

BBSR-  
Online-Publikation  
36/2022

# Untersuchung von Dunstabzugssystemen in Wohnküchen

von

Lisa Ackermann  
Kristin Bräunlich  
Martina Broege  
Dr.-Ing. Alfred Bruns  
Prof. Dr.-Ing. Thomas Hartmann  
Dr.-Ing. Berthold Kaufmann  
Christine Knaus  
Kai Rüschen  
Steffen Schwede  
Enrico Zönnchen



# Untersuchung von Dunstabzugssystemen in Wohnküchen

Energetische, strömungstechnische und hygienische Aspekte

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wohnen, Stadtentwicklung  
und Bauwesen

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

**ZUKUNFT BAU**  
FORSCHUNGSFÖRDERUNG

Dieses Projekt wurde gefördert vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Auftrag des Bundesministeriums für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) aus Mitteln des Innovationsprogramms Zukunft Bau.

Aktenzeichen: 10.08.18.7-20.57

Projektlaufzeit: 02.2021 bis 11.2022

## IMPRESSUM

### Herausgeber

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)  
im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)  
Deichmanns Aue 31–37  
53179 Bonn

### Fachbetreuer

Dr.-Ing. Michael Brüggemann, Brüggemann Kisseler Ingenieure  
im Auftrag des BBSR, Referat WB 3 „Forschung im Bauwesen“  
zb@bbr.bund.de

### Autorinnen und Autoren

Passivhaus Institut GmbH, Darmstadt  
Dipl.-Ing. Kristin Bräunlich (Projektleitung)  
kristin.braeunlich@passiv.de

Steffen Schwede, B. Eng.  
steffen.schwede@passiv.de

Dr.-Ing. Berthold Kaufmann  
berthold.kaufmann@passiv.de

Lisa Ackermann, B. Eng.  
steffen.schwede@passiv.de

IHD GmbH, Dresden  
Dipl.-Ing. Martina Broege  
martina.broege@ihd-dresden.de

Enrico Zönnchen  
enrico.zoennchen@ihd-dresden.de

ITG GmbH, Dresden  
Prof. Dr.-Ing. Thomas Hartmann  
hartmann@itg-dresden.de

Dipl.-Ing. Christine Knaus  
knaus@itg-dresden.de

Naber GmbH, Nordhorn  
Dr.-Ing. Alfred Bruns  
a.bruns@naber.com

Kai Rüschen  
k.rueschen@naber.com

### Redaktion

Passivhaus Institut GmbH, Darmstadt

### Stand

November 2022

### Gestaltung

Passivhaus Institut GmbH, Darmstadt

### Bildnachweis

Titelbild: PHI

PHI: Kapitel 1–3.2, 3.3; Naber GmbH: Kapitel 3.2; Forschung und Anwendung GmbH: Kapitel 3.4; Institut für Holztechnologie Dresden  
gemeinnützige GmbH: Kapitel 4

### Vervielfältigung

Alle Rechte vorbehalten

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen.

### Zitierweise

Ackermann, Lisa; Bräunlich, Kristin; Broege, Martina; Bruns, Alfred; Hartmann, Thomas; Kaufmann, Berthold; Knaus, Christine; Rüschen, Kai; Schwede, Steffen; Zönnchen, Enrico, 2022: Untersuchung von Dunstabzugssystemen in Wohnküchen: Energetische, strömungstechnische und hygienische Aspekte. BBSR-Online-Publikation 36/2022, Bonn.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Kurzfassung</b>	<b>3</b>
<b>Abstract</b>	<b>4</b>
<b>1. Ausgangslage</b>	<b>5</b>
<b>1.1 Normative und gesetzliche Rahmenbedingungen</b>	<b>5</b>
<b>1.2 Technische Bewertung von Dunstabzugshauben</b>	<b>5</b>
Bewertung der Erfassung von Abluft-Dunstabzugshauben	5
Druckverluste der Dunstabzugssysteme	5
Elektrische Leistungsaufnahme der Dunstabzugssysteme	6
Bewertung nach EcoDesign	6
Geruchsminderung von Dunstabzugshauben	6
<b>1.3 Untersuchung zu Behaglichkeit und Luftqualität</b>	<b>7</b>
Luftnachströmung und Zugluftisiko	7
Relative Feuchtigkeit	7
Schall	7
Einfluss bei Gebäuden mit sehr geringem Heizwärmebedarf	7
<b>1.4 Luftnachströmung und Wechselwirkung mit anderen Systemen</b>	<b>8</b>
Wechselwirkungen mit anderen Systemen	8
<b>1.5 Energetische Bewertung in Neubau und Gebäudebestand</b>	<b>8</b>
Besonderheiten für energieeffiziente Gebäude	8
Systemabhängige Kosten und Wirtschaftlichkeit	9
<b>2. Aufgabenstellung</b>	<b>10</b>
<b>2.1 Energieeinsparpotentiale bei Abluftdunstabzugssystemen</b>	<b>10</b>
<b>2.2 Untersuchungen zu Umluftdunstabzugssystemen</b>	<b>11</b>
<b>3. Untersuchungen der Energieeinsparpotentiale bei Abluftdunstabzugssystemen</b>	<b>12</b>
<b>3.1 Untersuchung des Erfassungsgrades – weiterführende Untersuchungen</b>	<b>12</b>
5.1.1 Einleitung	12
5.1.2 Messtechnische Untersuchung des Erfassungsgrades durch Wasserdampfbilanzierung	13
5.1.3 Bewertung der Dunstabzugshauben anhand eines Referenzgebäudes	21
<b>3.2 Bedarfsgerechte Volumenstromregelung</b>	<b>23</b>
5.2.1 Einleitung	23
5.2.2 Stand der Technik	23
5.2.3 Einteilung der Führungsgrößen	23
5.2.4 Am Markt verfügbare automatische Dunstabzugssysteme	25
5.2.5 Messtechnische Untersuchung	25
5.2.6 Vorschläge für potentielle Verbesserungen von automatischen Dunstabzugssystemen	37
<b>3.3 Abluftklappen von Dunstabzugssystemen - Variantenuntersuchung</b>	<b>39</b>
5.3.1 Normative Anforderungen an Abluftklappen von Dunstabzugssystemen	39
5.3.2 Messtechnische Untersuchung der Leckage von Abluftklappen am Prüfstand	40
5.3.3 Untersuchung des Wärmebrückeneffekts	45
5.3.4 Energetischer Einfluss durch Abluftklappen	49
<b>3.4 Luftnachströmung bei Abluft-Dunstabzugshauben – weiterführende Untersuchungen</b>	<b>51</b>
5.4.1 Möglichkeiten der Luftnachströmung	51
5.4.2 Passive Luftnachströmung	51
5.4.3 Aktive Luftnachströmung	53
5.4.4 Möglichkeiten der Wärmerückgewinnung aus der Abluft	60
5.4.5 Ergebnisse und Ableitung von Planungshinweisen	64

<b>4. Untersuchungen zu Umluftdunstabzugssystemen</b>	<b>65</b>
<b>4.1 Aktivkohlefilter</b>	<b>65</b>
6.1.1 Versuchsdurchführung	65
6.1.2 Ergebnisse	68
6.1.3 Ermittlung der Stromaufnahme der AK-Filtersysteme	73
6.1.4 Zusammenfassung - Aktivkohlefilter	74
<b>4.2 Plasmafilter</b>	<b>75</b>
6.2.1 Versuchsdurchführung	75
6.2.2 Ergebnisse	77
6.2.3 Ermittlung der Stromaufnahme der Plasma-Filtersysteme	79
<b>4.3 Untersuchungen von Plasmafiltern bei realen Kochvorgängen</b>	<b>79</b>
6.3.1 Versuchsdurchführung	79
6.3.2 Ergebnisse	80
<b>4.4 Zusammenfassung der Untersuchungen zu Umluftfiltern</b>	<b>83</b>
6.4.1 Aktivkohlefilter	83
6.4.2 Plasmafilter	84
<b>4.5 Raumlufftfeuchte in Küchen bei Verwendung von Umluftdunstabzugshauben und einer kontrollierten Wohnraumlüftung</b>	<b>84</b>
6.5.1 Auswertung von Monitoringdaten	84
6.5.2 Ergebnisse und Ableitung von Empfehlungen	87
<b>5. Zusammenfassung der Forschungsergebnisse</b>	<b>89</b>
<b>5.1 Energieeinsparpotential im Abluftbetrieb</b>	<b>89</b>
7.1.1 Untersuchung des Erfassungsgrades	89
7.1.2 Bedarfsgerechte Volumenstromregelung	89
<b>5.2 Untersuchungen zu Umluft-Dunstabzugssystemen</b>	<b>90</b>
<b>6. Anwendung der Forschungsergebnisse und Planungsempfehlungen</b>	<b>90</b>
<b>6.1 Ableitung von Empfehlungen für Planung und Betrieb von Dunstabzugssystemen</b>	<b>90</b>
8.1.1 Abluftdunstabzugssysteme	90
8.1.2 Umluftdunstabzugssystem	91
<b>6.2 Vorschlag eines Bewertungsverfahrens von Dunstabzugssystemen hinsichtlich ihrer technischen und energetischer Wirkung</b>	<b>91</b>
8.2.1 Abluftdunstabzugssystem	91
8.2.2 Umluftdunstabzugssysteme	91
<b>6.3 Verwertung der Ergebnisse</b>	<b>92</b>
8.3.1 Vorschläge für Normung und Labelling	92
8.3.2 Disseminationskonzept	93
<b>7. Ausblick</b>	<b>94</b>
<b>8. Literaturverzeichnis</b>	<b>95</b>
<b>9. Abbildungsverzeichnis</b>	<b>97</b>
<b>10. Tabellenverzeichnis</b>	<b>101</b>
<b>11. Anhang</b>	<b>103</b>
Anhang 1: Untersuchung des Erfassungsgrades – optisches Verfahren	103
Anhang 2: Verwendete Messtechnik für die Bestimmung des Erfassungsgrades auf Wasserdampfbasis	110
Anhang 3: Untersuchte Mauerkästen	115
Anhang 4: Energetischer Einfluss durch die Leckage der Mauerkästen – zusätzlicher Heizwärmebedarf	116
Anhang 5: Möglichkeiten der Wärmerückgewinnung aus der Abluft – Varianten der Luftkanal-Wärmeübertragung	117

## Kurzfassung

Bereits die Untersuchungen im Rahmen des vorangegangenen Forschungsvorhaben [BewDunst] zeigten für Abluftdunstabzugshauben, vor allem für hocheffiziente Gebäude und kleinere Wohneinheiten einen nennenswerten Einfluss auf die Gebäudeenergiebilanz auf. Ein standardisiertes Bewertungsverfahren hinsichtlich Wirksamkeit und Energieeffizienz gerade von Abluftdunstabzugssystemen ist bisher nicht oder nicht für praxisnahe Bedingungen verfügbar. Daher wurde an die Untersuchungen des Vorprojekts angeknüpft um diese Lücke zu schließen.

Das Forschungsvorhaben befasste sich im Wesentlichen mit den nachfolgend beschriebenen drei Themenbereichen.

### Untersuchungen der Energieeinsparpotentiale bei Abluftdunstabzugssystemen

Es wurden Maßnahmen untersucht, mit Hilfe derer der mittlere Abluftvolumenstrom und damit der Wärmeverlust durch den Abluftvolumenstrom reduziert werden kann. Hierzu zählen ein guter Erfassungsgrad und die Regelung des Abluftvolumenstroms nach dem tatsächlichen Bedarf. Der Erfassungsgrad verschiedener Dunstabzugssysteme wurde messtechnisch mit Wasserdampf als Tracer ermittelt. Bei den untersuchten Dunstabzugssystemen konnten hierbei deutliche Unterschiede aufgezeigt werden. Gute Dunstabzugssysteme wiesen auch bei vergleichsweise geringem Abluftvolumenstrom eine gute bis sehr gute Wrasenerfassung auf. Für die Regelung des Abluftvolumenstroms nach dem tatsächlichen Bedarf sind verschiedene Ansätze mit unterschiedlichen Führungsgrößen möglich. Das Energiesparpotential der Bedarfsführung wurde anhand der beispielhaften messtechnischen Untersuchung zweier mit Bedarfsführung ausgestatteter Dunstabzugssysteme aufgezeigt.

Undichte Abluftklappen oder Mauerkästen können außerhalb der Betriebszeiten der Dunstabzugshauben (was den größten Zeitanteil entspricht, Ansatz hier 23,5 h/Tag) hohe Infiltrationsverluste verursachen, was erste Abschätzungen bereits im Vorprojekt verdeutlichten. Messtechnische Untersuchungen verschiedener marktüblicher Abluftklappen hinsichtlich ihrer Leckagen zeigten deutliche Unterschiede auf. Ergänzt wurde die Untersuchung durch eine beispielhafte Wärmebrückenbetrachtung.

Schließlich kann sich auch die Art und Lage der Nachströmöffnung positiv auf die Wrasenerfassung und damit auf den Abluftbedarf auswirken wie theoretische Untersuchungen bezüglich des Ausspülgrades zeigten. Um die Energieeffizienz und die thermische Behaglichkeit von Abluft-Dunstabzugshauben zu verbessern, können Möglichkeiten der Luftkanal-Wärmeübertragung bei der kombinierten Abluft- und Zuluftführung genutzt werden. Im Projekt wurden verschiedene Varianten untersucht und verglichen.

### Bewertung der Dunstabzugssysteme

Die messtechnisch ermittelten Eigenschaften der Dunstabzugssysteme (Erfassungsgrad, Abluftvolumenstrom sowie elektrische Leistungsaufnahme) wurden um eine energetische Bewertung ergänzt. Hierfür wurde anhand eines Referenzgebäudes der zusätzliche jährliche Heizwärmebedarf sowie der zusätzliche jährliche Strombedarf den die Dunstabzugssysteme verursachen, ermittelt. Die untersuchten Dunstabzugssysteme lassen sich danach gut unterscheiden. Für die Bewertung von Dunstabzugssystemen sollte sowohl der Erfassungsgrad als auch der zusätzliche Energiebedarf herangezogen werden.

### Untersuchungen zu Umluftdunstabzugssystemen

Bei Umluftdunstabzugssystemen wird der erfasste Kochwrasen gefiltert und in den Raum zurückgeführt. Der Betrieb von Umluftdunstabzugshauben wirkt sich im Vergleich zu Abluftsystemen also nicht auf den Heizwärmebedarf aus.

Die Wirksamkeit der Umlufthaube ist neben dem Erfassungsgrad vor allem abhängig von der Qualität der Umluftfilter. Im Rahmen des Projekts erfolgt eine vergleichende Untersuchung des Geruchsreduzierungsgrades in Anlehnung an DIN EN 61591 als Maßstab für die Wirksamkeit der Umluftfilter.

## Abstract

The experiments of the preceding research project [BewDunst] concerning cooker hoods have already shown a significant impact on the energy performance of buildings, especially on those that are highly energy efficient as well as on smaller apartments.

Standardized evaluation tests concerning the effectiveness and energy efficiency of cooker hoods, especially of extraction hoods, are currently not available or not in line with real practice operation. Therefore, this project aims to fill this gap by building upon the previous one.

The study has focused mostly on three thematic areas which are further elaborated below.

### Examination of energy saving potentials of extraction hoods

Measures to reduce the average exhaust air volume flow and thereby the ventilation heat losses have been examined. Examples of this are a good capture rate and control of the exhaust airflow according to actual needs. The capture rate of extraction hoods has been measured using a technique based on water vapour as a tracer gas. This has revealed significant differences between the extraction hoods examined in the tests. Extraction hoods with a good performance, according to our tests, still reach good or even very good capture rates with comparably low exhaust air flow. There are several possibilities based on various reference variables for controlling the exhaust air flow in line with actual needs. The energy saving potential of demand-driven regulated air flows has been examined using two demand-driven extraction hoods as examples.

Exhaust air damper that are not airtight can cause substantial infiltration losses when the extraction hood is not used (i.e., most of the time, estimated here as 23.5 hours/day). Preliminary estimates in the preceding project had already highlighted this. Metrological tests concerning the leakage of various commonly used exhaust air dampers have shown significant differences. These tests have been accompanied by an exemplary thermal bridge analysis. Finally, theoretical evaluations of the degree of purge have shown that the type and location of the fresh air inlet can positively influence the capture rate and thereby, also the demand for air extraction. In order to improve the energy efficiency and the thermal comfort of extraction hoods, it is possible to use heat recovery by combined exhaust air - supply air systems. This project has examined and compared various ways of doing so.

### Evaluation of extraction hood systems

The metrologically tested characteristics of the extraction hood systems (capture rate, exhaust air flow as well as electrical power consumption) have been complemented by an energetic assessment. For this purpose, the additional yearly heating demand and the additional yearly electricity demand caused by the extraction hood systems have been calculated based on a reference building. This has made it possible to clearly differentiate between the assessed extraction hood systems. Thus, when evaluating extraction hood systems, both the capture rate and the additional energy consumption should be taken into account.

### Evaluation of recirculation hood systems

Recirculation hood systems filter the cooking vapour and recirculate the filtered air back into the room. Therefore, unlike extraction hoods, recirculation hoods do not affect the heating demand. The efficiency of the recirculation hood depends on its capture rate and, in large part, on the quality of the recirculation filter. In the course of the project, the efficiency of the different recirculation filters has been examined based on their odour reduction grade (with reference to DIN EN 61591).

# 1. Ausgangslage

Der Gebäudesektor ist in Deutschland ein wesentlicher Energieverbraucher und trägt damit nicht nur einen erheblichen Teil zum CO<sub>2</sub>-Ausstoß und Klimawandel bei, sondern hat vor dem Hintergrund aktueller Ereignisse auch einen wesentlichen Anteil an der Abhängigkeit von fossilen Energieträgern. Um diese Abhängigkeit zu reduzieren und um die energie- und klimapolitischen Ziele zu erfüllen, muss der Energiebedarf durch Effizienzmaßnahmen deutlich reduziert und der Anteil erneuerbarer Energien an der Deckung des verbleibenden Energiebedarfs erheblich gesteigert werden.

Dunstabzugshauben können gerade bei Niedrigstenergiegebäuden einen nicht zu vernachlässigenden Anteil am Gesamtenergiebedarf verursachen. In diesem Zusammenhang sind neben dem Stromverbrauch vor allem der Energieverlust bei Abluftdunstabzugssystemen während des Betriebs aber auch außerhalb des Betriebs durch undichte Abluftklappen zu nennen.

In dem vorangegangenen Forschungsvorhaben „Studie zur technischen, energetischen und wirtschaftlichen Bewertung von Abluft- und Umluftdunstabzugshauben in Wohnküchen in energieeffizienten Gebäuden“ erfolgte bereits eine kritische Untersuchung vorhandener Bewertungsverfahren für Dunstabzugssysteme mit der Erkenntnis, dass es bisher keine Bewertungsverfahren gibt, die die Wirksamkeit und den Energiebedarf von Dunstabzugssystemen praxisnah abbildet.

Folgende Abschnitte stellen die wesentlichen Erkenntnisse des vorangegangenen Forschungsvorhabens zusammen [BewDunst]:

## 1.1 Normative und gesetzliche Rahmenbedingungen

Bei der Vielzahl an normativen und gesetzlichen Rahmenbedingungen gelingt es den Akteuren, wie z.B. Küchenplanern, kaum die wesentlichen Anforderungen zu identifizieren. Im Rahmen des Vorhabens wurde daher eine Übersicht zu wesentlichen normativen, gesetzlichen und weiteren Rahmenbedingungen für die Verwendung von Dunstabzugshauben erstellt.

## 1.2 Technische Bewertung von Dunstabzugshauben

Die technische Bewertung von Dunstabzugshauben stellte eine zentrale Fragestellung der Studie dar. Die aktuellen Bewertungsverfahren und normativen Grundlagen wurden hierzu kritisch überprüft und es wurde untersucht in wieweit praxisnahe Bedingungen zu abweichenden Ergebnissen führen.

### **Bewertung der Erfassung von Abluft-Dunstabzugshauben**

Bisher sind hierzu keine standardisierten Verfahren verfügbar. Simulationsrechnungen deuten darauf hin, dass der in der Prüfnorm DIN EN 61591 beschriebene Geruchsminderungsgrad für eine Bewertung nicht geeignet ist.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden zwei Bewertungsverfahren erprobt.

Bei einem der angewendeten Verfahren wurde der Prüfaufbau zur Messung der Geruchsminderung modifiziert. Mit Hilfe der MEK-Konzentration in der Abluft lässt sich der Erfassungsgrad auswerten. Im Rahmen der Messunsicherheit führte der modifizierte Prüfaufbau zu plausiblen Ergebnissen.

Ferner wurde ein optisches Verfahren zur Bewertung der Erfassung angewendet. Hier wurde bestimmt, welcher Abluftstrom mindestens erforderlich ist, um eine definierte Wrasenfreisetzung zu erfassen. Die Untersuchung deutet auf erhebliche Unterschiede zw. den bewerteten Dunstabzugshauben hin (die ermittelten Mindestluftströme unterschieden sich um 60%). Außerdem konnte der Einfluss der Montagehöhe einer Wandhaube sowie der Einfluss der Topfhöhe bei Kochfeldabsaugungen veranschaulicht werden.

### **Druckverluste der Dunstabzugssysteme**

In DIN EN 61591 sind unterschiedliche Druckverluste in Abhängigkeit des Rohrquerschnittes hinterlegt. Diese dienen der Spezifikation des theoretischen Arbeitspunktes von Abluftsystemen. Die Annahmen der

Druckverluste wurden mit einer praxisnahen Einbausituation verglichen und neue Vorschläge mit höheren Werten formuliert.

### **Elektrische Leistungsaufnahme der Dunstabzugssysteme**

Umluftsysteme müssen bisher nach [65/2014] nicht angezeigt werden, dabei ist die elektr. Leistungsaufnahme dieser Systeme in der Regel höher als in der Abluft-Ausführung. Auch für Umluft-Dunstabzugssysteme sollte eine Kennzeichnungspflicht bestehen.

Wie exemplarische Untersuchungen an Abluft-Dunstabzugssystemen zeigen, werden bedeutende Unterschiede in der elektrischen Leistungsaufnahme mit der Kenngröße fluiddynamische Effizienz FDE nicht abgebildet. Effizientere EC-Gebläse, welche insbesondere im Teillastbetrieb Vorteile haben, werden mit der Kenngröße nicht adäquat bewertet. Durch breiteren Einsatz effizienter EC-Gebläse und strömungstechnisch optimierter Dunstabzugssysteme sind deutliche Einsparungen beim Strombedarf zu erwarten.

### **Bewertung nach EcoDesign**

Der Fettabscheidegrad GFE ist der Anteil an Fett, der von den Filtern einer Dunstabzugshaube aufgenommen wird. Die Betrachtung geht davon aus, dass von dem Abzugssystem 100% des Wrasens erfasst wird. Der Anteil an Wrasen, der möglicherweise von der Dunstabzugshaube gar nicht erfasst wird, wird nicht berücksichtigt.

Die Fluiddynamische Effizienz FDE spiegelt das Verhältnis aus gefördertem Volumen und realisiertem Druckunterschied zur elektrischen Leistungsaufnahme im „Bestpunkt“ des Ventilators wieder. Ziel ist die Bewertung der Ventilatoren hinsichtlich ihrer Effizienz. Die Angaben zum FDE erlauben nur bedingt Rückschlüsse auf die elektrische Leistungsaufnahme unter praxisnahen Bedingungen (vgl. elektrische Leistungsaufnahme).

Die Energieeffizienzkennzeichnung lässt ferner einen wesentlichen energetischen Einfluss, die zusätzlichen Lüftungswärmeverluste, außer Acht. Die Kennzeichnung für Endverbraucher sollte dahin gehend überprüft werden.

Derzeit gilt die Kennzeichnungspflicht nur für Abluftsysteme. Die Kennzeichnung sollte auch für Umluftsysteme gelten.

### **Geruchsminderung von Dunstabzugshauben**

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden zahlreiche Versuche (unter gegenüber der DIN EN 61591 modifizierten Prüfbedingungen) durchgeführt. Die Untersuchungen führten auf folgende wesentliche Erkenntnisse:

**Abluft- Dunstabzugshauben:** Die untersuchten Modelle erzielen vergleichbare Ergebnisse und zeigen nur eine geringe Abhängigkeit von der Lüfterstufe (Geruchsreduzierungsgrad > 90 %). Die Messungen bestätigen die theoretischen Ergebnisse anhand von Simulationsrechnungen.

**Umluft- Dunstabzugshauben mit Aktivkohle-Filter:** Die Ergebnisse zeigen keinen signifikanten Einfluss der Bauform auf die Geruchsminderung. Vielmehr ist ein herstellerbezogener Einfluss erkennbar, wobei hier vor allem die Filterausführung – insbesondere die Kapazität - von entscheidender Bedeutung ist (Messwerte zur Geruchsminderung 60 % ... 90 %).

**Umluft-Dunstabzugshauben mit Aktivkohle-Filter (Alterung):** Die Ergebnisse zeigen, dass eine Filteralterung den Geruchsminderungsgrad überwiegend negativ beeinflusst, wobei vor allem der vom Hersteller verwendete Filter einen entscheidenden Einfluss hat. Für die Wirksamkeit in der Praxis ist daher mitentscheidend, dass die Aktivkohle-Filter auch regelmäßig entsprechend der Herstellerempfehlung erneuert bzw. regeneriert werden.

**Umluft-Dunstabzugshauben mit Aktivkohle-Filter und zusätzlicher Wohnungslüftungsanlage (Küchenabluft gemäß DIN 1946-6):** In Kombination mit einer Wohnungslüftung erzielen Umluft-Systeme annähernd vergleichbare Ergebnisse bzgl. der Geruchsreduzierung wie Abluft- Dunstabzugshauben (Median der untersuchten Umluft-Dunstabzugshauben liegt bei 90 %, die besten Umluft-Systeme erreichten 96 %). Die Messreihen für Umluft-Dunstabzugshauben zeigen, dass in Kombination mit einer Wohnungslüftung sich die Geruchsreduzierung um bis zu 10 %-Punkte unter den Prüfbedingungen verbessern (bei Aktivkohle-Systemen mit hohem Geruchsreduzierungsgrad ist der Einfluss der Wohnungslüftung auf die Geruchsreduzierung geringer).

## 1.3 Untersuchung zu Behaglichkeit und Luftqualität

### Luftnachströmung und Zugluftrisiko

Bei Verwendung einer Dunstabzugshaube im Abluftbetrieb muss der Abluftvolumenstrom durch nachströmende (und im Winter kalte) Zuluft kompensiert werden. Üblicherweise erfolgt die Luftnachströmung über gekippte Fenster, aber auch Mauerkästen mit Klappen werden für die Zuluftbereitstellung verwendet.

Zusammenfassend gilt für die verglichenen Varianten:

Jede Art Nachströmung, gerade bei kalten Außenlufttemperaturen, kann durch Zugluft und die mögliche Ausbildung von Kaltluftseen die Behaglichkeit beeinflussen.

Der Einfluss auf die Behaglichkeit ist umso größer, je höher der Abluftvolumenstrom (und damit die erforderliche Luftnachströmung) ist.

Bei Verwendung von Mauerkästen, welche idealerweise über der Kochstelle angeordnet sind, ist der Einfluss auf die Behaglichkeit vermutlich am geringsten.

Der Einfluss der Anordnung auf die Erfassung des Kochwrasens wurde dabei nicht untersucht.

### Relative Feuchtigkeit

Ausgehend von einem erwarteten höheren Schimmelpilzrisiko durch die Feuchtigkeit, die durch den Kochvorgang an die Raumluft abgegeben wird, wurde im Rahmen des Forschungsvorhabens eine Parameterstudie zur Entwicklung der relativen Feuchtigkeit durchgeführt. Untersucht wurde, welcher ergänzende Luftwechsel zur Kompensation der zusätzlichen Feuchtequelle erforderlich ist, damit weiterhin kein Schimmelpilzrisiko besteht.

Folgende Ergebnisse und Erkenntnisse können aus der Parameterstudie zusammengefasst werden:

Der zusätzliche erforderliche Luftwechsel pro Wohnung zur Kompensation der Feuchteabgabe durch den Kochvorgang beträgt 0,01 bis 0,03 h<sup>-1</sup>.

Die Feuchtebelastung durch den Kochvorgang ist bezogen auf die gesamte Wohnung eher unkritisch.

In den Küchen gibt es dennoch eine zumindest temporäre Belastung, was die Erfahrung von Küchenplanern bestätigt.

Bezüglich der Entwicklung der Raumluftfeuchte unkritische Fälle sind:

- Abluft-Dunstabzugshauben sowie
- Umluft-Dunstabzugshauben bei gleichzeitigem Grundluftwechsel durch eine kontrollierte Wohnungslüftung.

Des Weiteren wurde die Entwicklung der relativen Feuchtigkeit im bzw. unterhalb des Korpus untersucht. Gegenstand der Untersuchung war ein bereits von vielen Marktbeteiligten als kritisch eingestuftes System der Kochfeldabsaugung im Umluftbetrieb, wobei der Kochwrasen nach unten in den Sockelbereich des Unterschranks geführt und dort ausgeblasen wird (ohne den Kochwrasen über einen Kanal aus dem Sockelbereich herauszuführen).

Wie zu erwarten muss diese Lösung als kritisch eingestuft werden. Sogar ohne Außenwände oder Wärmebrücken im Sockelbereich kann sich die relative Feuchtigkeit an den Oberflächen auf 80 bis 100 % erhöhen. Damit ist die Voraussetzung für Schimmelpilzwachstum bereits für den vergleichsweise unkritischen Fall gegeben.

### Schall

Im Sinne eines zweckmäßigen Gebrauchs sind leisere Dunstabzugssysteme sowohl in der maximalen Betriebsstufe (für den tatsächlichen Kochbetrieb) als auch in der minimalen Einstellung (für eine Nachlaufzeit) wünschenswert. Wie eine Marktrecherche zeigte, bestehen zwischen den Produkten erhebliche Unterschiede.

### Einfluss bei Gebäuden mit sehr geringem Heizwärmebedarf

Einsatz von Abluft-Dunstabzugshauben: An kalten Tagen sind während dem Abluftbetrieb deutliche Unterschreitungen der Raumsolltemperatur und Komfortbeeinträchtigungen zu erwarten. Vor diesem Hintergrund sind Abluft-Dunstabzugssysteme zu bevorzugen, die mit moderaten Abluftvolumenströmen eine ausreichende Erfassung sicherstellen. Ferner wird in Gebäuden mit sehr geringem Heizwärmebedarf (wie z.B. Passivhäusern) empfohlen, die Heizleistung im Küchenbereich bei Abluft- Dunstabzugssystemen höher zu dimensionieren.

Umluft-Dunstabzugssysteme haben hingegen keinen Einfluss auf den thermischen Komfort und die Beheizbarkeit von energieeffizienten Gebäuden. In Verbindung mit einem vorhandenen Grundluftwechsel zur Kompensation der Feuchtelasten (z.B. durch eine Wohnungslüftung) sind Umluft-Dunstabzugssysteme in Gebäuden mit sehr geringem Heizwärmebedarf die erste Wahl.

## 1.4 Lufternachströmung und Wechselwirkung mit anderen Systemen

### Wechselwirkungen mit anderen Systemen

Ausgehend von normativen Anforderungen bezüglich des maximal zulässigen Unterdrucks

- Ohne Feuerstätte – maximaler Differenzdruck zur Öffnung von Türen 50 – 75 Pa
- Mit raumluftunabhängiger Feuerstätte maximal 8 Pa
- Mit raumluftabhängiger Feuerstätte maximal 4 Pa

wurde eine Variantenuntersuchung bezüglich der möglichen Einhaltung der Unterdrücke für eine Abluft-Dunstabzugshaube mit Nachströmung über einen marktüblichen steuerbaren Außenluftdurchlass mit einem Querschnitt von 10,5 cm durchgeführt.

Folgende Erkenntnisse können aus den Ergebnissen der Untersuchung abgeleitet werden (Außenluftdurchlass mit Durchmesser: 10,5 cm):

Bei sehr kleinen Wohneinheiten (20 m<sup>2</sup>) sollten keine Abluft- Dunstabzugshauben eingesetzt werden, da hier schnell Unterdrücke erreicht werden können, die bereits bezüglich der Öffnung von Türen kritisch sind.

Bei größeren Wohneinheiten (200 m<sup>2</sup>) mit raumluftabhängiger oder/ und raumluftunabhängiger Feuerstätte können die zulässigen Unterdrücke nicht eingehalten werden.

Bei größeren Wohneinheiten (200 m<sup>2</sup>) kann bei sehr dichter Gebäudehülle (z.B. in Passivhäusern) der für das Öffnen von Türen kritische Unterdruck nicht eingehalten werden.

Zudem wurden erforderliche Querschnittsdurchmesser für eine ausreichende Nachströmung abhängig von der Wohnungsgröße und dem Luftdichtheitskennwert berechnet und einer Matrix zusammengestellt.

Eine ebenfalls gebräuchliche Lösung ist eine Nachströmung über ein gekipptes Fenster, während ein Fensterkontaktschalter sicherstellt, dass die Dunstabzugshaube ausschließlich bei geöffnetem Fenster betrieben werden kann.

## 1.5 Energetische Bewertung in Neubau und Gebäudebestand

Abluft-Dunstabzugshauben verursachen zusätzliche Wärmeverluste (durch den Abluftbetrieb des Dunstabzugssystem, durch ungewollten Luftaustausch außerhalb des Betriebs und durch zusätzliche Transmissionswärmeverluste von Verschlussklappen), die sich abhängig von den Nutzungsgewohnheiten auf 450 bis rund 900 kWh/a je Wohnungsküche mit Abluft-Dunstabzugssystem summieren können. Überraschend stellt der Infiltrationsverlust bei Annahme von marktgängigen Produkten einen maßgeblichen Beitrag. Neuere Produkte mit aufwendigeren Verschlussystemen lassen deutlich geringere Infiltrationsverluste erwarten.

### Besonderheiten für energieeffiziente Gebäude

Abhängig von der Wohnungsgröße (Annahme zw. 40 m<sup>2</sup> und 160 m<sup>2</sup>) beträgt der spezifische zusätzliche Wärmeverluste bei Abluft-Dunstabzugssystem demnach zwischen 3 und 23 kWh/(m<sup>2</sup>a). Bei nahezu der Hälfte aller Wohneinheiten in Deutschland handelt es sich um eher kleinere Wohnungen. Werden nur kleinere Wohnungen betrachtet (mit 40 bzw.60 m<sup>2</sup>), beträgt der zu erwartende Wärmeverlust zwischen 7 und 23 kWh/(m<sup>2</sup>a). (Zum Vergleich: Bei Passivhäusern beträgt der Heizwärmebedarf max. 15 kWh/(m<sup>2</sup>a)).

Die Untersuchungen zeigen, dass der energetische Einfluss von Abluft-Dunstabzugssystemen insbesondere bei kleinen Wohnungen in Gebäuden mit sehr geringem Heizwärmebedarf maßgeblich werden kann.

Empfehlungen für Gebäude mit sehr geringem Heizwärmebedarf:

Umluft-Dunstabzugssysteme sind zu bevorzugen.

Abluft-Dunstabzugssysteme sind möglich, hierzu sind bestimmte Aspekte zu beachten (u.a. müssen Abluftöffnung und ggf. Nachströmöffnung mit dichtschießenden Abschlüsse versehen werden).

### **Systemabhängige Kosten und Wirtschaftlichkeit**

Eine Lebenszyklusbetrachtung sollte zudem Aufschluss geben, welcher Lösungsansatz Abluft-Dunstabzugshaube oder Umluft-Dunstabzugshaube aus ökonomischer Sicht zu bevorzugen ist. Die Berechnung hat lediglich beispielhaften Charakter und ist mit üblichen Unsicherheiten behaftet (Annahme zu Investitionskosten, Energiepreis, Nutzungsgewohnheiten, etc.). Bei Umluft-Dunstabzugshauben sind zusätzliche jährliche Kosten für den Wechsel des Aktivkohlefilters zu berücksichtigen.

Die resultierenden Lebenszykluskosten liegen demnach für beide betrachteten Systemvarianten in vergleichbarer Größenordnung.

## 2. Aufgabenstellung

Im Rahmen des Vorgängerprojekts wurden weiterführende Forschungsfragen identifiziert welche im Fokus dieses Forschungsprojektes stehen:

### 2.1 Energieeinsparpotentiale bei Abluftdunstabzugssystemen

Der Energieverbrauch von Abluftdunstabzugssystemen ergibt sich im Wesentlichen aus der Summe der:

- Lüftungswärmeverluste durch den Abluftvolumenstrom (ohne Wärmerückgewinnung) während des Kochvorgangs bzw. der Betriebszeit der Dunstabzugshaube,
- Infiltrationsverlusten durch undichte Abluftklappen außerhalb der Betriebszeit sowie Wärmebrückeneffekte der Abluftklappen

Folgende Arbeitsschwerpunkte ergeben sich unter der Berücksichtigung der offenen Forschungsfragen aus dem Vorprojekt:

#### **Untersuchung des Erfassungsgrades – weiterführende Untersuchungen**

Dunstabzugssysteme mit einer guten Erfassung des Kochwrasens können mit deutlich geringerem Volumenstrom die gleiche Menge Kochwrasen erfassen wie schlechtere Systeme. Zu Gunsten eines geringeren Energieverbrauchs von Dunstabzugssystemen sind daher Systeme mit einem guten Erfassungsgrad anzustreben. Im Rahmen der Studie [BewDunst] wurde ein Verfahren zur optischen Bewertung des Erfassungsgrades entwickelt, das eine qualitative Bestimmung der Wrasenerfassung erlaubt. Im Rahmen dieses Forschungsprojektes wird ein Verfahren erprobt, welches auch einer quantitativen Bewertung zulässt.

#### **Bedarfsgerechte Volumenstromregelung**

Die Anpassung des Abluft- bzw. Umluftvolumenstroms an den tatsächlichen Bedarf sorgt nicht nur für eine effektive Abfuhr des Kochwrasens, sondern begrenzt vor allem auch den Energieeinsatz der für den Betrieb der Dunstabzugssysteme erforderlich ist. Es werden in diesem Projekt am Markt verfügbare Dunstabzugssysteme messtechnisch untersucht und hinsichtlich der Energieeinsparpotentiale verglichen.

#### **Abluftklappen von Dunstabzugssystemen im Abluftbetrieb**

Abluftklappen von Abluftdunstabzugssystemen stellen eine dauerhafte Durchdringung der thermischen Gebäudehülle dar. Der Betrieb der Abluftdunstabzugshaube betrifft nur einen geringen Zeitanteil. Zu einem weitaus größeren Zeitanteil (ca. 23,5 h pro Tag) ist das Dunstabzugssystem ausgeschaltet und die Abluftklappe geschlossen. Undichte Abluftklappen können (vgl. [BewDunst]) in diesem Zustand nennenswerte Infiltrationen verursachen, die wesentliche Wärmeverluste verursachen können. Im Forschungsprojekt werden Leckagemessungen an Abluftklappen unterschiedlicher Qualität durchgeführt. Im Rahmen eines Variantenvergleichs werden die energetischen Einflüsse aufgezeigt und Empfehlungen für die Praxis abgeleitet.

#### **Luftnachströmung**

Die Luftnachströmung bei Abluftdunstabzugshauben erfolgt gegenwärtig in aller Regel über ein gekipptes Fenster in Verbindung mit einem Fensterkontaktschalter. Eine komfortablere Lösung bieten nutzerunabhängige Lösungen z.B. Zuluftmauerkästen. Grundlegende Untersuchungen zu verschiedenen Nachströmvarianten und dem erforderlichen freien Querschnitt in Abhängigkeit des Gebäudestandards wurden bereits im Rahmen der Studie [BewDunst] durchgeführt. Im Fokus dieses Forschungsprojektes steht die Bewertung unterschiedlicher Nachströmvarianten (Fenster vs. Zuluftmauerkasten, aktiv vs. passiv, herdnah vs. herdforn) hinsichtlich des Einflusses auf Erfassung, Behaglichkeit und Heizwärmebedarf.

## 2.2 Untersuchungen zu Umluftdunstabzugssystemen

Die Verwendung von Umluftdunstabzugssysteme wirkt sich energetisch nicht auf die Gebäudeenergiebilanz aus. Vgl. [BewDunst] sind Umluftdunstabzugssysteme daher vor allem bei energieeffizienten Gebäuden und bei Vorhandensein eines Grundluftwechsels in der Küche (durch eine kontrollierte Wohnraumlüftung) zu bevorzugen.

Unter Berücksichtigung der Erkenntnisse und offenen Forschungsfragen aus dem Vorprojekt ergeben sich folgende Arbeitsschwerpunkte:

### **Umluftdunstabzugshauben in modernen Gebäude**

Bei Umluftdunstabzugshauben resultiert die Qualität der Schadstoffeffassung neben dem Grad der Wrasenerfassung vor allem aus der Qualität der Umluftfilter, was erste Messungen im Rahmen der Studie [BewDunst] aufzeigten. Im Rahmen des Forschungsprojekts werden die Einflussgrößen für eine hohe Filterqualität bzw. die Unterschiede am Markt verfügbarer Filter herausgearbeitet und messtechnisch untersucht.

### **Untersuchung zur Entwicklung der Raumlufftfeuchte bei der Verwendung von Umluftdunstabzugssystemen**

Bei Umluftdunstabzugssystemen wird der feuchtebeladene Kochwrasen nicht abgeführt, sondern gefiltert und gelangt als Umluft in den Raum zurück. Die Feuchtelast kann dabei vom Umluftdunstabzugssystem nicht oder nur in begrenztem Umfang verringert werden. Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wird anhand eines Monitoringprojekts untersucht in wie weit das Vorhandensein eines Grundluftwechsels in der Küche ausreicht, um hohe Raumlufftfeuchten in Küchen zu vermeiden.

### 3. Untersuchungen der Energieeinsparpotentiale bei Abluftdunstabzugssystemen

Der zusätzliche Energiebedarf von Abluftdunstabzugssystemen ergibt sich im Wesentlichen aus dem energetisch wirksamen Abluftvolumenstrom (ohne Wärmerückgewinnung) sowie den Infiltrationsverlusten und Wärmebrückeneffekten durch die Abluftklappen.

Energieeinsparpotentiale zielen daher in erster Linie darauf ab den energetisch wirksamen Volumenstrom zu reduzieren, was möglich ist durch:

- Eine bessere Erfassung des Kochwrasens
- Eine Anpassung des Abluftvolumenstroms an den tatsächlichen Bedarf
- Effektivere (zielgerichtete Luftnachströmung)

Des Weiteren sollten Abluftklappen und Nachströmöffnungen möglichst dicht und wärmebrückenarm ausgebildet sein, um die Energieverluste außerhalb des Betriebs der Dunstabzugshaube auf ein Minimum zu begrenzen.

Die nachfolgenden Kapitel fassen die im Rahmen des Projekts durchgeführten Untersuchungen der einzelnen Energieeinsparpotentiale für Abluftdunstabzugssysteme zusammen.

#### 3.1 Untersuchung des Erfassungsgrades – weiterführende Untersuchungen

Verantwortlicher Projektpartner: Passivhaus Institut GmbH

##### 5.1.1 Einleitung

Wie eingangs verdeutlicht verursachen Abluftdunstabzugssysteme Lüftungswärmeverluste die umso höher sind, je größer der Abluftvolumenstrom ist. Bei guter Erfassung kann der Abluftvolumenstrom gegenüber Dunstabzugssystemen mit schlechter Erfassung bei gleicher Schadstoffabfuhr deutlich geringer ausfallen. Gesucht ist demnach ein Verfahren, mit welchem der Erfassungsgrad der einzelnen Dunstabzugshaube gut ermittelt werden kann. Im Rahmen des Vorprojekts wurde ein Verfahren zur optischen Bewertung des Erfassungsgrades entwickelt, welches eine qualitative Bestimmung der Wrasenerfassung erlaubt. An die Ergebnisse wird in den folgenden Abschnitten angeknüpft. Darüber hinaus wird ein weiteres Verfahren beschrieben, mit dem auf Grundlage einer Wasserdampfbilanz auch eine quantitative Bewertung der Erfassung möglich sein soll.

Das optische Verfahren beinhaltet die Bewertung von Bilderreihen, welche während eines Verdampfungsversuches aufgenommen wurden. Aus diesen Bilderreihen wurden die Bilder betrachtet, in denen am meisten Wrasen an der Haube vorbei ging. Die Dunstabzugshauben konnten damit qualitativ bewertet werden.

Ziel dieses Projekts war zunächst, das optische Verfahren des vorangegangenen Projektes besser zu beschreiben und, wenn möglich, mithilfe von Algorithmen zur Bildauswertung auch eine quantitative Bewertung zu ermöglichen. Anlage 1 beinhaltet eine Zusammenfassung der Untersuchungen zum optischen Verfahren. Das Wasserdampfverfahren war zunächst nur als Referenzverfahren angedacht gewesen. Hierfür wird Wasser verkocht und die Wassermenge im Abgasrohr sowie im Referenzraum messtechnisch bestimmt. Damit kann der Anteil Wasser ermittelt werden, welcher von der Dunstabzugshaube während des Versuchs aufgenommen wurde.

Letzteres Verfahren zeigte sich als geeigneter zur direkten Bestimmung eines Erfassungsgrades. Die Versuche konzentrierten sich daher vor allem auf dieses Verfahren.

## 5.1.2 Messtechnische Untersuchung des Erfassungsgrades durch Wasserdampfbilanzierung

### 5.1.2.1 Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau ist in Abbildung 1 und Abbildung 2 zu sehen.

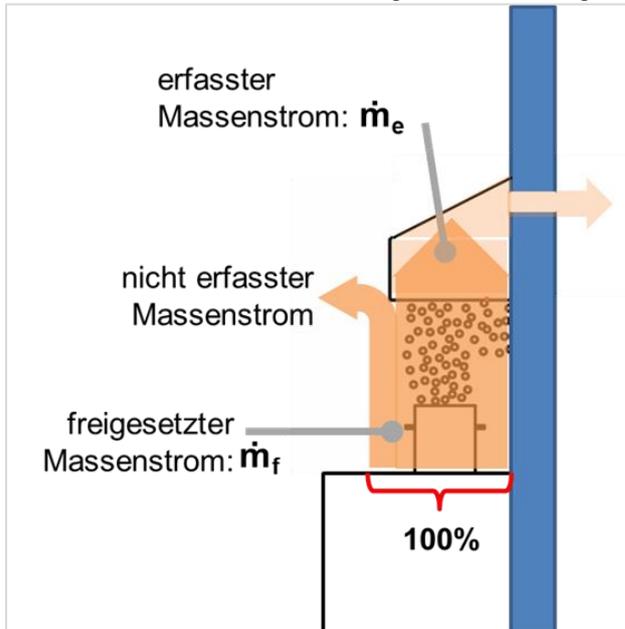


Abbildung 1: Schema Versuchsaufbau [PHI]

Die Hauben sind mit definiertem Abstand zum Kochfeld an eine Grobspanplatte montiert. Das Abgasrohr, bestehend aus einem 90°-Bogen und ca. 1 m flexiblem Kanal mit einer Nennweite von DN 150, nach Außen geführt. Das Kochfeld ist zur genauen Bestimmung des verdampften Wassers auf einer Waage platziert.

Im Abgasrohr befinden sich zwei Temperatursensoren, zwei Sensoren zur Bestimmung der relativen Feuchtigkeit, sowie ein Druckmesskreuz zur genauen Ermittlung des Abluftvolumenstroms. Im Versuchsraum wurden ebenfalls jeweils zwei Temperatursensoren und Sensoren zur Messung der relativen Feuchtigkeit platziert, zum einen um die bereits in der Raumluft enthaltene Feuchte zu bestimmen, zum anderen um die Erhöhung des Feuchtegehaltes der Raumluft gegenüber Ausgangslage zu ermitteln. Weitere Angaben zu den verwendeten Sensoren und zu der verwendeten Messtechnik sind in Anhang 2 zusammengefasst.

