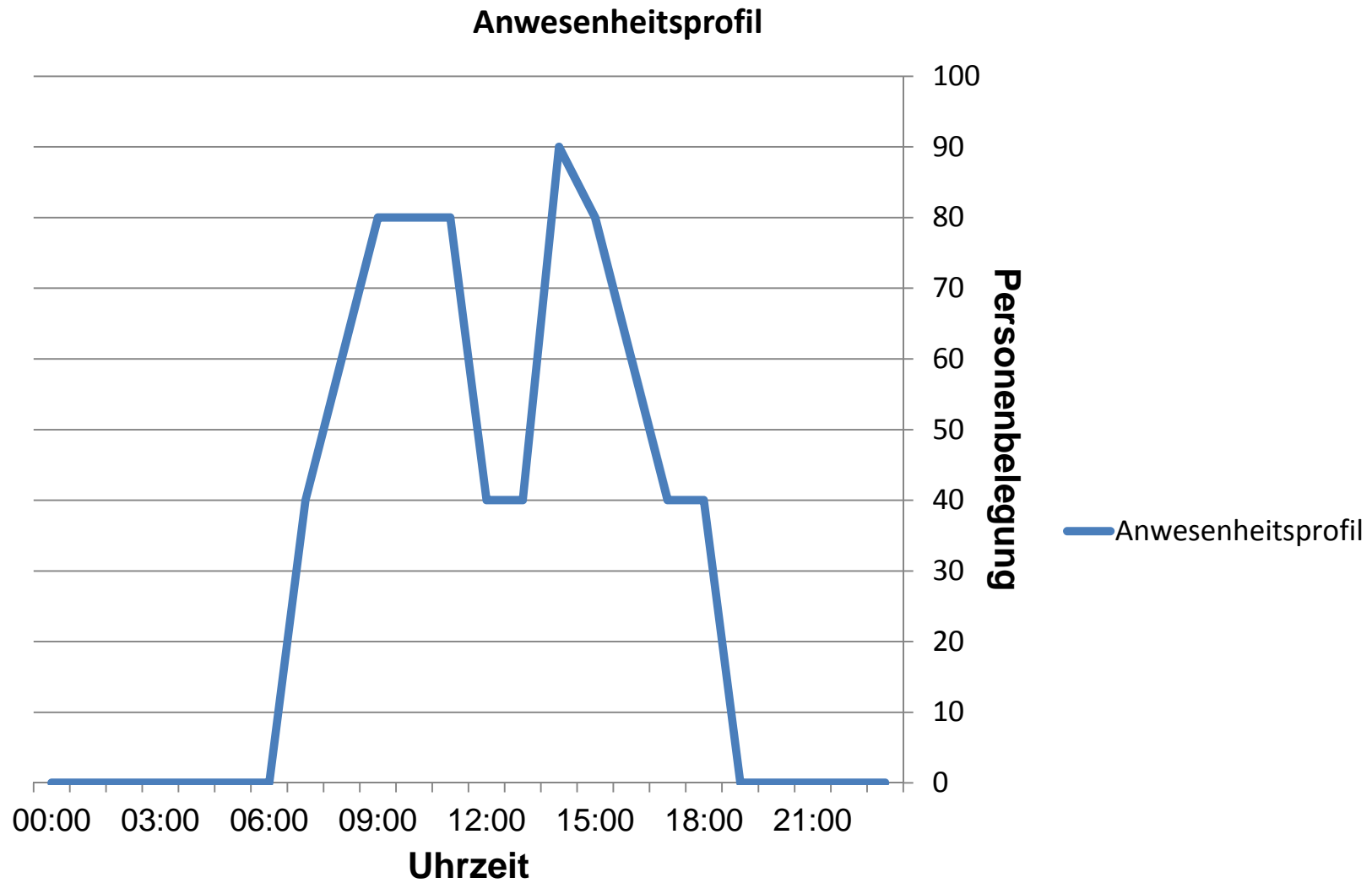
h-x Diagramm



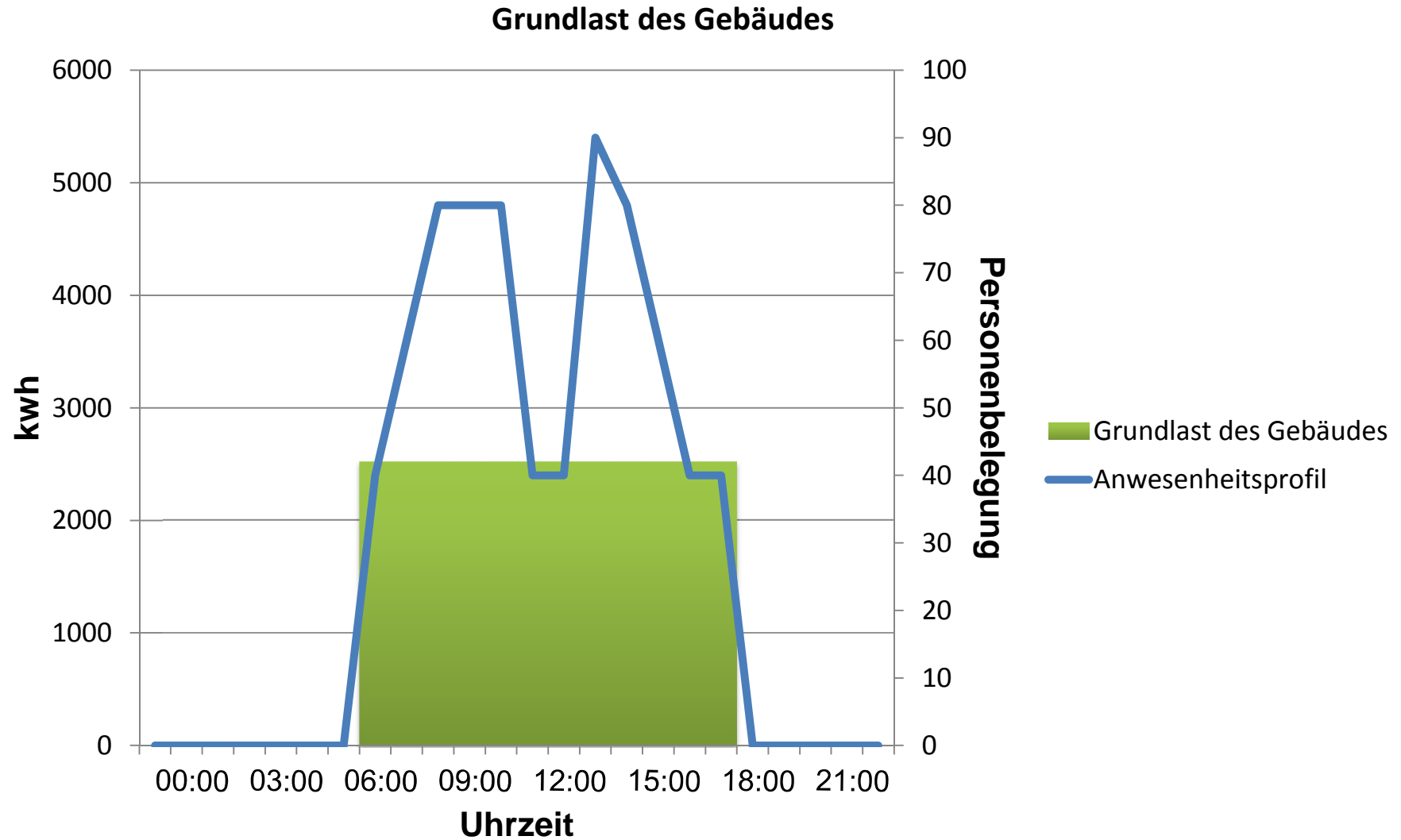
Beispielrechnung: Differenzierte Betrachtung verschiedener Gebäudekategorien und Nutzungsfälle

Fall	Gebäudekategorie DIN EN 15251	Belegung und Nutzungsfälle	Luftmengenanteil mit Emission
1	Schadstofffrei- Glashaus	ohne Anwesenheitsprofil	
2	schadstoffarm	mit variabler Belegung	
3	schadstoffarm	mit variabler Belegung	min. 20 % des var. Anteils
4	schadstoffarm	mit variabler Belegung	min. 40 % des var. Anteils