Die Wasserdampfbilanz ergibt sich wie folgt:

Formel 1: Wasserdampfbilanz

$$\dot{m}_f = \dot{m}_e + \dot{m}_r$$

mit

$\dot{m}_f$  freigesetzte Wassermenge

$\dot{m}_e$  von der Dunstabzugshauben erfasste Wassermenge

$\dot{m}_r$  nicht erfasste Wassermenge in den Raum



Abbildung 2: Frontalaufnahme Versuchsaufbau, Abgasrohr nicht verbunden [PHI]

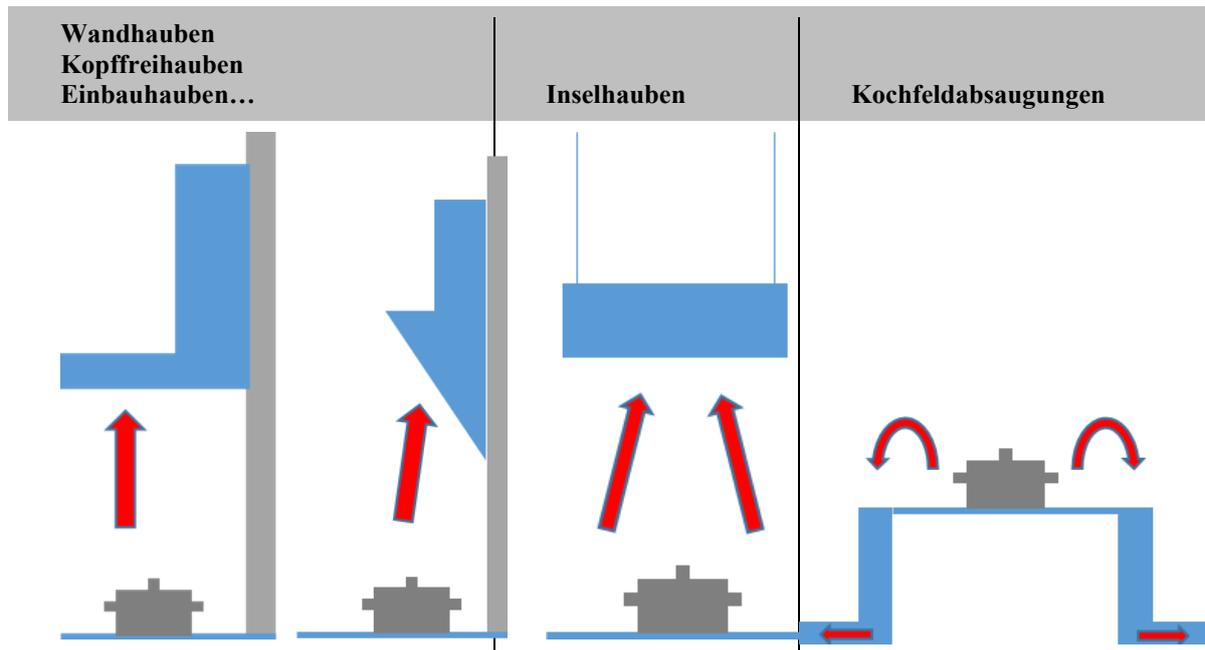
### 5.1.2.2 Auswahl der Dunstabzugssysteme für die Untersuchung

Es wurden insgesamt 8 Dunstabzugshauben von 6 verschiedenen Herstellern untersucht. Dabei wurde sich auf Wandhauben mit den Bauformen Überkopf und Schrägschirm konzentriert (Einteilung der Hauben vgl. Tabelle 1). Inselhauben und Kochfeldabsaugungen wurden im Rahmen dieser Untersuchungen zunächst nicht betrachtet.

Begründung:

- Inselhauben sind zumeist Umlufthauben. Für diese Untersuchungen ist jedoch die Abfuhr des Kochwrasens nach Außen erforderlich.
- Bei Kochfeldabsaugungen wurde bereits im Vorprojekt deutlich, dass eine vollständige Erfassung nur mit niedriger Topfhöhe und mit vergleichsweise hohem Volumenstrom möglich ist. Zur Messung dieser Absaugung wäre eine starke Modifizierung des Versuchstandes nötig gewesen. Darauf wurde zugunsten einer größeren Bandbreite an untersuchten Wandhauben verzichtet.

Tabelle 1: Bauformen von Dunstabzugssystemen [Quelle: Leitfaden Dunstabzugssysteme für Wohnküchen – Empfehlungen für Planer, Gutachter und Nutzer]



### 5.1.2.3 Versuchsbeschreibung

Die durchgeführten Versuche werden hier beschrieben. Die Ergebnisse werden im Abschnitt „Ergebnisse“ dargestellt.

#### Referenzversuche

Zur Verifizierung des Messverfahrens wurde zunächst ein Referenzversuch durchgeführt. Hierfür wurde ein Schirm um die Prüflaube angebracht. Damit sollte der Versuch so modifiziert werden, dass möglichst sämtlicher Wasserdampf von der Haube aufgenommen wird. Dies diente der Validierung des Versuches, also um herauszufinden, ob mit dem Verfahren die theoretischen 100 % Erfassungsgrad auch erreicht werden können.



Abbildung 3: Versuchsaufbau mit Schirm zur Bestimmung eines Erfassungsgrades 100 % Erfassungsgrad [PHI]

Jeder Versuch wurde mit verschiedenen Verdampfungsraten (also mit verschiedenen Leistungen des Kochfeldes bzw. der Kochfelder) durchgeführt. Es wurden jeweils Versuche mit 1.000 W Kochfeldleistung und mit 2.000 W Kochfeldleistung durchgeführt. Es wurden die Lüfterstufen 1 – 3 der Referenzhaube untersucht.

### *Serienversuche*

Für die Serienversuche zur Bestimmung der Erfassungsgrade wurde jede Haube jeweils unter den folgenden Einstellungen untersucht:

- Stufe 1 der Haube aktiviert; jeweils mit einer Herdplatte (2.000 W Leistung) und mit zwei Herdplatten (zusammen 4.000 W)
- Stufe 3 der Haube aktiviert; jeweils mit einer Herdplatte (2000 W Leistung) und mit zwei Herdplatten (zusammen 4.000 W)

Dies ergibt pro Haube insgesamt 4 Versuche:

- Lüfter-Stufe 3, zwei Platten mit 4000 W
- Lüfter-Stufe 3, eine Platte mit 2000 W
- Lüfter-Stufe 1, zwei Platten mit 4000 W
- Lüfter-Stufe 1, eine Platte mit 2000 W

Es wurden insgesamt 8 Dunstabzugshauben untersucht, diese aufgeteilt in folgenden Kategorien:

- 5 Überkopfhäuben
- 3 Schrägschirmhäuben

### *Versuchsablauf*

Jeder Versuch gliederte sich in mehrere Phasen:

1. Vorlauf (~5-10 Minuten): Die Haube ist auf der zu untersuchenden Lüfterstufe eingeschaltet. Die Herdplatten sind aus.
2. Kochphase (~15-20 Minuten): Die Haube ist auf der zu untersuchenden Lüfterstufe eingeschaltet. Die Herdplatten werden auf die zum Versuch passende Leistung eingestellt und gestartet. Bis das Wasser kocht vergehen einige Minuten, folgend wird das Wasser möglichst lang gekocht.
3. Nachlauf (~10 Minuten): Die Haube ist auf der zu untersuchenden Lüfterstufe eingeschaltet. Die Herdplatten werden abgeschaltet, die Töpfe mit Wasser werden aus dem Raum entfernt. Die Haube läuft die angegebene Zeit nach um die Luft im Raum wieder zu normalisieren (angesammelte Feuchte im Raum soll ausgetragen werden).

### *Beschreibung der Erfassungsgradberechnung*

Über die Temperatur und relativen Feuchte in Raum und Rohr werden jeweils die absoluten Feuchten bestimmt. Zwischen den beiden absoluten Feuchten wird die Differenz gebildet, um nur die Wassermenge zu betrachten, die der Luft durch das Kochen hinzugefügt wird. Betrachtet wird nur das stabile Plateau der Kochphase (vgl. Abbildung 4). Mit Hilfe der ermittelten Menge an verdampftem Wasser und dem ermittelten Abluftvolumenstrom wird die erfasste Wassermenge  $\dot{m}_e$  bestimmt.

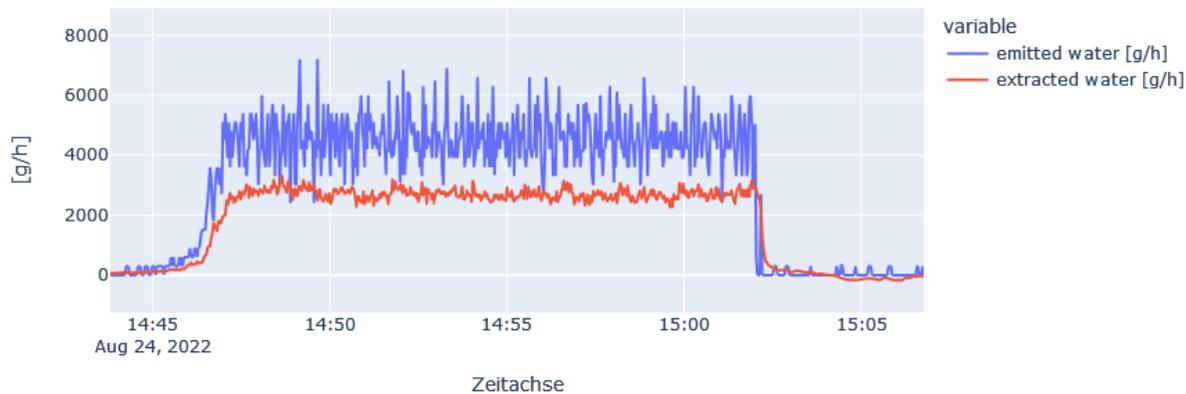


Abbildung 4: Beispielhafter Verlauf von erfasstem Wasser(rot) und freigesetztem Wasser(blau) umgerechnet in g/h [PHI]

Aus der Gewichtsabnahme des Wassers im Topf wird über die Kochzeit die mittlere freigesetzte Wassermenge  $\dot{m}_f$  bestimmt. Die Kochphase, in der die mittleren Raten bestimmt werden, beginnt etwa 3 Minuten nach Beginn der Verdampfung (in Abbildung 4: ab ca. 14:50) bis kurz vor Ende der Verdampfungsphase (in Abbildung 4: bis ca. 15:02). Das Verhältnis der von der Dunstabzugshaube erfassten Wassermenge  $\dot{m}_e$  zu verdampfter Wassermenge  $\dot{m}_f$  ergibt den Erfassungsgrad:

Formel 2: Erfassungsgrad

$$E_{Grad} = \frac{\dot{m}_e}{\dot{m}_f}$$

#### 5.1.2.4 Ergebnisse

##### Referenzversuch

Die Referenzversuche zeigten klar, dass mit dem Schirm ein Erfassungsgrad nahe 100 % erreicht werden kann. Die für die Referenzversuche genutzte Haube war eine derer, die in den späteren Versuchen am besten abschnitt. Sie ist innerhalb der Versuchsreihen die Überkopphaube 1. Der Referenzversuch zeigt, dass trotz einer gewissen Varianz (+/- 6 % in dieser Versuchsreihe) der Erfassungsgrad mit dieser Methode bestimmt werden kann.

Auffallend bei den Referenzversuchen ist, dass der Erfassungsgrad in Stufe 2 am besten ist, und in Stufe 3 etwas geringer als in Stufe 1. Wahrscheinlich liegt dies an der nicht-linearen Beziehung zwischen dem k-Faktor des Messkreuzes zur Ermittlung des Volumenstroms (vgl. Anhang 2) und dem tatsächlichen Volumenstrom, weswegen der errechnete Volumenstrom bei hoher Lüfterstufe voraussichtlich höher ist als der tatsächliche Abluftvolumenstrom. Um dies zu verifizieren fehlte eine präzisere Messeinrichtung. Der k-Faktor des Messrohres im Versuchsaufbau wurde experimentell bestimmt und gemittelt.

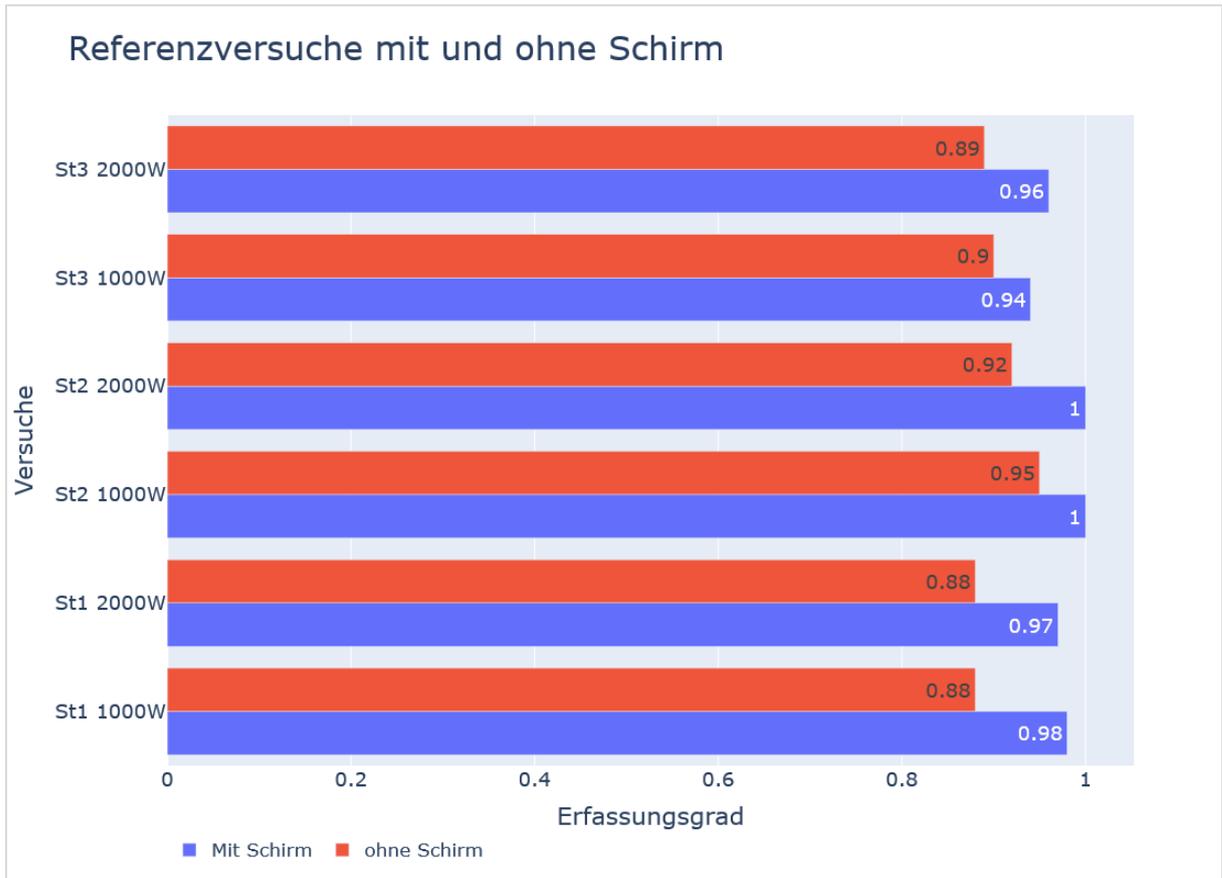


Abbildung 5: Ergebnisse der Referenzversuche mit Überkopfhaube 1 mit und ohne Schirm in den Lüfterstufen 1 – 3 (St 1 – St 3) bei jeweils zwei Leistungsstufen des Kochfeldes (1.000 W und 2.000 W) [PHI]

### Serienversuche

Abbildung 6 zeigt den erzielten Erfassungsgrad der untersuchten Dunstabzugssysteme für den Betrieb mit zwei Kochfeldern, also 4000 W Verdampfungsleistung in Prozent (Primärachse). Gleichzeitig ist der Abluftvolumenstrom im Diagramm zu sehen (Sekundärachse). Deutlich zu erkennen ist, dass einzelne Dunstabzugssysteme (ÜKH 1 und ÜKH 3) sowohl in Stufe 1 als auch in Stufe 3 die höchsten Erfassungsgrade aufweisen, und das bei vergleichsweise geringem Abluftvolumenstrom. Tendenziell weisen die untersuchten Schrägschirmhauben, zumindest in Lüfterstufe 1 einen geringeren Erfassungsgrad als vergleichbare Überkopfhauben auf.

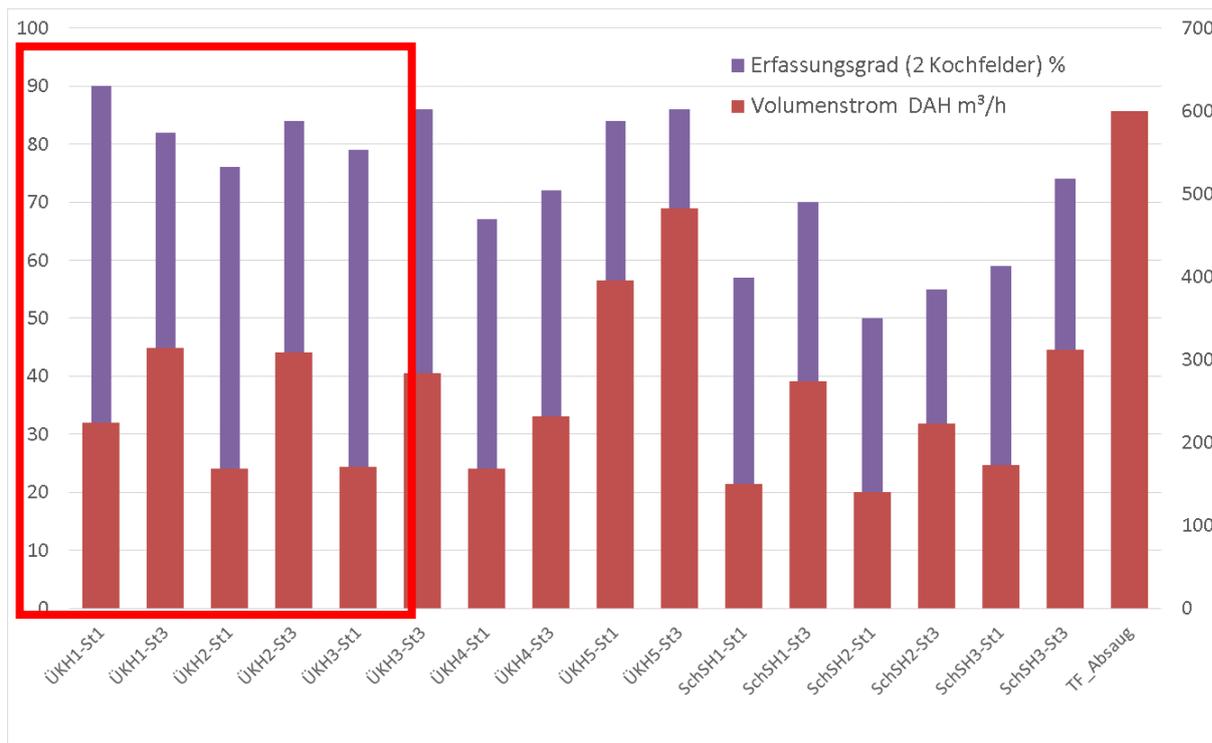


Abbildung 6: Erfassungsgrad im Betrieb für die Variante mit zwei Kochfeldern (gesamt 4.000 W Verdampfungsleistung) sowie der Abluftvolumenstrom der untersuchten Dunstabzugshauben Überkopf (ÜKH) und Schrägschirm (SchSH) jeweils in den Lüfterstufen 1 und 3. Die Tischfeldabsaugung (TF-Absaugung) wurde mit dem Volumenstrom für vollständige Erfassung (vgl. der Untersuchungen nach optischem Verfahren des Vorprojekts) ergänzt. Der Erfassungsgrad mittels Wasserdampf-bilanzierung konnte für diese Bauform im Rahmen dieses Projekts nicht mehr bestimmt werden [PHI]

Zusätzlich wurde zur besseren Vergleichbarkeit der Dunstabzugshauben noch deren elektrische Leistungsaufnahme bestimmt. Die Ergebnisse sind in Abbildung 7 zu sehen. Die gemessenen Leistungen unterscheiden sich deutlich, wobei Hauben mit einem großen Abluftvolumenstrom auch höhere elektrische Leistung aufweisen. Zu sehen ist weiterhin, dass die Überkopphaube 1, welche bei vergleichsweise geringem Abluftvolumenstrom einen guten Erfassungsgrad erzielt, auch eine nur moderate elektrische Leistungsaufnahme aufweist. Zum Vergleich wurden die Werte der Tischfeldabsaugung (vgl. der Untersuchungen aus dem Vorprojekt) ergänzt. Diese hatte entsprechend der Untersuchungen zum Erfassungsgrad nach optischem Verfahren erst bei höchster Lüfterstufe eine vollständige Erfassung erzielt. Bei größerer Topfhöhe (16 cm) wurde keine vollständige Erfassung erreicht. Der Erfassungsgrad nach Wasserdampfbilanz konnte für diese Bauform im Rahmen des aktuellen Forschungsvorhabens nicht mehr durchgeführt werden.

Die verschiedenen Dunstabzugshauben lassen sich anhand von Volumenstrom, elektrischer Leistungsaufnahme und Erfassungsgrad sehr gut unterscheiden und bewerten. Eine weiterführende Bewertung gerade im Hinblick auf den Einfluss der Hauben auf die Energiebilanz des Gebäudes erfolgt in Abschnitt 3.1.3.

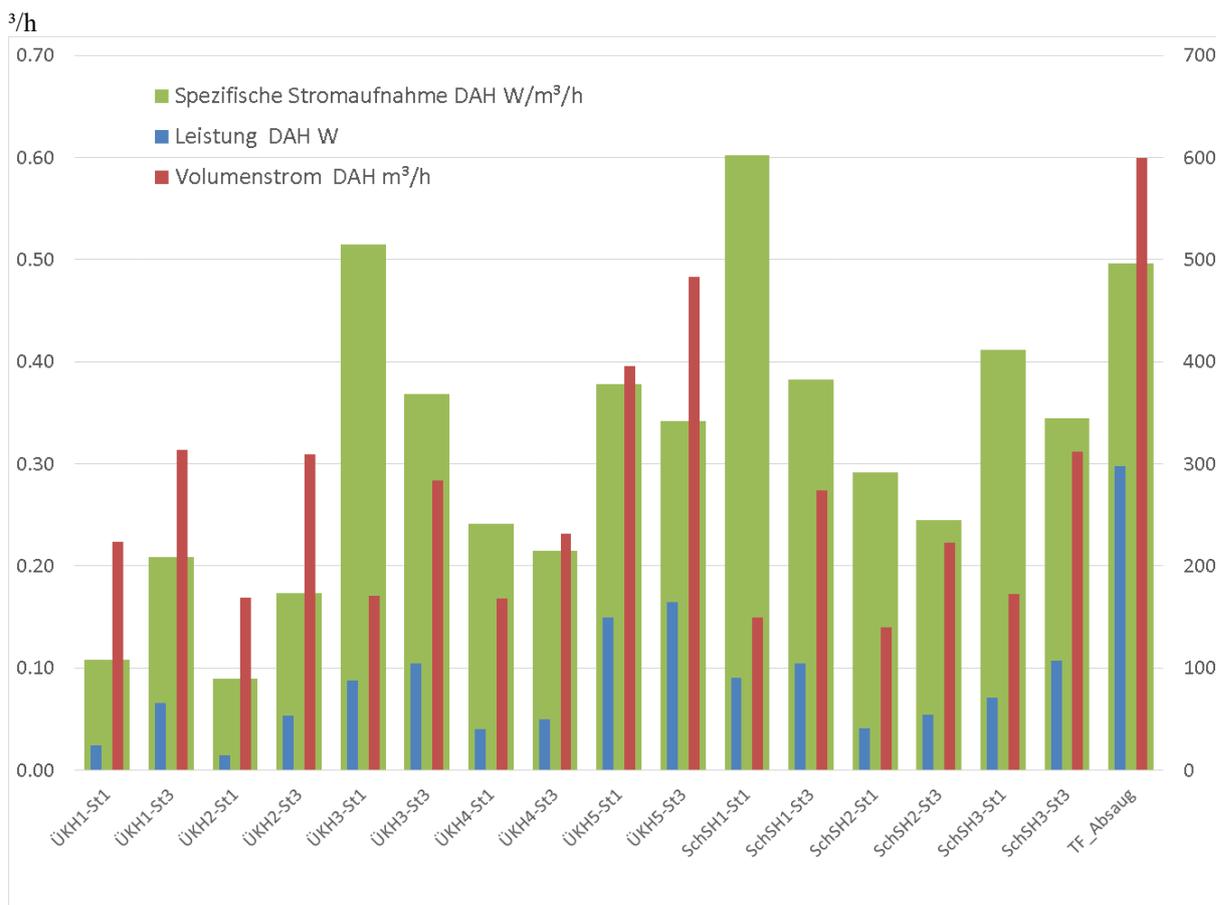


Abbildung 7: Elektrische Leistungsaufnahme, Volumenstrom und die spezifische elektrische Leistungsaufnahme der untersuchten Dunstabzugshauben Überkopf (ÜKH) und Schrägschirm (SchSH). Die Werte der Tischfeldabsaugung (TF-Absaug) in höchster Lüfterstufe wurde zum Vergleich aus den Untersuchungen des Vorprojekts ergänzt [PHI]

### 5.1.2.5 Diskussion und Fehlerbetrachtung

Zur weiteren Präzisierung des Verfahrens müssten einige Ungenauigkeiten des Versuchsaufbaus beseitigt werden. Hier eine Auflistung und Erläuterung:

#### *Kondensatentwicklung im Raum sowie an der Haube.*

Während der Versuche trat in der Haube, und wahrscheinlich auch im Raum in der Nähe des Versuchsstands Kondensat auf. Dies gilt es, für die Versuche möglichst zu vermeiden.

Entsprechend der Empfehlungen des Instituts für Luft- und Kältetechnik GmbH (ILK), die ebenfalls Erfassungsgradversuche mithilfe von Wasserdampf durchgeführt haben, sollte der Taupunkt stets überwacht und eine zusätzliche Wasserdampfbilanz erstellt werden. Demnach wurden vom ILK beispielsweise Versuche bei denen die Taupunkttemperatur unterschritten wurde, als ungültig gewertet.

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens konnte dies aufgrund begrenzter Laborausstattung nicht berücksichtigt werden.

#### *Kontrolle der nachströmenden Luft*

Die Raumluft war während der Versuche nicht konditionierbar, ebenso wenig war die genaue Bestimmung der nachströmenden Luft möglich. Die Nachströmung erfolgte über die nebenliegenden Räume, wodurch die Temperatur und relative Feuchte leicht variierten.

Zur Reduktion der Schwankungen der relativen Feuchte sollte die Ersatzluft nur über einen klar definierten Pfad nachströmen und die Konditionen darin auf ungefähr 20 °C und 20 % Luftfeuchte gehalten werden, damit die Luft für den Versuch möglichst viel Wasser aufnehmen kann.

### *Betrachtung von Umlufthauben*

Zum aktuellen Zeitpunkt ist es mit diesem Verfahren nur möglich, Ablufthauben zu bewerten. Umlufthauben könnten nur getestet werden, wenn sie zum Betrieb als Ablufthauben modifizierbar wären und damit einen klar definierten Austritt für die Abluft hätten.

### *Störgrößen im Raum*

Störgrößen im Raum, z. B. Luftbewegung durch Querströmung oder Personen im Raum, wurden in den Versuchen nicht berücksichtigt. Inwieweit reale Störgrößen den hier idealisiert ermittelten Erfassungsgrad beeinträchtigen, wurde im Rahmen dieses Projekts nicht untersucht.

## **5.1.3 Bewertung der Dunstabzugshauben anhand eines Referenzgebäudes**

Die verschiedenen Hauben lassen sich anhand Volumenstrom, elektrischer Leistung (vgl. Abbildung 7) und Erfassungsgrad (vgl. Abbildung 6) sehr gut unterscheiden und bewerten.

### **Bewertung anhand des Einflusses auf die Energiebilanz eines Gebäudes**

Die Hauben können zusätzlich anhand des Einflusses auf die Gebäudeenergiebilanz verglichen werden. Als Referenzgebäude wurde hierfür ein typisches Passivhaus gewählt. Dazu wurde der Betrieb der Hauben in das Modell der Energiebilanz nach dem Passivhaus Projektierungspaket [PHPP] integriert. Es wurde der zusätzliche Bedarf an elektrischer Energie der Haube und der zusätzliche Lüftungswärmeverlust aufgrund des erhöhten Luftwechsels angerechnet, da durch die Hauben der erhöhte Luftvolumenstrom ohne Wärmerückgewinnung abgeführt und entsprechend viel kalte Außenluft direkt angesaugt wird.

Das Referenzgebäude hat eine Energiebezugsfläche von 156 m<sup>2</sup>. Ohne eine Dunstabzugshaube hat das Gebäude einen Heizwärmebedarf (HWB) von 10,5 kWh/(m<sup>2</sup>a) und einen Bedarf an elektrischer Energie von 5,7 kWh/(m<sup>2</sup>a).

Die Werte für den zusätzlichen HWB und die zusätzliche elektrische Energie für die Wärmepumpe (WP) sind in Abbildung 8 dargestellt und zwar in kWh/a. Denn die Werte sind im Rahmen der Rechengenauigkeit praktisch unabhängig von der Größe der Wohneinheit: die genannten Werte können also als Energiekennwerte für die einzelnen Dunstabzugssysteme herangezogen werden. Alle genannten Werte für Strombedarf berücksichtigen jeweils bereits den Betriebsstrom für die Dunstabzugshauben.

Das bedeutet, die aus energetischer Sicht beste Haube (SchSH2) erhöht in Stufe 3 den HWB nur um etwa 85 kWh/a. Bei der Schlechtesten sind es etwa 230 kWh/a. Diese Zahlen gelten für den Betrieb der Hauben für 0,5 Stunden pro Tag, siehe Abbildung 8. Für einen längeren Betrieb erhöhen sich die Werte entsprechend.

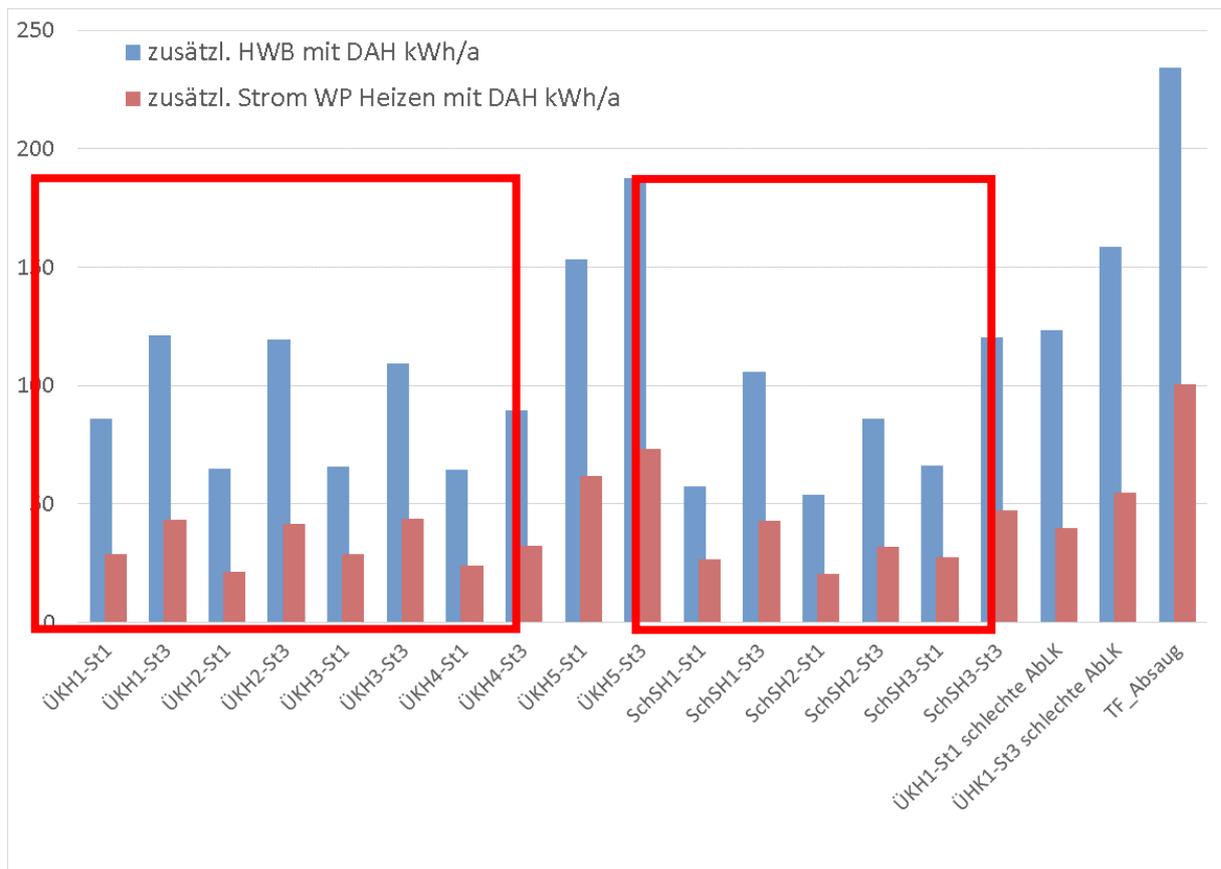


Abbildung 8: Zusätzlicher Heizwärmebedarf und zusätzlicher Bedarf an elektrischer Energie für Wärmepumpe und Hilfsstrom beim Betrieb der Hauben für 0,5 Stunden pro Tag, höhere Laufzeiten führen entsprechend zu höheren Wärmeverlusten. Betrieb in einem Passivhaus mit 156 m<sup>2</sup> Energiebezugsfläche. ÜKH 1 bis 4 sowie SchSH 1 bis 3 sind damit energetisch als gut bis sehr gut einzustufen [PHI]

Für alle Hauben wurde angenommen, dass sie mit einer luftdicht schließenden Abluftklappe betrieben werden, die bei Stillstand den Abluftkanal gut verschließt. Anhand der Überkopphaube 1 (ÜKH1) wurde der Einfluss einer undichten Klappe berücksichtigt (vgl. Abbildung 8 rechts). Der Effekt auf die zusätzliche Infiltration ist merklich. Der zusätzliche HWB und der zusätzliche Strombedarf für WP und Hilfsstrom erhöhen sich mit der schlechten Abluftklappe um etwa 25 %.

Wird der bessere Erfassungsgrad und kleinere Volumenstrom, der sich in einem kleineren Stromverbrauch niederschlägt, mit berücksichtigt, sind ÜKH 1 bis 3 als sehr gut zu bewerten. Die Schrägschirmhauben SchSH1 und 2 weisen zwar sehr gute Energiekennzahlen auf, jedoch ist der Erfassungsgrad mit 55 bis 75 % in Stufe 3 deutlich geringer als bei den erwähnten Überkopphauben. Um eine gleiche Wirksamkeit der Schadstofffassung zu erzielen müsste hier der Abluftvolumenstrom also eigentlich höher sein.

Zusammenfassen kann gesagt werden, dass für die Bewertung der Dunstabzugssysteme sowohl der Erfassungsgrad als auch der Energiebedarf herangezogen werden sollte.

## 3.2 Bedarfsgerechte Volumenstromregelung

Verantwortlicher Projektpartner: Naber GmbH

### 5.2.1 Einleitung

Das Ein- und Ausschalten sowie die Steuerung der Ventilatorleistung einer Dunstabzugshaube erfolgen nach wie vor meist manuell durch den Nutzer. Dies hat den Nachteil, dass keine objektive Anpassung der Lüfterstufe an die tatsächliche Belastung durch einen Koch- und Garprozess stattfinden kann.

Bei automatischen Dunstabzugssystemen wird die Drehzahl des Ventilators anhand einer gemessenen Führungsgröße angepasst und der abgesaugte Volumenstrom bedarfsgerecht geregelt. Dies führt zu einer Entlastung des Nutzers und zu einer Verbesserung der resultierenden Luftqualität im Raum.

In diesem Kapitel sollen die Eigenschaften von bereits im Markt vorhandenen automatischen Dunstabzugssystemen messtechnisch untersucht und anhand der Parameter „resultierende Luftqualität im Raum“ und dem „Energieverbrauch“ bewertet werden.

### 5.2.2 Stand der Technik

Im Folgenden wird der Stand der Technik aufgeführt, insbesondere anhand von Schutzrechtsanmeldungen von unterschiedlichen automatischen Dunstabzugssystemen.

In DE4041798 wird eine einfache Ausführung zur Steuerung des Dunstabzugs genannt. Es wird in diesem System lediglich die Leistung oder die Temperatur des Herdes überprüft und entsprechend die Leistungsstufe der Dunstabzugshaube eingestellt.

In der Schutzrechtsanmeldung EP1509728 erfolgt die Regelung mittels Temperatur- und Feuchtesensoren. Es werden auch Gassensoren zur Überwachung der Raumluft sowie dessen Bewertung eingesetzt.

Andere automatische Dunstabzugssysteme überwachen die relative Feuchte durch Feuchtesensoren (DE-GM7633882), physikalische Veränderungen auf der Messstrecke von Ultraschallsensoren (EP0727620) oder Schwebstoffe mit Hilfe eines Partikelsensors (US3625135).

In EP2824395 wird ein Verfahren für Umluftsysteme vorgeschlagen, um mittels VOC-Sensoren eine Rückmeldung über den Filterstatus und damit die Notwendigkeit eines Filtertauschs zu beurteilen. Dazu wird jeweils ein VOC-Sensor vor und hinter dem Geruchsfilter platziert. Über das Verhältnis der beiden Sensorsignale kann ein Filterwirkungsgrad ermittelt werden. Darüber hinaus werden die Sensoren zum automatischen Betrieb der Dunstabzugshaube verwendet.

In [Bruns] wird die Möglichkeit der Implementierung einer Regelstrategie mit VOC-Sensoren bei hohen Verunreinigungslasten mit großer Änderungsdynamik am Beispiel von Dunstabzugshauben untersucht. Dabei wird unterschieden zwischen einer energieorientierten Regelung und einer komfort-orientierten Regelung, bei der eine möglichst gute Luftqualität erreicht werden soll.

### 5.2.3 Einteilung der Führungsgrößen

Wie aus dem vorherigen Kapitel zu entnehmen, nutzen die dort vorgestellten automatischen Dunstabzugssysteme unterschiedliche Führungsgrößen für die Ansteuerung des Lüftermotors.

Die DIN EN 16789-3 definiert allgemeine Grundlagen und Anforderungen zur energetischen Bewertung von Lüftungsanlagen in Nichtwohngebäuden. Zwar gilt diese Norm nicht für Dunstabzugssysteme, dennoch liefert sie Hinweise, die übertragen werden können.

In Abhängigkeit zur Anlagenart werden unterschiedliche Möglichkeiten zur Beeinflussung der Raumluftqualität beschrieben, um eine gewünschte Klassifizierung zu erreichen. Die Einteilung der Kategorien beschreibt die nachfolgende Tabelle.

Tabelle 2: Mögliche Arten der Regelung der Raumluftqualität (IDA-C) nach DIN EN 16789-3

Kategorie	Beschreibung
IDA - C1	Die Anlage läuft konstant.
IDA - C2	Manuelle Regelung (Steuerung): Die Anlage unterliegt einer manuellen Schaltung.

<b>IDA - C3</b>	Zeitabhängige Regelung (Steuerung): Die Anlage wird nach einem vorgegebenen Zeitplan betrieben.
<b>IDA - C4</b>	Belegungsabhängige Regelung (Steuerung): Die Anlage wird abhängig von der Anwesenheit von Personen betrieben (Lichtschalter, Infrarotsensoren, usw.)
<b>IDA - C5</b>	Bedarfsabhängige Regelung (Anzahl der Personen): Die Anlage wird abhängig von der Anzahl der im Raum anwesenden Personen betrieben.
<b>IDA - C6</b>	Bedarfsabhängige Regelung (Gassensoren): Die Anlage wird durch Sensoren geregelt, die Raumluftparameter messen (z.B. CO <sub>2</sub> -, Mischgas- oder VOC-Sensoren). Die angewendeten Parameter müssen an die Art der im Raum ausgeübten Tätigkeit angepasst sein.

Die unterschiedlichen Klasseneinteilungen lassen sich auch anhand der folgenden Abbildung beschreiben.

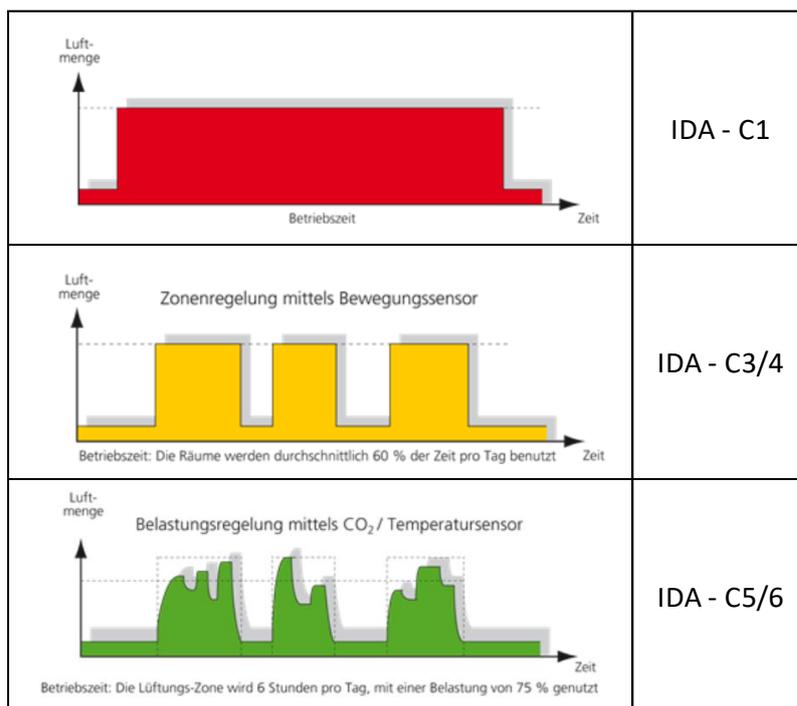


Abbildung 9: Beispiele für mögliche Arten zur Regelung der Raumluftqualität nach [DIN EN 16789-3]

IDA-C5 und IDA-C6 werden insbesondere gewählt, wenn erhöhte Anforderungen an die Energieeffizienz bestehen. Durch eine bedarfsabhängige Lüftung<sup>1</sup> wird der Energieverbrauch einer Lüftungsanlage aufgrund der geringeren Volumenströme reduziert.

Es lassen sich die Führungsgrößen aus Kapitel 3.2.2 in zwei Kategorien aufteilen, die den Klassen 2-4 (Steuerung) bzw. den Klassen 5-6 (Regelung) nach DIN EN 16789-3 entsprechen:

Die indirekten Führungsgrößen steuern den Lüftermotor anhand von Zustandsparametern, die an den verschiedenen Herdplatten gemessen werden. Start und das Ende eines Gar- und Kochprozesses können damit sicher erkannt werden.

Dazu gehören:

- Leistungsaufnahme oder die Leistungsstufe der Herdplatte
- Temperatur der Herdplatte
- Anzahl der aktivierten Herdplatten

Die direkten Führungsgrößen detektieren die beim Koch- und Garprozess entstehenden Emissionen und nutzen diese für eine bedarfsgerechte Volumenstromregelung.

Dazu gehören:

- rel. Feuchte
- VOC-Konzentration
- Feinstaubkonzentration

<sup>1</sup> Definition „bedarfsabhängige Lüftung“: Lüftungsanlage, bei der der Luftvolumenstrom in Abhängigkeit von der Luftqualität, der Feuchte, der Belegung oder einem anderen Indikator für den Lüftungsbedarf geregelt wird.

Bei Koch- und Garprozessen entstehen eine Vielzahl an unterschiedlichen VOCs, die der Nutzer in vielen Fällen auch olfaktorisch wahrnehmen kann. Feinstaub kann dagegen vom Menschen nicht erkannt werden. Ist die Exposition zu lange, kann dies zu gesundheitlichen Problemen beim Nutzer führen.

### 5.2.4 Am Markt verfügbare automatische Dunstabzugssysteme

Das Potential einer bedarfsgerechten Volumenstromregelung bei Koch- und Garprozessen haben einige Hersteller bereits erkannt und teilweise in ihren Dunstabzugssystemen umgesetzt. Nachfolgend soll ein kurzer Überblick mit Unterteilung der verwendeten Führungsgrößen über die am Markt verfügbaren Systeme erfolgen.

Da nur unzureichende Informationen zu den technischen Eigenschaften und zum Algorithmus der Steuerungen von automatischen Dunstabzugshauben vorliegen, muss die jeweilige Sensoreinheit als Blackbox angesehen werden. Dennoch wird versucht, die gegebenen Informationen zu bewerten.

Tabelle 3: Übersicht der Hersteller von automatischen Dunstabzugssystemen

Hersteller	Bezeichnung der Eigenschaft	Führungsgröße
AEG	Hoob2Hood-Funktion	kochfeldgesteuert
Bora	Automatic extractor control	Keine Angabe seitens des Herstellers
Bosch	PerfectAir Luftgütesensor	VOC-Sensor
Miele	Con@ctivity	kochfeldgesteuert
Oranier	Geruchssensor-Automatik	VOC-Sensor

Die Hersteller AEG und Miele setzen eine indirekte Führungsgröße ein. Das Kochfeld wird mit der Haube über Infrarot bzw. WLAN verbunden. Je nach Anzahl der eingeschalteten Kochfelder und die Höhe der Leistung bzw. Temperatur am Kochfeld, schaltet die Haube auf eine andere Lüfterstufe.

Eine direkte Führungsgröße wird bei Bosch und Oranier verwendet. Hier setzen beide auf einen VOC-Sensor, welcher direkt an der Haube installiert ist. Die VOC-Belastung des Kochwrasens wird gemessen und die Lüfterstufe dementsprechend automatisch ausgewählt.

Bora gibt leider keine Informationen zum Funktionsprinzip des „Automatic extractor control“ an, weshalb hier keine Aussage zur Führungsgröße möglich ist.

### 5.2.5 Messtechnische Untersuchung

Für die nachfolgenden messtechnischen Untersuchungen werden zwei Dunstabzugssysteme der Baugruppe „Kopffreihaube“ ausgewählt, welche unterschiedliche Führungsgrößen aufweisen.

Die Haube A arbeitet mit einer indirekten Führungsgröße, welche nur in Kombination mit einem Kochfeld desselben Herstellers funktioniert. Je nach Anzahl der aktiven Kochfelder und der Temperatur am Kochfeld, sendet das Kochfeld ein Signal zur Haube mit der entsprechenden Lüfterstufe. Zudem soll laut Hersteller erkannt werden, ob „gekocht“ oder „gebraten“ wird. Gemäß Bedienungsanleitung wird beim Kochen mind. die Lüfterstufe 1 und beim Braten mind. die Lüfterstufe 2 eingestellt.

Bei Haube B wird über eine direkte Führungsgröße der Volumenstrom geregelt. Der verbaute VOC-Sensor soll die Belastung erkennen und dementsprechend die Lüfterstufe regeln. Hier kann dasselbe Kochfeld wie bei Haube A eingesetzt werden, da die Haube B aufgrund der direkten Führungsgröße autark zum Kochfeld funktioniert.

Ziel der Untersuchung ist das Energieeinsparpotenzial gegenüber der entstehenden Belastung zu bewerten.

### 5.2.5.1 Aufbau der messtechnischen Untersuchung

Bei der Prüfkammer handelt es sich um eine Raum-in-Raum-Lösung. Die Maße der Prüfkammer betragen ca. 2,4 m x 2,6 m x 2,4 m (Breite x Länge x Höhe), welches einer Fläche von ca. 6 m<sup>2</sup> entspricht.



Abbildung 10: Außenansicht der Prüfkammer als 3D-Planungsmodell [Bruns 2018]

Die Messtechnik ist innerhalb der Prüfkammer in einer mobilen Box untergebracht. Gemessen wird die Temperatur, rel. Feuchtigkeit und die VOC-, CO<sub>2</sub>- und Feinstaub-Konzentrationen. Um einen Ausfall eines Sensors vorzubeugen, sind von jedem Sensortyp drei Sensoren eingebaut. Zudem wird der Volumenstrom der Haube über ein Staurohr und Differenzdrucksensor gemessen.

Tabelle 4: Sensoren der mobilen Box für die messtechnische Untersuchung [Naber GmbH]

Bild der mobilen Box	Komponente	Hersteller	Bezeichnung
	Differenzdruck	Kalinsky Sensor Elektronik GmbH	DS1
	Staurohr	MDUA GmbH & Co. KG	Staurohr Typ L
	Temperatur Feuchte VOC CO <sub>2</sub>	Thermokon	Novos 3
	VOC	ams Sensor Solutions GmbH	IAQ Core C
	Feinstaub	Sensirion	SPS30

Darüber hinaus sind zwei Lüfter zur Umwälzung der Raumluft so angeordnet, dass eine homogene Luftverteilung im Raum sichergestellt ist. Für die homogene Luftverteilung sind die Zusatzlüfter während der gesamten Versuchsdurchführung aktiv.

Die Zuluftöffnungen sind als Tellerventile ausgebildet und befinden sich dem Kochfeld gegenüber. Der Abstand an der Außenwand zwischen Zuluftöffnung und Abluftöffnung beträgt  $\geq 2,5$ m.

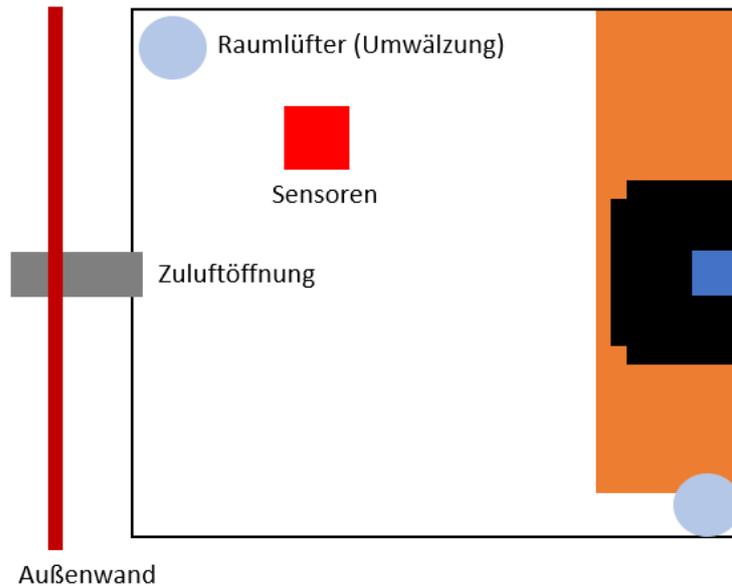


Abbildung 11: Schematische Draufsicht der Prüfkammer [Naber GmbH]

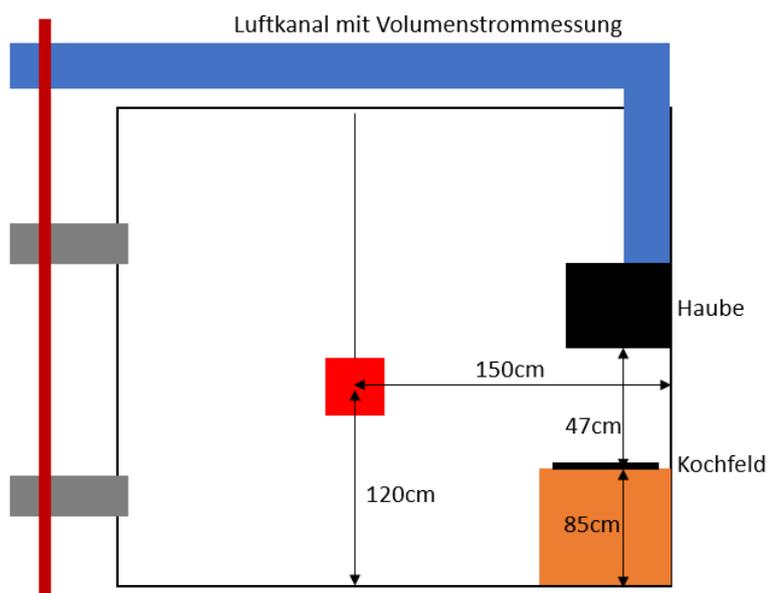


Abbildung 12: Schematische Seitenansicht der Prüfkammer [Naber GmbH]

### 5.2.5.2 Ablauf der messtechnischen Untersuchung

Für die Versuche werden industriell gefertigte Gerichte gewählt, welche unterschiedliche Emissionsarten und Temperaturniveaus hervorrufen, siehe Tabelle 5. Industriell gefertigte Produkte weisen geringe Abweichungen in Form, Gewicht und Zusammensetzung auf, wodurch eine hohe Wiederholungsgenauigkeit erreicht werden soll.

Tabelle 5: Gerichte der messtechnischen Untersuchung

Gericht	Emissionsart	Temperaturniveau
Tomatensoße	wenig Feuchtigkeit wenig Gerüche	Aufwärmen (<100°C)
Nudeln	viel Feuchtigkeit wenig Gerüche	Kochen (100°C)
Wurst	wenig Feuchtigkeit viele Gerüche	Braten (<220°C) <sup>2</sup>

Die drei Gerichte werden in einzelnen Versuchsdurchläufen zubereitet. Zu Beginn der Messungen werden die Versuchsvorbereitungen durchgeführt und die Prüfkammer gelüftet, um ein möglichst einheitliches Grundniveau einzustellen.

Tabelle 6: Vorbereitung der messtechnischen Untersuchung

Nr.	Vorbereitung
1	Prüfkammer lüften; Haube Stufe 2 + Zusatzlüfter einschalten
2	125g Tomatensoße in kleinen Topf füllen
3	1g Salz auf Löffel schütten
4	1000ml Nudelwasser in großen Topf füllen
5	100g Nudeln in Schüssel füllen
6	5g Öl in Pfanne gießen
7	Wurst auf Teller legen
9	Haube A - aus; Haube B – auf Automatik einstellen

Anschließend beginnt der jeweilige Versuchsdurchlauf, welche in den drei nachfolgenden Tabellen dargestellten zeitlichen Mustern abläuft. Wenn ein Gericht fertig zubereitet wurde, wird der Deckel auf den Topf oder der Pfanne gelegt und eine Minute später das Gericht aus dem Raum gebracht. Dadurch soll die weitere Belastungszunahme durch das soeben zubereitete Gericht vermieden werden. Nach jedem Durchlauf wird der Raum belüftet, indem die Haube auf die maximale Stufe (Intensivstufe) geschaltet wird. Eine neue Messung erfolgt erst, sobald ein konstantes Grundniveau erreicht ist.

Tabelle 7: Ablauf der messtechnischen Untersuchung für die Zubereitung des Gerichtes Tomatensoße

min	Aufgabe
0	Messung starten
4	Kochfeld vorne rechts auf Stufe 7 einstellen
5	Topf mit Tomatensoße auf Kochplatte stellen
13	Kochfeld auf Stufe 10 einstellen
15	Topf runternehmen
15	Kochfeld auf Stufe 1 einstellen
17	Messung beenden, Haube auf höchste Stufe einstellen

<sup>2</sup> Unterhalb des Rauchpunktes von Rapsöl

Tabelle 8: Ablauf der messtechnischen Untersuchung für die Zubereitung des Gerichtes Nudeln

min	Aufgabe
0	Messung starten
4	Kochfeld vorne rechts auf Stufe 14 einstellen
5	Topf mit Nudelwasser auf Kochplatte stellen
12,5	Salz dazugeben
13	Nudeln dazugeben
15	Kochfeld auf Stufe 11 einstellen
24	Topf herunternehmen
24	Kochfeld auf Stufe 1 einstellen
26	Messung beenden, Haube auf höchste Stufe einstellen

Tabelle 9: Ablauf der messtechnischen Untersuchung für die Zubereitung des Gerichtes Wurst

min	Aufgabe
0	Messung starten
1	Kochfeld vorne rechts auf Stufe 11 einstellen
5	Pfanne mit Öl auf Kochplatte stellen
7	Wurst in Pfanne geben
8,5	Wurst wenden
10	Wurst wenden
11,5	Wurst wenden
13	Pfanne von Kochfeld nehmen
13	Kochfeld auf Stufe 1 einstellen
15	Messung beenden, Haube auf höchste Stufe einstellen

Es werden die Messreihen für beide Hauben jeweils mit

- einem über die gesamte Zeit konstanten Volumenstrom von ca. 300 m<sup>3</sup>/h (Lüfterstufe 2) und
- der automatischen Einstellung mit der jeweiligen Führungsgröße durchgeführt.

Die konstante Messung dient als Referenz, um beide Führungsgrößen, unabhängig der unterschiedlichen Bauweise und Erfassungsgrade der Hauben, bewerten zu können.

Jede Messung wird mehrmals durchgeführt, um Messfehler auszuschließen. Die durchgeführten Versuchsreihen mit Angabe der Haube und der Führungsgröße sind in Tabelle 10 und Tabelle 11 aufgeführt.

Tabelle 10: Versuchsreihen der messtechnischen Untersuchung der Haube A

Versuchsreihe	Haube A					
	konstanter Volumenstrom (k.V.)			indirekte Führungsgröße (i.F.)		
	Tomatensoße	Nudeln	Wurst	Tomatensoße	Nudeln	Wurst
1				x		
2				x		
3						x
4				x		
5				x		
6	x					
7	x					
8	x					
9					x	
10					x	
11					x	
12		x				
13		x				
14			x			
15						x
16			x			
17						x
18						x
19			x			

Tabelle 11: Versuchsreihen der messtechnischen Untersuchung der Haube B

Versuchsreihe	Haube B					
	konstanter Volumenstrom (k.V.)			direkte Führungsgröße (d.F.)		
	Tomatensoße	Nudeln	Wurst	Tomatensoße	Nudeln	Wurst
20		x				
21					x	
22				x		
23	x					
24				x		
25	x					
26					x	
27				x		
28				x		
29	x					
30					x	
31		x				
32						x
33						x
34			x			
35						x
36			x			
37			x			

### 5.2.5.3 Charakterisierung von Haube A mit indirekter Führungsgröße

Verglichen wird der Verlauf zwischen konstantem Volumenstrom von ca. 300 m<sup>3</sup>/h (k.V.) und der automatischen Volumenstrom-einstellung mittels indirekter Führungsgröße (i.F.). Für die Charakterisierung werden die Messreihen gemittelt und geglättet.

Die folgende Abbildung zeigt den Signalverlauf der resultierenden VOC-Belastung im Raum beim Erwärmen von Tomatensoße. In der automatischen Einstellung schaltet sich die Haube erst nach ca. 11 min. auf Stufe 1 ein. Zu diesem Zeitpunkt beträgt die Temperatur der Tomatensoße ca. 65 °C. Danach schaltet die Haube mehrmals aus und ein. Hier liegt die Temperatur vermutlich am Schwellenwert der indirekten Führungsgröße. Ein höherer Anstieg der VOC-Belastung gegenüber dem konstanten Volumenstrom ist deutlich zu erkennen.

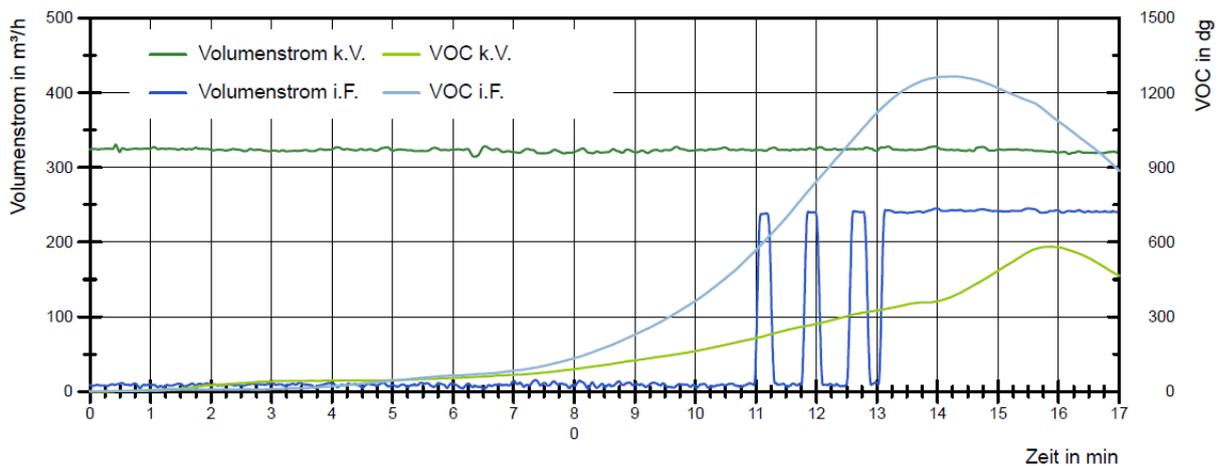


Abbildung 13: Haube A - Vergleich der VOC-Belastung beim Erwärmen von Tomatensoße [Naber GmbH]  
 VOC-Sensoren besitzen im Allgemeinen eine Querempfindlichkeit gegenüber Feuchte. Deshalb wird bei der Versuchsreihe mit Nudeln, bei der kaum VOC Emission vorliegen, die Auswertung nicht mit VOC, sondern anhand der relativen Feuchtigkeit durchgeführt (Abbildung 14). Bereits kurz nach dem Aufstellen des Topfes schaltet die Haube auf Stufe 1 und nach weiteren zwei Minuten auf Stufe 2. Dadurch sind die Verläufe der Volumenströme der konstanten und automatischen Messung nahezu identisch und folglich nur ein geringer Unterschied im Anstieg der relativen Feuchtigkeit zu erkennen.

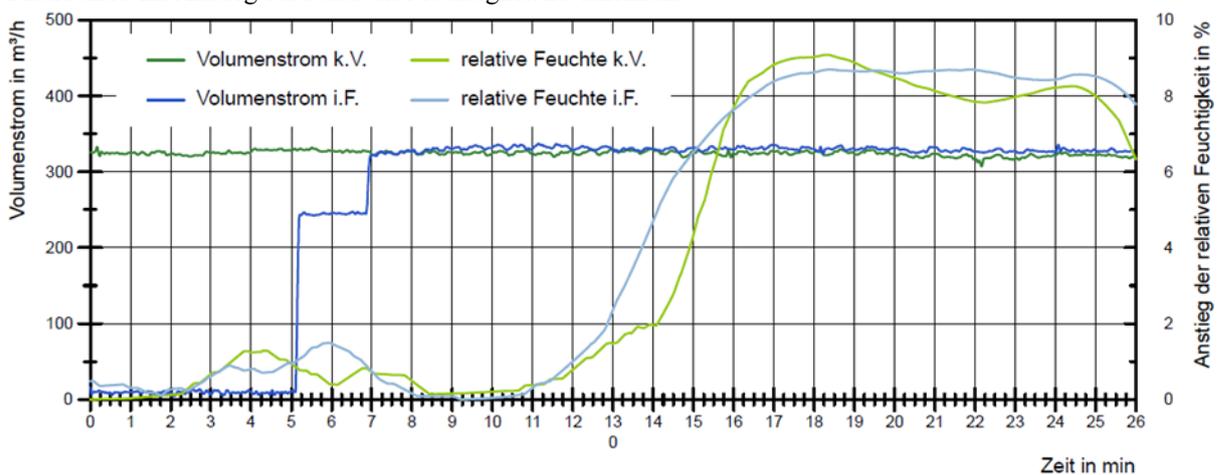


Abbildung 14: Haube A - Vergleich der relativen Feuchtigkeit beim Kochen von Nudeln [Naber GmbH]

Die automatische Regelung der indirekten Führungsgröße reagiert bei Versuchsreihe Wurst (vgl. Abbildung 15) bereits bevor die Pfanne auf dem Kochfeld gestellt wird (Minute 5). Außerdem wird das Braten, laut Produktbeschreibung mindestens Lüfterstufe 2, erst bei Minute 12 erkannt. Die genaue Stelle, an der die Temperaturmessung stattfindet, kann nicht bestimmt werden.

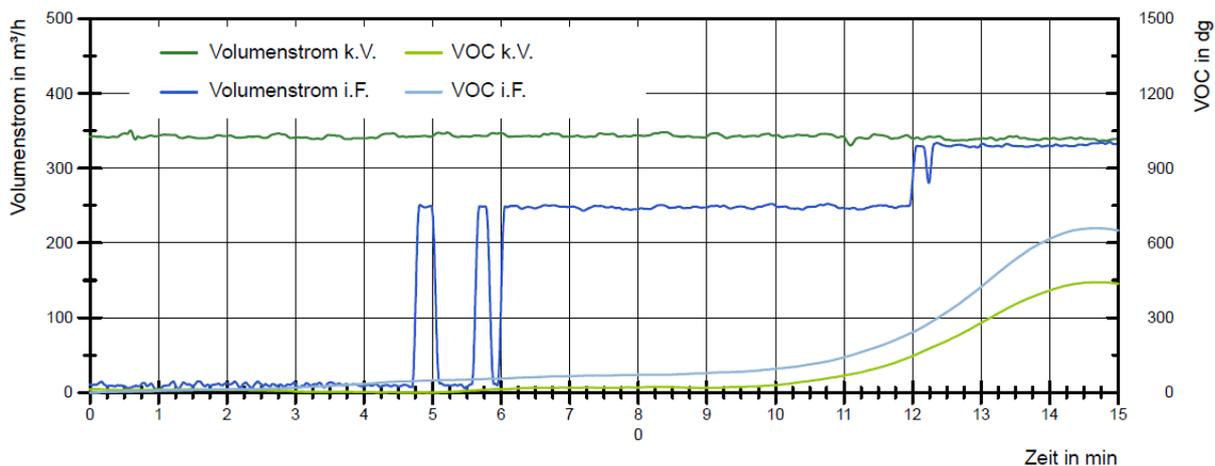


Abbildung 15: Haube A - Vergleich der VOC-Belastung beim Braten einer Wurst [Naber GmbH]

**5.2.5.4 Charakterisierung von Haube B mit direkter Führungsgröße**

Beim Einschalten des Automatikbetriebs der Haube B, läuft diese direkt in der niedrigsten Lüfterstufe. Auf die VOC-Belastung durch die Tomatensoße reagiert die Haube bereits bei ca. Minute 9 (Abbildung 18). Ein hin- und herschalten zwischen den verschiedenen Lüfterstufen ist sehr gut erkennbar. Insgesamt ist die resultierende VOC-Belastung zwischen konstantem (k.V.) und automatischen (d.F.) Volumenstrom nahezu identisch.

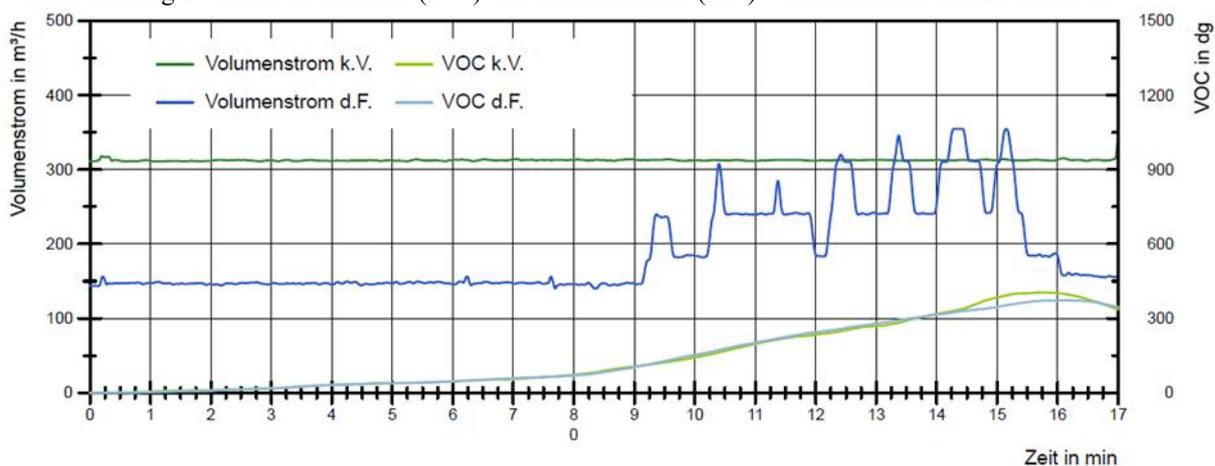


Abbildung 16: : Haube B - Vergleich der VOC-Belastung beim Erwärmen von Tomatensoße [Naber GmbH]

Der Feuchtigkeitsanstieg durch die direkte Regelung des Volumenstroms ist beim Kochen von Nudeln sehr deutlich, siehe Abbildung 17. Auch das wechselnde Schaltverhalten der Lüfterstufe ist besonders in den letzten Minuten deutlich zu erkennen. Hier wird die Querempfindlichkeit des VOC-Sensors gegenüber Feuchte zu einer Unstetigkeit der Lüfterstufen führen.

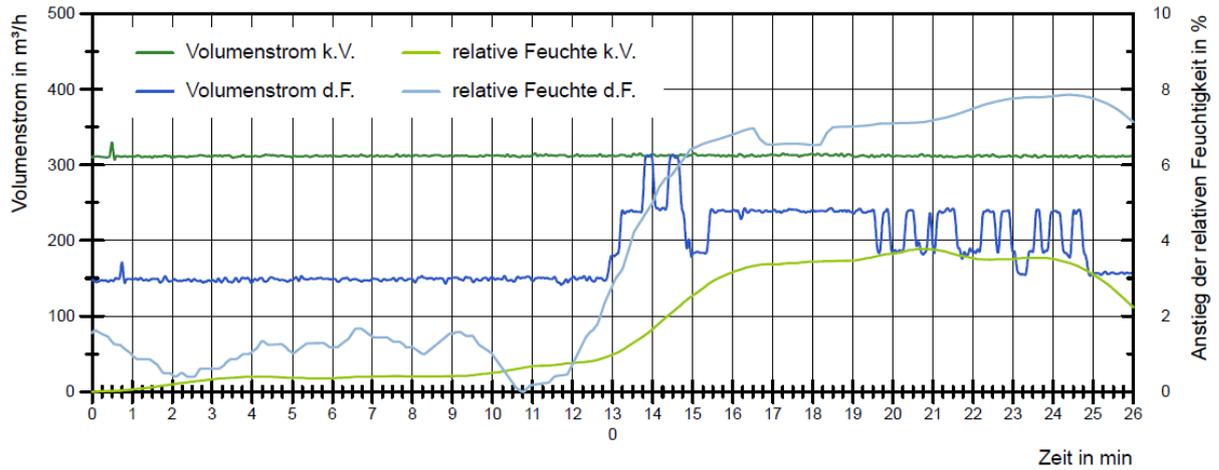


Abbildung 17: Haube B - Vergleich der relativen Feuchtigkeit beim Kochen von Nudeln [Naber GmbH] Beim Braten der Wurst (Abbildung 18) wird erst nach 10,5 min. in eine höhere Lüfterstufe geschaltet. Dennoch ist die VOC-Belastung nur geringfügig höher, als wenn ein konstanter Volumenstrom anliegt.

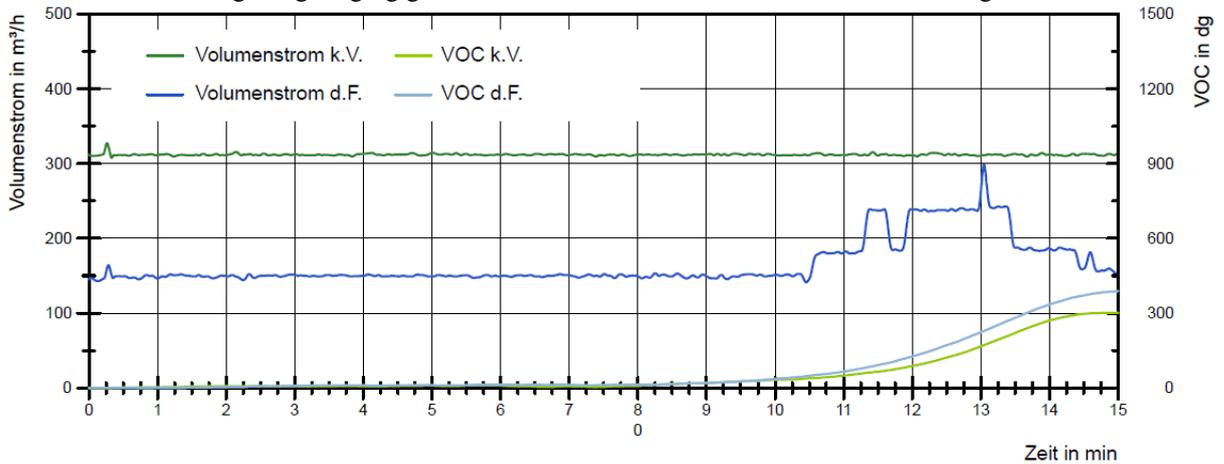


Abbildung 18: Haube B - Vergleich der VOC-Belastung beim Braten einer Wurst [Naber GmbH]

### 5.2.5.5 Auswertung der messtechnischen Untersuchung

Für die Bewertung der VOC-Belastung bzw. der Feuchte-Belastung (Nudeln), wird die Summe der jeweiligen Belastung über die Zeit betrachtet, indem das Integral der Kurve gebildet wird. Daraus ergeben sich die in Tabelle 12 angegebenen aufsummierten Belastungswerte. Als Delta ist die Belastungszunahme oder -abnahme durch die indirekte bzw. direkte Führungsgröße gegenüber einem konstanten Volumenstrom in Prozent angegeben.

Tabelle 12: Summe der Belastungen der verschiedenen Gerichte und Vergleich des automatischen Volumenstroms zum konstanten Volumenstrom in Prozent

Summer der Belastungen (Integral)	Haube A			Haube B		
	k.V.	i.F.	Delta	k.V.	d.F.	Delta
Tomatensoße (VOC in dg)	189.356	451.626	139%	150.568	148.397	-1%
Wurst (VOC in dg)	76.113	134.754	77%	50.389	64.545	28%
Nudeln (rF in %)	6.033	6.549	9%	2.750	6.150	124%

Bei der indirekten Führungsgröße (Haube A) weisen die Gerichte, welche eine VOC-Belastung hervorrufen, eine höhere Belastung auf. Insbesondere bei der Tomatensoße ist die VOC-Belastung mehr als doppelt so hoch. Hingegen ist beim Nudeln kochen nur ein sehr geringer Feuchtigkeitsanstieg vorhanden.

Die direkte Führungsgröße weißt genau das entgegengesetzte Verhalten auf. Die Feuchtebelastung ist beim Nudeln kochen um mehr als das doppelte gestiegen und die VOC-Belastung beim Erwärmen der Tomatensoße ist nahezu gleich. Lediglich beim Braten der Wurst wurde eine leicht erhöhte VOC-Belastung gemessen. Nachfolgend wird der Energieverbrauch der beiden Hauben in den untersuchten Zeiträumen dargestellt. Das Delta gibt wieder die prozentuale Abweichung zwischen der automatischen Führung und dem konstanten Betrieb an.

Tabelle 13: Energieverbrauch der Hauben während der messtechnischen Untersuchung

Energieverbrauch	Haube A			Haube B		
	k.V.	i.F.	delta	k.V.	d.F.	delta
<b>Tomatensoße</b>	48,2 Wh	11,0 Wh	- 77%	6,2 Wh	3,0 Wh	- 51%
<b>Wurst</b>	42,5 Wh	25,9 Wh	- 39%	5,5 Wh	1,9 Wh	- 65%
<b>Nudeln</b>	73,7 Wh	55,6 Wh	- 25%	9,5 Wh	4,3 Wh	- 55%

Die messtechnische Untersuchung zeigt, dass mit beiden Führungsgrößen eine Energieeinsparung im Vergleich zu der konstanten Betriebsweise erzielt wird. Bei der VOC- und Feuchtebelastung sind beide Führungsgrößen jedoch gegensätzlich. Das nachfolgende Diagramm zeigt ein Vergleich zwischen den Hauben bei dem jeweiligen Gericht.

In Bezug auf die zubereiteten Gerichte, bei denen vorrangig VOC entsteht, zeigt die Haube B mit der direkten Führungsgröße deutliche Vorteile gegenüber Haube A. Bei ungefähr gleicher Energieeinsparung wird weitaus weniger Belastung in den Raum emittiert. Dies ist mit der direkten Bewertung der Emission mittels VOC-Sensors zu begründen, der hier deutliche Vorteile gegenüber einer Temperaturmessung an der Herdplatte hat. Feuchtelasten werden durch Haube B jedoch nicht ausreichend detektiert. Die Querempfindlichkeit des VOC-Sensors gegenüber Feuchte führt zu einer Reaktion, zeigt jedoch ein unstetiges Schaltverhalten der Lüfterstufen und kann die Lasten nicht ausreichend abführen. Grundsätzlich weißt die Haube A ein geringes Schaltverhalten auf.

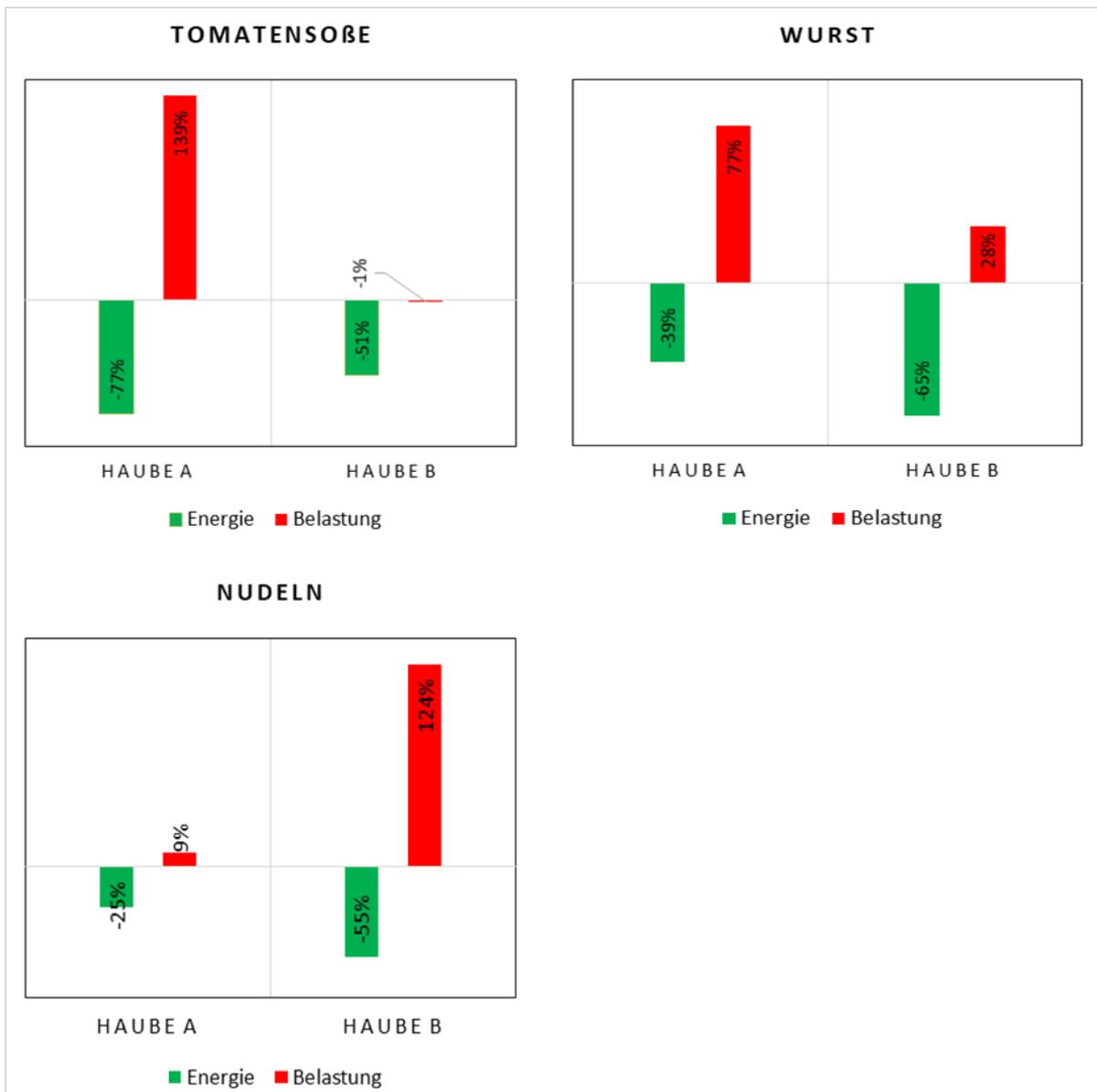


Abbildung 19: Vergleich zwischen den Hauben bei den jeweiligen Gerichten [Naber GmbH]

### 5.2.5.6 Energieeinsparpotenzial im Abluftbetrieb

Die bedarfsgerechte Volumenstromregelung kann bei Dunstabzugshauben im Umluft- und Abluftbetrieb eingesetzt werden. Während im Umluftbetrieb lediglich der Energieverbrauch der Dunstabzugshaube betrachtet werden kann, ist im Abluftbetrieb auch eine Verringerung des zusätzlichen Heizwärmebedarfs durch bedarfsgerechte Volumenstromregelung möglich. Der zusätzliche Heizwärmebedarf wird für die einmalige Zubereitung des jeweiligen Gerichtes wie folgt berechnet.

Formel 3: Ermittlung des Heizwärmebedarfs für Abluftvolumenströme

$$Q = \frac{V \times c_{Luft} \times GTZ}{365}$$

Q = mittlere Wärmeverlust in Wh

V = gefördertes Luftvolumen in m<sup>3</sup>

c<sub>Luft</sub> = Wärmekapazität der Luft 0,33 Wh/(m<sup>3</sup> K)

GTZ = Gradtagszahl für das Referenzklima Potsdam<sup>3</sup> 3667 Kd/a

Tabelle 14: Zusätzlicher Heizwärmebedarf durch das geförderte Volumen der Haube A der verschiedenen Gerichte und Vergleich des automatischen Volumenstroms zum konstanten Volumenstrom in Prozent

Haube A	gefördertes Luftvolumen		zus. mittlerer Heizwärmebedarf		
	konst	i.F.	konst	i.F.	delta
Tomatensoße (15min)	90,7 m <sup>3</sup>	18,3 m <sup>3</sup>	300,6 Wh	60,7 Wh	- 80%
Wurst (17min)	80,0 m <sup>3</sup>	45,4 m <sup>3</sup>	265,2 Wh	150,6 Wh	- 43%
Nudeln (26min)	138,7 m <sup>3</sup>	100,4 m <sup>3</sup>	459,7 Wh	332,7 Wh	- 28%

Tabelle 15: Zusätzlicher Heizwärmebedarf durch das geförderte Volumen der Haube B für verschiedene Gerichte und Vergleich des automatischen Volumenstroms zum konstanten Volumenstrom in Prozent

Haube B	gefördertes Volumen		zus. mittlerer Heizwärmebedarf		
	konst	d.F.	konst	d.F.	delta
Tomatensoße (15min)	87,8 m <sup>3</sup>	54,2 m <sup>3</sup>	291,2 Wh	179,8 Wh	- 38%
Wurst (17min)	77,5 m <sup>3</sup>	39,9 m <sup>3</sup>	256,9 Wh	132,3 Wh	- 49%
Nudeln (26min)	134,3 m <sup>3</sup>	80,0 m <sup>3</sup>	445,4 Wh	265,3 Wh	- 40%

Durch die bedarfsgerechte Volumenstromregelung im Abluftbetrieb, lässt sich der zusätzliche Heizwärmebedarf im Mittel um ca. 45 % reduzieren.

## 5.2.6 Vorschläge für potentielle Verbesserungen von automatischen Dunstabzugssystemen

### 5.2.6.1 Geeignete Führungsgrößen

Geeignete Führungsgrößen zeichnen sich vor allem wegen ihrer Quantifizierbarkeit und Reproduzierbarkeit aus. Für den Endkunde oder Küchennutzer, ist die Geruchsbelästigung eine relevante Führungsgröße. Ein einheitlicher Konsens was eine Geruchsbelästigung ist und was nicht, existiert nicht. Es lässt sich lediglich die Konzentration der flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) in der Küchenraumluft ermitteln. Diese

<sup>3</sup> Gradtagszahlen-Deutschland. Institut Wohnen und Umwelt

organischen Verbindungen entstehen beim Kochprozess und sind zum Teil für die Geruchsbildung während des Garprozesses verantwortlich.

Weitere mögliche Führungsgrößen sind für den Endkunden nicht unmittelbar subjektiv wahrnehmbar aber relevant für ein gesundes Wohnraumklima.

### Indirekte Führungsgrößen

#### Leistungsstufe der Herdplatten

Durch eine Aktivierung und die Kategorisierung der eingestellten Herdplattenleistung, kann die Anpassung des Abluft- bzw. Umluftvolumenstroms erfolgen.

#### Temperatur der Herdplatte

Durch eine Temperaturmessung zwischen Herdoberfläche und Koch/Bratgeschirr kann zwischen verschiedenen Garprozessen unterschieden werden.

Kochen = eine geringere Temperatur für die ausgewählte Leistungsstufe

Braten = Temperatur und ausgewählte Leistungsstufe stimmen überein

(Die Temperatur der Herdplattenoberfläche bei einem Kochvorgang ist wesentlich geringer, als bei einem Bratvorgang mit wenig Flüssigkeit. Dies erlaubt eine präzisere Detailierung des Garprozesses als durch die Ermittlung der Leistungsstufen der Herdplatten.

### Direkte Führungsgrößen

#### Zusammensetzung der Luft

Die chemische Zusammensetzung der Raumluft kann als direkte Führungsgröße angesehen werden. Bei Kochprozessen sind die VOC-Werte, die Luftfeuchtigkeit, Stickstoffgehalt und der Feinstaubgrad relevant.

Diese Werte können mittels Sensoren gemessen werden und sind ausschlaggebend für das Raumklima. Eine Anpassung des Abluft- Umluftvolumenstroms anhand der gemessenen Luftqualität wäre für den Endkunden die geeignete Lösung. Die Messwerte sind je nach Technik sehr empfindlich gegenüber Wechselwirkungen wie Temperatur oder Luftfeuchtigkeit. Auch ist eine sinnvolle Platzierung der Sensoren wichtig, um zeitnah auf Kochvorgänge reagieren zu können.

#### Visuelle Erkennung von Kochvorgängen

Ein optischer Sensor (Kamera) erstellt zyklisch Bilder vom Kochfeld. Anhand von Bildbearbeitung werden die Daten mit einer Datenbank verglichen und ausgewertet.

## 5.2.6.2 Mögliche Regelalgorithmen

### Leistungsstufe der Herdplatten

Durch die Berechnung einer Entscheidungskennzahl (n) kann die Lüfterleistung angepasst werden. Die Entscheidungskennzahl kann wie folgt ermittelt werden:

$$\text{Kennzahl } n = \text{Leistungsstufe im Durchschnitt } (x) * \text{Anzahl der aktiven Herdplatten } (y)$$

	Plattenanzahl (aktiv)			
	1	2	3	4
Leistungsstufe (Durchschnitt)	1	2	3	4
	2	4	6	8
	3	6	9	12
	4	8	12	16

- grün = Dunstabzugshaube Stufe 1
- orange = Dunstabzugshaube Stufe 2
- rot = Dunstabzugshaube Stufe 3

Dieses Verfahren muss an die Anzahl und der Leistungsstufen der Herdplatten angepasst werden.

Dieser Regelalgorithmus eignet sich eher weniger als Verbesserung, da beim Braten und Kochen nicht zwingend die höchste Leistungsstufe anliegt und die Lüfterstufe lediglich in Stufe 1 schaltet.

#### Temperatur der Herdplatte

Die Oberflächentemperatur der Herdplatte und die eingestellte Herdplattenleistung kann Auskunft geben, ob es sich um einen Koch- oder Bratprozess handelt. Eine hohe Leistungsstufe der Herdplatte und einer

zeitgleichen niedrigen Oberflächentemperatur, lässt auf einen Kochprozess schließen. Eine hohe Temperatur bei zeitgleicher hoher Leistungsstufe deutet auf einen Bratprozess hin.

Dieser Algorithmus wird bei Haube A verwendet. Welche Temperaturen hinterlegt sind für Braten und Kochen ist unbekannt, wodurch dieses Prinzip nicht gänzlich ausgeschlossen werden kann. Durch eine gezielte Erfassung und Bestimmung der Grenztemperaturen kann dieses Prinzip verbessert werden. Beim Erwärmen von Gerichten wie z.B. Tomatensoße lässt sich die Belastung wahrscheinlich nicht verringern. Wasser kochen und Erwärmen von Gerichten geschieht bei Temperaturen bis 100°C.

#### Kombination mehrerer Sensoren

Eine Kombination mehrerer Sensoren kann genauere Aussagen über die reale Belastung geben. Durch den Einsatz eines VOC-Sensors kann insbesondere die Geruchsbelastung ermittelt werden. Mit einem zusätzlichen Feuchtigkeitssensor wird z.B. das Kochen erkannt. Eine abgestimmte Regelung auf beide Sensoren schaltet die entsprechende Lüfterstufe. Querempfindlichkeiten können kompensiert werden.

#### Kombination aus indirekter und direkter Führungsgröße

Die Versuche haben gezeigt, dass Haube A bei der Feuchtebelastung und Haube B bei der Geruchsbelastung besser geeignet war. Folglich ist eine Kombination aus beiden Führungsgrößen ebenfalls eine Möglichkeit, um die automatischen Dunstabzugssysteme zu verbessern.

#### Visuelle Erkennung von Kochvorgängen

Eine Erkennung des Gargutes mittels optischer Verfahren noch vor dem Kochprozess ermöglicht eine effiziente Absaugung. Es bedarf dazu eine Datenbank von verschiedenen Kochprozessen um eine optimale Entscheidung über die Lüfterleistung zu treffen (vgl. Abbildung 20).

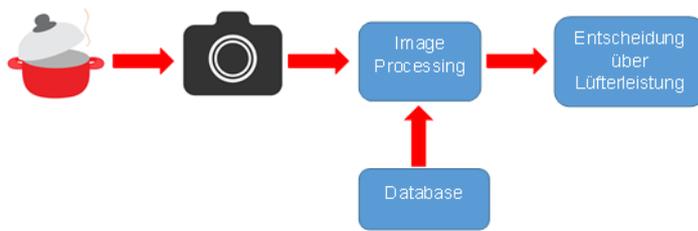


Abbildung 20: Möglicher Ablauf der visuellen Erkennung von Kochvorgängen [Naber GmbH]

## 3.3 Abluftklappen von Dunstabzugssystemen - Variantenuntersuchung

Verantwortlicher Projektpartner: Passivhaus Institut GmbH

Abluftklappen von Abluftdunstabzugssystemen stellen eine dauerhafte Durchdringung der thermischen Gebäudehülle dar, obwohl Dunstabzugshauben den größten Zeitanteil (etwa 23,5 h pro Tag) außer Betrieb sind. Undichte Abluftklappen können in diesem Zustand nennenswerte Infiltrationen hervorrufen, die wesentliche Wärmeverluste verursachen können. Der Wärmebrückeneffekt durch die Abluftklappen oder Mauerkästen ist ebenfalls unabhängig vom tatsächlichen Betrieb der Haube und wirkt sich dauerhaft aus. Im Abschnitt 3.3.3 wird eine Wärmebrückenbetrachtung für Abluftklappen durchgeführt.

### 5.3.1 Normative Anforderungen an Abluftklappen von Dunstabzugssystemen

Drossel- und Absperrklappen werden gemäß [DIN EN 1751] in Dichtheitsklassen klassifiziert (vgl. Abbildung 21). Normative Anforderungen bezüglich der Leckage bestehen jedoch nicht. Allerdings verweist das Gebäudeenergiegesetz [GEG] bezüglich des Luftdichtheitstests auf DIN EN ISO 9972:2018-12 nationaler Anhang (Deutschland) Verfahren 3: demnach werden Abluftklappen und Nachströmöffnungen für Ablufthauben, wenn verschließbar, geschlossen. Sonst werden keine Maßnahmen getroffen. Die Leckagen der Abluftklappen haben demnach einen direkten Einfluss auf die erzielbare Gebäudeluftdichtheit: Je dichter die Abluftklappen sind, desto besser ist die erzielbare Gebäudeluftdichtheit.

Um den energetischen Einfluss der Infiltrationsverluste durch die Abluftklappe möglichst gering zu halten sollten in hochenergieeffiziente Gebäude (z.B. Effizienzhaus 40, Effizienzhaus 55 oder in Passivhäusern)

Abluftklappen der Klassen D oder C verwendet werden (entsprechend Abbildung 21 nach [DIN EN 1751]). Bei Klappen der Kategorie D bzw. C ist der energetische Einfluss durch Infiltration gering und im Rahmen der Gebäudeenergiebilanz vernachlässigbar.

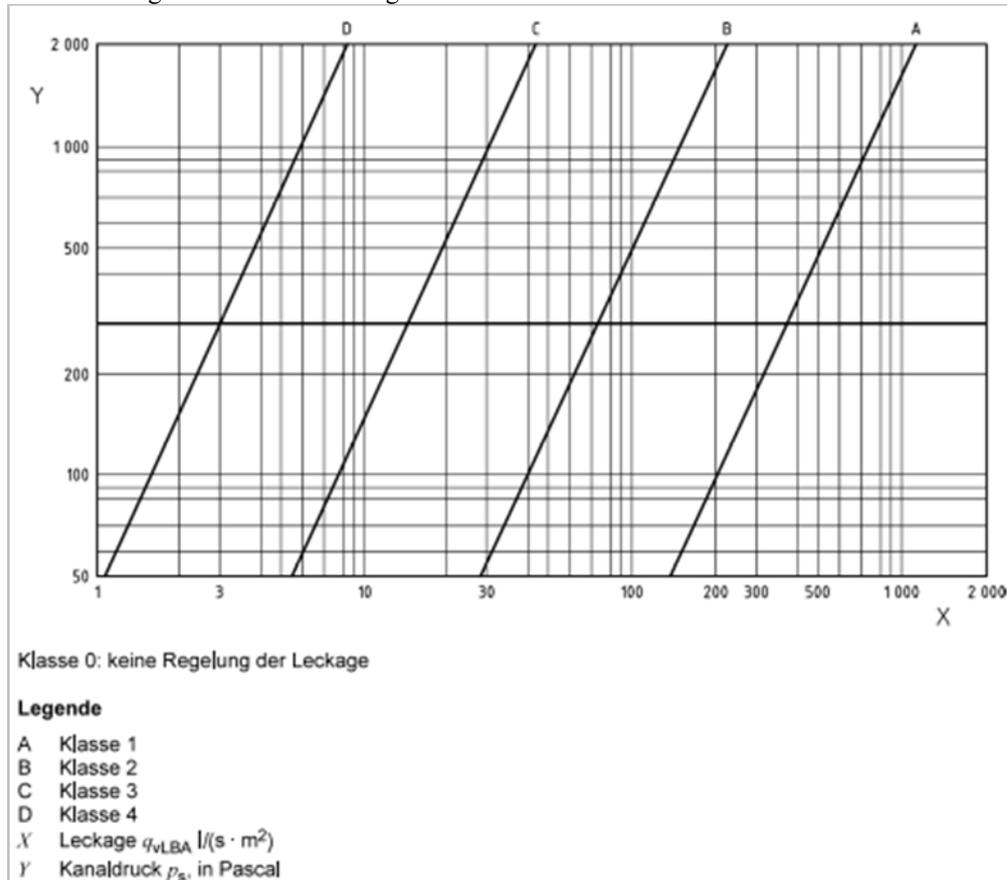


Abbildung 21: Klassifizierung von Abluftklappen nach DIN EN 1751 [DIN EN 1751]

## 5.3.2 Messtechnische Untersuchung der Leckage von Abluftklappen am Prüfstand

### 5.3.2.1 Untersuchung

Im Rahmen des Projekts wurden unterschiedliche am Markt verfügbare Lösungen für Abluftklappen von Abluftdunstabzugssystemen untersucht:

- Mauerkasten (MK) mit Feder-Rückstauklappe
- Mauerkasten (MK) mit magnetisch schließender Klappe
- Mauerkasten (MK) mit elektrischem Antrieb

Tabelle 16 enthält eine Übersicht der untersuchten Lösungen für Abluftklappen.

Tabelle 16: Übersicht der messtechnisch untersuchten Lösungen für Abluftklappen von Abluftdunstabzugssystemen

Hersteller - Klappe	Art der Abluftklappe
0-1	Lüftungsgitter (Vogelschutz)
0-0	Rückstauklappe Dunstabzugshaube
A-1	Mauerkasten (MK) mit Feder-Rückstauklappe
A-2	MK mit magnetisch schließende Klappe

Hersteller - Klappe	Art der Abluftklappe
A-3	MK mit Membran mit elektrischem Antrieb
B-1	MK mit elektrischem Antrieb
C-1	MK mit Feder-Rückstauklappe (Baumarkt)
C-2	MK mit elektrischem Antrieb (Baumarkt)
D-1	MK mit Rückstauklappe
F-1	MK mit Feder-Rückstauklappe (Baumarkt)

Mit Hilfe des Messgeräts MLM der Firma BlowerDoor GmbH zur Prüfung der Dichtheit von Lüftungssystemen wurden Leckagemessungen an Abluftklappen (Mauerkästen) durchgeführt. Abbildung 22 und Abbildung 23 zeigen den Aufbau des Messstandes, an dessen Ende sich die zu prüfende Komponente (Mauerkasten) befindet. Ein Übergangsstück und ein kurzes Kanalstück stellt die Verbindung zur Messblende her. Mit Hilfe des Gebläses DuctBlaster B wird im Prüfstand ein bestimmter Über- bzw. Unterdruck erzeugt. Der Volumenstrom der zur Haltung des Druckes erforderlich ist entspricht der Leckage des Prüflings inklusive Prüfstand. Der Leckagevolumenstrom wird anhand des Differenzdruckes an der Messblende (gemessen mit dem Druckmessgerät DG700) unter Berücksichtigung der jeweiligen Kalibrierfaktoren der Blenden ermittelt. Zur Bestimmung der Leckage jedes Prüflings wird sowohl eine Unterdruckmessung als auch eine Überdruckmessung durchgeführt.