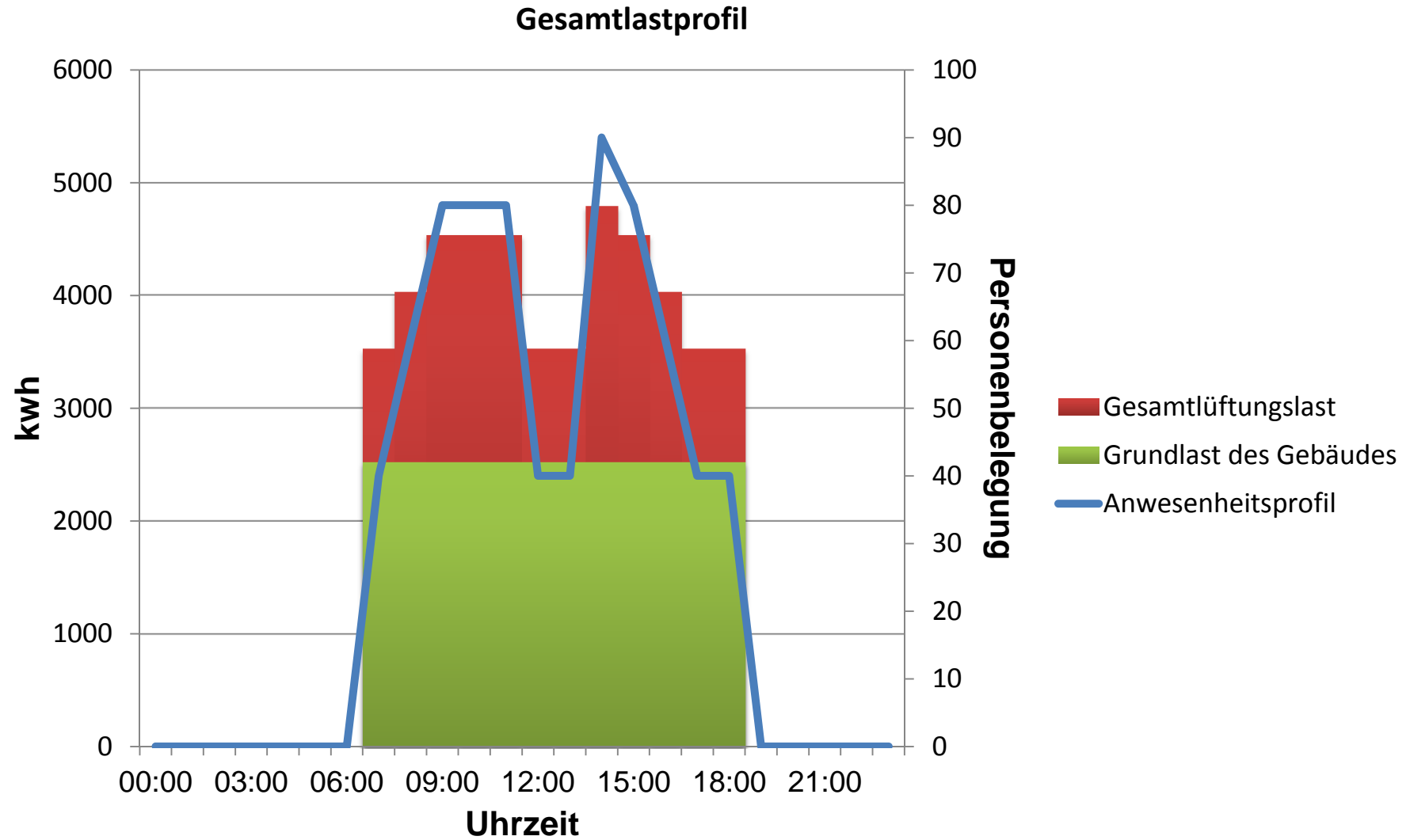
Beispiel: Fall 2 - Profil der Personenbelegung