Die Ergebnisse werden im Anschluss gemittelt. Die untersuchten Mauerkästen haben einen einheitlichen Durchmesser von DN 150 und können ohne zusätzlichen Übergang an den Prüfstand angeschlossen werden. Berechnung des Leckagevolumenstroms unter Berücksichtigung der Kalibrierfaktoren für die Messblenden:

Formel 4: Berechnung des Leckagevolumenstroms

$$\dot{V} = C * \Delta p^n$$

mit

$\dot{V}$  Leckagevolumenstrom in xx

C Kalibrierfaktor

$\Delta p$  Druckverlust der Messblende

Tabelle 17: Kalibrierfaktoren zu den Messblenden [MLM]

Messblende	Kalibrierfaktor C	Kalibrierfaktor n
1	5,669	0,4880
2	0,9769	0,4913
3	0,1832	0,4811
4	0,04732	0,4759

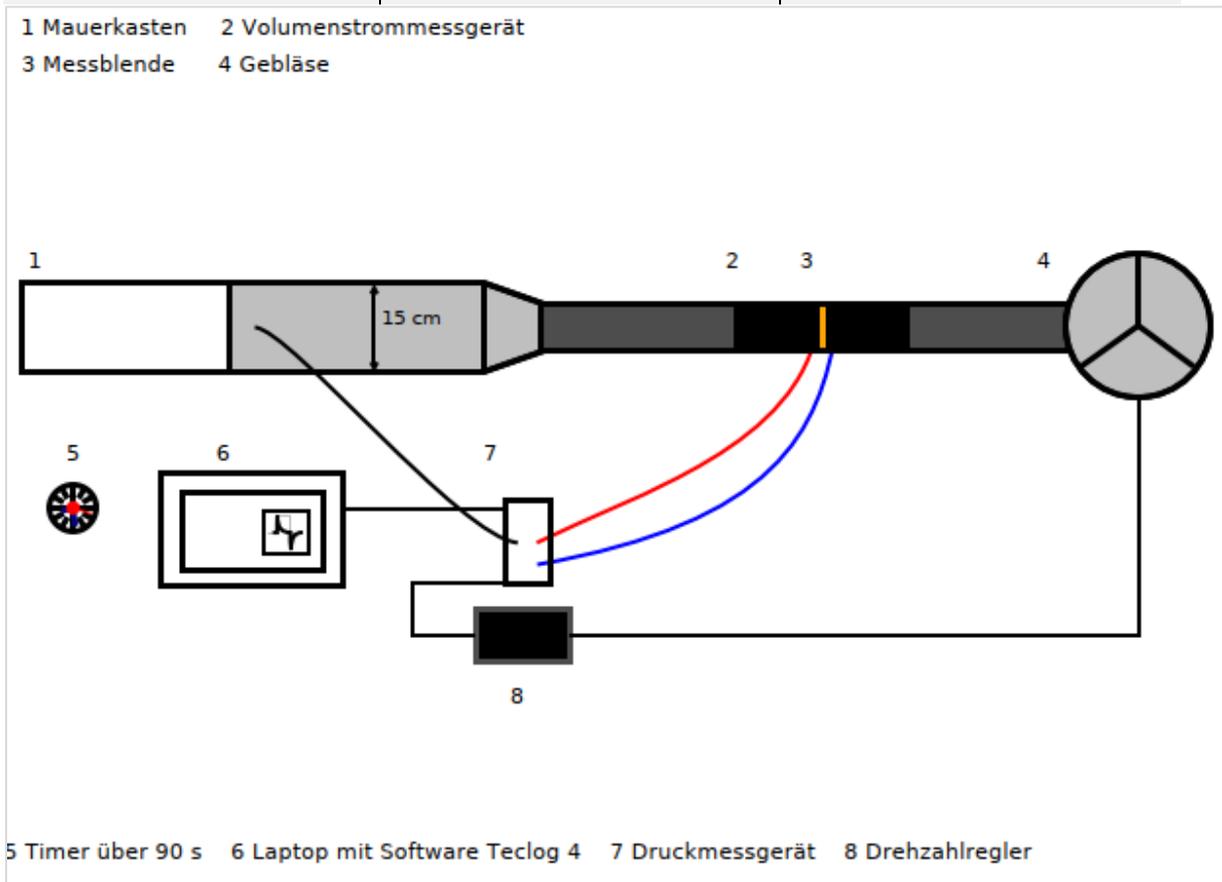


Abbildung 22: Schematischer Aufbau des Messstandes mit Prüfling [PHI]

Der ermittelte Volumenstrom entspricht der Leakage des Prüflings inklusive Prüfstand. Mit Hilfe einer „Nullmessung“ im Vorfeld jeder Messung kann durch Verschließen des Prüfstands ohne Prüfling die Prüfstandleakage bestimmt werden. Diese wird bei der anschließenden Messung der Komponente in Abzug gebracht.

Die Nullmessungen dienen außerdem als Referenzmessung über den gesamten Messzeitraum. Ungewollte Messfehler oder Abweichungen durch ungewollte Veränderung des Messstandes können auf diese Weise verringert werden.



Abbildung 23: Darstellung des verschlossenen Messstandes ohne Prüfling [PHI]

Während der Messungen wurden mit Hilfe des DuctBlasters B Kanaldrücke bis zu 250 Pa erzeugt und währenddessen die Druckdifferenz an der Blende gemessen um den Leckagevolumenstrom des jeweiligen Prüflings zu bestimmen.

Der Messbereich des MLM liegt zwischen 0,17 m<sup>3</sup>/h und 78 m<sup>3</sup>/h.

Die Messgenauigkeiten der Messblenden betragen:

- ± 5 % bzw. 0,37 m<sup>3</sup>/h (Blenden 1 und 2)
- ± 5 % bzw. 0,09 m<sup>3</sup>/h (Blende 3)
- ± 0,04 m<sup>3</sup>/h (Blende 4)

Wobei der jeweils höhere Wert gilt. Bei der Fehlerbetrachtung wurden die angegebenen Messunsicherheiten des MLM mit Gebläse DuctBlaster B und des Druckmessgeräts DG700 berücksichtigt. Die Unsicherheit des DG700 beträgt 1 %.

### 5.3.2.2 Ergebnisse der Leckagemessungen

Die Ergebnisse aus den Prüfstandmessungen sind in Abbildung 24 und Abbildung 25 dargestellt. Für jede Klappe wurden mehrere Messungen durchgeführt bei verschiedenen Differenzdrücken zwischen 0 und 200 Pa Unter- und Überdruck an der geschlossenen Klappe. Zur besseren Vergleichbarkeit wurden die Ergebnisse über eine Ausgleichsfunktion auf jeweils gleiche Bedingungen umgerechnet. Die Prüfstandleckage wurde jeweils in Abzug gebracht.

Für den Vergleich wurden 2 Differenzdruckstufen gewählt: 50 Pa und 5 Pa. 50 Pa ist dabei der Bezugswert für Leckagemessungen an Gebäuden, der jedoch sehr hoch ist und nicht unbedingt Bedingungen in der Praxis widerspiegelt. 5 Pa dagegen ist ein Wert, der mit realen Winddruckbedingungen vergleichbar ist und daher als Referenz für reale Betriebsbedingungen herangezogen wurde.

In Abbildung 24 sind deutliche Unterschiede in der Leckagerate bei 50 Pa Differenzdruck zu erkennen. Die Variante 0-1 „Lüftungsgitter (Vogelschutz)“ stellt hierbei eine Referenz dar, da diese Variante zumindest im Bestand noch vorzufinden ist. Die Variante 0-0 „Rückstauklappe Dunstabzugshaube“ war ebenfalls eine Vergleichsmessung. Diese Lösung kann in Mehrfamilienhäusern vorgefunden werden, wenn mehrere Dunstabzugssysteme an einen Abluftkanal angeschlossen werden. Als thermischer Gebäudeabschluss ist diese Variante nicht geeignet.

Bei den untersuchten Mauerkästen stechen vor allem zwei Klappen aus dem Baumarkt heraus: Diese Rückstauklappen waren so undicht, dass sie im Überdruck schon ab geringen Differenzdrücken nahezu vollständig öffneten. Die Prüfstandmessungen konnten bei diesen Klappen nur bis zu einem Überdruck von ca. 10 Pa vermessen werden, da das Gebläse des Prüfstandes bei dieser hohen Leckage keinen höheren Differenzdruck erzielen konnte. Bei ca. 10 Pa Überdruck wurden bereits Leckagen zwischen 5 und 30 m<sup>3</sup>/h gemessen. Die Leckagen der anderen vermessenen Klappen lagen bei einem Differenzdruck von 50 Pa

unterhalb von 10 m<sup>3</sup>/h. Jedoch gab es auch hier deutliche Unterschiede: während eine Klappe mit motorischem Antrieb bei 50 Pa Leckagen unter 1 m<sup>3</sup>/h erzielte, lag die Leckage einer weiteren Rückstauklappe bei über 5 m<sup>3</sup>/h.

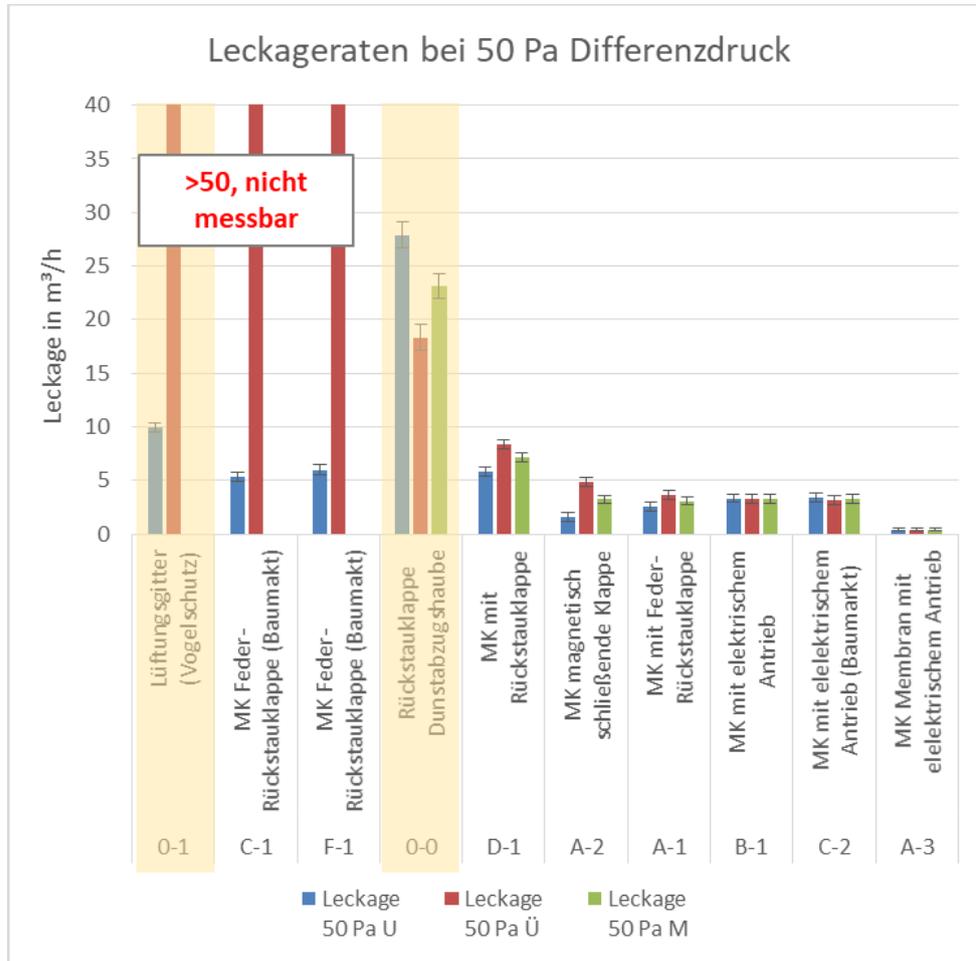


Abbildung 24: Leckageraten von Abluftklappen/ Mauerkästen bei einem Differenzdruck von 50 Pa, ermittelt über eine Ausgleichsfunktion von Einzelmessungen, Prüfstandleckage abgezogen [PHI]

Abbildung 25 zeigt die Leckageraten bei einem Differenzdruck von nur 5 Pa. Auch hier dienen die Messung des Vogelschutzgitters sowie die Messung der Rückstauklappe an der Dunstabzugshaube als Vergleichsmessung. Die Leckagen der Mauerkästen liegen nun alle unterhalb von 5 m<sup>3</sup>/h. Eine Rückstauklappen aus dem Baumarkt und noch eine weitere Rückstauklappe aus einer höheren Preiskategorie weisen jedoch, mit Leckageraten von ca. 2 m<sup>3</sup>/h, Leckagen auf, die mehr als doppelt so hoch sind wie die Leckagen der anderen Mauerkästen. 5 der 9 untersuchten Mauerkästen erzielten Leckagevolumenströme unter 1 m<sup>3</sup>/h, 3 der Abluftklappen sogar unter 0,6 m<sup>3</sup>/h. Bemerkenswert dabei ist, dass der Schließmechanismus

hierbei kein Kriterium für die Qualität der Leckage zu sein scheint, denn unter den besten 3 Klappen befindet sich auch eine Federrückschlagklappe.

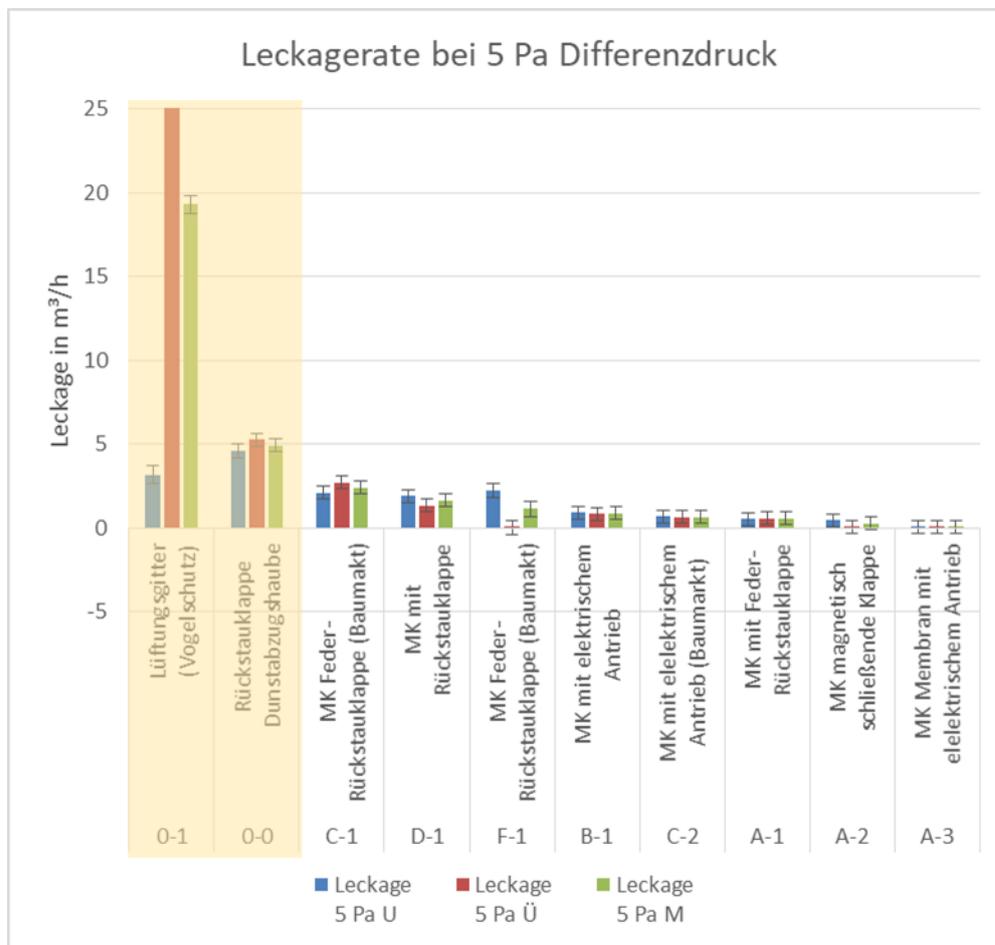


Abbildung 25: Leckageraten von Abluftklappen/ Mauerkästen bei einem Differenzdruck von 5 Pa, ermittelt über eine Ausgleichsfunktion von Einzelmessungen, Prüfstandleckage wurde abgezogen [PHI]

### 5.3.3 Untersuchung des Wärmebrückeneffekts

#### 5.3.3.1 Methode und Modellbildung

Das Rohr mit Rückstauklappe verursacht durch die Durchdringung der Dämmebene eine punktförmige Wärmebrücke, die durch eine dreidimensionale Wärmestromsimulation quantifiziert werden kann. Hierzu wird der Wärmestrom durch die ungestörte Wand ( $Q_{Ref}$ ) ermittelt, sowie der Wärmestrom für den gleichen Aufbau mit der Komponente und Einbauperipherie ( $Q_{WB}$ ). Anschließend werden die Werte voneinander subtrahiert und durch die in der Simulation angesetzte Randbedingung Temperaturdifferenz zwischen Innen und Außen ( $\Delta\theta$ , hier 30 K) dividiert:

Formel 5: Wärmebrückenverlustkoeffizient

$$\chi \left[ \frac{W}{K} \right] = \frac{Q_{WB} [W] - Q_{Ref} [W]}{\Delta\theta [K]}$$

mit

$\chi$  Wärmebrückenverlustkoeffizient in W/K

$Q_{WB}$  Wärmestrom durch die Komponente unter Berücksichtigung der Einbauperipherie in W

$Q_{Ref}$  Wärmestrom durch ungestörte Wand in W

$\Delta\theta$  Temperaturdifferenz in K



150 mm)  $Q_{WB} = 9,48$  W. Hieraus errechnet sich unter Berücksichtigung des symmetrisch geschnittenen Modells ein punktförmiger Wärmebrückenverlustkoeffizient von  $\chi = 0,492$  W/K.

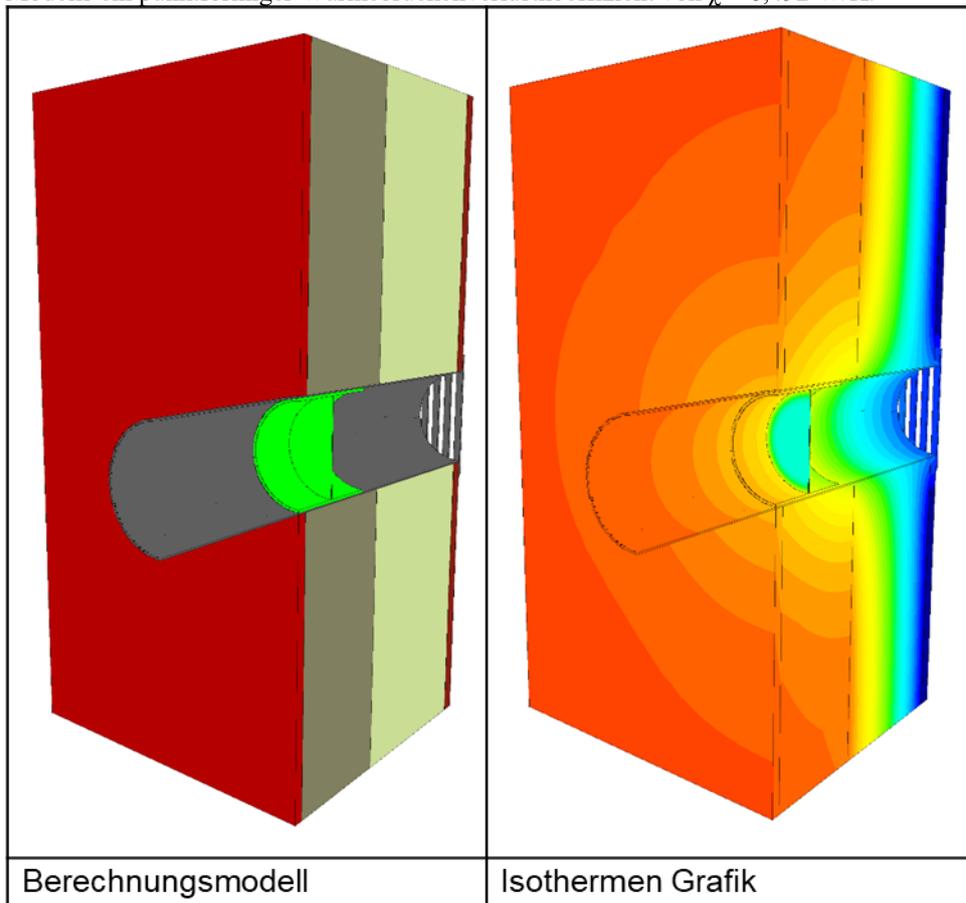


Abbildung 27: Darstellung des Modells (links) und der Isothermengrafik (rechts), Modell verzinktes Stahlblech [PHI]

Für die Simulation mit Rückstauklappe und PVC-Rohr (Durchmesser 150 mm) wird ein Wärmestrom von  $Q_{WB}=6,95$  W ermittelt. Hieraus errechnet sich unter Berücksichtigung des symmetrisch geschnittenen Modells ein punktförmiger Wärmebrückenverlustkoeffizient von  $\chi = 0,323$  W/K.

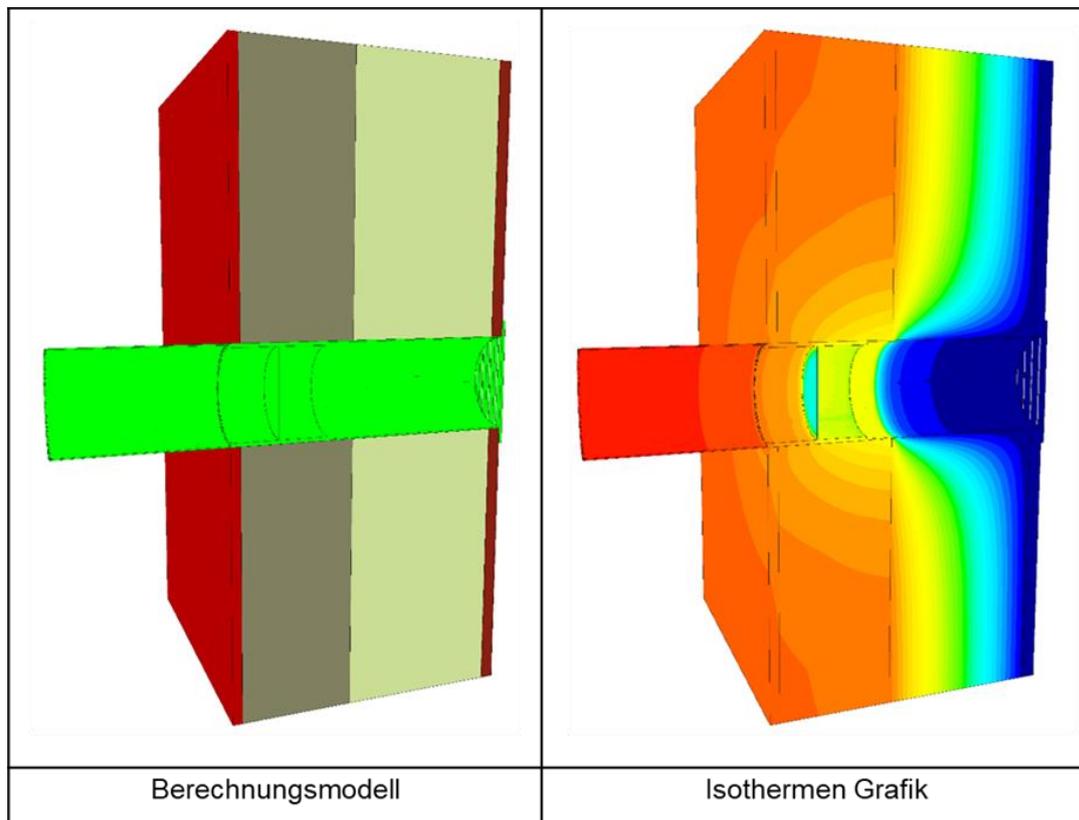


Abbildung 28: Darstellung des Modells (Links), und der Isothermengrafik (Rechts), Modell PVC-Rohr [PHI]

### 5.3.4 Energetischer Einfluss durch Abluftklappen

Der energetische Einfluss von Leckagen an Mauerkästen unter realen Winddruckbedingungen ist in Abbildung 29 dargestellt. Die Mauerkästen mit Rückstauklappen C-1, D-1 und F-1 verursachen demnach einen zusätzlichen Jahresheizwärmebedarf von zwischen 30 und 65 kWh/a allein durch die Leckage über den Klappenquerschnitt. Der beste Mauerkasten A-3 verursacht einen zusätzlichen Jahresheizwärmebedarf von nur 2 kWh/a.

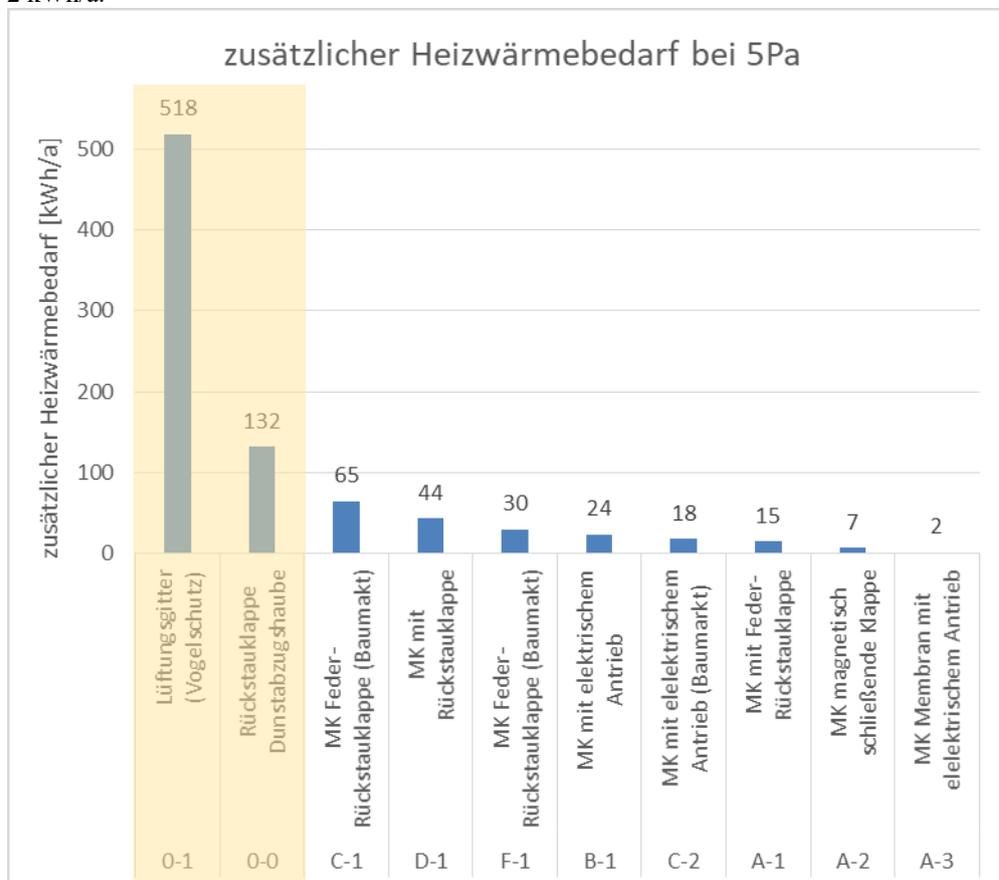


Abbildung 29: zusätzlicher Jahresheizwärmebedarf verursacht durch Leckagen an Mauerkästen bei Winddruckverhältnissen von 5 Pa [PHI]

Abbildung 30 zeigt den daraus resultierenden spezifischen zusätzlichen Jahresheizwärmebedarf für 2 Wohnungsgrößen. In [BewDunst] wurden zur Beurteilung der energetischen Effekte durch den Abluftbetrieb typische Wohnungsgrößen untersucht. Die meisten Wohnungen haben demnach eine mittlere Größe von ca. 60 m<sup>2</sup> oder zwischen 90 und 100 m<sup>2</sup>. Daher wurden beispielhaft für die energetische Betrachtung Wohnungsgrößen von 60 m<sup>2</sup> und 90 m<sup>2</sup> gewählt.

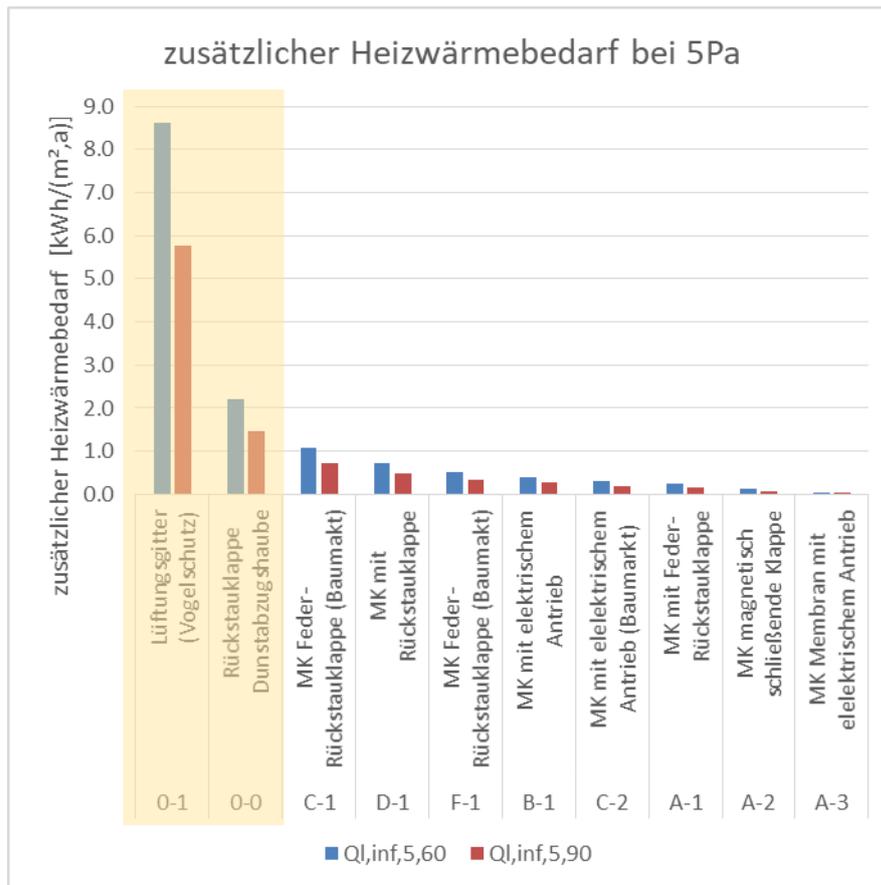


Abbildung 30: spezifischer zusätzlicher Jahresheizwärmebedarf verursacht durch Leckagen an Mauerkästen (Annahme: nur ein Abluftmuerkasten) bei Winddruckverhältnissen von 5 Pa für Wohnungsgrößen von 60 m<sup>2</sup> und 90 m<sup>2</sup> [PHI]

Zu sehen ist, dass der zusätzliche Jahresheizwärmebedarf durch Infiltration im Falle eines einfachen Lüftungsgitters über 8 kWh/(m<sup>2</sup>,a) betragen kann. Mit einfachen bzw. schlechten Mauerkästen kann dieser Effekt auf ca. 1 kWh/(m<sup>2</sup>,a) reduziert werden. Hierbei muss jedoch ergänzt werden, dass sich die Betrachtung auf einen Abluftmuerkasten bezieht. Wird zusätzlich noch ein Zuluftmuerkasten verwendet, verdoppelt sich der energetische Einfluss. Sehr gute Mauerkästen verursachen nahezu keinen zusätzlichen Jahresheizwärmebedarf (z.B. Lösung A-2 und A-3 mit einem zusätzlichen Jahresheizwärmebedarfen von 0,3 kWh/(m<sup>2</sup>,a) und weniger.

Zu erwähnen ist, dass Leckagen, welche durch unsachgemäßen Einbau entstehen können nicht berücksichtigt wurden. Hier wurde ein luftdichter Einbau der Durchdringung angesetzt, welcher mit Luftdichtheitsmanschetten (z.B. von Eisedicht) realisiert werden kann.

Der energetische Einfluss der Wärmebrücken von Abluftklappen errechnet sich aus dem Produkt des Wärmebrückenverlustkoeffizienten mit den Heizgradstunden. Für das Klima Potsdam (bereits Referenzklima des Vorprojekts) mit Heizgradstunden von 79°kKh/a ergibt sich demnach folgender zusätzlicher Heizwärmebedarf durch Wärmebrücken:

- Für Klappen aus verzinktem Stahlblech: 39 kWh/a
- Für Klappen aus PVC: 26 kWh/a

Zu erwähnen ist an dieser Stelle, dass mit gedämmten oder thermisch entkoppelten Mauerkästen der Wärmebrückeneffekt auf nahezu 0 reduziert werden kann.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass der energetische Einfluss von Mauerkästen bei Abluftdunstabzugssystemen, mit ca. 100 kWh/a und Mauerkästen (Summe aus Infiltrationsverlusten und Wärmebrückeneffekten), insbesondere für hochenergieeffiziente Gebäude (z.B. Passivhaus oder Effizienzhaus 40), durchaus relevant sein kann. Besonders in kleineren Wohneinheiten sollte daher ein Umfluftdunstabzugssystem die erste Wahl sein. Sollte die Wahl dennoch auf ein Abluftdunstabzugssystem

fallen, so ist auf eine sorgfältige Auswahl der Abluftklappen hinsichtlich Wärmebrücken und Leckagen zu achten.

## 3.4 Lufternachströmung bei Abluft-Dunstabzugshauben – weiterführende Untersuchungen

Verantwortlicher Projektpartner: Forschung und Anwendung GmbH, Institut für Technische Gebäudeausrüstung Dresden

### 5.4.1 Möglichkeiten der Lufternachströmung

Die Möglichkeiten der Lufternachströmung bei Abluft-Dunstabzugssystemen sind vielseitig und lassen sich in passive und aktive Lufternachströmung kategorisieren. Die passive Lufternachströmung erfolgt dabei allein durch den von dem Abluft-Dunstabzugssystem erzeugten Unterdruck. Bei der aktiven Lufternachströmung wird zum erzeugten Unterdruck des Abluft-Dunstabzugssystems zusätzlich Druck durch einen Ventilator erzeugt. Folgende Abbildung zeigt zusammenfassend eine Übersicht der Möglichkeiten der Lufternachströmung.

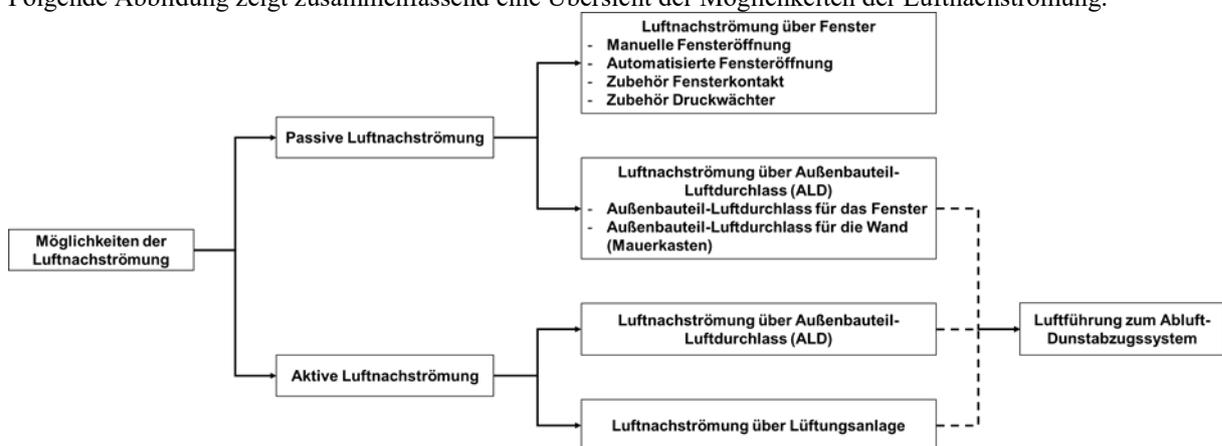


Abbildung 31: Übersicht der Möglichkeiten der Lufternachströmung [ITG]

Die folgenden Abschnitte orientieren sich am Bericht „Küchenabluft in Wohnungen“ [HSLU 2005] aus dem Jahr 2005 und dem Nachfolgebericht „Küchenabluft bei der energetischen Gebäudesanierung und im Neubau“ [HSLU 2019] aus dem Jahr 2019.

Die Lufternachströmung bei Abluft-Dunstabzugssystemen ist im Allgemeinen wichtig, damit kein Unterdruck entsteht und daraus resultierend keine hygienischen und sicherheitstechnischen Probleme entstehen, wie:

- Übertragung von Gerüchen aus Nachbarwohnungen,
- Geruchsübertragung durch Ablufteinrichtungen aus der eigenen Wohnung (z.B. WC-/Bad-Entlüftung),
- Kombination mit Feuerstätten (Austritt von gesundheitsgefährlichen Verbrennungsstoffen z.B. Kohlenmonoxid),
- Erhöhung der Radonkonzentration durch Nachströmen aus Kellern mit erhöhtem Radonrisiko.

## 5.4.2 Passive Lufternachströmung

### 5.4.2.1 Lufternachströmung über Fenster

Die Lufternachströmung über ein geöffnetes Fenster ist die wohl am Häufigsten anzutreffende Lösung, um eine Lufternachströmung für ein Abluft-Dunstabzugssystem zu gewährleisten (vgl. Abbildung 32). Dabei wird das Fenster oft manuell geöffnet, es gibt aber auch technische Lösungen, die eine automatische Fensteröffnung ermöglichen.

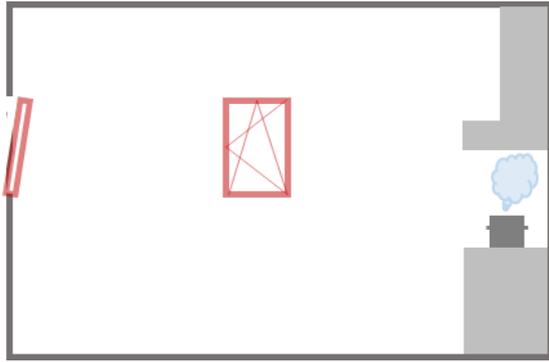


Abbildung 32: Luftnachströmung über Fenster [ITG]

### *Manuelle Fensteröffnung*

Das Fenster wird nach Bedarf von Hand geöffnet, um die Luftnachströmung zu garantieren. Diese Möglichkeit der Luftnachströmung ist vermutlich die mit Abstand am weitesten verbreitete.

### *Automatisierte Fensteröffnung*

Fenster, die mit einem motorisierten Antrieb ausgestattet sind, können voll automatisiert geöffnet werden. Das bedeutet, sobald das Abluft-Dunstabzugssystem in Betrieb geht, wird das mit dem motorisierten Antrieb ausgestattete Fenster automatisch geöffnet. Der motorisierte Antrieb kann dabei sowohl im Neubau oder auch als Nachrüstmaßnahme im Bestand installiert werden.

### *Zubehör Fensterkontakt*

Fensterkontakte können eingesetzt werden, um einen Betrieb des Abluft-Dunstabzugssystems bei gewährleisteter Luftnachströmung über geöffnete Fenster sicherzustellen. Folglich kann das Abluft-Dunstabzugssystem nicht bei geschlossenem Fenster betrieben werden.

### *Zubehör Druckwächter*

Häufig werden zu raumluftabhängigen Feuerstätten Druckwächter angeboten. Dieser Unterdruckschalter schaltet im Regelfall das Abluft-Dunstabzugssystem ab, wenn der Unterdruck im Aufstellraum der raumluftabhängigen Feuerstätte den Grenzwert von 4 Pa überschreitet. Dieser Grenzwert ist einzuhalten, um keinen kritischen Unterdruck zu erzeugen, der gefährliche Rauchgase der raumlufttechnischen Feuerstätte in den Aufstellraum strömen lassen könnte. Der Druckwächter kann aber auch genutzt werden, um beispielsweise automatisierte Fenster zu öffnen und dadurch die Nachströmung von Außenluft sowohl für die benötigte Verbrennungsluft der raumlufttechnischen Feuerstätte als auch für die benötigte Außenluftnachströmung des Abluft-Dunstabzugssystems. Abluft-Dunstabzugssysteme verfügen heute oft selbst über integrierte Druckwächter, sodass der Ventilator dieses Systems abgeschaltet wird, wenn der Grenzwert des Unterdrucks überschritten wird. Ist das Dunstabzugssystem so ausgeführt, dass eine Umschaltung zum Umluftbetrieb möglich ist, dann kann dies auch bei der Unterdruck-Grenzwert alternativ eingestellt werden.

## **5.4.2.2 Luftnachströmung über Außenbauteil-Luftdurchlass**

Neben einem geöffneten Fenster kann die benötigte Luftnachströmung auch über ein Außenbauteil-Luftdurchlass (ALD) erfolgen. Der ALD kann dabei in unterschiedlicher Form und unterschiedlichen Platzierungen im Raum installiert werden.

Für die meisten Außenbauteil-Luftdurchlässe liegen Volumenstrom-Druckverlust-Kennlinien nach DIN EN 13141-1 vor.

### *Außenbauteil-Luftdurchlass für das Fenster*

Außenbauteil-Luftdurchlässe für das Fenster werden meist direkt im Fensterblendrahmen integriert. Es gibt auch Möglichkeiten Außenbauteil-Luftdurchlässe im Rollladenkasten zu installieren.

### *Außenbauteil-Luftdurchlass für die Wand*

Außenbauteil-Luftdurchlässe für die Wand werden in eine Kernbohrung der Außenwand installiert. Diese oft auch als Mauerkästen bezeichneten Außenbauteil-Luftdurchlässe sind oft in verschließbarere Ausführung auf dem Markt vorzufinden. Ist das Abluft-Dunstabzugssystem in Betrieb wird der Verschluss des Mauerkastens geöffnet und die Luftnachströmung kann gewährleistet werden. Der Abluftvolumenstrom des Abluft-

Dunstabzugssysteme kann auch über den Mauerkasten geführt werden. In diesem Fall sorgt der Abluftvolumenstrom für das Öffnen einer Klappe, die den Außenluftdurchgang frei gibt. Die Ausführungen des Mauerkastens sind ganz verschieden und können technisch auf unterschiedlichste Art und Weise ausgeführt sein, vgl. Abbildung 33, wie z.B.:

- Verschluss durch Motorklappe (Kopplung Abluft / Außenluft – Ab- und Zuluft-Mauerkasten)
- Verschluss durch mechanische Klappe (Unterdruck durch betriebene Abluft-Dunstabzugshaube gibt Öffnung zur Luftnachströmung frei)
- Verschluss durch Membran (Technisches Signal spricht Motor zur Öffnung der Membran an, vgl. Zentralverschluss bzw. Lamellenverschluss bei Fotoapparaten)

Auch Kombinationen aus den beispielhaft aufgeführten Möglichkeiten sind denkbar und auf dem Markt vorzufinden. Vorteile der verschließbaren Mauerkästen sind, dass die Lüftungswärmeverluste während des Nichtbetriebs des Abluft-Dunstabzugssystems möglichst geringgehalten werden können.

Außenbauteil-Luftdurchlässe für die Wand sind meist hinter der Küchenkombination im oberen Bereich vorzufinden, sodass die nachströmende Luft von oben über die Abluft-Dunstabzugshaube fällt.

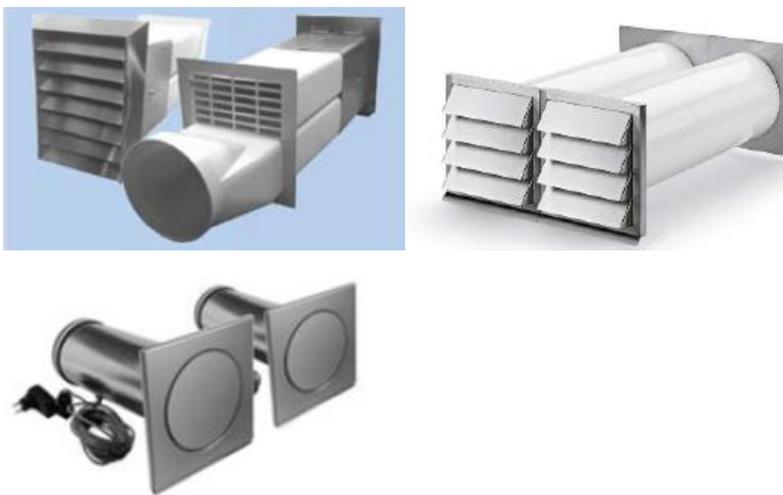


Abbildung 33: Übersicht von Mauerkastenlösungen zur Luftnachströmung – links: kombinierter Ab-/Zuluft-Mauerkasten – mechanisch öffnend/schließend, mittig: getrennte Außen- und Abluft-Mauerkasten – mechanisch öffnend/schließend, rechts: getrennte Außen- und Abluft-Mauerkasten – motorisch öffnend/schließend [HSLU 2019].

Als optimierte Lösung einer Mauerkasten-Luftnachströmung können zwei motorisch gesteuerte Luftdurchlässe mit Luftdichtheits-Zertifikat genannt werden.

### 5.4.3 Aktive Luftnachströmung

#### 5.4.3.1 Luftnachströmung über Außenbauteil-Luftdurchlass

Die Luftnachströmung über Außenbauteil-Luftdurchlass kann durch einen zusätzlich verbauten Ventilator noch unterstützt werden. Dieser Ventilator kann in Radial- oder Axialbauweise ausgeführt sein (axial – in Richtung einer Achse), wobei insbesondere bei der Axialbauweise auf die Druckstabilität bei äußeren Störgrößen wie Winddruck zu achten ist.

#### 5.4.3.2 Luftnachströmung über Lüftungsanlage

Eine Luftnachströmung über die Lüftungsanlage ist ebenfalls eine Möglichkeit. Voraussetzung hierbei ist natürlich das Vorhandensein einer Lüftungsanlage.

##### *Zu-/Abluftsystem*

Ist eine Zu-/Abluftanlage installiert und das Abluft-Dunstabzugssystem in Betrieb, wird der Abluftventilator der Zu-/Abluftanlage abgeschaltet oder auf kleinster Stufe betrieben. Gleichzeitig wird der Zuluftventilator auf die höchste Lüftungsstufe gestellt.

### Zuluftsystem

Bei einer installierten Zuluftanlage und gleichzeitigem Betrieb eines Abluft-Dunstabzugssystem, wird der Zuluftventilator auf die höchste Lüftungsstufe gestellt.

### Abluftsystem

Bei Betrieb einer Abluftanlage und einer Abluft-Dunstabzugshaube, wird der Abluftventilator abgeschaltet oder auf kleinster Stufe betrieben. Die für die Abluftanlage ausgelegten Außenbauteil-Luftdurchlässe sind dabei oft nicht für den deutlich höheren Luftvolumenstrom der Abluft-Dunstabzugshaube ausgelegt. Dies sollte in der ALD-Auslegung entsprechend Berücksichtigung finden.

In der Regel sollte eine Lüftungsanlage, die als Luftnachströmung für die Abluft-Dunstabzugssysteme dienen soll, größer dimensioniert werden. Die größere Dimensionierung der Lüftungsanlage kann jedoch problematisch bspw. hinsichtlich erhöhter Lüftungswärmeverluste oder geringer Luftfeuchtigkeit. Größere Luftvolumenströme können allerdings neben einer größeren Dimensionierung der Lüftungsanlage auch über zusätzliche Außenbauteil-Luftdurchlässe bzw. alternative Luftnachströmung erforderlich sein.

#### 5.4.3.3 Luftführung zum Abluft-Dunstabzugssystem

Bei Außenbauteil-Luftdurchlässen kann die Luftnachströmung durch eine Luftführung zum Abluft-Dunstabzugssystem noch optimiert werden. Dabei kann der Lüftungskanal nahezu bis zum Abluft-Dunstabzugssystem geführt werden. Der Lüftungskanal kann in Decken oder Böden sowie in Küchen-Einbaumöbeln installiert werden. Die Luftführung zum Abluft-Dunstabzugssystem wird bspw. bei Kochinseln installiert. Eine weitere Möglichkeit der Luftführung zum Abluft-Dunstabzugssystem ist z.B. bei Abluft-Dunstabzugshauben die Einbringung der Luftnachströmung im Randbereich der Haube, um einen höheren Erfassungsgrad zu erreichen.

#### 5.4.3.4 Luftnachführung im Kochbereich

In Wohnküchen beschränkt sich die Diskussion der Küchenluftabsaugung bisher weitgehend auf die Dunstabzugshauben selbst und auf die Luftnachströmung in die Küche. Für eine Bewertung der Luftnachführung im Kochbereich kann aber auf Erkenntnisse aus dem Bereich gewerblicher Küchen zurückgegriffen werden.

In DIN EN 16282-1: 2017 [DIN EN 16282-1] und VDI 2052-1: 2017 [VDI 2052-1] sind zunächst die thermodynamischen Grundlagen beschrieben. Abbildung 37 zeigt schematisch das Prinzip der Erfassung des Luftvolumenstroms mit einer Dunstabzugshaube.

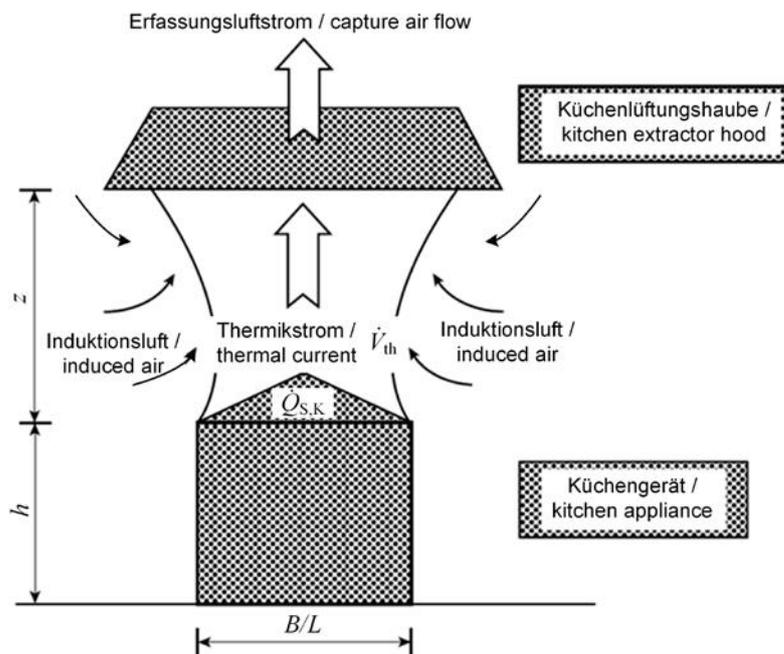


Abbildung 34: Schematische Darstellung für die Erfassung des Thermikstroms aus VDI 2052-1 [VDI 2052-1]

Die Berechnung kann auf Basis der genannten Regelwerke erfolgen:

Formel 6: Sensible Wärmebelastung

$$\dot{Q}_{S,K} = 0,5 \cdot P \cdot \dot{Q}_S$$

mit

$\dot{Q}_{S,K}$  sensible Wärmebelastung, in W

0,5 konvektiver Anteil der sensiblen Wärmeabgabe (Standardwert)

P elektrische Anschlussleistung, in kW

$\dot{Q}_S$  sensible Wärmeabgabe, in W/kW

Standardwerte: Ceran-Kochfeld 200 W/kW; Induktions-Kochfeld 70 W/kW

Formel 7: Hydraulischer Durchmesser

$$d_{hydr} = \frac{2 \cdot L \cdot B}{L + B}$$

mit

$d_{hydr}$  hydraulischer Durchmesser, in m

L Länge des Küchenherds, in m

B Breite des Küchenherds, in m

Formel 8: Thermikstrom

$$\dot{V}_{th} = k \cdot \dot{Q}_{S,K}^{\frac{1}{3}} \cdot (z + 1,7 \cdot d_{hydr})^{\frac{5}{3}} \cdot r \cdot \varphi$$

mit

$\dot{V}_{th}$  Thermikstrom (Warmluftstrom), in m<sup>3</sup>/h

k empirischer Koeffizient (Standardwert: 18 m<sup>4/3</sup> \* W \* h<sup>-1</sup>)

z Höhe über der Wärmequelle, in m

r Minderungsfaktor für die Aufstellung des Küchenherdes

Standardwerte: freie Aufstellung 1,00; Aufstellung an der Wand 0,63

$\varphi$  Gleichzeitigkeitsfaktor

Standardwert: Kleinküchen 1,00

Formel 9: Erfassungsluftvolumenstrom

$$\dot{V}_{erf} = \dot{V}_{th} \cdot a + \dot{V}_H$$

mit

$\dot{V}_{erf}$  Erfassungsluftvolumenstrom, in m<sup>3</sup>/h

a... Ausspülgrad, Standardwerte siehe Tabelle 17

$\dot{V}_H$  in die Haube eingeblasener Zuluftvolumenstrom, in m<sup>3</sup>/h

Tabelle 19: Zusammenstellung von Ausspülgraden nach DIN EN 16798-1, VDI 2052-1 und Recknagel 21

Strömungsform	Küchenhauben ohne integrierte Luftführung	Küchenhauben mit integrierte Luftführung	Industrie- absaugung (informativ)
Mischlüftung			
Tangentialluftdurchlässe (waagerechte Ausströmung)	1,35	1,25	2,50
Deckenluftdurchlässe (senkrechte Ausströmung)	1,30	1,20	2,00

Strömungsform	Küchenhauben ohne integrierte Luftführung	Küchenhauben mit integrierte Luftführung	Industrie- absaugung (informativ)
Schichtlüftung			
Deckenluftdurchlässe (Verdrängungslüftung)	1,20	1,15	1,60
Wandluftdurchlässe (Quelllüftung)	1,15	1,10	1,40

In weiterführender Literatur ([DallaValle], [Tale Yazdi]) werden der thermodynamische Hintergrund dieser empirischen Ansätze sowie diverse Anwendungen insbesondere im Bereich von Gewerbeküchen und Industrieanwendungen beschrieben. Für die konkreten Fragestellungen der Luftnachführung in Wohnküchen finden sich aber auch dort keine konkreten Hinweise.

Für die Anwendung dieser grundsätzlichen Ansätze auf die Luftnachströmung im Kochbereich von Wohnküchen kann deshalb eher grundsätzlich von folgenden Optimierungspotentialen ausgegangen werden:

1. Infolge von Querströmungen im Bereich der Kochstelle entsteht ein so genannter Ausspülgrad, der den Erfassungsgrad der Dunstabzugshaube teilweise deutlich verringern kann. Zur Minimierung des Ausspülgrades und damit zur Erhöhung des Erfassungsgrades bzw. zur Reduzierung des notwendigen Erfassungsluftvolumenstroms um bis zu 5% sind folgende Maßnahmen denkbar:
  - o Integrierte Luftführung mit Einbringen von Zuluft in die Dunstabzugshaube (Zuluftführung bis zum Herd notwendig)
  - o Konstruktive Anpassungen, z.B. Randabsaugung oder Glasflügel, vgl. Abbildung 38

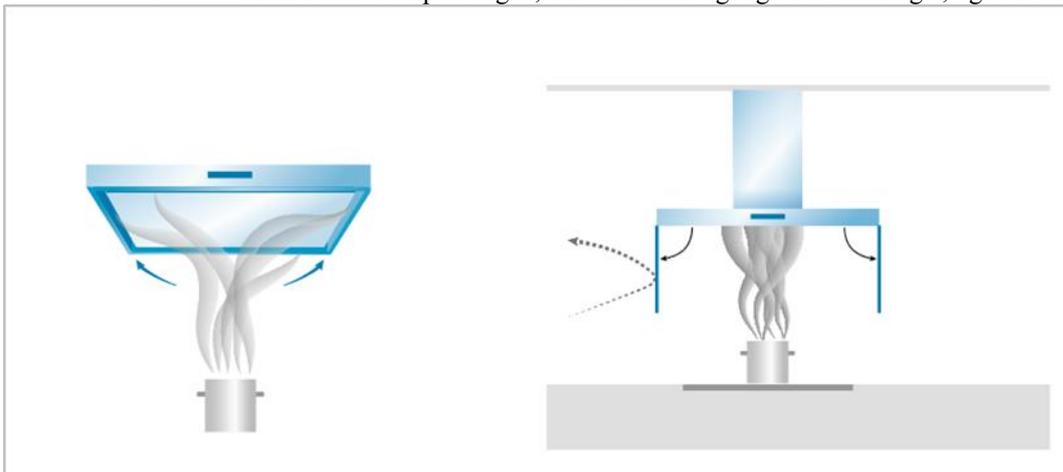


Abbildung 35: Konstruktive Anpassungen - links: Randabsaugung, rechts: Herunterklappbare Glasflügel [WESCO]

2. Der Ausspülgrad hängt von der Raumluftströmung in der Küche ab. Durch Ausbildung einer Schichtlüftung (z.B. Quelllüftung) kann der Ausspülgrad verringert werden, allerdings dominiert in der Wohnungslüftung die Mischlüftung mit Wandauslässen. Praktikabel wäre im Rahmen der üblichen Mischlüftung unter Umständen die Ausstattung der Küche mit Decken- statt mit Wandluftdurchlässen, was eine Verbesserung des Erfassungsgrades mit sich bringen würde.

Tabelle 20 fasst die Möglichkeiten der Luftnachströmung unter Kennzeichnung von Vor- und Nachteilen zusammen.

Tabelle 20: Zusammenfassung der Möglichkeiten der Luftnachströmung nach „Küchenabluft in Wohnungen“<sup>4</sup> [HSLU 2005] und „Küchenabluft bei der energetischen Gebäudesanierung und im Neubau“<sup>5</sup> [HSLU 2019]

	Luftnachströmung über ...		Vorteile	Nachteile	Bemerkungen
Passive Luftnachströmung	Fenster	Allgemein	+ bereits vorhanden (keine spezielle Installation oder Einrichtung notwendig) + geringer Druckabfall + kaum Wartungsaufwand	Schallschutz nicht gewährleistet witterungsbedingte Einschränkungen (Starkregen, Sturm)	Fensterwahl: gut geschützt vor Witterungseinflüssen
		Manuelle Fensteröffnung	+ bereits vorhanden (keine spezielle Installation oder Einrichtung notwendig)	kritische Öffnungszeit (Fenster bleibt evtl. den ganzen Tag geöffnet) manuelle Betätigung keine Sicherheit, dass das Fenster tatsächlich geöffnet ist.	Mieter müssen eingewiesen werden.
		Automatisierte Fensteröffnung	+ komfortable Fensterlüftung + keine manuelle Betätigung notwendig + auch zur Nachtkühlung im Sommer nutzbar	zusätzlicher Antrieb/Installation am Fenster notwendig (Stromanschluss jeweils notwendig) bei Stromausfall keine Sicherheit gegen Unterdruck.	
		Zubehör Fensterkontakt	+ Überwachung gegen Unterdruck einfach	manuelle Fensterbetätigung kritische Öffnungszeit (evtl. Fenster bleibt den ganzen Tag geöffnet) Fenster mit Fensterkontakt muss geöffnet werden, auch wenn andere Fenster bereits geöffnet sind bzw. aus Behaglichkeitsgründen ein anderes Fenster bevorzugt wird	
		Zubehör Druckwächter	+ Unterdrucküberwachung zu jeder Zeit gewährleistet (Betrieb Abluft-Dunstabzugssystem und/oder raumluftabhängige Feuerstätte)	relativ kostenintensive Maßnahme	

<sup>4</sup> Küchenabluft in Wohnungen. Horw: Hochschule Technik & Architektur (HTA), 2005 (Auftraggeber Baudirektion Kanton Zürich AWEL)

<sup>5</sup> Küchenabluft bei der energetischen Gebäudesanierung und im Neubau. Horw: Hochschule Technik & Architektur (HTA), 2019 (Auftraggeber Bundesamt für Energie BFE)

	Luftnachströmung über ...		Vorteile	Nachteile	Bemerkungen
	Außenbauteil-Luftdurchlass	Für das Fenster	+ Guter Witterungsschutz durch Wetterschutzgitter + höherer Schallschutz im Vergleich zum geöffneten Fenster + einfache und relativ kostensparende Serienprodukte	niedriger Schallschutz im Vergleich zu geschlossenem Fenster zusätzlicher baulicher Aufwand (Kernbohrung nach außen) Wärmebrücke höherer Druckabfall im Vergleich zum geöffneten Fenster Reinigungs- und Wartungsaufwand Erhöhung der Gebäude-Luftdichtheit, erhöhte Lüftungswärmeverluste Kondensationsprobleme möglich Mauerkästen mit Klappen: Können öffnen und klappern bei Sturm.	
		Für die Wand			
		Für die Wand – kombinierter Ab-/Zuluft-Mauerkasten – mechanisch öffnend/schließend	+ nur ein Wanddurchbruch notwendig	Öffnungs- und Schließdruck notwendig nicht luftdichter Abschluss Kurzschlussströmung möglich Instandhaltung des mechanischen Mechanismus	
		Für die Wand – getrennte Außen- und Abluft-Mauerkasten - mechanisch öffnend/schließend	+ Luftdichter Abschluss	Öffnungs- und Schließdruck notwendig nicht luftdichter Abschluss Instandhaltung des mechanischen Mechanismus	
		Für die Wand – getrennte Außen- und Abluft-Mauerkasten - motorisch öffnend/schließend	+ zuverlässiger Öffnungs- und Schließmechanismus + Luftdichter Abschluss + geringer Luftwiderstand (optimiertes Strömungsverhalten)	Kosten zusätzliche elektrische Verkabelung und Kommunikation zwischen Geräten notwendig Instandhaltung von elektrischen Antrieben	
Aktive Luftnachströmung	Außenbauteil-Luftdurchlass (ALD) mit Ventilator		+ definierter Luftvolumenstrom entsprechend Ventilator Kennlinie + Vermeidung von kritischen Unterdrücken in Aufstellräumen von Feuerstätten	Kosten zusätzliche elektrische Verkabelung und Kommunikation zwischen Geräten notwendig In Abhängigkeit von der Anordnung des ALD Zugluftrisiko möglich	

	Luftnachströmung über ...	Vorteile	Nachteile	Bemerkungen
	Lüftungsanlage	+ keine zusätzliche Installation erforderlich + bei Zu-/Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung: Vorwärmung der Luftnachströmung (gute thermische Behaglichkeit)	häufig max. Zuluftvolumenstrom < Abluftvolumenstrom der Abluft-Dunstabzugssysteme Luftgeschwindigkeit und Zugluftrisiko bei erhöhter Zuluft steigt. Auslegung der ALD und Überström-Luftdurchlass (ÜLD – Luftdurchlässe zwischen Räumen bei geschlossenen Türen) meist ungeeignet bzw. ohne Berücksichtigung des Abluft-Dunstabzugssysteme. größere Dimensionierung der Lüftungsanlage oder Vorsehen zusätzlicher Nachströmöffnungen notwendig Brandschutzvorschriften beachten Zusätzliche Verkabelung und Kommunikationstechnik zwischen den Geräten notwendig.	Insbesondere in Kombination mit raumluftabhängigen Feuerstätten Unterdruck im Aufstellraum beachten.
Luftführung zum Abluft-Dunstabzugssystem	Decken oder Böden	+ Vorwärmung der Luft in Abhängigkeit der Leitungslänge möglich	aufwändige und kostenintensive Installation Reinigungsmöglichkeit begrenzt, da schwer zugänglich.	Dichte Motorklappe kurz nach Außenluftgitter einbauen zur Verringerung der Wärmeverluste. Wärmedämmung zur Kondensationsvermeidung und Temperaturabkühlung beachten. Druckverlust durch zusätzlichen Luftkanal berücksichtigen. Einbaumaße abstimmen (Betondecke > erforderlicher Luftleitungsdurchmesser + Wärmedämmung)
	Küchen-Einbaumöbeln	+ kein Eingriff in die Bausubstanz	aAufwändige und kostenintensive Installation Reinigungsmöglichkeit begrenzt, da schwer zugänglich.	Dichte Motorklappe kurz nach Außenluftgitter einbauen zur Verringerung der Wärmeverluste. Wärmedämmung zur Kondensationsvermeidung und Temperaturabkühlung beachten. Druckverlust durch zusätzlichen Luftkanal berücksichtigen.

## 5.4.4 Möglichkeiten der Wärmerückgewinnung aus der Abluft

### 5.4.4.1 Varianten der Luftkanal-Wärmeübertragung

Um die energetische Effizienz und die thermische Behaglichkeit von Abluft-Dunstabzugshauben zu verbessern, können Möglichkeiten der Luftkanal-Wärmeübertragung genutzt werden. Diese Art der Luftkanal-Wärmeübertragung wird bspw. schon heute bei Wärmeerzeugern als Luft-Abgas-System (LAS – benötigte Verbrennungsluft und Abgas wird in zwei parallel angeordneten Kammern aneinander vorbeigeführt) bezeichnet, genutzt und ist Stand der Technik. Folgende Varianten eines Luftkanal-Wärmeübertragers sind im Bericht „Luftkanal-Wärmetauscher“ [Huber] näher betrachtet worden:

- Rohr in Rohr – Innenrohr: Abluft/Fortluft, Außenrohr: Außenluft/Zuluft
- Rohr in Rohr – Innenrohr: Außenluft/Zuluft, Außenrohr: Abluft/Fortluft
- Rohr in Rohr – Innenrohr: 3 x Außenluft/Zuluft, Außenrohr: Abluft/Fortluft
- Rohr in Rohr (Rippenrohr): Innenrohr: Abluft/Fortluft, Außenrohr: Außenluft/Zuluft
- Kammerprofil – je 24 Kammern für Außenluft/Zuluft und Abluft/Fortluft

Konstruktive Details zu den einzelnen Varianten enthält Anhang 5. Tabelle 21 fasst die Vor- und Nachteile der unterschiedlichen Möglichkeiten zur Wärmeübertragung in einem Luftkanal zusammen.

Tabelle 21: Übersicht der Möglichkeiten zur Wärmeübertragung bezüglich Dunstabzugssystemen mit Vor- und Nachteilen nach „Luftkanal-Wärmetauscher“ (Huber]

Typ			Vorteil	Nachteil	
	Innenrohr	Außenrohr	Rippen		
Rohr in Rohr	Abluft	Zuluft	ohne	+ sehr einfache Herstellung und Montage. + im Sanierungsbereich geeignet, wenn Kernbohrungen gemacht werden müssen. + Erwärmung der AUL/ZUL durch die Umgebung.	schwierige Reinigung des hygienisch sensiblen AUL/ZUL-Rohres. großer Platzbedarf, wenn mehrere Rohre nebeneinander in einem Sammelschacht montiert werden.
	Zuluft	Abluft	ohne	+ sehr einfache Herstellung und Montage. + im Sanierungsbereich geeignet, wenn Kernbohrungen gemacht werden müssen. + Gute Reinigungsmöglichkeit des hygienisch sensiblen AUL/ZUL-Rohres.	keine Erwärmung der AUL/ZUL durch die Umgebung. großer Platzbedarf, wenn mehrere Rohre nebeneinander in einem Sammelschacht montiert werden.
	3 x Zuluft	Abluft	ohne	+ im Sanierungsbereich geeignet, wenn Kernbohrungen gemacht werden müssen. + gute Reinigungsmöglichkeit des hygienisch sensiblen AUL/ZUL-Rohres.	aufwendige Herstellung und Montage, da 3 Innenrohre vorhanden sind keine Erwärmung der AUL/ZUL durch die Umgebung. großer Platzbedarf, wenn mehrere Rohre nebeneinander in einem Sammelschacht montiert werden. konstruktiv kompliziertes Anschlussstück, somit hoher Druckverlust.
	Abluft	Zuluft	mit	+ einfache Montage + im Sanierungsbereich geeignet, wenn Steigzone durch Deckenaufbau gebohrt wird. + gute Reinigungsmöglichkeit des hygienisch sensiblen AUL/ZUL-Rohres.	keine Erwärmung der AUL/ZUL durch die Umgebung. großer Platzbedarf, wenn mehrere Rohre nebeneinander in einem Sammelschacht montiert werden. durch den Herstellungsprozess sind maximal 12 Rippen möglich.
<b>Kammeraufteilung</b>					
Kammerprofil	24 Abluft-Kammern	24 Zuluft-Kammern		+ einfache Herstellung und Montage + modularer Aufbau, somit Anpassung an den benötigten Volumenstrom + für Neubauten und Sanierungen geeignet + platzsparend in Sammelschächten, da rechteckiger Querschnitt + gute Reinigungsmöglichkeit der hygienisch sensiblen AUL-Kammern.	bei Sanierung sind rechteckige Durchbrüche nötig.

#### 5.4.4.2 Abschätzung des Potenzials der Luftkanal-Wärmeübertragung

Die Abschätzung des Potenzials einer Luftkanal-Wärmeübertragung in Kombination mit einem Abluft-Dunstabzugssystem erfolgt für ein Rohr-in-Rohr-System. Das betrachtete Rohr-in-Rohr-System ist als konzentrische Rohr-in-Rohr-Konstruktion mit Abluft/Fortluftführung im Innenrohr und mit Außenluft/Zuluftführung im Außenrohr ausgeführt, vgl. Abbildung 36.

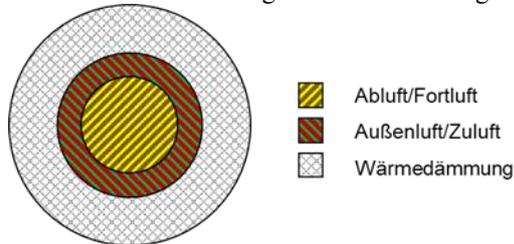


Abbildung 36: Schematische Darstellung für Rohr in Rohr – Innenrohr: Abluft/Fortluft, Außenrohr: Außenluft/Zuluft [ITG]

Für die Abschätzung werden folgende Randbedingungen und Variationen angenommen bzw. festgelegt:

- Rohr-in-Rohr-System (Innenrohr: Abluft/Fortluft, Außenrohr: Außenluft/Zuluft)
- Rohrlänge: 2,5 m bzw. 5 m
- Ablufttemperatur: 30 °C bzw. 40 °C
- Außenlufttemperatur: 0 °C bzw. 10 °C
- Abluftvolumenstrom des Dunstabzugssystems: 300 m<sup>3</sup>/h bzw. 600 m<sup>3</sup>/h
- Betriebszeit des Dunstabzugssystems: 1 h/d
- Wärmedurchgangskoeffizient  $\alpha=13$  W/(m<sup>2</sup> K)
- Inneres Rohr aus Stahlblech/Edelstahl (Wärmeleitfähigkeit  $\lambda=50$  W/(mK), Rohrdicke  $s=1$  mm)
- Keine Wärmeverluste nach außen (Wärmedämmung mit  $s=\infty$ )

Unter Anwendung dieser Randbedingungen und Größenvariation ergeben sich für die Zulufttemperatur Werte im Bereich von ca. 1 K bis 2 K über Außentemperaturniveau (siehe Abbildung 37), für den Wärmerückgewinnungsgrad werden je nach Randbedingung Werte zwischen ca. 3,5 % bis ca. 13 % erreicht (siehe Abbildung 38). In Abbildung 39 wird die mögliche eingesparte Energiemenge pro Tag unter dem Gesichtspunkt eines einstündigen Betriebs des Dunstabzugssystems pro Tag dargestellt. In Abhängigkeit von der Kombination der Parameter kann eine Energieeinsparung zwischen ca. 0,1 kWh/d bis 0,5 kWh/d (bzw. ca. 50 bis 200 kWh/a) erreicht werden.

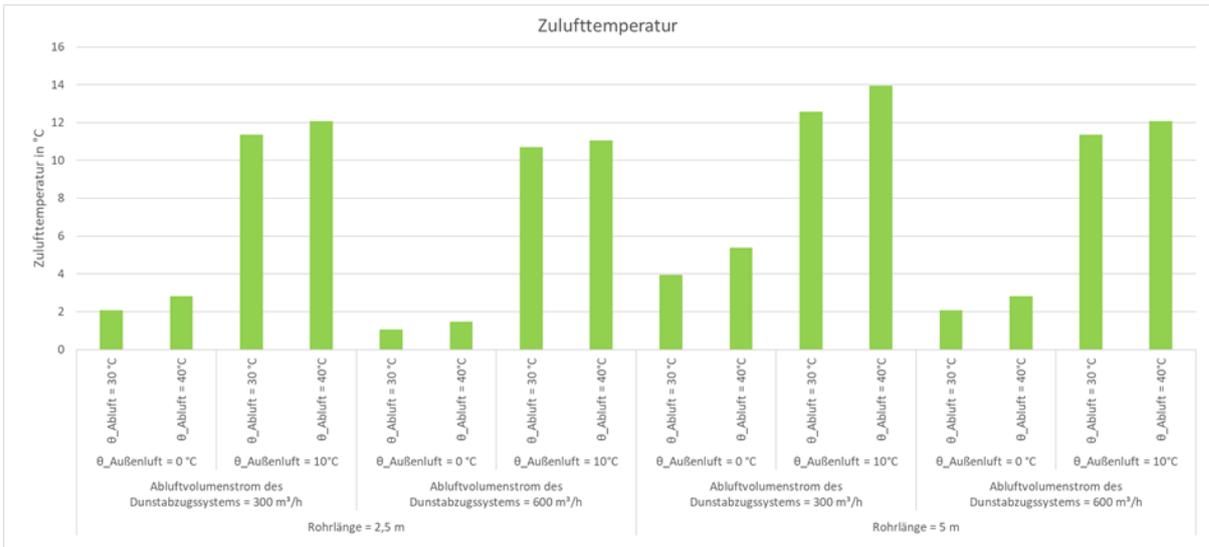


Abbildung 37: Zulufttemperatur - Abschätzung für Rohr-in-Rohr-System [ITG]

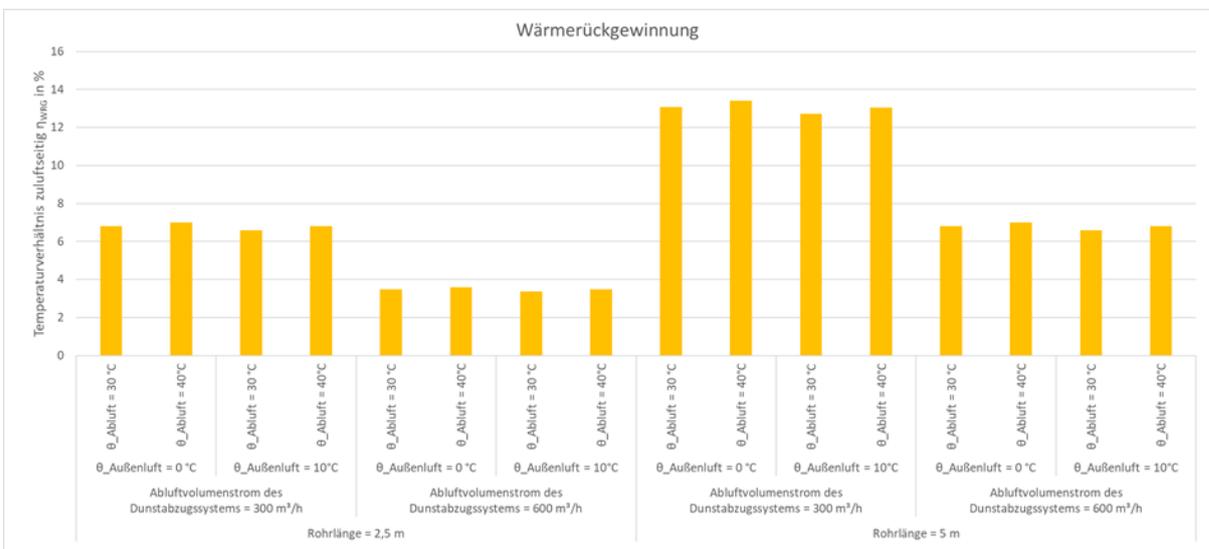


Abbildung 38: Wärmerückgewinnungsgrad - Abschätzung für Rohr-in-Rohr-System [ITG]

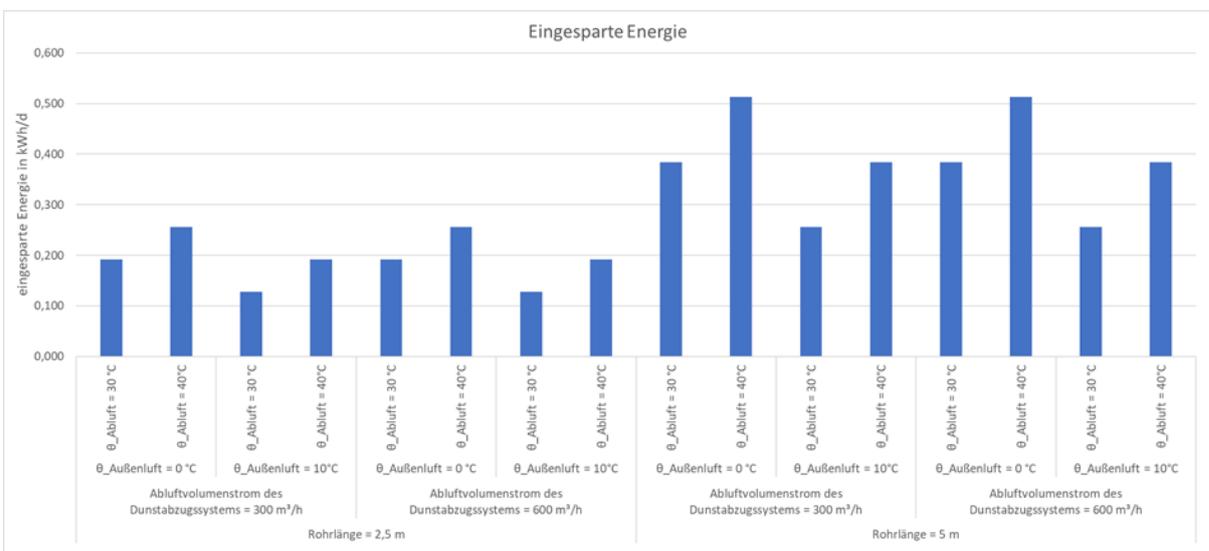


Abbildung 39: Energieeinsparung - Abschätzung für Rohr-in-Rohr-System [ITG]

### 5.4.5 Ergebnisse und Ableitung von Planungshinweisen

Die Möglichkeiten der Luftnachströmung bei Abluft-Dunstabzugssystemen sind vielseitig und lassen sich in passive und aktive Luftnachströmung kategorisieren. Die passive Luftnachströmung über ein geöffnetes Fenster (manuell oder automatisiert geöffnet) ist die wohl am Häufigsten anzutreffende Lösung, um eine Luftnachströmung für ein Abluft-Dunstabzugssystem zu gewährleisten. Alternativ kann eine passive Luftnachströmung auch über einen Außenbauteil-Luftdurchlass (ALD) erfolgen. Insbesondere für die Kombination mit Feuerstätten ist der Einsatz eines Druckwächters zu empfehlen bzw. in bestimmten Konstellationen (z.B. raumluftabhängige Feuerstätten) unabdingbar. Werden für die Luftnachströmung Ventilatoren eingesetzt, spricht man von einer aktiven Luftnachströmung. Hierbei wird zwischen Außenbauteil-Luftdurchlässen mit integriertem Ventilator und Lüftungsanlagen unterschieden. Während bei der aktiven Luftnachströmung mit Außenbauteil-Luftdurchlässen auf die Druckstabilität der Ventilatoren (insbesondere bei axialer Bauweise) geachtet werden muss, ist bei der aktiven Luftnachströmung mit Lüftungsanlagen der begrenzte Luftvolumenstrom der Lüftungsanlagen zu beachten, der in aller Regel um den Faktor 3 bis 4 unter dem Luftvolumenstrom der Dunstabzugshaube liegt und deshalb die Luftnachströmung nicht ausreichend gewährleisten kann.

Die Luftnachströmung kann durch eine Luftführung zum Abluft-Dunstabzugssystem optimiert werden. Infolge von Querströmungen im Bereich der Kochstelle entsteht ein so genannter Ausspülgrad, der den Erfassungsgrad der Dunstabzugshaube teilweise deutlich verringern kann. Zur Minimierung des Ausspülgrades und damit zur Erhöhung des Erfassungsgrades bzw. zur Reduzierung des notwendigen Erfassungsluftvolumenstroms um bis zu 5 % sind folgende Maßnahmen denkbar:

- Integrierte Luftführung mit Einbringung von Zuluft in die Dunstabzugshaube
- Konstruktive Anpassungen, z.B. Randabsaugung oder Glasflügel

Der Ausspülgrad hängt von der Raumluchtströmung in der Küche ab. Praktikabel ist im Rahmen der üblichen Mischlüftung die Ausstattung der Küche mit Decken- statt mit Wandluftdurchlässen, was eine Verbesserung des Erfassungsgrades mit sich bringt.

Um die energetische Effizienz und die thermische Behaglichkeit von Abluft-Dunstabzugshauben zu verbessern, können Möglichkeiten der Luftkanal-Wärmeübertragung bei der kombinierten Abluft- und Zuluftführung genutzt werden. Durch ein einfaches Rohr-in-Rohr-System kann unter üblichen Randbedingungen eine Energieeinsparung von ca. 50 bis 200 kWh/a erreicht werden.

## 4. Untersuchungen zu Umluftdunstabzugssystemen

Verantwortlicher Projektpartner: Institut für Holztechnologie Dresden gemeinnützige GmbH

Mitwirkende Projektpartner: Naber GmbH, Passivhaus Institut GmbH

Bei Umluftdunstabzugssystemen wird der erfasste Kochwrasen gefiltert und in den Raum zurückgeführt. Der Betrieb von Umluftdunstabzugshauben wirkt sich im Vergleich zu Abluftsystemen also nicht auf den Heizwärmebedarf aus.

Die Wirksamkeit der Umlufthaube ist neben dem Erfassungsgrad vor allem abhängig von der Qualität der Umluftfilter. Im Rahmen des Projekts erfolgt eine vergleichende Untersuchung des Geruchsreduzierungsgrades in Anlehnung an DIN EN 61591 als Maßstab für die Wirksamkeit der Umluftfilter. Die nachfolgenden Kapitel fassen die messtechnischen Untersuchungen an den verschiedenen Filtersystemen zusammen. Dabei werden vor allem Aktivkohlefilter aber auch Plasmafilter unterschiedlicher Bauformen betrachtet.

### 4.1 Aktivkohlefilter

#### 6.1.1 Versuchsdurchführung

In diese Untersuchungen wurden 9 verschiedene Filter einbezogen, davon drei unterschiedliche Mattenfilter (M1, M2.1, M2.2, M2.3, M3), ein Wabenfilter (W), eine Filterkassette (F), ein Plisseefilter (P) und ein Thermokatalytischer Filter (T). Für den Mattenfilter 2 kamen drei unterschiedliche Ausführungen zum Einsatz. Alle Filter wurden im Zustand „neu“ und einige ausgewählte Filter auch im Zustand „gealtert“ geprüft.

Bestimmt wurde sowohl der Geruchsreduzierungsgrad als auch die Abklingdauer in Anlehnung an die Norm DIN EN 61591.

Formel 10: Geruchsreduzierungsgrad

$$GRG = \frac{C1 - C2}{C1} * 100$$

GRG Geruchsreduzierungsgrad in %

C1 max. Raumkonzentration ohne Filter

C2 Raumkonzentration nach Ende der MEK-Beaufschlagung,  
MEK Methyl ethylketon (CAS 78-93-3), bestimmt als Propanäquivalent.

AKD Abklingdauer in min

15 % Zeit bis Raumkonzentration von C2 auf 15% von C1 gesunken ist

Die Prüfungen erfolgten unter folgenden Bedingungen:

- Volumen Prüfraum: 29 m<sup>3</sup>
- Messinstrument für MEK: Flammenionisationsdetektor Bernath Atomic 3006; Kalibrierung mit 80 ppm Propan
- Messdatenerfassung: ALMEMO 2590
- Kochfeld: Rommelsbacher CT1810 mit externer Temperaturregelung über einen NiCr-Ni Fühler im Topfboden
- Dosierung MEK-Wasser-Gemisch: Schlauchpumpe Ismatec SM933

Für alle Filter wurde einheitlich die Kopffreihaube Bosch DWK97IM60 verwendet, die über einen externen Drehzahlsteller auf eine Förderleistung von 350 m<sup>3</sup>/h eingestellt war.

Die folgenden Aufstellungen zeigen die Versuchsübersicht und Beschreibung der Filter und der entsprechenden Versuche.

Tabelle 22: Versuchsübersicht - Aktivkohlefilter

Hersteller /Bauart	Filter-zustand	Ver-such 1	Ver-such 2	Ver-such 3	Ver-such 4a	Ver-such 4b	Ver-such 5a	Ver-such 5b	Ver-suchs-anzahl/Filter
A	neu	4		1	3		1	1	9
	gealtert 1	1			1				2

	gealtert 2	1			1				2
B	neu	1			2	3			6
C	neu	2			2				4
D	neu	2			2				4
E	neu	1			4				5
F	neu	2	1	1	3				7
	gealtert 1	1			1				2
	gealtert 2	1			1				2
G	neu	2			2				4
H	neu	1		1	2		1	1	5
I	neu	2			2				4
Gesamtversuchszahl									<b>56</b>

Die Auswahl der Filter sowie der Versuche erfolgte in der Projektgruppe. Unter Ausschöpfung des Projektrahmens wurde ein Versuchsplan festgelegt, um eine große Variantenbreite mit entsprechenden Versuchen zu verknüpfen. Der Basisversuch V1 und die Versuche zur Regeneration V4 standen hier im Mittelpunkt und wurden für alle Filter durchgeführt. Die weiteren Versuche erfolgten exemplarisch für ausgewählte Filter. Der Versuchsplan wurde in der Projektgruppe in Abhängigkeit der ermittelten Ergebnisse sowie der Verfügbarkeit der Filter im Projektverlauf angepasst. Die Auswahl der Filter und Versuche erfolgte immer unter dem Gesichtspunkt der Gewinnung eines größtmöglichen Erkenntnisgewinnes.

Tabelle 23: Filterübersicht – Aktivkohle

Filter	Kennzeichnung	Beschreibung
A	M1	Mattenfilter 1
B	W	Wabenfilter
C	P	Plisseefilter
D	F	Filterkassette
E	T	Thermokatalytischer Filter
F	M2.1	Mattenfilter 2, Aufbau 1, 20mm Standard + 10mm Standard
G	M2.2	Mattenfilter 2, Aufbau 2, 10mm Standard + 5 mm Fein
H	M2.3	Mattenfilter 2, Aufbau 3, 20 mm Standard + 10 mm Fein
I	M3	Mattenfilter 3

Die Versuche sind nachfolgend im Text sowie in Tabelle 24 beschrieben.

Alle Versuche erfolgten zur besseren Vergleichbarkeit der Filter mit einem Volumenstrom von 350 m<sup>3</sup>/h. Vor der erstmaligen Verwendung der Filter wurden diese mindestens 16 Stunden im Trockenschrank bei 55 °C konditioniert und nach deren Einbau eine Stunde bei 350 m<sup>3</sup>/h mit sauberer Raumluft durchspült. Es wurden folgende Versuche durchgeführt: Basisversuch unter Standardbedingungen, Einfluss der Filterfeuchte mittels gezielter Filterbefeuchtung, Versuche zum Regenerationsverhalten (Durchströmung von nichtbeladener Luft, Trockenschrank bei einer Temperatur bis 190°C). Zusätzlich wurden Versuche mit Zusatzlüftung durchgeführt, was einer Anwendung in einem Passivhaus entspricht. Der Basisversuch und die Versuche zur Regeneration wurden mit allen Filtervarianten durchgeführt. Die weiteren Versuche erfolgten exemplarisch für ausgewählte Filter.

Tabelle 24: Kurzbeschreibung Versuche - Aktivkohle

Versuch	Beschreibung
Versuch 1	Basisversuch, Volumenstrom 350 m <sup>3</sup> /h
Versuch 2	Start Umluftfilter erst nach MEK-Verdunstung
Versuch 3	Einfluss Befeuchtung Befeuchtung des Filters mit 300 g Wasser über 1/2h im Umluftbetrieb + zusätzlichem Lauf über 60 min
Versuch 4a	Regenerationsverhalten gebrauchter Filter aus Versuch 1, 90 min Lauf bei 350 m <sup>3</sup> /h Filter E nach Herstellerangabe
Versuch 4b	Regeneration im Trockenschrank (55°C, 190°C)
Versuch 5a	zusätzliche Zwangslüftung, Filter neu
Versuch 5b	zusätzliche Zwangslüftung, Filter regeneriert

Abbildung 40 zeigt den Versuchsaufbau für die Untersuchungen der Aktivkohlefilter sowie unterschiedliche Filterausführungen.

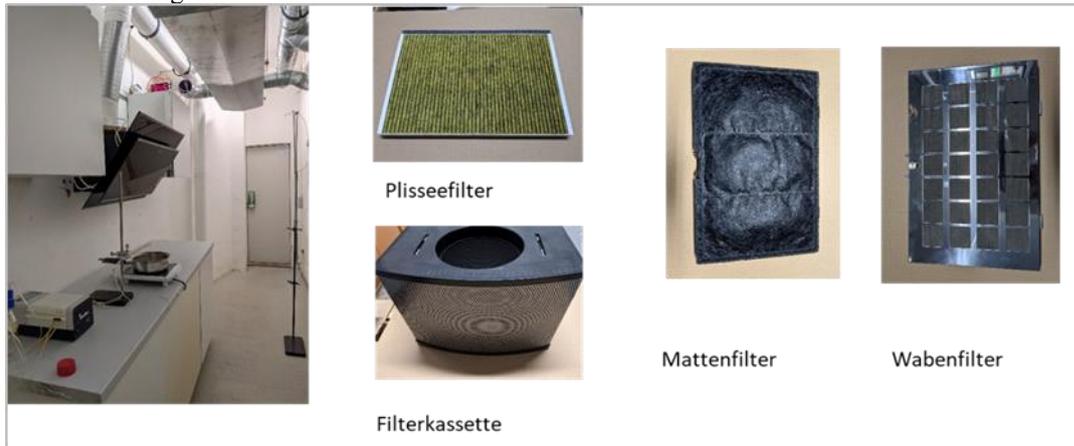


Abbildung 40: Versuchsanordnung zur Bestimmung der Geruchsreduzierung sowie Beispiele für Filtervarianten [IHD]

### 6.1.2 Ergebnisse

Die Ergebnisse der einzelnen Versuche werden im Abschnitt 4.1.4 „Zusammenfassung - Aktivkohlefilter“ erläutert.

#### Versuche zur Filterregeneration

Die Abbildung 41 zeigt die Ergebnisse zum Geruchsreduzierungsgrad für die Versuche V1 (Basisversuch) und V4a (Regenerationsversuch) für Aktivkohlefilter ohne Mattenfilter. Die Ergebnisse der Filter gleicher Farbe entsprechen einer Doppelbestimmung (z.B. F/1 und F/2).

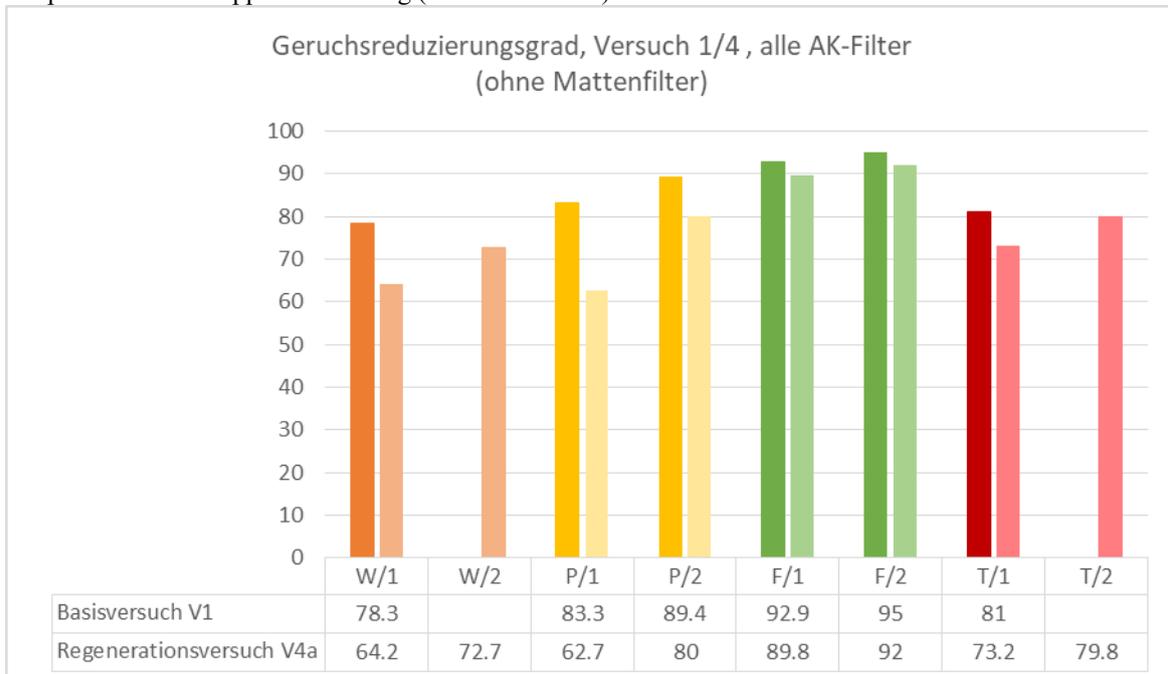


Abbildung 41: Geruchsreduzierungsgrad in %, Basisversuch V1 (Farbe dunkel) und Regenerationsversuch V4a (Farbe hell), Aktivkohlefilter ohne Mattenfilter [IHD]

Anmerkung: Die Geruchsreduzierungsgrade für die jeweils 2. Bestimmung W/2 und T/2 für Versuch 1 wurden nicht bestimmt.

Die Abbildung 42 zeigt die Ergebnisse zum Geruchsreduzierungsgrad für die Versuche V1 (Basisversuch) und V4a (Regenerationsversuch) für die Aktivkohle-Mattenfilter. Es wurden z.T. Mehrfachbestimmungen durchgeführt:

- Filter M1: Vierfachbestimmung
- Filter M 2.1: Doppelbestimmung
- Filter M 2.2: Doppelbestimmung
- Filter M 2.3: Einfachbestimmung
- Filter M 3: Doppelbestimmung

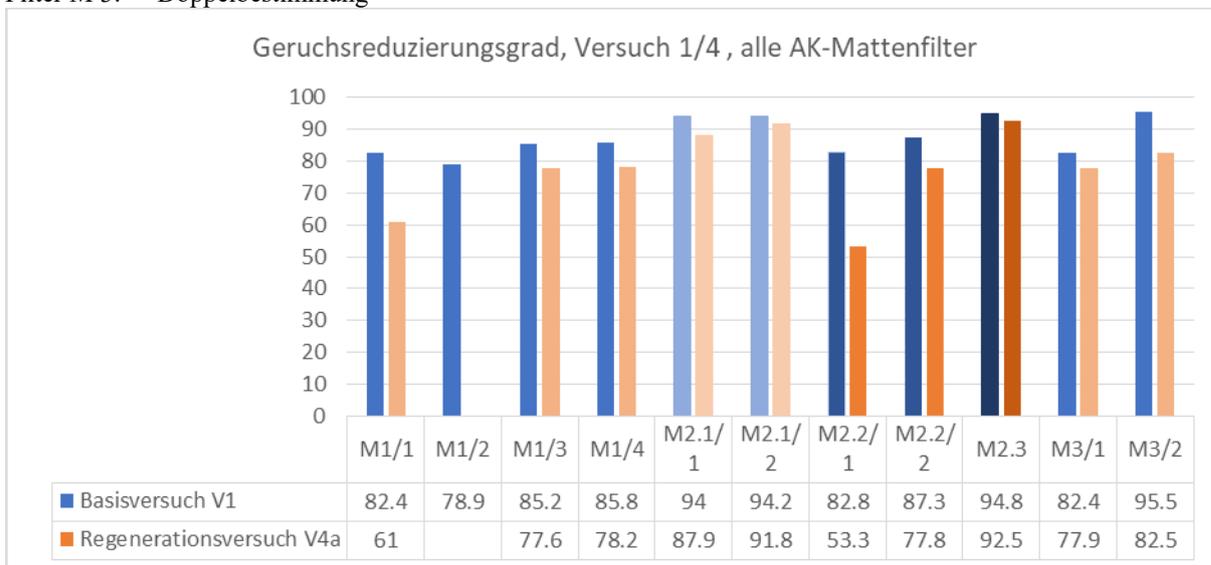


Abbildung 42: Geruchsreduzierungsgrad in %, Basisversuch V1 (blau) und Regenerationsversuch V4a (orange), Aktivkohlefilter, Mattenfilter [IHD]

Anmerkung: Der Geruchsreduzierungsgrad für die 2. Bestimmung für den Mattenfilter M1 für Versuch 4a wurde nicht bestimmt.

Die Abbildung 43 zeigt die Ergebnisse zur Abklingdauer für die Versuche V1 (Basisversuch) und V4a (Regenerationsversuch) für Aktivkohlefilter ohne Mattenfilter. Die Ergebnisse der Filter gleicher Farbe entsprechen einer Doppelbestimmung (z.B. W/1 und W/2).