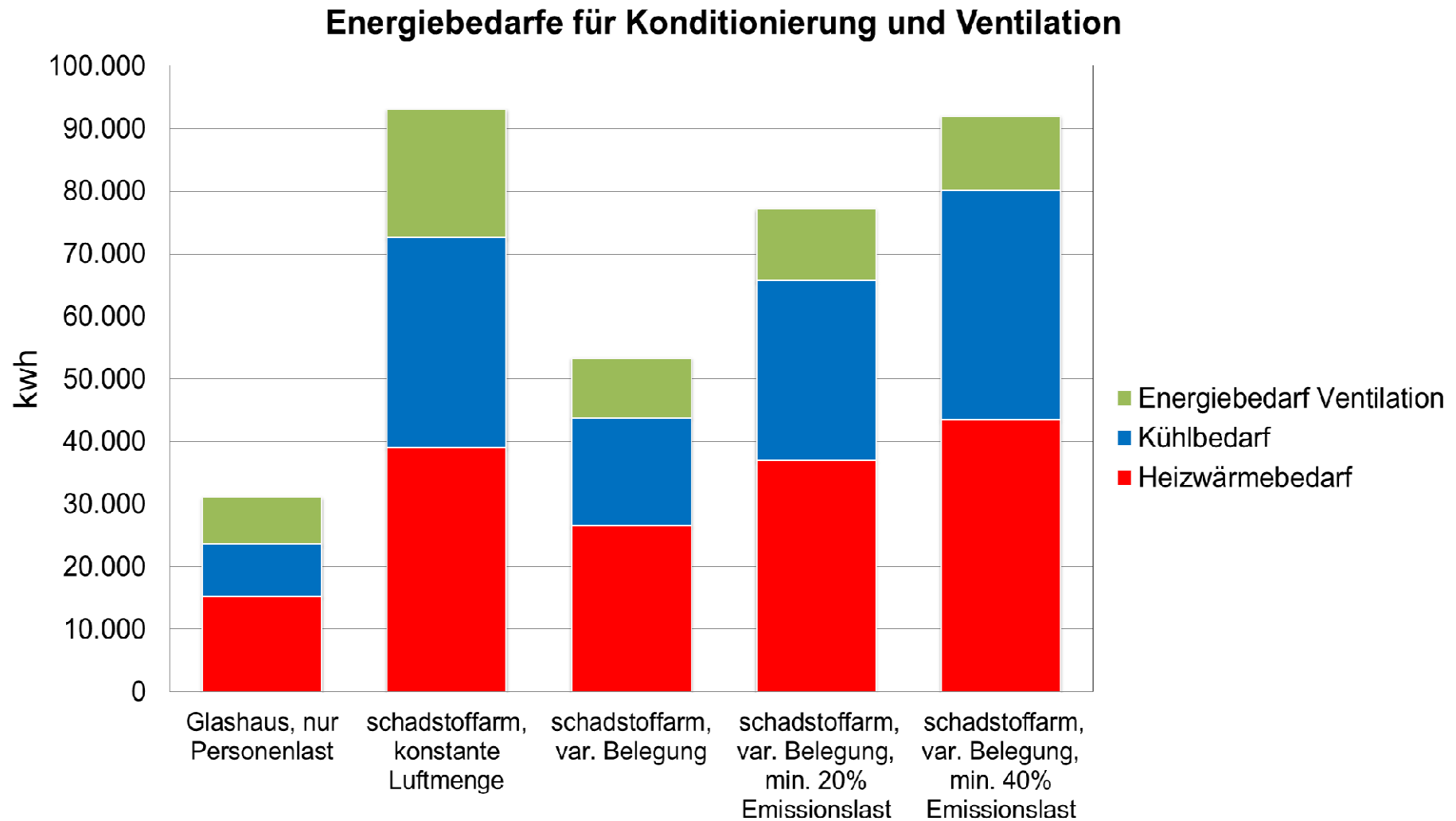
Beispiel: Fall 2 - Grundlastbetrieb des Gebäudes



Beispiel: Fall 2 - Gesamtlastprofil des Gebäude



Energiebedarfe für den Lufttransport und die Konditionierung bei unterschiedlichen Profilen



Gliederung

- Raumlaster in Gebäuden
- Einführung Luftqualität
- Bewertung der Raumluftqualität mit Probanden
- Einführung von Materialkennlinien
- Berechnungsgrundlagen für den Luftvolumenstrom
- Bedarfsgeregelte Lüftung
- Beispielrechnung: Heizwärmebedarf eines Großraumbüros bei unterschiedlichen Anwesenheitsprofilen und Gebäudekategorien
- Zusammenfassung

Zusammenfassung

- Geruchsbelastungen in Räumen können bisher nur sehr aufwendig mit Probandengruppen bestimmt werden. Dieses Problem verhindert eine breite Anwendung der empfundenen Luftqualität in der Praxis.
- Hohe Geruchsbelastungen führen zu einem geänderten Lüftungsverhalten und erhöhen somit den Energieverbrauch eines Gebäudes.
- Klassische Auslegungsverfahren für den Luftwechsel sowie energetische Nachweisverfahren berücksichtigen den Einfluss von Verunreinigungsquellen im Raum nur unzureichend.
- Neue Europäische Normen unterscheiden drei Belastungsstufen in Räumen. Nichtlineare Eigenschaften von Verdünnungskennlinien werden vernachlässigt.

Energieeffiziente Gebäude können nur mit emissions- und geruchsarmen Baumaterialien realisiert werden!

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