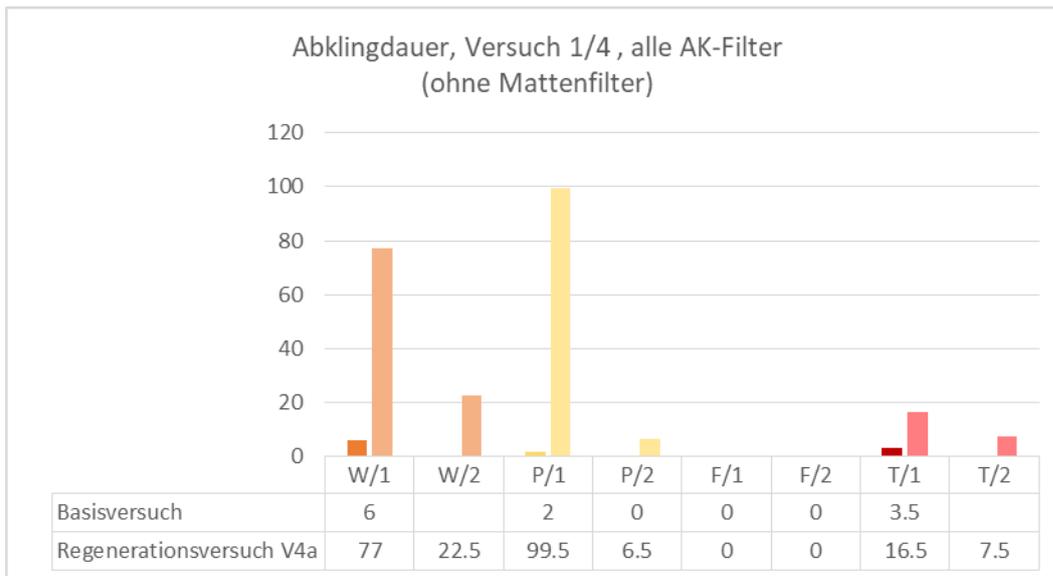


Abbildung 43: Abklingdauer (15%) in min, Basisversuch V1 (Farbe dunkel) und Regenerationsversuch V4a (Farbe hell), Aktivkohlefilter ohne Mattenfilter [IHD]

Anmerkung: Die Abklingdauer für die jeweils 2.Bestimmung W/2 und T/2 für Versuch 1 wurde nicht bestimmt.

Die Abklingdauer für folgende Versuche liegt bei „0“:

- Versuch 1 mit Filter P/2
- Versuche 1 und 4a mit Filter F/1 und F/2

Die Abbildung 44 zeigt die Ergebnisse zur Abklingdauer für die Versuche 1 und 4 für die Aktivkohle-Mattenfilter. Es wurden z.T. Mehrfachbestimmungen durchgeführt:

Filter M1: Vierfachbestimmung

Filter M 2.1: Doppelbestimmung

Filter M 2.2: Doppelbestimmung

Filter M 2.3: Einfachbestimmung

Filter M 3: Doppelbestimmung

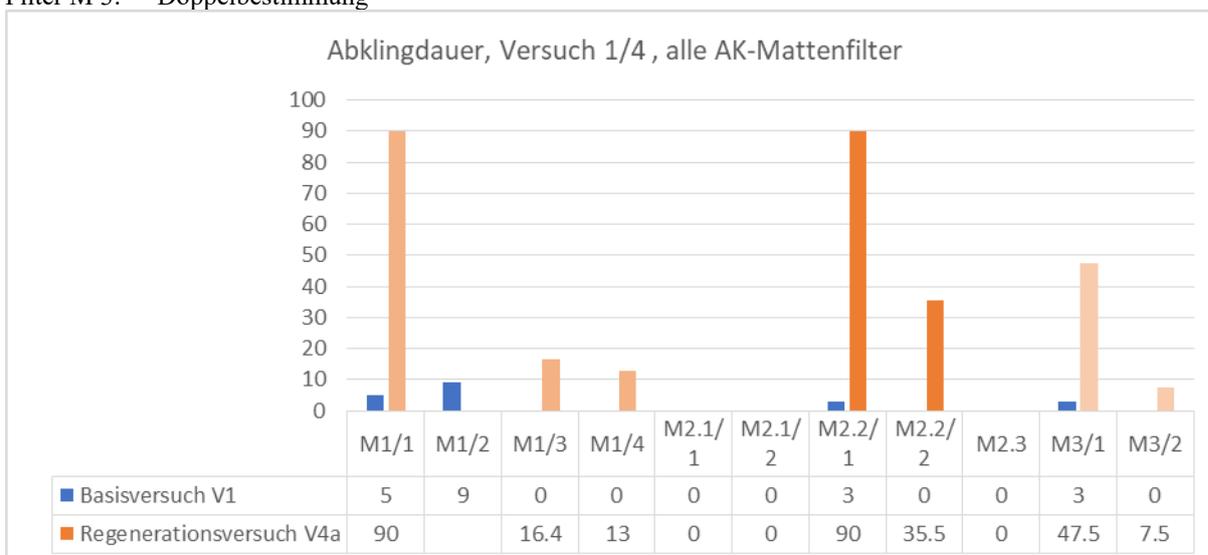


Abbildung 44: Abklingdauer in min, Basisversuch V1 (blau) und Regenerationsversuch V4a (orange), Aktivkohlefilter, Mattenfilter [IHD]

Anmerkung: Die Abklingdauer für die 2. Bestimmung für den Mattenfilter M1 für Versuch 4a wurde nicht bestimmt.

- Die Abklingdauer für folgende Versuche liegt bei „0“:
- Versuch 1: M1/3 und M1/4, M2.2/2, M3/2
  - Versuche 1 und 4a: M2.1, M2.3

Am Beispiel Wabenfilter wurden zwei Varianten der Regeneration untersucht, beschrieben als Versuch 4a (nur Spülluft) und 4b (Ausheizen):

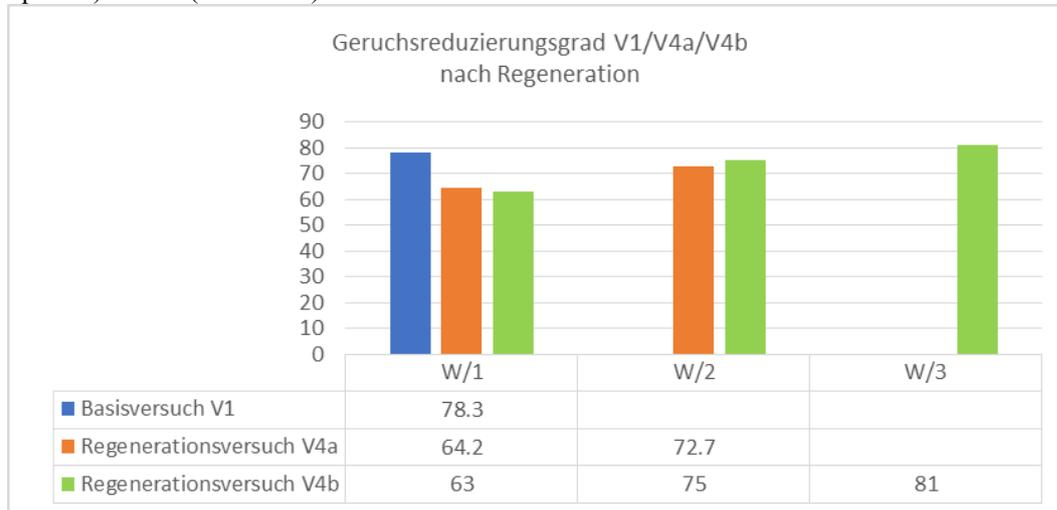


Abbildung 45: Geruchsreduzierungsgrad in %, Basisversuch V1 (blau), Regenerationsversuch V4a (orange), Regenerationsversuch V4b (grün), Aktivkohlefilter, Wabenfilter, Ausheiztemperaturen grüne Säulen: links: 55 °C, mittig: 190 °C, rechts: 190 °C [IHD]

### Versuche zum Einfluss einer Filterbefeuchtung

Für ausgewählte Filter wurden Versuche zum Einfluss der Feuchte des Filters auf die Geruchsreduzierung durchgeführt. Einbezogen wurden die Mattenfilter M1, M2.1. und M2.3.

Die jeweiligen Ergebnisse aus Versuch 3 wurden mit denen aus Versuch 1 (Basisversuch) verglichen. Die folgende Darstellung zeigt den Geruchsreduzierungsgrad mit und ohne Befeuchtung.

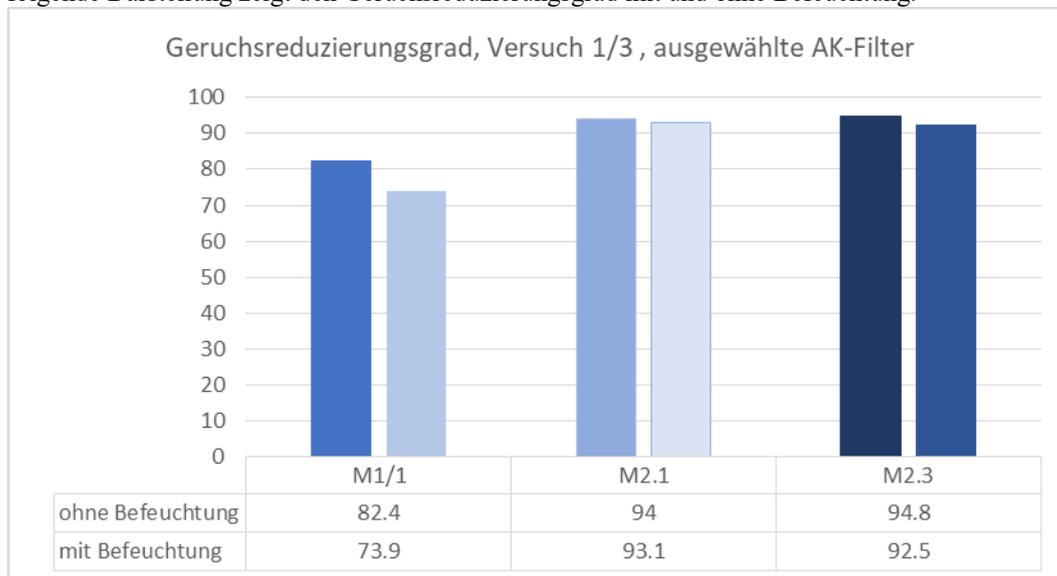


Abbildung 46: Geruchsreduzierungsgrad in % mit (jeweils rechte Säule) und ohne Befeuchtung (jeweils linke Säule) für 3 ausgewählte Mattenfilter [IHD]

### Versuche mit Zusatzlüftung

Für 2 Mattenfilter wurden weitere Versuche mit Zusatzlüftung (Versuche 5a und 5 b), was der Verwendung in einem Passivhaus entspricht, durchgeführt. Hierzu wurden die Mattenfilter M1 und M2.3 verwendet.

Die Prüfung des Filter M1 ohne Zusatzlüftung erfolgte als Vierfachbestimmung. Alle übrigen Versuche wurden als Einfachbestimmung durchgeführt.

Die Versuche erfolgten sowohl mit neuen als auch mit regenerierten Filtern.

Es bedeuten:

- Säulen blau und orange: Versuche ohne Zusatzlüftung (siehe Versuche 1 und 4a)
- Säulen grün und gelb: Versuche mit Zusatzlüftung (Versuche 5a und 5b)
- Jeweils dunkle Farbe: Versuche mit neuen Filtern
- Jeweils helle Farbe: Versuche mit regenerierten Filtern

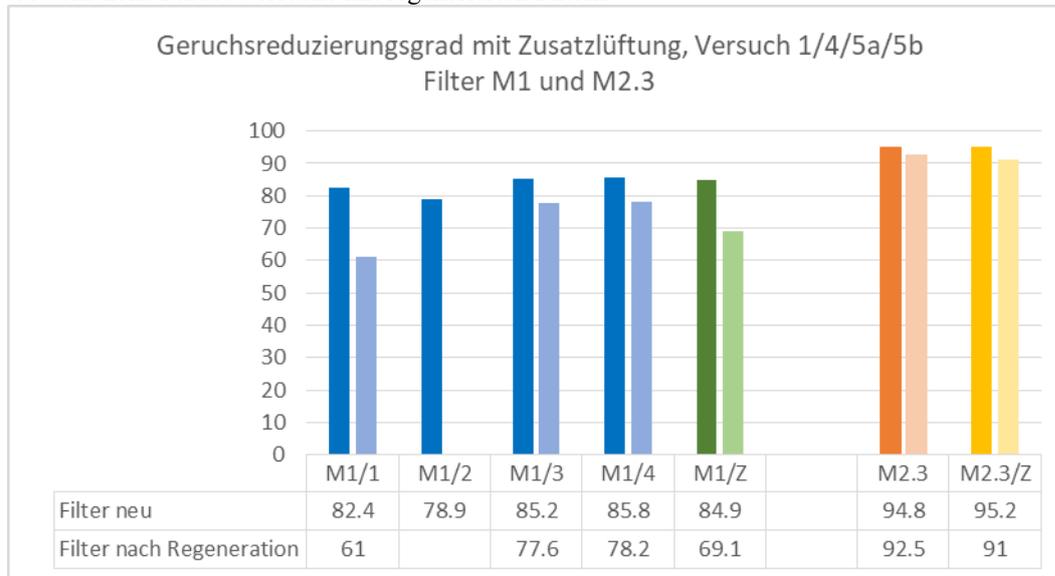


Abbildung 47: Geruchsreduzierungsgrad in % mit und ohne Zusatzlüftung, 2 ausgewählte Mattenfilter [IHD]

### Versuche zur Filteralterung - Gebrauchssimulation

Durchführung der Kochversuche: Naber GmbH

Für zwei Filtervarianten (Mattenfilter) wurde der Einfluss einer Alterung auf die Geruchsreduzierung untersucht. Die Alterung erfolgte durch Verdampfen von Rapsöl, was dem Frittieren von Pommes frites entspricht. Es wurden Portionen von 350 g frittiert. Ein Fettfilter war während des Versuches nicht installiert, um den Wrasen vollständig auf dem Geruchsfilter zu sammeln. Es wurden folgende Mengen berücksichtigt:

- Frittieren von 700 g Pommes frites – Filteralterung FA1
- Frittieren von 2000 g Pommes frites – Filteralterung FA2

Einbezogen wurden Filter im Neuzustand (Versuch1) sowie nach Regeneration mit Spülluft (Versuch 4a).

Es bedeuten:

- Säulen blau und orange: Filter nicht gealtert (siehe Versuche 1 und 4a)
- Säulen grün und gelb: Filter gealtert (FA 1 und FA 2)
- Jeweils dunkle Farbe: Versuche mit neuen Filtern
- Jeweils helle Farbe: Versuche mit regenerierten Filtern

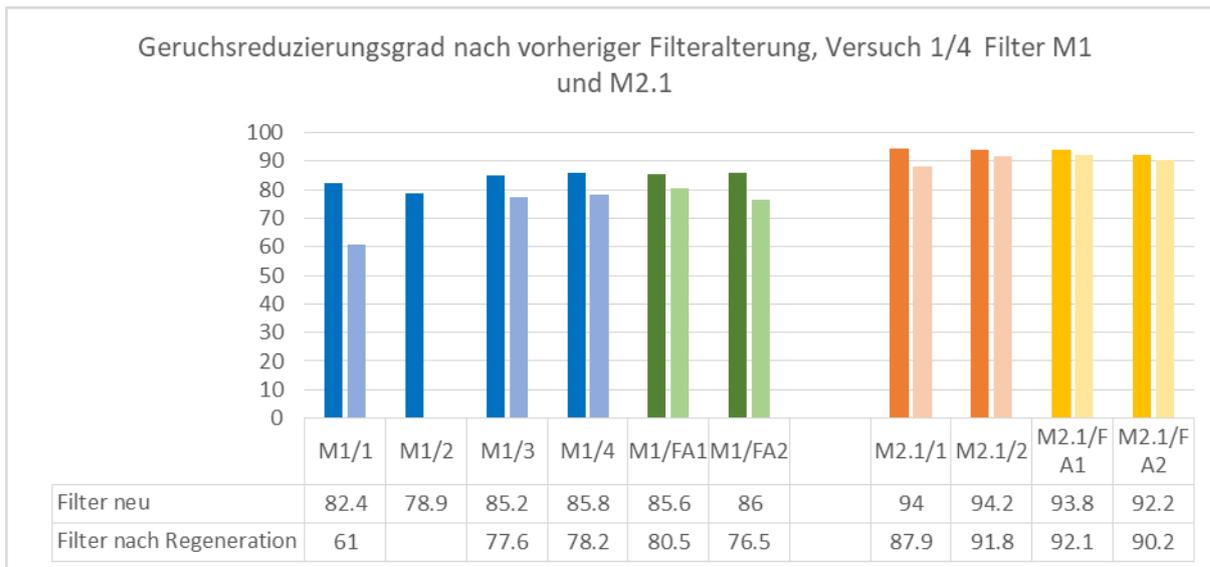


Abbildung 48: Geruchsreduzierungsgrad in % mit und ohne Filteralterung (Versuche 5a und 5b), 2 ausgewählte Mattenfilter [IHD GmbH]

### 6.1.3 Ermittlung der Stromaufnahme der AK-Filtersysteme

Ergänzend zum ursprünglichen Versuchsprogramm wurde die Stromaufnahme der Dunstabzugshaube mit eingebauten Filter bestimmt. Die Bestimmung erfolgte mit der Intensivstufe der Absaughaube durch die Naber GmbH. Der resultierende Volumenstrom ist ebenfalls in Tabelle 25 dokumentiert. Der Einbau erfolgte druck- oder saugseitig. Zur besseren Vergleichbarkeit der Filter wurde ein Wirkungsgrad (leistungsspezifischer Volumenstrom) berechnet.

Tabelle 25: Stromaufnahme der Umluftdunstabzugshaube in der Intensivstufe bei verschiedenen Filtersystemen. Einbaulage: S-Saugseite, D-Druckseite.

Hersteller /Bauart	Kennzeichnung	Einbaulage	el. Leistung W	Volumenstrom m³/h	Wirkungsgrad m³/W
	kein Filter		196,1	595	3,0
A	Mattenfilter 1	S	164,2	480	2,9
B	Wabenfilter	S	173,3	525	3,0
C	Plisseefilter	S	177,8	540	3,0
D	Filterkassette	D	175,6	535	3,0
E	Thermokatalytischer Filter	D	171,0	510	3,0
F	Mattenfilter Aufbau 1,	S	171,0	515	3,0
G	Mattenfilter Aufbau 2,	S	175,6	530	3,0
H	Mattenfilter Aufbau 3, 20 mm	S	171,0	510	3,0
I	Mattenfilter 3	D	148,2	400	2,7

Die Förderleistung der für alle Versuche verwendeten Umluftdunstabzugshaube lag in der Intensivstufe ohne Filter bei 600 m³/h. Mit dem Filter M3 wurde die geringste Förderleistung mit 400 m³/h erreicht. Der Mittelwert über alle Filter lag bei 514 m³/h. Der Wirkungsgrad war mit 3,0 m³/W bei allen Filtern identisch, lediglich bei M3 lag dieser mit 2,7 m³/W niedriger. Ein je nach Filtertyp erhöhter Luftwiderstand führt

demnach nicht zu einer höheren Stromaufnahme der Umluftdunstabzugshaube. Ein Einfluss auf den Erfassungsgrad infolge eines reduzierten Volumenstroms ist dennoch möglich, wurde aber nicht untersucht.

#### **6.1.4 Zusammenfassung - Aktivkohlefilter**

Aus den durchgeführten Versuchen werden folgende Erkenntnisse abgeleitet:

##### **Aktivkohlefilter - ohne Mattenfilter**

Die Versuche zeigen generelle Qualitätsunterschiede der Filter. Der Geruchsreduzierungsgrad (GRG) liegt bei 79 bis 96 %. Nach Gebrauch und Regeneration verschlechtert sich der GRG bei guten Filtern um ca. 3 %. Schlechtere Filter weisen einen Abfall um 8 bis 20 % auf. Die Abklingdauer bestätigt die Qualitätseinschätzung.

##### **Aktivkohlefilter – Mattenfilter**

Der Geruchsreduzierungsgrad (GRG) liegt bei 78 bis 95 %. Nach Gebrauch und Regeneration verschlechtert sich der GRG bei guten Filtern um ca. 3 bis 6 %. Schlechtere Filter weisen einen Abfall um 10 bis 30 % auf. Die Abklingdauer bestätigt auch für diese Filtergruppe die Qualitätseinschätzung.

Zwischen Mattenfiltern und anderweitigen Filtern ist kein signifikanter Unterschied in Bezug auf die Geruchsreduzierung erkennbar.

Der Einfluss der Verweilzeit des Wrasens im Filter ist erkennbar. Bei dem nur 15 mm dicken Mattenfilter M2.2 war der Geruchsreduzierungsgrad des neuen Filters 7-11 % niedriger als bei den 30 mm dicken Mattenfiltern desselben Herstellers (M2.1 und M2.3). Nach Gebrauch und Regeneration verschlechtert sich der Geruchsreduzierungsgrad des 15 mm Filters im Vergleich zu den 30 mm Filtern um 34 % (1. Messung Sommer) und 15 % (2. Messung Winter).

Die Einbaulage hat auf den Geruchsreduzierungsgrad keinen erkennbaren Effekt, sowohl die besten saugseitigen Filter M2.1 und M2.3 als auch der beste druckseitige Filter F erreichten einen Geruchsreduzierungsgrad von 95 %.

##### **Regenerationsverhalten**

In Bezug auf das Regenerationsverhalten sind Qualitätsunterschiede erkennbar. Filter mit einem hohen Geruchsreduzierungsgrad im Basisversuch zeigen im Allgemeinen auch ein besseres Regenerationsverhalten. Die Regeneration mittels Trockenschrank bei höherer Temperatur zeigt bessere Ergebnisse als die alleinige Verwendung von Spülluft.

Insbesondere die Mattenfilter M2.1 und M2.3 sowie die Filterkassette F zeigten eine überdurchschnittlich hohe Geruchsreduzierung nach der Regeneration. Während die Filterkassette 4000 g Aktivkohlegranulat enthält, beträgt die Gesamtmasse der Mattenfilter M2.1 und M2.3 ca. 600 g. Vergleiche der Geruchsreduzierung im Bezug zum Filtergewicht sind jedoch nicht direkt möglich, da die Filter neben der Aktivkohle auch Trägermaterialien und Gehäusematerial zu unterschiedlichen Anteilen enthalten.

##### **Einfluss der Filter- bzw. Luftbefeuchtung**

Die Versuche zur Filterbefeuchtung zeigen keinen erkennbaren Effekt. Dem gegenüber wurde festgestellt, dass es offenbar einen mit der Jahreszeit zusammenhängenden Einfluss der relativen Luftfeuchte im Versuchsraum gibt. Die Luftfeuchtedifferenz in Bezug auf Sommer und Winter beträgt ca. 20 %. Trockene Luft führt zu erkennbar besseren Ergebnissen. Das spiegeln die Versuche zur Filterbefeuchtung nicht wider, was vermutlich in der vergleichsweise geringen Wasserlast im Filter begründet ist. Bei einem Volumenstrom von 350 m<sup>3</sup>/h während einer Dauer von 90 min (Konditionierung 60 min, Verdampfung MEK-Wasser-Gemisch 39 min) passieren im Sommer ca. 1900 g mehr Wasser den Filter als im Winter. Die im Versuch zur Luftbefeuchtung zusätzlich verdunsteten 300 g Wasser sind demgegenüber wenig. Die Wiederholungsversuche (.../2), die im Winter durchgeführt worden sind, zeigen grundsätzlich höhere Geruchsreduzierungsgrade als die erste Versuchsreihe im Sommer (.../1). Insbesondere das Regenerationsverhalten wird durch trockene Raumluft begünstigt. Die Abgabe von MEK aus dem Filter erfolgt dabei gleichzeitig mit dessen Trocknung, also der Abgabe von Wasser an die Raumluft.

Der Thermokatalytische Filter war nach Ablauf des über 120 Minuten selbständig ablaufenden Regenerationsbetriebs im Gehäuseinneren mit Kondenswasser belegt. Da während der Regeneration die Abluftklappen des Filters geschlossen sind, kann das Wasser aus dem MEK-Versuch den Filter nicht

ausreichend verlassen. Zusammen mit dem Wasser verbleibt MEK im Filter, wie am Geruch und am verminderten Geruchsreduzierungsgrad erkennbar war.

### **Einfluss einer Zusatzlüftung im Raum**

Eine zur Absaugung der Haube zusätzliche Lüftung des Versuchsraumes bringt keinen erkennbaren Effekt. Die Versuche wurden bei 350 m<sup>3</sup>/h durchgeführt. Es ist anzunehmen, dass bei einer niedrigeren Lüfterstufe der Dunstabzugshaube und einem dadurch geringeren Volumenstrom der Einfluss einer Raumzusatzlüftung stärker ausgeprägt ist.

### **Einfluss einer Filteralterung**

Eine Filteralterung mit Fett (Rapsöl) führt zu keiner erkennbaren Verschlechterung der Filterwirkung. Die Beaufschlagung mit unterschiedlichen Fettmengen, die im Bereich einer praktischen Anwendung liegen, zeigt keine Verringerung des Geruchsreduzierungsgrades. Die Beaufschlagung der Filter mit 2,5 g bis 7 g Rapsöl war möglicherweise zu wenig. Der Effekt einer mehrmonatigen Filternutzung mit der damit verbundenen Öltrocknung konnte nicht ermittelt werden.

## **4.2 Plasmafilter**

### **6.2.1 Versuchsdurchführung**

Im Rahmen des Projektes wurden Filter von 2 Herstellern (P1, P2) einbezogen. Die Versuche zur Geruchsreduzierung erfolgten ebenfalls mit einem Volumenstrom von 350 m<sup>3</sup>/h. Das Versuchsprogramm beginnt mit einem Basisversuch mit dem Filter im Neuzustand. Die weiteren Untersuchungen erfolgten nacheinander mit dem jeweils gebrauchten Filter aus dem vorangegangenen Versuch. Nach dem Basisversuch schlossen sich folgende Prüfungen und Versuche an: eine Wiederholungsprüfung, ein Versuch ohne Plasma, 2 Regenerationsversuche mit Plasma, ein Versuch mit Plasma ohne Aktivkohle und ein Versuch mit zusätzlicher Lüftung.

Die folgenden Tabellen beschreiben die verwendeten Filter sowie die durchgeführten Versuche.

Tabelle 26: Versuchsübersicht – Plasmafilter

Hersteller/ Bauart	Filter- zustan- d	Vers uch 1	Vers uch 2	Vers uch 3	Vers uch 4	Vers uch 5	Vers uch 6	Vers uch 7	Versu- chs- anzahl /Filter
A	neu	1					1		7
	gebraucht		1	1	1	1		1	
B	neu	1							3
	gebraucht		1		1				
C	neu								2
	gebraucht	1			1				
D	neu	1							2
	gebraucht				1				
Gesamtversuchs- zahl									14

Tabelle 27: Filterübersicht - Plasmafilter

	<b>Kennzeichnung</b>	<b>Beschreibung</b>
A	P1.1	Plasmafilter 1 Hersteller 1
B	P2.1	Plasmafilter 1 Hersteller 2
C	P2.2	Plasmafilter 2 Hersteller 2 (benutzter Filter Firma Naber GmbH)
D	P1.2	Plasmafilter 2 Hersteller 1 (Ersatzgerät zu A)

Tabelle 28: Kurzbeschreibung Versuche - Plasmafilter

<b>Versuch</b>	<b>Beschreibung</b>
Versuch 1	Basisversuch, mit Plasma, Volumenstrom 350 m <sup>3</sup> /h
Versuch 2	2. Versuch mit Plasma, Volumenstrom 350 m <sup>3</sup> /h
Versuch 3	Versuch ohne Plasma, Volumenstrom 350 m <sup>3</sup> /h
Versuch 4	Regenerationsversuch, mit Plasma, 350 m <sup>3</sup> /h
Versuch 5	2. Regenerationsversuch, mit Plasma, 350 m <sup>3</sup> /h, über Nacht 350 m <sup>3</sup> /h
Versuch 6	Versuch mit Plasma, ohne Aktivkohle, 350 m <sup>3</sup> /h, Bestimmung der Ozonabgabe
Versuch 7	Versuch mit zusätzlicher Zwangslüftung

Abbildung 49 zeigt den Versuchsaufbau für die Untersuchungen der Plasmafilter sowie das verwendete Ozonmessgerät.



Abbildung 49: Versuchsanordnung zur Bestimmung der Geruchsreduzierung – Plasmafilter [IHD GmbH]

## 6.2.2 Ergebnisse

### Geruchsreduzierungsgrad

Während der Untersuchungen wurde bei Filter P1 eine technische Störung festgestellt, so dass dieser Filter durch einen Filter gleicher Bauart ersetzt wurde. Die Ergebnisse, die mit dem zweiten Filter ermittelt wurden, bestätigen die Ergebnisse des ersten Filters.

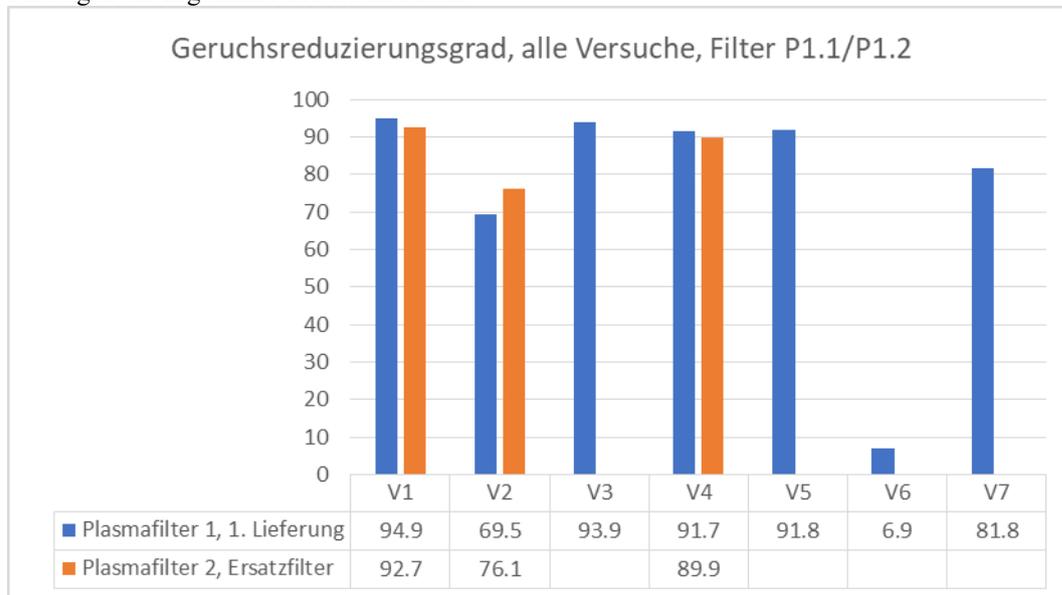


Abbildung 50: Geruchsreduzierungsgrad in %, Plasmafilter P1 [IHD GmbH]

Es bedeuten:

Filter P1.1 Filter 1. Lieferung

Filter P1.2 Ersatzfilter

V1 Versuch1 Basisversuch, Plasma und Aktivkohle (AK)

V2 Versuch 2. Versuch nach V 1 und 10 min Konditionierung, Plasma und AK

V3 Versuch 3 Versuch ohne Plasma

V4 Versuch 4 Regeneration mit Plasma

V 5 Versuch 5 2. Regeneration mit Plasma

V6 Versuch 6 nur mit Plasma, ohne Aktivkohle, Dieser Versuch erfolgte mit einem separaten Filter, der vom Hersteller ohne Aktivkohle zur Verfügung gestellt wurde.

V7 Versuch 7 Versuch mit Zusatzlüftung

Der Geruchsreduzierungsgrad liegt beim ersten Versuch (Basisversuch) bei 95 %. Der Wert verschlechtert sich nach Gebrauch um ca. 20 %. Die Regenerationsversuche zeigen eine sehr gute Wirkung. Der Geruchsreduzierungsgrad liegt nahezu auf dem Niveau des Basisversuches. Die Versuche einmal ohne Plasma (V3) und einmal ohne Aktivkohle (V6) lassen den Schluss zu, dass das Plasma allein keine direkte Reinigungswirkung hat und der Reinigungseffekt unter Normalbedingungen allein durch die Aktivkohle hervorgerufen wird.

Die Versuche mit dem Filter P2 zeigten keinen Reinigungseffekt. Ein zur Verfügung gestellter Austauschfilter führte zum gleichen Ergebnis: Der Geruchsreduzierungsgrad lag im Bereich des Basisversuchs (V1) und im Versuch nach Regeneration (V4) bei nur 1 %. Weitere Versuche mit dem Filter P2 erfolgten daher nicht. Um zu ermitteln ob möglicherweise Abbauprodukte des MEK die Messung mit dem FID beeinflussen, wurde eine Analyse auf MEK mittels Gaschromatographie-Massenspektroskopie in Verbindung mit Thermodesorption durchgeführt. Diese Analyse ergab die Anwesenheit von MEK in der Raumluft oberhalb des Kalibrierbereichs.

### Ozonabgabe - Plasmafilter

Zusätzlich zur Bestimmung der Geruchsreduzierung wurde die Ozonkonzentration in der Raumluft bestimmt. Dafür wurde der Ozonanalysator HORIBA APAO-370 eingesetzt. Die Versuche erfolgten mit dem

Plasmafilter P1.1. mit und ohne Aktivkohle. Die Messstelle entspricht der Messstelle für MEK (Methylethylketon) im Versuchsraum. MEK wurde als Propanäquivalent bestimmt. Die Abbildung 51 zeigt beispielhaft die Verläufe von MEK und Ozon über einen Zeitverlauf von ca. 2 Stunden. Der Plasmafilter P1.1 wurde ohne Aktivkohle verwendet.

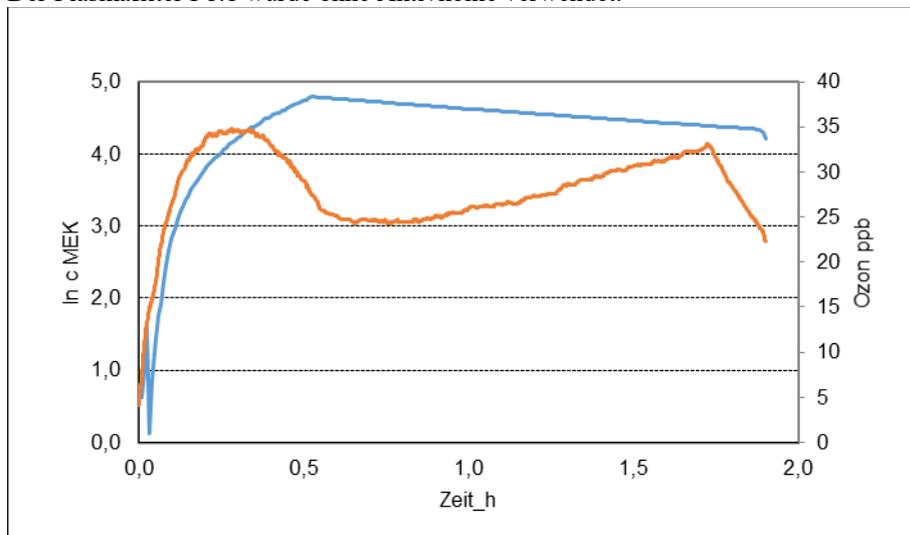


Abbildung 51: Ozon- und MEK-Verlauf, Plasmafilter P1.1 ohne Aktivkohle, blaue Linie - MEK-Konzentration in ppm (linke Achse) (n-Logarithmus), orange Linie – Ozonkonzentration in ppb (rechte Achse) [IHD GmbH]

Der MEK-Verlauf nimmt mit Versuchsbeginn zu und sinkt nur geringfügig ab. Eine signifikante Reduzierung ist nicht erkennbar. Der Ozonverlauf steigt ebenfalls an und verbleibt auf hohem Niveau. Der Maximalwert liegt bei ca. 35 ppb. Der 8-Stunden Mittelwert sollte laut Umweltbundesamt 60 ppb nicht überschreiten (<https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/luftschadstoffe-im-ueberblick/ozon> (12.10.2022)). Dieser Zielwert wird vom Plasmafilter P1.1 im Messzeitraum auch eingehalten, wenn keine Aktivkohle im Filter installiert ist.

Die

Abbildung 52 zeigt die Verläufe von MEK und Ozon über einen Zeitverlauf von ca. 1,5 Stunden. Der Plasmafilter P1 wurde mit Aktivkohle verwendet. Beide Geräte P1.1 und P1.2 liefern identische Ozonkonzentrationen von 3 ppb. Das Vorhandensein der Aktivkohle reduziert die Ozonkonzentration demnach von 35 ppb auf 3 ppb. Der Verlauf der MEK Konzentration liegt bei P1.1 und P1.2 ebenfalls auf einem vergleichbaren Niveau. Im Vergleich zu der Messung ohne Aktivkohle ist eine deutliche Abnahme der MEK Konzentration in der Raumluft vorhanden.

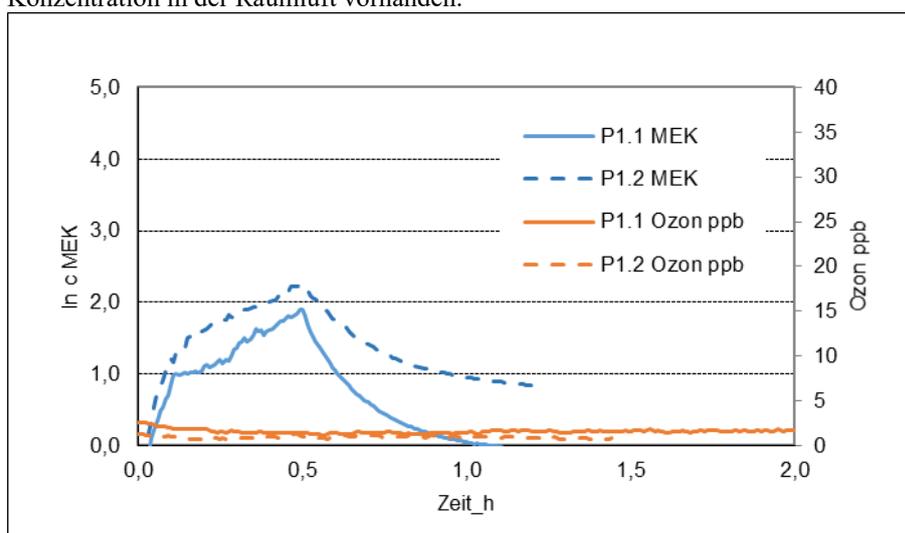


Abbildung 52: Ozon- und MEK-Verlauf, Plasmafilter P1.1 durchgehende Linien, P1.2 – durchgehende Linie mit Aktivkohle, blaue Linie - MEK-Konzentration in ppm (linke Achse) (n-Logarithmus), orange Linie – Ozonkonzentration in ppb (rechte Achse) [IHD GmbH]

Bei beiden Geräten von P2 war keine Reinigungswirkung feststellbar. In Abbildung 53 ist ersichtlich, wie die MEK-Konzentration auf einem stabilen Niveau verbleibt, sowohl bei P2.1 als auch bei 2.2. Eine Geruchsreduzierung ist bei beiden Geräten nicht messbar. Die Abgabe von Ozon deutet auf die Funktionsfähigkeit des Plasmagenerators hin. Versuche ohne Aktivkohlefilter wurden mit dem Plasmafilter P2 nicht durchgeführt, da aufgrund der Leistung zur Geruchsreduzierung von der Abwesenheit an Aktivkohle auszugehen ist.

Der zweite Plasmafilter P2 zeigt eine Ozonabgabe von 25 ppb. Dieser Wert liegt höher als der Wert des Filters P1 mit Aktivkohle. Der Zielwert von 60 ppb wird im Messzeitraum eingehalten.

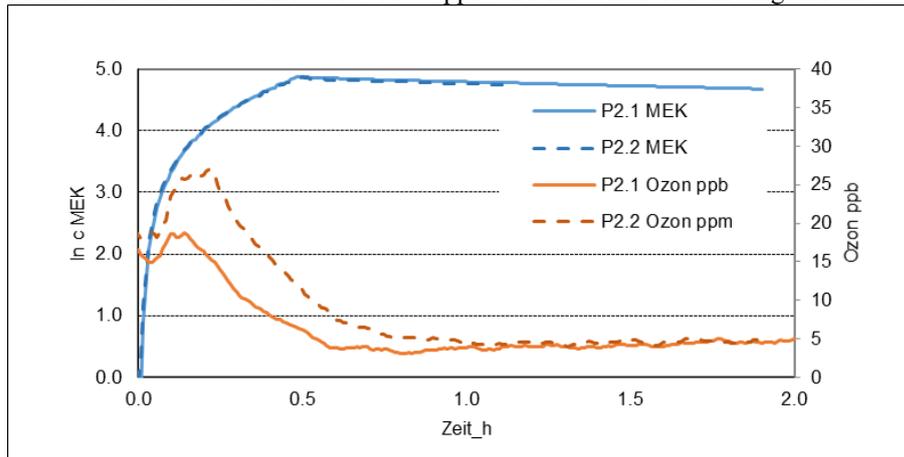


Abbildung 53: Ozon- und MEK-Verlauf, Plasmafilter P2, P2.1 durchgehende Linien, P2.2 unterbrochene Linien - MEK-Konzentration in ppm (linke Achse) (n-Logarithmus!), orange Linie – Ozonkonzentration in ppb (rechte Achse) [IHD GmbH]

### 6.2.3 Ermittlung der Stromaufnahme der Plasma-Filterssysteme

Ergänzend zum ursprünglichen Versuchsprogramm wurde auch hier die Stromaufnahme der eingebauten Filter durch die Naber GmbH bei intensivstufe bestimmt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 29 dokumentiert. Der Einbau erfolgte druck- seitig. Zur besseren Vergleichbarkeit der Filter wurde ein Wirkungsgrad (leistungsspezifischer Volumenstrom) berechnet.

Tabelle 29: Stromaufnahme der Umluftdunstabzugshaube in der Intensivstufe bei verschiedenen Plasmasystemen. Einbaulage: D-Druckseite.

Hersteller /Bauart	Kennzeichnung	Einbaulage	el. Leistung [W]	Volumenstrom [m³/h]	Wirkungsgrad [m³/W]
Plasma 1	P1.1	D	155,0	440	2,8
Plasma 2	P2.1	D	173,3	520	3,0

Die Förderleistung der für alle Versuche verwendeten Umluftdunstabzugshaube lag in der Intensivstufe ohne Filter bei 600 m³/h. Die Förderleistung lag bei 440 m³/h bzw. 520 m³/h. Der Wirkungsgrad lag mit 2,8 m³/W und 3,0 m³/W auf gleichem Niveau. Sowohl Förderleistung als auch Wirkungsgrad der Plasmafilter sind mit den Werten der AK-Filter vergleichbar.

## 4.3 Untersuchungen von Plasmafiltern bei realen Kochvorgängen

### 6.3.1 Versuchsdurchführung

Neben den Untersuchungen der Plasmafilter mit Methylethylketon (MEK) wird der Geruchsreduzierungsgrad ebenfalls durch einen realen Kochprozess ermittelt. Dazu wird als Emissionsquelle eine industriell hergestellte

Wurst in einer Pfanne nach definiertem Ablaufplan angebraten. Durch die Minimierung der Abweichungen in Form, Gewicht und Zusammensetzung soll eine hohe Wiederholungsgenauigkeit erreicht werden.

Für die messtechnische Untersuchung wird der Aufbau aus 3.2.5.1 verwendet. Zusätzlich zu den dort verwendeten Sensoren wird der Ozongehalt in der Raumluft mit dem Sensor AQ-OZL 0-0,5ppm der Firma Aeroqual ermittelt.

Der Ablauf der Untersuchung ist in den beiden nachfolgenden Tabellen dargestellt.

Tabelle 30: Vorbereitung zur Messung des Geruchsreduzierungsgrades der Plasmafilter durch das Braten einer Wurst

Nr.	Vorbereitung
1	Prüfkammer lüften; Haube 350m <sup>3</sup> /h + Zusatzlüfter einschalten
2	5g Öl in Pfanne gießen
3	Wurst auf Teller legen

Tabelle 31: Ablauf zur Messung des Geruchsreduzierungsgrades der Plasmafilter durch das Braten einer Wurst

min	Aufgabe
0	Pfanne mit Öl aufstellen
2	Wurst in Pfanne
3,5	Wurst wenden
5	Wurst wenden
6,5	Wurst wenden
8	Pfanne von Kochfeld nehmen, Entnahme der Wurst, Kochfeld ausschalten
40	Messung beenden

Es werden mindestens drei Messreihen durchgeführt. Werden große Abweichungen bei einer Messreihe festgestellt, erfolgt eine weitere Messung, um Messfehler zu verringern. Anschließend werden die Messreihen gemittelt.

Zunächst wird eine Referenzmessung ohne verbaute Filter durchgeführt. Die Referenzmessung hat ergeben, dass die VOC-Belastung im Raum nicht konstant bleibt, sondern leicht abnimmt (>5% nach 1 Stunde), obwohl der Raum nahezu luftdicht verschlossen ist. Eine Abnahme der Belastung ist durch die Oberflächenanreicherung zu begründen.

Abweichend zur vorherigen Untersuchung nach DIN EN 61591 findet keine Stabilisierung der Konzentration statt. Daher werden zur Ermittlung des Geruchsreduzierungsgrads die Konzentrationswerte nach einer konstanten Zeit von 30 min. nach Entnahme der Emissionsquelle gewählt.

### 6.3.2 Ergebnisse

Der Geruchsreduzierungsgrad in Prozent wird nach folgender Formel bestimmt:

Formel 11: Geruchsreduzierungsgrad

$$O = \frac{C_{Ref} - C_{Mess}}{C_{Ref}} \times 100$$

$O$  = Geruchsreduzierungsgrad in Prozent  
 $C_{Ref}$  = Konzentration der Referenzmessung in dg  
 $C_{Mess}$  = Konzentration der jeweiligen Messreihe in dg

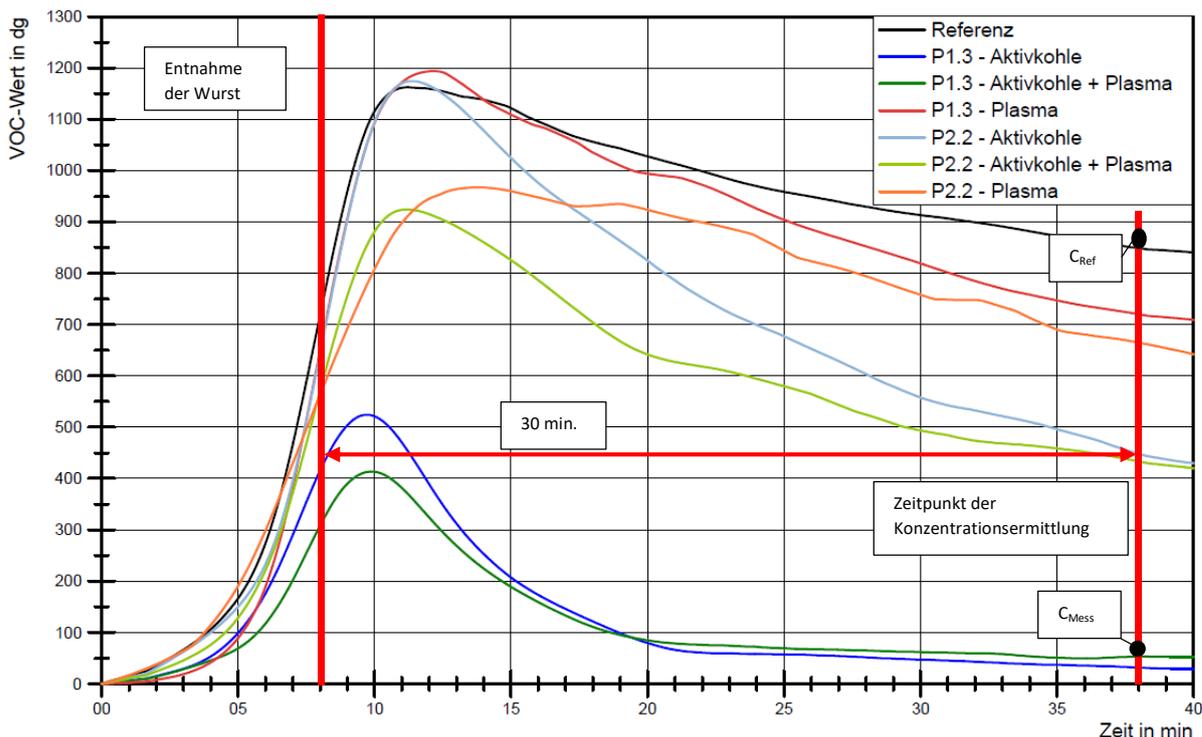


Abbildung 54: Verläufe der Geruchsreduzierung der Plasmafilter im Vergleich zur Referenz beim Braten einer Wurst [Naber GmbH]

Die Auswertung der Messreihen zeigt, dass der Geruchsreduzierungsgrad des Filters P1.3 bei Einsatz des Aktivkohlefilters über 90% liegt. Der Filter P2.2 erreicht mit dem Aktivkohlefilter lediglich 50%. Durch gleichzeitigen Einsatz von Aktivkohle und Plasma verändert sich der Geruchsreduzierungsgrad nur geringfügig. Sobald der Aktivkohlefilter ausgebaut wird und nur die Plasmagenerierung aktiv ist, wird eine maximale Geruchsreduzierung von 25% erreicht.

Tabelle 32: Ergebnis der Messung des Geruchsreduzierungsgrades der Plasmafilter durch das Braten einer Wurst

Filter	Messreihe	VOC-Wert in dg nach 30 min	Geruchsreduzierungsgrad
	Referenz	841	0%
P1.3	Aktivkohle	28	97%
	Aktivkohle + Plasma	53	94%
	Plasma	709	16%
P2.2	Aktivkohle	430	49%
	Aktivkohle + Plasma	420	50%
	Plasma	642	24%

Der Ozongehalt im Raum bei eingebautem Aktivkohlefilter ist bei beiden Plasmafiltern unter 5 ppb. Das durch den Generator freigesetzte Ozon wird nahezu vollständig im Aktivkohlefilter gebunden.

Bei ausgebautem Aktivkohlefilter ist bei beiden Filtern ein Anstieg des Ozongehaltes im Raum zu beobachten, wenn der VOC-Wert durch Wegnahme der Emissionsquelle sinkt. Bei dem Filter P2.2 ist der resultierende Ozonwert in der Raumluft deutlich geringer als bei P1.3, weil der Plasmagenerator durch die interne Steuerung nur alle 8 Sekunden in Funktion ist. Dadurch lässt sich auch der höhere Maximalwert im Signalverlauf von P1.3 begründen.

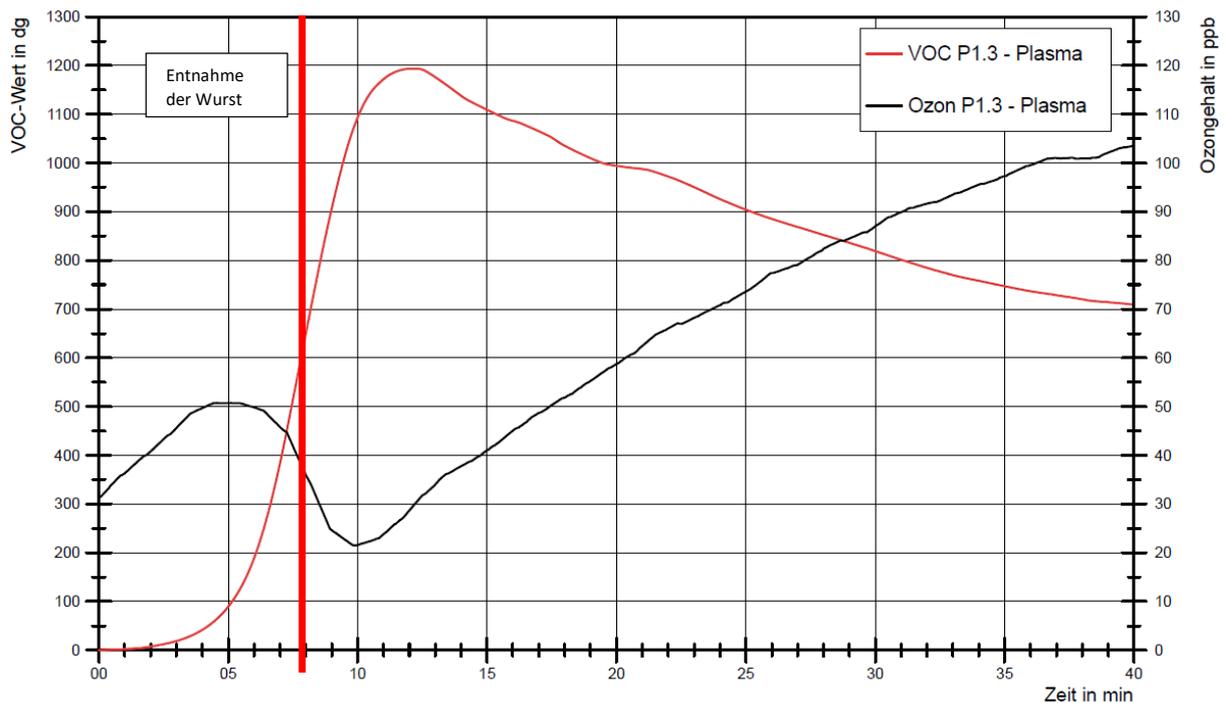


Abbildung 55: Signalverlauf von Ozon und VOC bei dem Filter P1.3 [Naber GmbH]

VOC-Sensoren sind Metalloxidsensoren, die im Wesentlichen aus einer beheizten sensitiven Schicht bestehen. Die Leitfähigkeit (Kehrwert des Widerstandes) des Metalloxidhalbleiters wird über Elektroden gemessen. Das Messprinzip basiert auf einer reversiblen Leitfähigkeitsänderung halbleitender Metalloxidschichten bei der Wechselwirkung von oxidierbaren und reduzierbaren Gasen.

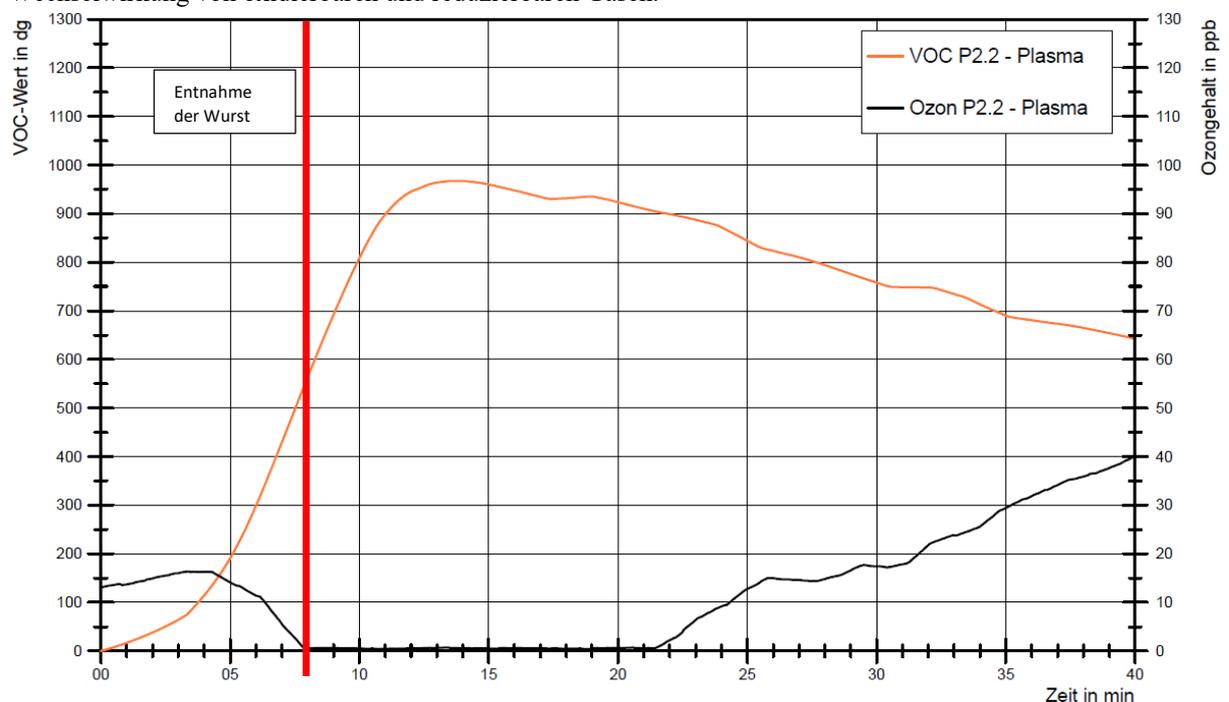


Abbildung 56: Signalverlauf von Ozon und VOC bei dem Filter P2.2 [Naber GmbH]

Da Ozon ein stark oxidierbares Gas ist, wird in einem zusätzlichen Versuch die Wechselwirkung zu VOC untersucht. Dabei wird dem Raum in unterschiedlichen Zeitabständen Ozon hinzugefügt und wieder entfernt. Den Verlauf des Versuches zeigt die nachfolgende Abbildung.

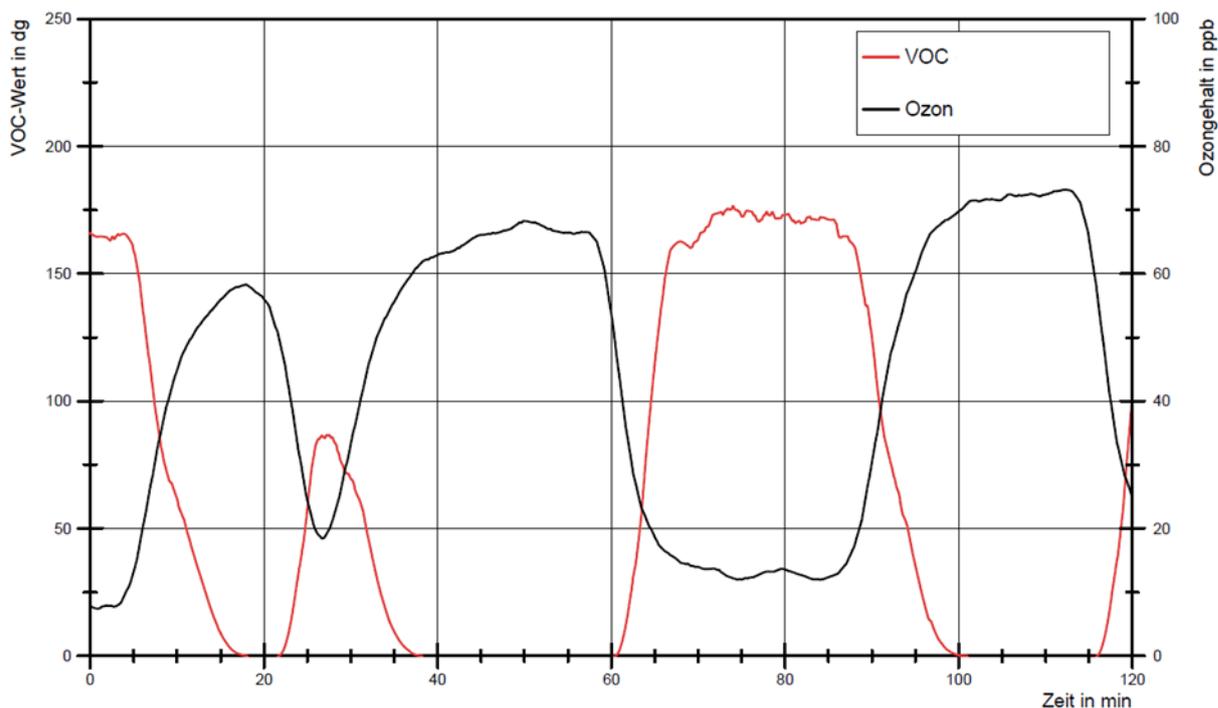


Abbildung 57: Abhängigkeit des VOC-Sensors vom Ozongehalt im Raum [Naber GmbH]

Durch den Anstieg des Ozongehaltes im Raum, sinkt der Wert des VOC-Sensors. Sobald dem Raum Ozon entzogen wird, steigt der Wert des VOC-Sensors. Die in Tabelle 32 dargestellten Werte für die Geruchsreduzierung mit Plasma (ohne Aktivkohlefilter) müssen somit nach unten korrigiert werden. Der Geruchsreduzierungsgrad ist wesentlich geringer aufgrund der Querempfindlichkeit der VOC-Sensoren gegenüber Ozon.

Damit kann nicht nachgewiesen werden, dass das Ozon einen Anteil an der Geruchsreduzierung hat. Die Versuche zeigen eine deutliche Wirkung der jeweils verbauten Aktivkohlefilter, wobei der Filter P1.3 eine bessere Wirksamkeit besitzt.

## 4.4 Zusammenfassung der Untersuchungen zu Umluftfiltern

### 6.4.1 Aktivkohlefilter

Die Versuche zeigen generelle Qualitätsunterschiede der Filter. Der Geruchsreduzierungsgrad (GRG) liegt bei 78 bis 95 %. Nach Gebrauch und Regeneration verschlechtert sich der GRG bei guten Filtern um 3 bis 6 %. Schlechtere Filter weisen einen Abfall um 8 bis 30 % auf. Die Abklingdauer bestätigt die Qualitätseinschätzung.

Zwischen Mattenfiltern und anderweitigen Filtern ist kein signifikanter Unterschied in Bezug auf die Geruchsreduzierung erkennbar.

In Bezug auf das Regenerationsverhalten sind Qualitätsunterschiede erkennbar. Filter mit einem hohen Geruchsreduzierungsgrad im Basisversuch zeigen im Allgemeinen auch ein besseres Regenerationsverhalten. Die Regeneration mittel Trockenschrank bei höherer Temperatur zeigt bessere Ergebnisse als die alleinige Verwendung von Spülluft.

Die Versuche zur Filterbefeuchtung zeigen keinen erkennbaren Effekt. Dem gegenüber wurde festgestellt, dass es offenbar einen mit der Jahreszeit zusammenhängenden Einfluss der relativen Luftfeuchte im Versuchsraum gibt. Die Luftfeuchtedifferenz in Bezug auf Sommer und Winter beträgt ca. 20 %. Trockene Luft führt zu erkennbar besseren Ergebnissen. Das spiegeln die Versuche zur Filterbefeuchtung nicht wider, was vermutlich in der vergleichsweise geringen Wasserlast im Filter begründet ist.

Eine zur Absaugung der Haube zusätzliche Lüftung bringt keinen erkennbaren Effekt.

Eine Filteralterung mit Fett (Rapsöl) führt zu keiner erkennbaren Verschlechterung der Filterwirkung. Auch eine Staffelung der beaufschlagten Fettmengen zeigt keine negative Wirkung.

#### **6.4.2 Plasmafilter**

Der Geruchsreduzierungsgrad liegt beim ersten Versuch mit MEK (Basisversuch mit neuem Filter) bei 95 %. Der Wert verschlechtert sich nach Gebrauch um ca. 25 %. Die Regenerationsversuche zeigen eine sehr gute Wirkung. Der Geruchsreduzierungsgrad liegt nahezu auf dem Niveau des Basisversuches. Die Versuche zum einen ohne Plasma und zum anderen ohne Aktivkohle lassen den Schluss zu, dass das Plasma allein keine direkte Reinigungswirkung hat und der Reinigungseffekt unter Normalbedingungen allein durch die Aktivkohle hervorgerufen wird.

Die Versuche mit dem Filter P2 haben keinen Reinigungseffekt gezeigt. Ein zur Verfügung gestellter Austauschfilter führte zum gleichen Ergebnis. Daher wurden die Versuche abgebrochen.

Die Versuche bei realem Kochvorgang bestätigen die Untersuchungsergebnisse mit MEK. Auch hier wird ohne Aktivkohlefilter nur eine sehr geringe Geruchsreduzierung erzielt. Aufgrund der Querempfindlichkeit der VOC-Sensoren gegenüber Ozon ist eine genaue Quantifizierung der Geruchsreduzierung des Plasmafilters allein jedoch nicht möglich.

Die Versuche unter realem Kochvorgang zeigen ebenfalls eine deutliche Wirkung der jeweils verbauten Aktivkohlefilter auf den Geruchsreduzierungsgrad.

## **4.5 Raumlufffeuchte in Küchen bei Verwendung von Umluftdunstabzugshauben und einer kontrollierten Wohnraumlüftung**

Zur Klärung der Fragestellung, ob ein Grundluftwechsel (z.B. durch eine kontrollierte Wohnraumlüftung) in der Küche ausreicht um die Feuchtebelastung durch das Kochen ausreichend abzuführen, wurden beispielhafte Monitoringdaten über die Entwicklung der relativen Feuchtigkeiten ausgewertet. Der folgende Abschnitt fasst die Untersuchung sowie die Ergebnisse zusammen.

#### **6.5.1 Auswertung von Monitoringdaten**

In einer Mehrfamilienhaus-Sanierung mit Passivhaus-Komponenten wurden die Wohnungen jeweils mit kontrollierter Wohnungslüftung ausgestattet. Im Rahmen eines Monitorings, wurde unter anderem der Zeitverlauf der Luftfeuchte und Temperatur in 10 Küchen untersucht. Die Sensoren wurden an der Abkofferung der Lüftungsanlage über der Küchenzeile (vertikale Verkleidung) installiert, wie beispielhaft in Abbildung 58 zu sehen ist. Das Abluftventil der Wohnungslüftungsanlage befindet sich im waagrechten Teil der Abkofferung, meist über dem Herd.



Abbildung 58: Lage der Feuchte- und Temperatursensoren in den Küchen [PHI]

Ziel war zu überprüfen, ob der Grundluftwechsel z.T. in Kombination mit einer Umluftdunstabzugshaube ausreicht um hohe Luftfeuchten in Küchen zu vermeiden. Im Hinblick auf behagliche Raumluftbedingungen sollte die relative Raumluftfeuchte 60 % nicht über längere Zeit überschreiten. Auch aus bauphysikalischen Gründen sollte die Raumluftfeuchte begrenzt werden. Je nach Baustandard und Außenluftbedingungen können schon geringere Raumluftfeuchten zu erhöhten Bauteilfeuchten an der Gebäudehülle führen.

Für die Auswertung wurde beispielhaft der Monat Dezember 2020 betrachtet. Abbildung 59 zeigt den Verlauf der relativen Feuchte in acht der Küchen der betrachteten Wohnungen. Jede Kurve stellt dabei die relative Raumluftfeuchte einer Küche dar. Zu sehen ist, dass sich die relativen Feuchten der unterschiedlichen Wohnungen stark unterscheiden und zwischen etwa 30 % bis ca. 60 % (mit Peaks bis über 80 %) stark schwanken. Des Weiteren sieht man mehr oder weniger stark ausgeprägte Peaks der einzelnen Kurven, was vermutlich die Wasserdampfentwicklung der Kochvorgänge abbildet. In der gelben, grünen und grauen Kurve sind diese sehr deutlich erkennbar. Deswegen wurden diese drei Wohnungen noch einmal in einem separaten Diagramm in Abbildung 61 dargestellt.

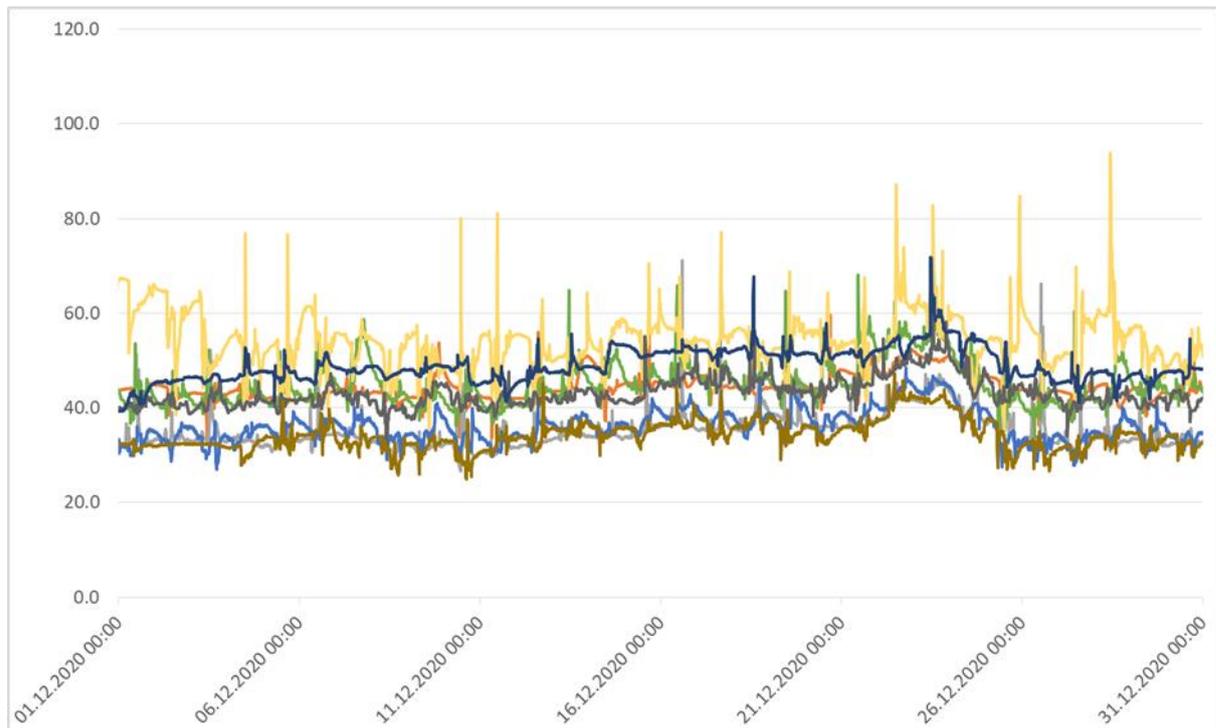


Abbildung 59: Verlauf der relativen Feuchten in Küchen eines Mehrfamilienhauses (Ausstattung: kontrollierte Wohnraumlüftung und z.T. Umlufthauben) beispielhaft für den Monat Dezember 2020 [PHI]

Neben den relativen Feuchten wurden in den Küchen auch die Temperaturen erfasst, welche ergänzend in Abbildung 60 dargestellt sind. Die Temperaturniveaus sind unterschiedlich und schwanken im Wesentlichen zwischen 19 °C und etwa 25 °C, wobei in den Küchen der meisten Wohnungen überwiegend Temperaturen zwischen 20 °C und 24 °C gemessen wurden.

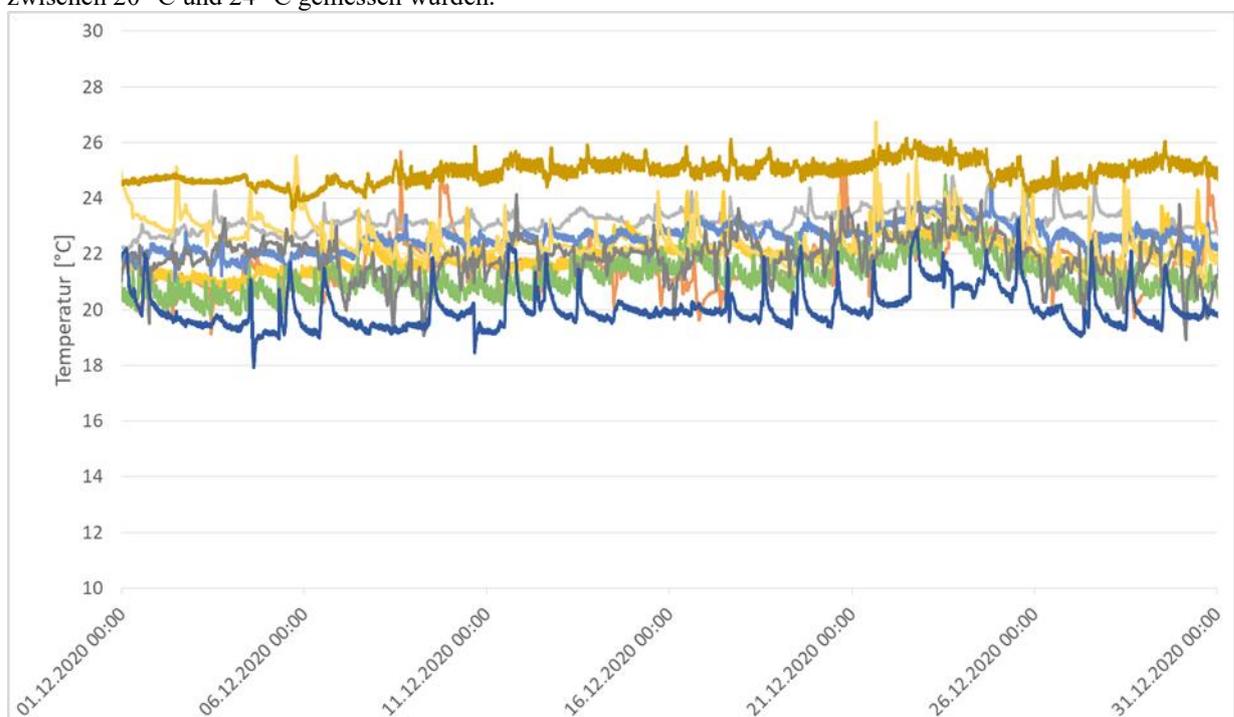


Abbildung 60: Temperaturverlauf der betrachteten Küchen des Monitoringprojekts [PHI]

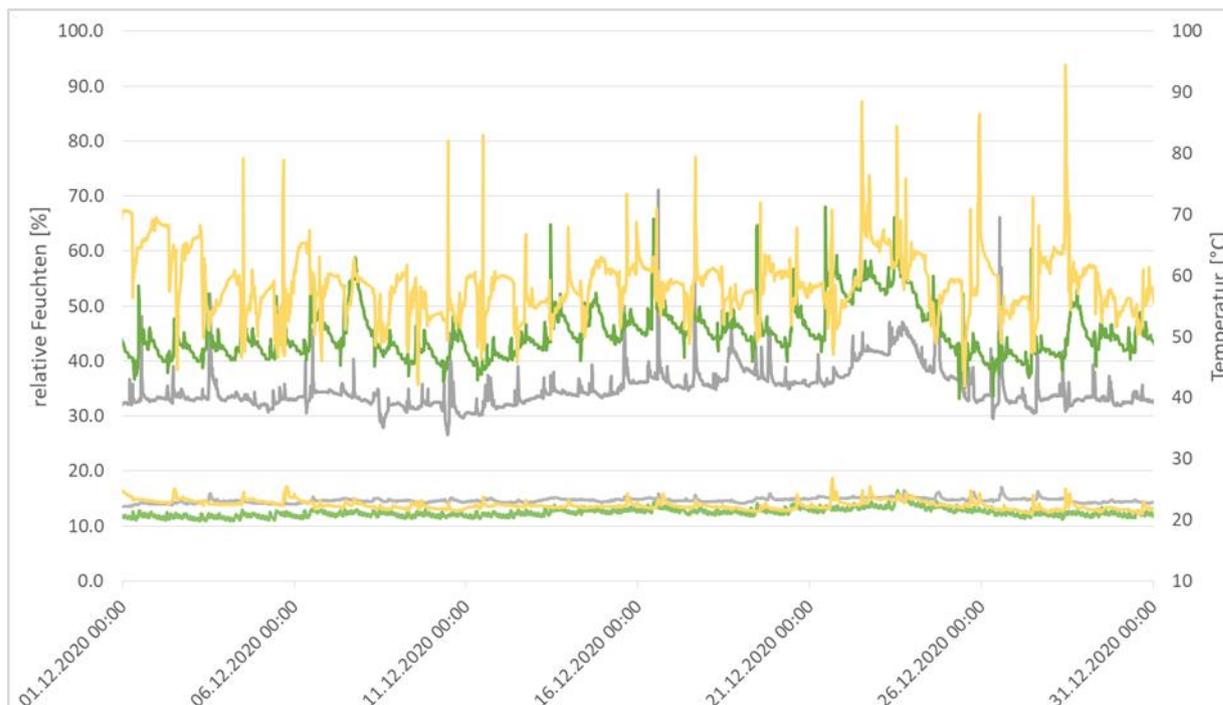


Abbildung 61: Verlauf der relativen Feuchten (obere Kurvenschar) und Temperaturen (untere Kurvenschar) in drei Küchen eines Mehrfamilienhauses (Ausstattung: kontrollierte Wohnraumlüftung und z.T. Umlufthauben), Auszug aus Abbildung 59 und Abbildung 60: Küchen mit deutlich erkennbaren Kochvorgängen und höheren relativen Feuchten [PHI]

Das unterschiedliche Niveau der relativen Feuchte ist in der Hauptsache durch die unterschiedliche Nutzung zu erklären (unterschiedliche Belegungsdichte, Betrieb der Lüftungsanlage, Anwesenheitszeiten, Art der Wäschetrocknung, Zusatzlüftung über die Fenster etc.) zu erklären: So wird die Wohnung der gelben Kurve von einer Familie mit Kind bewohnt. Durch regelmäßige Feuchtelasten bei gleicher Einstellung der Lüftungsanlage stellt sich hier eine höhere relative Feuchtigkeit ein als in Küchen anderer Wohnungen, in denen Paare ohne Kinder oder alleinstehende Personen leben.

Der Volumenstrom der Lüftungsanlage kann von den Bewohnern selbst über ein Bedienteil angepasst werden. Bei Befragungen wurde jedoch angegeben, dass das Bedienteil kaum genutzt wird und die Lüftungsanlage vielmehr in einer Grundlüftungsstufe durchläuft. Die Messung der Stromverbräuche bestätigt dies.

Kochvorgänge (deutlich zu erkennen an den Peaks vor allem in der gelben und grünen Kurve in Abbildung 61) führen teilweise zu einer deutlichen Erhöhung der Raumluftfeuchte, auch über 60 %. In den Diagrammen ist aber auch zu sehen, dass diese Peaks nur sehr kurz auftreten und (bis auf wenige Ausnahmen in einer Küche, siehe gelbe Kurve) schnell wieder abklingen. Etwa eine Stunde nach dem Kochvorgang liegt die relative Feuchte wieder deutlich niedriger und im unkritischen Bereich. Vermutet wird, dass eine Kombination aus Fensterlüftung und Grundluftwechsel der Lüftungsanlage zu einem so schnellen Abklingen der Peaks führt.

### 6.5.2 Ergebnisse und Ableitung von Empfehlungen

Die relativen Feuchten bewegen sich weitestgehend unterhalb von 60 %. Die temporären Überschreitungen von 60 % Raumluftfeuchte durch Kochvorgänge dauern bis auf eine Ausnahme in allen Wohnungen nur sehr kurz an. In einer Wohnung kam es vereinzelt auch zu längerfristigen Überschreitungen von 60 % Raumluftfeuchte (bis zu 2 Tagen). Wie im vorigen Kapitel beschrieben wird diese Wohnung von einer Familie mit Kind bewohnt und die Lüftungsanlage wird vermutlich unverändert in einer zu geringen Lüfterstufe betrieben, sodass die regelmäßigen Feuchtelasten nur langsam kompensiert werden können. In allen anderen Wohnungen sinkt die relative Feuchte bereits ca. eine Stunde nach dem Kochvorgang wieder deutlich; meist bis auf das Niveau vor dem Kochvorgang.

Der Einfluss der Fensterlüftung auf die Abklingdauer konnte leider nicht näher untersucht werden, da die Küchenfenster nicht mit Sensorik ausgestattet wurden.

Zusammenfassend kann abgeleitet werden dass die Verwendung von reinen Umlufthauben bzw. keiner Umlufthaube in Küchen, bei Vorhandensein einer Grundlüftung über Wohnungslüftungsanlagen, hinsichtlich der Raumlufffeuchten im Allgemeinen als unkritisch zu beurteilen ist. Eine längerfristige Überschreitung einer Raumlufffeuchte ist bei Vorhandensein einer Wohnungslüftung eher nicht zu erwarten.

Folgende Empfehlungen können aus der Erfahrung dieses Monitorings für die Praxis abgeleitet werden:

- Bessere Aufklärung der Mieter über Funktion und Einstellmöglichkeiten der Lüftungsanlage
- Verwendung von Lüftungsanlagen mit bedarfsgeführter Volumenstromregelung

## 5. Zusammenfassung der Forschungsergebnisse

### 5.1 Energieeinsparpotential im Abluftbetrieb

#### 7.1.1 Untersuchung des Erfassungsgrades

Mit dem Verfahren der Wasserdampfbilanzierung wurde ein Verfahren beschrieben, mit dem der Erfassungsgrad der Dunstabzugshauben auch quantitativ gut bestimmt werden kann.

Die untersuchten Dunstabzugssysteme unterschieden sich in ihrem Erfassungsgrad deutlich. Gute Dunstabzugssysteme weisen auch bei vergleichsweise geringem Abluftvolumenstrom eine gute bis sehr gute Wrasenerfassung auf.

Der unterschiedliche Abluftvolumenstrom wirkt sich entsprechend verschieden auf die Gebäudeenergiebilanz aus. Anhand eines Referenzgebäudes lässt sich der energetische Einfluss von Abluftdunstabzugshauben auf die Gebäudeenergiebilanz gut darstellen.

#### 7.1.2 Bedarfsgerechte Volumenstromregelung

Auf dem Markt erhältliche automatische Dunstabzugssysteme können bereits den Energieverbrauch erheblich senken. Dabei die anstehende Belastung, gegenüber einer konstant eingestellten Lüfterstufe, durch das Zubereiten von verschiedenen Gerichten zu reduzieren, hat keine der beiden untersuchten Hauben geschafft.

Werden die automatischen Dunstabzugssysteme im Abluftbetrieb eingesetzt, kann der zusätzliche Heizwärmebedarf durch den verringerten energetisch wirksamen Volumenstrom um ca. 45 % im Vergleich zum Betrieb bei konstantem Abluftvolumenstrom, gesenkt werden.

Beide Systeme, mit direkter und indirekter Führungsgröße zeigen Potential für ein automatisches Dunstabzugssystem. Insbesondere eine Kombination aus indirekter und direkter Führungsgröße kann zu einem sehr gut funktionierenden automatischen Dunstabzugssystem führen, welches den Energieverbrauch der Dunstabzugshaube senken kann.

#### Abluftklappen von Dunstabzugssystemen

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden Leckagemessungen an verschiedenen am Markt verfügbaren Abluftklappen durchgeführt und der jeweilige energetische Einfluss für reale Windverhältnisse bestimmt.

Die am Markt verfügbaren Klappen unterschieden sich dabei deutlich. Einfache Rückstauklappen können je Klappe zusätzliche Jahresheizwärmebedarfe von ca. 65 kWh/a (Berechnungsgrundlage: Klima Potsdam) verursachen. Gute Klappen (im Versuch jeweils ein Mauerkasten mit elektrischem Antrieb und ein Mauerkasten mit Federrückschlagklappe) verursachen dabei um ca. den Faktor 4 geringere Wärmeverluste. Sehr gute Klappen (im Versuch jeweils ein Mauerkasten mit magnetisch schließender Klappe und ein Mauerkasten mit elektrischem Antrieb) verursachten nahezu keine zusätzlichen Wärmeverluste.

Die Untersuchung wurde ergänzt durch eine beispielhafte Wärmebrückenberechnung für eine einfache Rückstauklappe für Material PVC und Stahlblech. Demnach sind Klappen gleicher Konstruktion aus PVC hinsichtlich ihres Wärmebrückeneffekts etwa um den Faktor zwei besser als vergleichbare Klappen aus Stahlblech. Gute Lösungen für Abluftklappen, welche gedämmt oder thermisch entkoppelt sind, verursachen nahezu keine Wärmeverluste durch Wärmebrücken.

#### Luftnachströmung bei Abluft- Dunstabzugssystemen

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden verschiedene Möglichkeiten der Luftnachströmung näher betrachtet und entsprechend der jeweiligen Randbedingungen Planungsempfehlungen abgeleitet.

Energieeinsparpotentiale können sich durch eine zum Abluft-Dunstabzugssystem optimierte Luftführung ergeben. Durch Verringerung von Querströmungen und damit Verbesserung des Erfassungsgrades kann der Erfassungsvolumenstrom um bis zu 5 % reduziert werden.

Um die energetische Effizienz und die thermische Behaglichkeit von Abluft-Dunstabzugshauben zu verbessern, können Möglichkeiten der Luftkanal-Wärmeübertragung bei der kombinierten Abluft- und Zuluftführung genutzt werden. Durch ein einfaches Rohr-in-Rohr-System kann unter üblichen Randbedingungen eine Energieeinsparung von ca. 50 bis 200 kWh/a erreicht werden.

## 5.2 Untersuchungen zu Umluft-Dunstabzugssystemen

Im Projekt wurden verschiedene Umluftfiltersysteme untersucht. Es wurden Versuche zur Bestimmung des Geruchsreduzierungsgrades in Anlehnung an DIN EN 61591 durchgeführt.

### Aktivkohlefilter

Die Versuche zeigten generelle Qualitätsunterschiede der Filter auf. Der Geruchsreduzierungsgrad (GRG) lag zwischen 78 und 95 %. Nach Gebrauch und Regeneration verschlechtert sich der GRG bei guten Filtern um 3 bis 6 %. Schlechtere Filter wiesen einen Abfall von 8 bis 30 % auf. Die Abklingdauer bestätigte die Qualitätseinschätzung.

In Bezug auf das Regenerationsverhalten sind Qualitätsunterschiede erkennbar. Filter mit einem hohen Geruchsreduzierungsgrad im Basisversuch zeigen im Allgemeinen auch ein besseres Regenerationsverhalten.

### Plasmafilter

Untersucht wurden Plasmafilter welche in Kombination mit einem Aktivkohlefilter arbeiten. In Kombination werden sehr gute Geruchsreduzierungsgrade erzielt. Auch die Regeneration zeigte eine sehr gute Wirkung.

Erste Versuche zum einen ohne Plasma und zum anderen ohne Aktivkohle lassen vermuten, dass das Plasma allein keine direkte Reinigungswirkung hat und der Reinigungseffekt unter Normalbedingungen allein durch die Aktivkohle hervorgerufen wird. Die Versuche bei realem Kochvorgang bestätigten diese Vermutung.

Eine genaue Quantifizierung der Geruchsreduzierung des Plasmafilters allein war mit den durchgeführten Versuchen nicht möglich, da Querempfindlichkeiten der VOC-Sensoren gegenüber Ozon beobachtet wurden. Im Rahmen des Projekts konnte auch nicht abschließend geklärt werden, inwieweit die Bestimmung der Geruchsreduzierung mit MEK für Plasmafilter aussagekräftig ist. Weitere Untersuchungen wären hierfür nötig.

## 6. Anwendung der Forschungsergebnisse und Planungsempfehlungen

### 6.1 Ableitung von Empfehlungen für Planung und Betrieb von Dunstabzugssystemen

In Energieeffizienten Gebäuden sollten Umluftdunstabzugssysteme die erste Wahl sein, zumindest dann, wenn eine kontrollierte Wohnraumlüftung vorhanden ist und die durch den Kochvorgang entstehenden Feuchtelasten darüber abgeführt werden können.

#### 8.1.1 Abluftdunstabzugssysteme

In kleinen Wohnungen erhöht der zusätzliche Lüftungswärmeverlust den Heizwärmebedarf und auch die Heizlast signifikant. Abluft-Dunstabzugssysteme sollten daher in solchen Gebäudetypen nicht verwendet werden, wenn die mittlere Wohnungsgröße weniger als 90 m<sup>2</sup> beträgt.

#### Dimensionierung der Luftleistung

Zur Begrenzung der Lüftungswärmeverluste sollten Abluftdunstabzugshauben verwendet werden die bei mittlerem Abluftvolumenstrom schon eine sehr gute Erfassung aufweisen. Die aktuellen Untersuchungen deuten darauf hin, dass bereits mit Abluftvolumenströmen zwischen 200 und 300 m<sup>3</sup>/h eine gute Wrasenerfassung erzielt werden kann.

#### Regelung der Dunstabzugshaube

Die Untersuchungen haben aufgezeigt, dass bedarfsgeführte Dunstabzugssysteme den Energiebedarf im Vergleich zu einem konstanten Abluftvolumenstrom deutlich senken können.

Zur Begrenzung von Lüftungswärmeverlusten wird eine Abschaltautomatik für den maximalen Volumenstrom empfohlen sowie eine generelle Laufzeitbegrenzung.

### **Abluftklappen von Dunstabzugssystemen**

Auf eine sorgfältige Auswahl der Abluftklappen hinsichtlich Wärmebrücken und Leckagen ist zu achten: Wenn möglich sollten Klappen eingesetzt werden, die hinsichtlich ihrer Leckage überprüft wurden und ein entsprechender Nachweis vorliegt. Die Leckage über den Klappenquerschnitt sollte bei einem Differenzdruck von  $\pm 50$  Pa höchstens 1-2 m<sup>3</sup>/h betragen. Solche Klappen müssten dann bei der Planung effizienter Gebäude nicht separat berücksichtigt werden. Die Leckage der Abluftklappen wird im Rahmen von Luftdichtheitstests von Gebäuden entsprechend DIN EN ISO 9972:2018-12/ nationaler Anhang (Deutschland) Verfahren 3 mit berücksichtigt.

Darüber hinaus ist eine wärmebrückenarme Ausführung angeraten (z.B. durch Dämmung, thermische Entkopplung). Ist dies nicht möglich, sollte zumindest einer Kunststoffausführung gegenüber einer Ausführung aus Stahlblech präferiert werden.

### **Luftnachströmung**

Folgende Maßnahmen zur Verringerung der Querströmung und damit zur Verbesserung der Wrasenerfassung werden empfohlen:

- Integrierte Luftführung mit Einbringung der Zuluft in die Dunstabzugshaube
- Konstruktive Anpassungen, z.B. Randabsaugung oder Glasflügel
- bei üblichen Mischlüftung: die Ausstattung der Küche mit Decken- statt mit Wandluftdurchlässen

### **8.1.2 Umluftdunstabzugssystem**

Das Umluftdunstabzugssystem sollte eine möglichst hohe Wirksamkeit, also eine gute Schadstoffeffassung aufweisen. Derzeit gibt es für Umluftdunstabzugssysteme allerdings kein Bewertungsverfahren zur Klassifizierung der Wirksamkeit. Eine Anzeigepflicht nach [65/2014] besteht aktuell nicht.

## **6.2 Vorschlag eines Bewertungsverfahrens von Dunstabzugssystemen hinsichtlich ihrer technischen und energetischer Wirkung**

### **8.2.1 Abluftdunstabzugssystem**

Mit dem Verfahren der Wasserdampfbilanzierung wurde ein Verfahren aufgezeigt, mit dem der Erfassungsgrad der Dunstabzugshauben auch quantitativ bestimmt werden kann. Gemeinsam mit der elektrischen Leistungsaufnahme und dem Abluftvolumenstrom lassen sich Dunstabzugshauben gut unterscheiden und bewerten.

Darüber hinaus wurde anhand eines Referenzgebäudes aufgezeigt, wie der energetische Einfluss auf die Gebäudeenergiebilanz betrachtet werden kann.

### **8.2.2 Umluftdunstabzugssysteme**

Mit der Bestimmung des Geruchsreduzierungsgrades für Umluftfilter wurde eine Möglichkeit der Beurteilung der Filterqualität aufgezeigt.

Gemeinsam mit Erfassungsgrad und elektrischer Leistungsaufnahme ließen sich damit auch Umluftdunstabzugssysteme hinsichtlich ihrer Wirksamkeit und energetisch bewerten. Die Übertragung der Messungen zur Bestimmung des Erfassungsgrades auf Umluftdunstabzugssysteme war im Rahmen dieses Forschungsvorhabens nicht mehr möglich.

## 6.3 Verwertung der Ergebnisse

### 8.3.1 Vorschläge für Normung und Labelling

Verantwortlicher Projektpartner: Forschung und Anwendung GmbH, Institut für Technische Gebäudeausrüstung Dresden

#### Betrieb von Lüftungsgeräten und Feuerstätten

Im Beiblatt 3 zur DIN 1946-6 ist u.a. ein Algorithmus zur Bestimmung des Unterdrucks bei gemeinsamem Betrieb von Feuerstätten und Lüftungsanlagen enthalten. Die Einhaltung von definierten Unterdrücken im Aufstellraum der Feuerstätte ist maßgeblich für die bestimmungsgemäße Funktion der Feuerstätte und die Verhinderung von Gefahrensituationen für die Bewohner (kein Abgasaustritt in den Aufenthaltsbereich!). Bei der gegenwärtig stattfindenden Überarbeitung des Beiblatts ist eine Erweiterung des Algorithmus für Dunstabzugshauben im Abluftbetrieb vorgeschlagen worden. Der aktuelle Textentwurf enthält dazu folgende Textpassagen (fett markiert sind die Textstellen, die für die Berücksichtigung von Abluft-Dunstabzugshauben neu vorgeschlagen werden):

„*Berechnung der Unterdrücke in einem Raum abhängig vom Luftvolumenstrom*

Verbrennungsluft-Volumenstrom einer raumluftabhängigen Feuerstätte

*Der notwendige Verbrennungsluft-Volumenstrom soll aus Herstellerangaben entnommen werden. Wenn keine Angaben vorliegen, kann er auch näherungsweise mit*

$$q_{v,RLA} = 1,6 \frac{\text{m}^3/\text{h}}{\text{kW}} \cdot \dot{Q}_{RLA}$$

*festgelegt werden.*

*Dabei ist*

$q_{v,RLA}$  Verbrennungsluftvolumenstrom, in  $\text{m}^3/\text{h}$

$\dot{Q}_{RLA}$  Nennleistung oder fiktive Nennleistung der raumluftabhängigen Feuerstätte, in kW

*Anmerkung 1: Die fiktive Nennleistung errechnet sich bei handbeschickten Feuerstätten für feste Brennstoffe mit bestimmungsgemäß geschlossenem Feuerraum mit 8 kW je kg stündlichem Brennstoffdurchsatz. Bei mechanisch beschickten Feuerstätten für feste Brennstoffe (z. B. Pelletöfen) entspricht die Nennleistung zugleich der fiktiven Nennleistung.*

*Anmerkung 2: Ist in der Nutzungseinheit mehr als eine raumluftabhängige Feuerstätte vorhanden und ist der Luftverbund der Räume mit jeweils  $150 \text{ cm}^2$  großen Öffnungen zwischen den Räumen dauerhaft gegeben, ist der Verbrennungsluftvolumenstrom als Summe für alle Feuerstätten (für die gesamte Nutzungseinheit) anzugeben.*

*Luftvolumenstrom Abluftüberschuss eines Lüftungsgerätes*

$$\Delta q_{v,LG} = \max(0; q_{v,LG,Ab} - q_{v,LG,Zu})$$

*mit*

$\Delta q_{v,LG}$  Luftvolumenstrom Abluftüberschuss, in  $\text{m}^3/\text{h}$

$q_{v,LG,Ab}$  Luftvolumenstrom Abluft, in  $\text{m}^3/\text{h}$

$q_{v,LG,Zu}$  Luftvolumenstrom Zuluft, in  $\text{m}^3/\text{h}$

*Anmerkung: Ist in der Nutzungseinheit mehr als ein Lüftungsgerät vorhanden und ist der Luftverbund der Räume mit jeweils  $150 \text{ cm}^2$  großen Öffnungen zwischen den Räumen dauerhaft gegeben, ist der Luftvolumenstrom Abluftüberschuss als Summe für alle Lüftungsgeräte (für die gesamte Nutzungseinheit) anzugeben.*

Luftvolumenstrom durch luftabsaugende Einrichtungen

*Luftabsaugende Einrichtungen sind z.B. Abluft-Dunstabzugshauben oder Zentralstaubsaugeranlagen. Der maximale Luftvolumenstrom solcher luftabführender Einrichtungen  $q_{v,LAE}$  ist aus Herstellerangaben zu entnehmen.*

*Anmerkung: Ist in der Nutzungseinheit mehr als eine luftabsaugende Einrichtung vorhanden und ist der Luftverbund der Räume mit jeweils  $150 \text{ cm}^2$  großen Öffnungen zwischen den Räumen dauerhaft gegeben, ist*

der maximale Luftvolumenstrom als Summe für alle luftabsaugenden Einrichtungen (für die gesamte Nutzungseinheit) anzugeben.

Luftvolumenstrom bei Unterdruck in der Nutzungseinheit

$$q_{v, \text{Unterdruck}, ab} = q_{v, RLA} + \Delta q_{v, LG} + q_{v, LAE}$$

mit

$q_{v, \text{Unterdruck}, ab}$  durch Feuerstätte, Lüftungsanlage und andere luftabsaugende Einrichtungen abgeführter Luftvolumenstrom bei Unterdruck, in  $m^3/h$

$q_{v, LAE}$  Luftvolumenstrom luftabführender Einrichtungen, in  $m^3/h$

### Energiebilanzierung

Im Rahmen des vorliegenden Forschungsberichtes sowie des Vorgängerprojektes [BewDunst] sind Algorithmen für die energetische Bewertung des Betriebes von Dunstabzugshauben erarbeitet worden. Mit der Dissemination wird die Fachöffentlichkeit über die diesbezüglichen Vorschläge informiert. Damit ist beispielweise zukünftig die Erweiterung der Gebäudeenergiebilanz für Wohngebäude um den Betrieb von Dunstabzugshauben im Rahmen der einschlägigen Gesetzgebung (gegenwärtig z.B. Gebäudeenergiegesetz) möglich.

### Ecodesign-Anforderungen

Im Rahmen des vorliegenden Forschungsberichtes sowie des Vorgängerprojektes [BewDunst] sind Konzepte für die Bewertung von Dunstabzugshauben im Rahmen der Ecodesign-Anforderungen (aktuell EU 65/2014 und 66/2014) erarbeitet worden. Mit der Dissemination wird die Fachöffentlichkeit über diese Konzepte informiert, die Vorschläge können damit in die zukünftige Weiterentwicklung der europäischen Ecodesign-Anforderungen (z.B. Erweiterung für Umluft-Dunstabzugshauben) einfließen.

### Auslegung von Küchengeräten und Küchenmöbeln

Im Rahmen des vorliegenden Forschungsberichtes sowie des Vorgängerprojektes [BewDunst] sind die Auswirkungen des Betriebes von Dunstabzugshauben im Umluft- oder im Abluftbetrieb auf die thermischen und hygrischen Verhältnisse in Wohnküchen und damit auch mögliche Auswirkungen für die Auslegung der Hauben selbst, aber auch Wechselwirkungen mit den Küchenmöbeln untersucht worden. Mit der Dissemination wird die Fachöffentlichkeit über die Untersuchungen und die daraus abgeleiteten Schlussfolgerungen informiert.

### 8.3.2 Disseminationskonzept

Im Rahmen von Konferenzen (Abstract bereits eingereicht für internationalen Passivhaustagung März 2023 in Wiesbaden, evtl. weitere) sowie Veröffentlichungen in Fachmedien (bereits abgestimmt Bauphysik und TGA, evtl. weitere) werden die Ergebnisse und Erkenntnisse aus dem Projekt verbreitet.

Darüber hinaus sind Ergänzungen an dem im Rahmen des Projekts [BewDunst] entstandenen Leitfadens für Dunstabzugshauben in Wohnküchen geplant. Der Leitfaden enthält Empfehlungen und Planungshilfen für Planer, Gutachter und Endkunden und soll entsprechend der neuen Projektergebnisse aktualisiert und ergänzt werden.

Wesentliche Ergebnisse können in die Normungsarbeit überführt werden, da Projektbeteiligte und Vertreter der Begleitgruppe unmittelbar an der aktuellen und projektrelevanten Erarbeitung bzw. Aktualisierung von Normen / Richtlinien etc. aktiv beteiligt sind und diese Forschungsergebnisse damit zeitnah für eine breite Fachöffentlichkeit nutzbar gemacht werden können (z.B. EcoDesign 65/2014 für Haushaltsbacköfen und -Dunstabzugshauben, Gebäudeenergiegesetz GEG, DIN 1946-6 Lüftung von Wohnungen).

## 7. Ausblick

### **Bewertung der Dunstabzugssysteme:**

Zur Untersuchung des Erfassungsgrades von Dunstabzugshauben wurden im Rahmen des Forschungsvorhabens zwei Ansätze verfolgt:

- Das optische Verfahren (die Bewertung von Bildreihen eines Verdampfungs-versuches) sowie
- Das Wasserdampfverfahren (Bilanzierung des verkochten und erfassten Wasserdampfes)

Das optische Verfahren hat Entwicklungspotential für eine quantitative Bewertung, ob daraus ein Versuchsstandard abgeleitet werden kann, bleibt jedoch fraglich. Mit dem Wasserdampfverfahren ist eine quantitative Bewertung möglich. Entwicklungspotentiale bestehen hinsichtlich:

- Der Genauigkeit: die Versuchsreihen wurden mit vergleichsweise einfacher Messtechnik durchgeführt.
- Der Berücksichtigung des anfallenden Kondensats in der Auswertung.
- Der Berücksichtigung von Störgrößen (die bisherigen Versuche wurden ohne Störgrößen durchgeführt). Anhand eines Referenzgebäudes wurde zu den Versuchen zum Erfassungsgrad eine energetische Bewertung der Dunstabzugshauben durchgeführt. Entwicklungspotentiale bestehen hier vor allem hinsichtlich der Vergleichbarkeit der Ergebnisse: Aufgrund der Größe des Referenzgebäudes (155 m<sup>2</sup>) waren die Unterschiede der untersuchten Systeme bezogen auf das gesamte Gebäude vergleichsweise gering. Bei der Wahl eines kleineren Referenzgebäudes wäre der Unterschied möglicherweise klarer. Ähnlich betrifft das auch die angesetzte Betriebsdauer der Dunstabzugshaube: im Projekt wurde (wie bereits auch im Vorprojekt) 0,5 h pro Tag angesetzt. Bei einer Betriebsdauer von 1 h (wird beispielsweise in der Kennzeichnung nach EcoDesign [65/2014] angesetzt) oder 2 h wird der Unterschied der Systeme deutlicher.

Die Etablierung eines Bewertungsverfahrens im Hinblick einer Entscheidungshilfe für Endkunden scheint sinnvoll und wird auch nach Beendigung des Projekts weiterverfolgt. Darüber hinaus sollte die Energetische Bewertung (Lüftungswärmeverluste und Infiltration) weiter verfolgt werden und künftig im Gebäudeenergiegesetz GEG Berücksichtigung finden.

Für Umluftdunstabzugssysteme ist das im Bericht beschriebene Bewertungsverfahren unter Berücksichtigung der Qualität der Umluftfilter, prinzipiell übertragbar. Versuche an Umluftdunstabzugshauben konnten im Rahmen dieses Forschungsvorhabens jedoch nicht mehr durchgeführt werden.

### **Bedarfsgerechte Volumenstromregelung:**

Eine Verbesserung der Bedarfsführung der untersuchten Varianten könnte mit einer Kombination der Sensoren bzw. mit mehreren Führungsgrößen erzielt werden. Das Projekt war in diesem Arbeitspaket auf erste Vergleichsmessungen begrenzt. Weiterführende Untersuchungen bezüglich der Sensorik konnten im Rahmen dieses Projekts nicht mehr durchgeführt werden.

### **Luftnachströmung:**

Im Forschungsvorhaben wurden unter anderem theoretische Untersuchungen durchgeführt zu möglichen Wärmerückgewinnungsoptionen (kombinierte Zu-/Abluftkanäle). Darüber hinaus wurde eine Einschätzung bezüglich der praktischen Eignung, Herstellung und Montage gegeben. Eine Produktentwicklung und reale Messungen waren im Rahmen dieses Forschungsvorhabens nicht möglich.

## 8. Literaturverzeichnis

[65/2014]	Europäische Kommission: Delegierte Verordnung (EU) Nr. 65/2014 der Kommission vom 1.Oktober 2013 zur Ergänzung der Richtlinie 2010/30/EU des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Energieverbrauchskennzeichnung von Haushaltsbacköfen und – dunstabzugshauben, Amtsblatt der Europäischen Union, 31.01.2014
[BewDunst]	Endbericht der „Studie zur technischen, energetischen und wirtschaftlichen Bewertung von Abluft- und Umluft-Dunstabzugshauben in Wohnküchen in energieeffizienten Gebäuden“. Passivhaus Institut, Institut für Technische Gebäudeausrüstung Dresden, Institut für Holztechnologie Dresden, Naber GmbH. Dezember 2018
[Bruns 2018]	Alfred Bruns, Entwicklung eines Algorithmus zur luftqualitätsgeführten Volumenstromregelung bei Dunstabzugshauben, Dissertation, Universität Kassel 2018.
[Capture efficiency, ILK]	Präsentation/ Vortrag Herr Ziller
[DallaValle]	Dalla Valle, J.M.: Exhaust hoods, The industrial press, New York, 1952
[DE4041798]	Avenwedde, J. (1999) Dunstabzugshaubensteuerung (DE4041798). Deutsches Patent- und Markenamt. <a href="https://depatisnet.dpma.de/DepatisNet/depatisnet?action=bibdat&amp;docid=DE000004041798C2">https://depatisnet.dpma.de/DepatisNet/depatisnet?action=bibdat&amp;docid=DE000004041798C2</a>
[DE-GM7633882]	Jaecker, F. W. (1977) Elektrisch betriebene Dunstabzugshaube für eine An- oder Einbauküche mit einem Gas- oder Elektrokochherd mit/ohne Zeitschaltautomatik (DE7633882). Deutsches Patent- und Markenamt. <a href="https://depatisnet.dpma.de/DepatisNet/depatisnet?action=bibdat&amp;docid=DE000007633882U">https://depatisnet.dpma.de/DepatisNet/depatisnet?action=bibdat&amp;docid=DE000007633882U</a>
[DIN EN 16282-1]	DIN EN 16282-1: 2017 - Einrichtungen in gewerblichen Küchen – Elemente zur Be- und Entlüftung – Teil 1: Allgemeine Anforderungen einschließlich Berechnungsmethoden; Beuth-Verlag; Dezember 2017
[DIN EN 16789-3]	Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN EN 16789-3: 2017-11 Energetische Bewertung von Gebäuden - Lüftung von Gebäuden - Teil 3: Lüftung von Nichtwohngebäuden - Leistungsanforderungen an Lüftungs- und Klimaanlageanlagen und Raumkühlssysteme, Beuth-Verlag GmbH, Berlin
[DIN EN 1751]	Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN EN 1751:2014-06: Lüftung von Gebäuden – Geräte des Luftverteilungssystems – Aerodynamische Prüfungen von Drossel- und Absperelementen, 2014, Beuth Verlag GmbH, Berlin
[DIN EN 61591]	Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN EN 61591:2021-3: Absauger für Kochdünste - Verfahren zur Messung der Gebrauchseigenschaft. 2021. Beuth Verlag GmbH, Berlin
[DIN EN ISO 9972]	Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN EN ISO 9972: 2018-12: Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden – Differenzdruckverfahren (ISO 9972:2015); Deutsche Fassung, 2018, Beuth Verlag GmbH, Berlin
[EP0727620]	Rohrbach, P. & Rueckert, W. (2000) Dunstabzugshaube (DE96101929). Deutsches Patent- und Markenamt. <a href="https://depatisnet.dpma.de/DepatisNet/depatisnet?action=bibdat&amp;docid=EP000000727620B1">https://depatisnet.dpma.de/DepatisNet/depatisnet?action=bibdat&amp;docid=EP000000727620B1</a>
[EP1509728]	Has, U. (2006) DUNSTABZUGSVORRICHTUNG MIT ERWEITERTEN FUNKTIONEN (EP03722605). Deutsches Patent- und Markenamt. <a href="https://depatisnet.dpma.de/DepatisNet/depatisnet?action=bibdat&amp;docid=EP000001509728B1">https://depatisnet.dpma.de/DepatisNet/depatisnet?action=bibdat&amp;docid=EP000001509728B1</a>
[EP2824395]	Fluhrer H. & Frank, M. & Gärtner, N. & Schaumann, U. & Schönemann, K. (2016) Verfahren zum Betreiben eines Dunstabzugs und Dunstabzug (EP14176129). Deutsches Patent- und Markenamt.

	<a href="https://depatisnet.dpma.de/DepatisNet/depatisnet?action=bibdat&amp;docid=EP000002824395A3">https://depatisnet.dpma.de/DepatisNet/depatisnet?action=bibdat&amp;docid=EP000002824395A3</a>
[Exhausto A/S]	Exhausto A/S, 2017, <a href="https://www.exhausto.de/projektering/Working%20-%20Kontorventilation/Design%20af%20system/Styringsprincipper">https://www.exhausto.de/projektering/Working%20-%20Kontorventilation/Design%20af%20system/Styringsprincipper</a> (abgerufen am 24.02.2018)
[GEG2020]	Bundesregierung: „Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung Erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden“ (Gebäudeenergiegesetz GEG), Bundesgesetzblatt Jahrgang 2020 Teil 1 Nr 37., August 2020, Bonn.
[HSLU 2005]	Küchenabluft in Wohnungen, Hochschule Technik & Architektur (HTA) Luzern, 2005 (Auftraggeber Baudirektion Kanton Zürich AWEL)
[HSLU 2019]	Küchenabluft bei der energetischen Gebäudesanierung und im Neubau, Hochschule Technik & Architektur (HTA) Luzern, 2019 (Auftraggeber Bundesamt für Energie BFE)
[Huber]	Huber, H., Helfenfinger, D., Manz, H.: Hochschule Technik & Architektur (HTA) Luzern – Abteilung Heizung-Lüftung-Klima und Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA) – Abteilung Bauphysik, Luftkanal-Wärmetauscher (BFE-Projekt-Nr. 27'164), Bundesamt für Energie, September 2000)
[IHD]	Institut für Holztechnologie Dresden gemeinnützige GmbH, eigene Fotografien/ grafische Darstellungen
[ITG]	Forschung und Anwendung GmbH, Institut für Technische Gebäudeausrüstung Dresden, eigene Fotografien/ grafische Darstellungen
[Naber GmbH]	Naber GmbH, eigene Fotografien/ grafische Darstellungen
[PHI]	Passivhaus Institut GmbH, eigene Fotografien/ grafische Darstellungen
[PHPP]	Passivhaus-Projektierungspaket, Passivhaus Institut GmbH
[Tale Yazdi]	Tale Yazdi, G.: Lüftung von Gewerbeküchen – Komponenten, Anlagen, VDE Verlag GmbH, Berlin, 2019
[US3625135]	Carlson, E. (1971) AUTOMATICALLY CONTROLLED COOKING AREA VENTILATING SYSTEM (US3073870). United States patent Office. <a href="https://depatisnet.dpma.de/DepatisNet/depatisnet?action=bibdat&amp;docid=US000003625135A">https://depatisnet.dpma.de/DepatisNet/depatisnet?action=bibdat&amp;docid=US000003625135A</a>
[VDI 2052-1]	VDI 2052-1: 2017 - Raumluftechnik – Küchen (VDI-Lüftungsregeln); Beuth-Verlag; April 2017
[WESCO]	Küchenlüftung – Preis- und Planungshandbuch 2021/2022, WESCO AG, V3.2021
[Willems 2020]	Willwms, M; Schild, K.; Stricker, D.: Formeln und Tabellen Bauphysik: Wärmeschutz-Feuchteschutz-Klima-Akustik-Brandschutz, Springer Verlag, 2020

## 9. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schema Versuchsaufbau	13
Abbildung 2: Frontalaufnahme Versuchsaufbau, Abgasrohr nicht verbunden	14
Abbildung 3: Versuchsaufbau mit Schirm zur Bestimmung eines Erfassungsgrades 100 % Erfassungsgrad	15
Abbildung 4: Beispielhafter Verlauf von erfasstem Wasser(rot) und freigesetztem Wasser(blau) umgerechnet in g/h.	17
Abbildung 5: Ergebnisse der Referenzversuche mit Überkopphaube 1 mit und ohne Schirm in den Lüfterstufen 1 – 3 (St 1 – St 3) bei jeweils zwei Leistungsstufen des Kochfeldes (1.000 W und 2.000 W)	18
Abbildung 6: Erfassungsgrad im Betrieb für die Variante mit zwei Kochfeldern (gesamt 4.000 W Verdampfungsleistung) sowie der Abluftvolumenstrom der untersuchten Dunstabzugshauben Überkopf (ÜKH) und Schrägschirm (SchSH) jeweils in den Lüfterstufen 1 und 3. Die Tischfeldabsaugung (TF-Absaugung) wurde mit dem Volumenstrom für vollständige Erfassung (vgl. der Untersuchungen nach optischem Verfahren des Vorprojekts) ergänzt. Der Erfassungsgrad mittels Wasserdampf-bilanzierung konnte für diese Bauform im Rahmen dieses Projekts nicht mehr bestimmt werden.	19
Abbildung 7: Elektrische Leistungsaufnahme, Volumenstrom und die spezifische elektrische Leistungsaufnahme der untersuchten Dunstabzugshauben Überkopf (ÜKH) und Schrägschirm (SchSH). Die Werte der Tischfeldabsaugung (TF-Absaug) in höchster Lüfterstufe wurde zum Vergleich aus den Untersuchungen des Vorprojekts ergänzt.	20
Abbildung 8: Zusätzlicher Heizwärmebedarf und zusätzlicher Bedarf an elektrischer Energie für Wärmepumpe und Hilfsstrom beim Betrieb der Hauben für 0,5 Stunden pro Tag, höhere Laufzeiten führen entsprechend zu höheren Wärmeverlusten. Betrieb in einem Passivhaus mit 156 m <sup>2</sup> Energiebezugsfläche. UKH 1 bis 4 sowie SchSH 1 bis 3 sind damit energetisch als gut bis sehr gut einzustufen.	22
Abbildung 9: Beispiele für mögliche Arten zur Regelung der Raumluftqualität nach [DIN EN 16789-3]	24
Abbildung 10: Außenansicht der Prüfkammer als 3D-Planungsmodell [Bruns]	26
Abbildung 11: Schematische Draufsicht der Prüfkammer	27
Abbildung 12: Schematische Seitenansicht der Prüfkammer	27
Abbildung 13: Haube A - Vergleich der VOC-Belastung beim Erwärmen von Tomatensoße	32
Abbildung 14: Haube A - Vergleich der relativen Feuchtigkeit beim Kochen von Nudeln	32
Abbildung 15: Haube A - Vergleich der VOC-Belastung beim Braten einer Wurst	33
Abbildung 16: : Haube B - Vergleich der VOC-Belastung beim Erwärmen von Tomatensoße	33
Abbildung 17: Haube B - Vergleich der relativen Feuchtigkeit beim Kochen von Nudeln	34
Abbildung 18: Haube B - Vergleich der VOC-Belastung beim Braten einer Wurst	34
Abbildung 19: Vergleich zwischen den Hauben bei den jeweiligen Gerichten	36
Abbildung 20: Möglicher Ablauf der visuellen Erkennung von Kochvorgängen	39
Abbildung 21: Klassifizierung von Abluftklappen nach DIN EN 1751	40
Abbildung 22: Schematischer Aufbau des Messstandes mit Prüfling	42
Abbildung 23: Darstellung des verschlossenen Messstandes ohne Prüfling.	43
Abbildung 24: Leckageraten von Abluftklappen/ Mauerkästen bei einem Differenzdruck von 50 Pa, ermittelt über eine Ausgleichsfunktion von Einzelmessungen, Prüfstandleckage abgezogen.	44
Abbildung 25: Leckageraten von Abluftklappen/ Mauerkästen bei einem Differenzdruck von 5 Pa, ermittelt über eine Ausgleichsfunktion von Einzelmessungen, Prüfstandleckage wurde abgezogen.	45

Abbildung 26: Wandaufbau und Wärmedurchgangskoeffizient	46
Abbildung 27: Darstellung des Modells (links) und der Isothermengrafik (rechts), Modell verzinktes Stahlblech.	47
Abbildung 28: Darstellung des Modells (Links), und der Isothermengrafik (Rechts), Modell PVC-Rohr.	48
Abbildung 29: zusätzlicher Jahresheizwärmebedarf verursacht durch Leckagen an Mauerkästen bei Winddruckverhältnissen von 5 Pa.	49
Abbildung 30: spezifischer zusätzlicher Jahresheizwärmebedarf verursacht durch Leckagen an Mauerkästen (Annahme: nur ein Abluftmuerkasten) bei Winddruckverhältnissen von 5 Pa für Wohnungsgrößen von 60 m <sup>2</sup> und 90 m <sup>2</sup> .	50
Abbildung 31: Übersicht der Möglichkeiten der Luftnachströmung.	51
Abbildung 32: Luftnachströmung über Fenster	52
Abbildung 33: Übersicht von Mauerkastenlösungen zur Luftnachströmung – links: kombinierter Ab-/Zuluft-Mauerkasten – mechanisch öffnend/schließend, mittig: getrennte Außen- und Abluft-Mauerkasten - mechanisch öffnend/schließend, rechts: getrennte Außen- und Abluft-Mauerkasten – motorisch öffnend/schließend [HSLU 2019].	53
Abbildung 34: Schematische Darstellung für die Erfassung des Thermikstroms aus VDI 2052-1.	54
Abbildung 35: Konstruktive Anpassungen - links: Randabsaugung, rechts: Herunterklappbare Glasflügel [WESCO]	56
Abbildung 36: Schematische Darstellung für Rohr in Rohr – Innenrohr: Abluft/Fortluft, Außenrohr: Außenluft/Zuluft	62
Abbildung 37: Zulufttemperatur - Abschätzung für Rohr-in-Rohr-System	63
Abbildung 38: Wärmerückgewinnungsgrad - Abschätzung für Rohr-in-Rohr-System	63
Abbildung 39: Energieeinsparung - Abschätzung für Rohr-in-Rohr-System	63
Abbildung 40: Versuchsanordnung zur Bestimmung der Geruchsreduzierung sowie Beispiele für Filtervarianten.	68
Abbildung 41: Geruchsreduzierungsgrad in %, Basisversuch V1 (Farbe dunkel) und Regenerationsversuch V4a (Farbe hell), Aktivkohlefilter ohne Mattenfilter.	68
Abbildung 42: Geruchsreduzierungsgrad in %, Basisversuch V1 (blau) und Regenerationsversuch V4a (orange), Aktivkohlefilter, Mattenfilter.	69
Abbildung 43: Abklingdauer (15%) in min, Basisversuch V1 (Farbe dunkel) und Regenerationsversuch V4a (Farbe hell), Aktivkohlefilter ohne Mattenfilter.	70
Abbildung 44: Abklingdauer in min, Basisversuch V1 (blau) und Regenerationsversuch V4a (orange), Aktivkohlefilter, Mattenfilter	70
Abbildung 45: Geruchsreduzierungsgrad in %, Basisversuch V1 (blau), Regenerationsversuch V4a (orange), Regenerationsversuch V4b (grün), Aktivkohlefilter, Wabenfilter, Ausheiztemperaturen grüne Säulen: links: 55 °C, mittig: 190 °C, rechts: 190 °C	71
Abbildung 46: Geruchsreduzierungsgrad in % mit (jeweils rechte Säule) und ohne Befeuchtung (jeweils linke Säule) für 3 ausgewählte Mattenfilter.	71
Abbildung 47: Geruchsreduzierungsgrad in % mit und ohne Zusatzlüftung, 2 ausgewählte Mattenfilter.	72
Abbildung 48: Geruchsreduzierungsgrad in % mit und ohne Filteralterung (Versuche 5a und 5b), 2 ausgewählte Mattenfilter.	73
Abbildung 49: Versuchsanordnung zur Bestimmung der Geruchsreduzierung – Plasmafilter.	76
Abbildung 50: Geruchsreduzierungsgrad in %, Plasmafilter P1.	77

Abbildung 51: Ozon- und MEK-Verlauf, Plasmafilter P1.1 ohne Aktivkohle, blaue Linie - MEK-Konzentration in ppm (linke Achse) (n-Logarithmus), orange Linie – Ozonkonzentration in ppb (rechte Achse)	78
Abbildung 52: Ozon- und MEK-Verlauf, Plasmafilter P1.1 durchgehende Linien, P1.2 – durchgehende Linie mit Aktivkohle, blaue Linie - MEK-Konzentration in ppm (linke Achse) (n-Logarithmus), orange Linie – Ozonkonzentration in ppb (rechte Achse).	79
Abbildung 53: Ozon- und MEK-Verlauf, Plasmafilter P2, P2.1 durchgehende Linien, P2.2 unterbrochene Linien - MEK-Konzentration in ppm (linke Achse) (n-Logarithmus!), orange Linie – Ozonkonzentration in ppb (rechte Achse)	79
Abbildung 54: Verläufe der Geruchsreduzierung der Plasmafilter im Vergleich zur Referenz beim Braten einer Wurst	81
Abbildung 55: Signalverlauf von Ozon und VOC bei dem Filter P1.3	82
Abbildung 56: Signalverlauf von Ozon und VOC bei dem Filter P2.2	82
Abbildung 57: Abhängigkeit des VOC-Sensors vom Ozongehalt im Raum	83
Abbildung 58: Lage der Feuchte- und Temperatursensoren in den Küchen	85
Abbildung 59: Verlauf der relativen Feuchten in Küchen eines Mehrfamilienhauses (Ausstattung: kontrollierte Wohnraumlüftung und z.T. Umlufthauben) beispielhaft für den Monat Dezember 2020	86
Abbildung 60: Temperaturverlauf der betrachteten Küchen des Monitoringprojekts	86
Abbildung 61: Verlauf der relativen Feuchten (obere Kurvenschar) und Temperaturen (untere Kurvenschar) in drei Küchen eines Mehrfamilienhauses (Ausstattung: kontrollierte Wohnraumlüftung und z.T. Umlufthauben), Auszug aus Abbildung 59 und Abbildung 60: Küchen mit deutlich erkennbaren Kochvorgängen und höheren relativen Feuchten.	87
Abbildung 62: Bild aus dem Versuch mit Laserbeleuchtung	104
Abbildung 63: Basisbild vor dem Versuch, Laser	104
Abbildung 64: Versuchsbild während des Versuchs, Laser	105
Abbildung 65: Subtraktion und Verstärkung von Basisbild und Versuchsbild, Laser	105
Abbildung 66: Ein Bild aus dem Versuch mit Taschenlampenbeleuchtung	106
Abbildung 67: Gemittelte Basisaufnahme vor dem Versuch, Taschenlampe	107
Abbildung 68: Gemittelte Versuchsaufnahme während des Versuchs, Taschenlampe	107
Abbildung 69: Ergebnis von Umwandlung auf Graustufen und Subtraktion (+Verstärkung) von Basisversuch und Versuchsaufnahme, Taschenlampe	108
Abbildung 70: Messung des Haubenvolumenstroms mittels eines Flowfinders	113
Abbildung 71: k-Wert des Druckmesskreuzes in Abhängigkeit der Rohrnennweite	113
Abbildung 72: Berechnungsformel für den Volumenstrom am Druckmesskreuz	114
Abbildung 73: Schematische Darstellung für Rohr in Rohr – Innenrohr: Abluft/Fortluft, Außenrohr: Außenluft/Zuluft	117
Abbildung 74: Schematische Darstellung für Rohr in Rohr – Innenrohr: Außenluft/Zuluft, Außenrohr: Abluft/Fortluft	117
Abbildung 75: Schematische Darstellung für Rohr in Rohr – Innenrohr: 3x Außenluft/Zuluft, Außenrohr: Abluft/Fortluft	118
Abbildung 76: Schematische Darstellung für Rohr in Rohr (Rippenrohr) – Innenrohr: Abluft/Fortluft, Außenrohr: Außenluft/Zuluft	118

Abbildung 77: Schematische Darstellung für Kammerprofil – je 24 Kammern für Außenluft/Zuluft und Abluft/Fortluft 118

## 10. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Bauformen von Dunstabzugssystemen [Quelle: Leitfaden Dunstabzugssysteme für Wohnküchen – Empfehlungen für Planer, Gutachter und Nutzer]	15
Tabelle 2: Mögliche Arten der Regelung der Raumluftqualität (IDA-C) nach DIN EN 16789-3	23
Tabelle 3: Übersicht der Hersteller von automatischen Dunstabzugssystemen	25
Tabelle 4: Sensoren der mobilen Box für die messtechnische Untersuchung	26
Tabelle 5: Gerichte der messtechnischen Untersuchung	28
Tabelle 6: Vorbereitung der messtechnischen Untersuchung	28
Tabelle 7: Ablauf der messtechnischen Untersuchung für die Zubereitung des Gerichtes Tomatensoße	28
Tabelle 8: Ablauf der messtechnischen Untersuchung für die Zubereitung des Gerichtes Nudeln	29
Tabelle 9: Ablauf der messtechnischen Untersuchung für die Zubereitung des Gerichtes Wurst	29
Tabelle 10: Versuchsreihen der messtechnischen Untersuchung der Haube A	30
Tabelle 11: Versuchsreihen der messtechnischen Untersuchung der Haube B	31
Tabelle 12: Summe der Belastungen der verschiedenen Gerichte und Vergleich des automatischen Volumenstroms zum konstanten Volumenstrom in Prozent	34
Tabelle 13: Energieverbrauch der Hauben während der messtechnischen Untersuchung	35
Tabelle 14: Zusätzlicher Heizwärmebedarf durch das geförderte Volumen der Haube A der verschiedenen Gerichte und Vergleich des automatischen Volumenstroms zum konstanten Volumenstrom in Prozent	37
Tabelle 15: Zusätzlicher Heizwärmebedarf durch das geförderte Volumen der Haube B für verschiedene Gerichte und Vergleich des automatischen Volumenstroms zum konstanten Volumenstrom in Prozent	37
Tabelle 16: Übersicht der messtechnisch untersuchten Lösungen für Abluftklappen von Abluftdunstabzugssystemen	40
Tabelle 17: Kalibrierfaktoren zu den Messblenden [MLM]	42
Tabelle 18: Randbedingungen	46
Tabelle 19: Zusammenstellung von Ausspülgraden nach DIN EN 16798-1, VDI 2052-1 und Recknagel 21	55
Tabelle 20: Zusammenfassung der Möglichkeiten der Luftnachströmung nach „Küchenabluft in Wohnungen“ [HSLU 2005] und „Küchenabluft bei der energetischen Gebäudesanierung und im Neubau“ [HSLU 2019]	57
Tabelle 21: Übersicht der Möglichkeiten zur Wärmeübertragung bezüglich Dunstabzugssystemen mit Vor- und Nachteilen nach „Luftkanal-Wärmetauscher“ (Huber)	61
Tabelle 22: Versuchsübersicht - Aktivkohlefilter	65
Tabelle 23: Filterübersicht – Aktivkohle	67
Tabelle 24: Kurzbeschreibung Versuche - Aktivkohle	67
Tabelle 25: Stromaufnahme der Umluftdunstabzugshaube in der Intensivstufe bei verschiedenen Filtersystemen. Einbaulage: S-Saugseite, D-Druckseite.	73
Tabelle 26: Versuchsübersicht – Plasmafilter	75
Tabelle 27: Filterübersicht - Plasmafilter	76
Tabelle 28: Kurzbeschreibung Versuche - Plasmafilter	76

---

Tabelle 29: Stromaufnahme der Umluftdunstabzugshaube in der Intensivstufe bei verschiedenen Plasmasystemen. Einbaulage: D-Druckseite.	79
Tabelle 30: Vorbereitung zur Messung des Geruchsreduzierungsgrades der Plasmafilter durch das Braten einer Wurst	80
Tabelle 31: Ablauf zur Messung des Geruchsreduzierungsgrades der Plasmafilter durch das Braten einer Wurst	80
Tabelle 32: Ergebnis der Messung des Geruchsreduzierungsgrades der Plasmafilter durch das Braten einer Wurst	81
Tabelle 33: Untersuchte Abschlüsse für Dunstabzugssysteme	115
Tabelle 34: Zusätzlicher Heizwärmebedarf für verschiedene untersuchte Abschlüsse und Abluftklappen von Dunstabzugssystemen bei einem mittleren Winddruck von 5 Pa	116

## 11. Anhang

### Anhang 1: Untersuchung des Erfassungsgrades – optisches Verfahren

Das Ziel war es, die Umgebungsbedingungen der optischen Versuche aus dem Vorprojekt präziser zu setzen, sowie Quantifizierungsmöglichkeiten der optischen Messungen zu untersuchen.

Dazu wurden die Kameraposition, der Aufnahmen-Hintergrund und 2 Beleuchtungsarten variiert. Die Kamera wurde knapp unter der Höhe der Haube positioniert und in einer Ebene mit der Aufhängewand.

Der Wrasen wurde einmal mit einer Taschenlampe beleuchtet und einmal mit einem Kreuzlinienlaser (um eine partielle, dafür bessere Sichtbarkeit des Wrasens zu gewährleisten).

Mithilfe von Bildbearbeitungsmethoden mit der Bibliothek OpenCV mit Python wurden die von Versuch aufgenommenen Bilder so bearbeitet, dass der gemittelte Wrasen über die Kochzeit isoliert wurde.

Ergebnisse in Kürze: Die Isolierung des Wrasenbestandteile aus dem Bild funktioniert, die Methoden der Bilanzierungen (zumindest auf das gemittelte Bild) sind nur ungenau zu definieren.

Aus verschiedenen Gründen war keine belastbare Auswertung und damit auch keine Quantifizierung des Wasserdampfes möglich. Aus Zeitgründen und weil zwischenzeitlich das zweite Verfahren der Wasserdampfbildung vielversprechender schien, wurde auf eine ausführlichere Analyse und Weiterentwicklung einer Quantifizierung der optischen Methode verzichtet. Die bisherigen Erkenntnisse und Schwierigkeiten werden in den folgenden Kapiteln kurz zusammengefasst.

#### **Versuche**

Es wurden insgesamt 2 Testversuche durchgeführt, welche sich durch den Blickwinkel und die Beleuchtungsart entschieden. Es waren Testversuche, um die Sichtbarkeit und optische Verwertbarkeit von Bildern zu testen und die Randbedingungen zu erkunden.

Die Versuche:

- mit Laser
- mit Taschenlampe (der Blickwinkel wurde geändert, sodass die Kamera ungefähr auf die untere Kante der Haube gerichtet ist)

In beiden Versuche wurden zum Vergleich eine alle 5 Sekunden eine Reihe Bilder vor dem Kochversuch und eine Reihe Bilder während des Versuchs aufgenommen.

Für die spätere Auswertung werden die Bilder von vor und während des Versuchs jeweils gemittelt.

#### **Optische Versuche – Laserbeleuchtung**

Bei den Versuchen mit Laserlicht wurde ein Kreuzlinienlaser um etwa 45° zur Kamera versetzt aufgestellt, welcher auf den Versuchsstand gerichtet war. Dieser Winkel wurde gewählt, da sich hier die beste Sichtbarkeit der durch den Laser angestrahlten Wrasen einstellte.

Diese Methode erlaubte die Auswertung des Wrasen auf einer Querschnittebene. Zudem konnte durch den horizontalen Laser beobachtet werden, welche Aussagen sind durch einen solchen Querschnitt machen ließe.

Die folgenden drei Bilder zeigen die Ergebnisse der optischen Versuche mit Laserbeleuchtung.

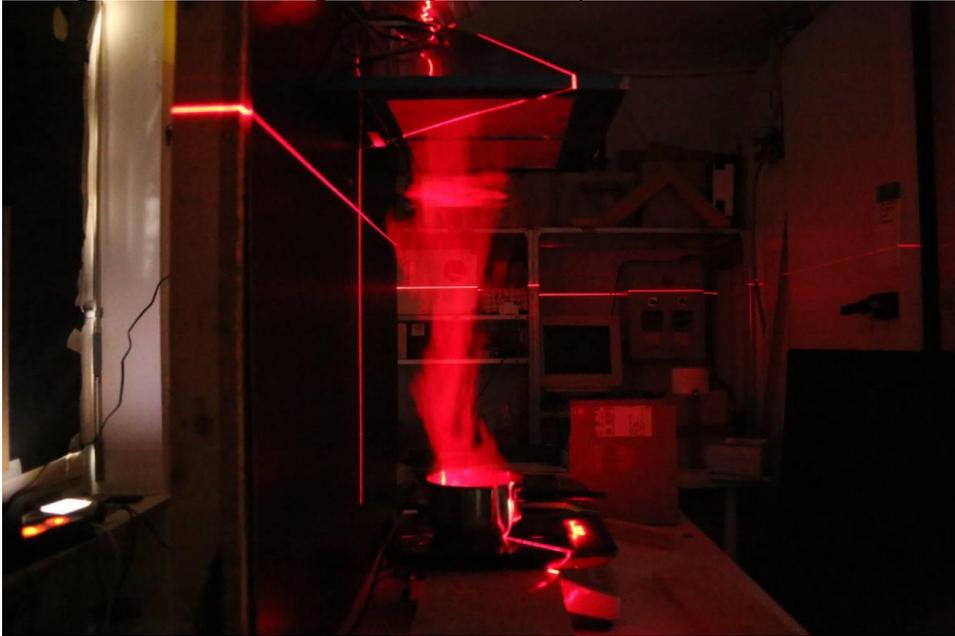


Abbildung 62: Bild aus dem Versuch mit Laserbeleuchtung [PHI]

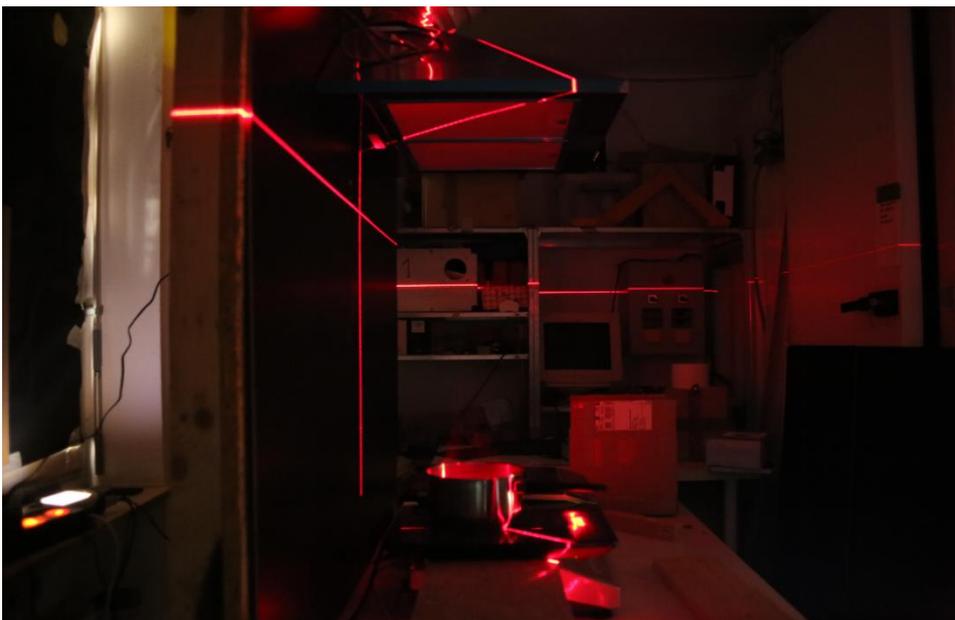


Abbildung 63: Basisbild vor dem Versuch, Laser [PHI]



Abbildung 64: Versuchsbild während des Versuchs, Laser [PHI]

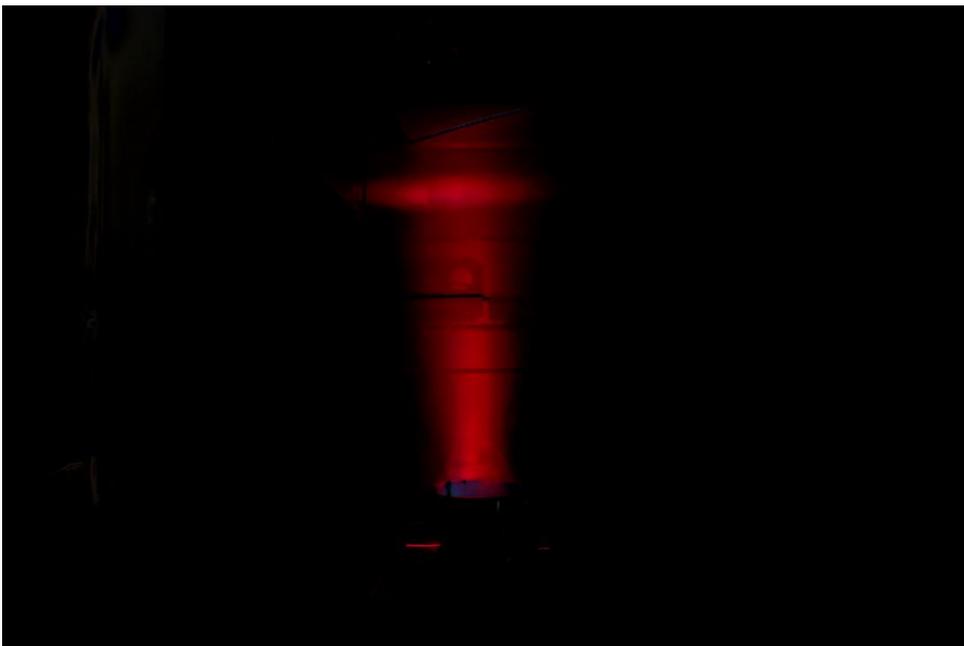


Abbildung 65: Subtraktion und Verstärkung von Basisbild und Versuchsbild, Laser [PHI]

#### **Optische Versuche – Taschenlampenbeleuchtung**

Beim Versuch mit Taschenlampenbeleuchtung wurde der Betrachtungspunkt geändert. Zudem wurde ein schwarzer Schirm vor der Haube befestigt, um den Wrasen dort sichtbarer zu machen.

Die Beleuchtung geschieht bei diesem Versuch durch eine Taschenlampe, die teilweise abgeklebt wurde, um einen schmälere Kegel zu erzeugen, damit möglichst nur der Wrasen beleuchtet wird. Die Taschenlampe ist rechtwinklig zur Kamera aufgestellt.

Die folgenden Bilder zeigen die Ergebnisse der optischen Versuche mit Taschenlampenbeleuchtung. Diese Versuche werden in Kapitel 3.1.2.2 beschrieben.



Abbildung 66: Ein Bild aus dem Versuch mit Taschenlampenbeleuchtung [PHI]



Abbildung 67: Gemittelte Basisaufnahme vor dem Versuch, Taschenlampe [PHI]



Abbildung 68: Gemittelte Versuchsaufnahme während des Versuchs, Taschenlampe [PHI]



Abbildung 69: Ergebnis von Umwandlung auf Graustufen und Subtraktion (+Verstärkung) von Basisversuch und Versuchsaufnahme, Taschenlampe [PHI]

**Schwierigkeiten der Weiterentwicklung der optischen Erfassungsgradbestimmung**

Es war nicht ohne weiteres möglich, die Wasserdampfemissionen mit der Pixelintensität zu korrelieren.

Außerdem ist bei den gemittelten Bildern unklar, wie der Wasserdampf betrachtet werden soll.

Da es eine Zusammenfassung aus vielen Bildern ist, sind die Wrasen auch zeitlich überlagert, wodurch die Pixel welche im Bild gerade "emittiert" werden auch jene enthalten, die auf jeden einzelnen Bild emittiert werden. Das erschwert die Bilanzierung.

Für eine Test-Bilanzierung wurde versucht, 3 Pixelreihen jeweils direkt über und unter der Haube zu analysieren und auf die Verteilung ihrer Pixelwerte hin zu untersuchen. Dies erzeugte kein Ergebnis, da die Werte zu stark variierten.

Eine Bilanzierung des gesamten Wrasens unter und über der Haube gab durch die Mittelung ebenso keinen Sinn, da der Wrasen über der Haube durch die Mittelung bereits unter der Haube zu sehen ist. Außerdem würden die Wasserpixel unter der Haube mehrfach gezählt werden, da derselbe Wasserdampfpixel mehrfach sichtbar wäre.

Es ist nicht klar, welcher Bereich nun als der von der Haube erfasste und von der Haube nicht erfasste gilt.

Die Wiederholbarkeit der Versuche bzw. die Möglichkeit seiner genauen Beschreibung ist stark eingeschränkt, da die optischen Eigenschaften der Umgebung stark variieren (Beleuchtungsstärke, Reflexions- und Absorptionsvermögen der umgebenden Flächen).

Die Sichtbarkeit des Wrasen hängt ebenso stark von Temperatur und rel. Raumfeuchte ab. Daher ist eine genaue Konditionierung der Luft nötig, damit die Versuche bei einer Wiederholung ähnliche Werte liefern.

## Anhang 2: Verwendete Messtechnik für die Bestimmung des Erfassungsgrades auf Wasserdampfbasis

### Software

Zur Aufnahme und Anzeige der Messdaten werden eigens auf Python basierende Messprogramme genutzt.

Zur Kommunikation mit der Waage wird das Modul PySerial genutzt.

Die Aufnahme der Messdaten erfolgt über das MQTT-Protokoll über ein eigens eingerichtetes Labor-Netzwerk.

Die Messdaten werden durch ein Python-Skript aufgenommen und als csv-Datei gespeichert. Dazu wird das Modul Paho genutzt.

Für einen Arduino wurde ein Programm entwickelt, welches die Daten der Sensoren aufnimmt und über MQTT an einen Laborrechner schickt, über welchen diese weiter verarbeitet wurden.

### Hardware

Die Hardware wurde eigens für die Versuchsreihe ausgewählt und zusammengestellt.

Temperatur-/rel.-Feuchte-Sensoren:

SHT85 von Sensirion. typische Genauigkeiten: +/- 0,1 °C, +/- 1,5 % rel. Feuchte

Drucksensoren

Differenzdrucksensor SDP810 125 Pa von Sensirion. typische Genauigkeit: 3 % des Messwertes.

Arduino MKR WIFI 1010 diente der Steuerung der Sensoren und der Weitergabe der Sensordaten über MQTT

Waage: Kern FKB 36K0.5

KERN	FKB 36K0.5
Ablesbarkeit	0,5 g
Messbereich	36.100 g
Reproduzierbarkeit	0,5 g
Linearität +/-	1,5 g
Kleinstes Stückgewicht	0,5 g

Leistungsmesssteckdose: VOLTCRAFT Energy Logger 4000:

Betriebsspannung.....	230 V/AC, 50/60 Hz
Leistungsaufnahme Standby .....	1,5 W
Max. Leistung/Strom.....	3500 W/15 A
Anzeige Leistungsmessung.....	0,1 - 3500 W
Anzeige Energieverbrauch .....	0,000 - 9999 kWh
Display .....	3zeilig mit je 4 Stellen
Tarfbereich .....	0,000 - 9,999
Genauigkeit .....	5 - 3500 W ( $\pm 1\% + 1$ Count) 2 - 5 W ( $\pm 5\% + 1$ Count) < 2 W ( $\pm 15\% + 1$ Count)
Pufferbatterie .....	3 V, CR1620
Umgebungsbedingungen .....	10 - 50 °C/max. 90%rF (nicht kondensierend) Betriebshöhe: max. 2000 m (über NN)
Gewicht.....	ca. 240 g
Abmessungen (LxBxH).....	164 x 82 x 83 (mm)
Messkategorie .....	CAT II
Verschmutzungsgrad.....	2

**Korrektur k-Faktor Staukreuz**

Das genutzte Rohr hatte nicht, wie auf dem Datenzettel angegeben, DN160, sondern war etwas kleiner. Der k-Faktor beschreibt das Verhältnis zwischen dem gemessenen Differenzdruck und dem Volumenstrom durch das Messrohr. Dieser ist abhängig vom Durchmesser der Messstrecke.

Daher wurde für den richtigen Korrekturfaktor, für den Versuchseinbau des Differenzdruckkreuzes, eine Vergleichsmessung mit einem Flowfinder gemacht.

Die realen Luftströme wurden gemessen und mit den errechneten Ergebnissen aus dem Differenzdrucksensor verglichen, um den Faktor k entsprechend anzupassen.

Die Ergebnisse des Versuches zeigen, dass der k-Faktor auch geringfügig volumenstromabhängig ist, was späteren die Genauigkeit der Erfassungsgradmessungen senkt.



Abbildung 70: Messung des Haubenvolumenstroms mittels eines Flowfinders [PHI]



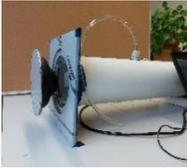
Abbildung 71: k-Wert des Druckmesskreuzes in Abhängigkeit der Rohrnennweite [PHI]



Abbildung 72: Berechnungsformel für den Volumenstrom am Druckmesskreuz [PHI]

## Anhang 3: Untersuchte Mauerkästen

Tabelle 33: Untersuchte Abschlüsse für Dunstabzugssysteme [PHI]

Hersteller	Art der Abluftklappe	Abbildung
0-0	Rückstauklappe Dunstabzugshaube	
0-1	Lüftungsgitter (Vogelschutz)	
A-1	Mauerkasten (MK) mit Feder- Rückstauklappe	
A-2	Mauerkasten (MK) magnetisch schließende Klappe	
A-3	Mauerkasten (MK) Membran mit elektrischem Antrieb	
B-1	Mauerkasten (MK) mit elektrischem Antrieb	
C-1	Mauerkasten (MK) Feder- Rückstauklappe (Baumarkt)	
C-2	Mauerkasten (MK) mit elektrischem Antrieb (Baumarkt)	

Hersteller	Art der Abluftklappe	Abbildung
D-1	Mauerkasten (MK) mit Rückstauklappe	
F-1	Mauerkasten (MK) Feder-Rückstauklappe (Baumarkt)	

## Anhang 4: Energetischer Einfluss durch die Leckage der Mauerkästen – zusätzlicher Heizwärmebedarf

Tabelle 34: Zusätzlicher Heizwärmebedarf für verschiedene untersuchte Abschlüsse und Abluftklappen von Dunstabzugssystemen bei einem mittleren Winddruck von 5 Pa

Hersteller	Art der Abluftklappe	$Q_{l,inf,5,Ges}$ [kWh/a]	$Q_{l,inf,5,60}$ [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	$Q_{l,inf,5,90}$ [kWh/(m <sup>2</sup> a)]
0-0	Rückstauklappe Dunstabzugshaube	132,5	2,2	1,5
0-1	Lüftungsgitter (Vogelschutz)	518,0	8,6	5,8
A-1	MK mit Feder- Rückstauklappe	15,1	0,3	0,2
A-2	MK magnetisch schließende Klappe	7,3	0,1	0,1
A-3	MK Membran mit elektrischem Antrieb	2,0	0,0	0,0
B-1	MK mit elektrischem Antrieb	23,9	0,4	0,3
C-1	MK Feder- Rückstauklappe (Baumarkt)	64,9	1,1	0,7
C-2	MK mit elektrischem Antrieb (Baumarkt)	18,0	0,3	0,2
D-1	MK mit Rückstauklappe	43,8	0,7	0,5
F-1	MK Feder- Rückstauklappe (Baumarkt)	30,4	0,5	0,3

## Anhang 5: Möglichkeiten der Wärmerückgewinnung aus der Abluft – Varianten der Luftkanal-Wärmeübertragung

### Rohr in Rohr – Innenrohr: Abluft/Fortluft, Außenrohr: Außenluft/Zuluft

Dies sind konzentrische Rohr-in-Rohr-Konstruktionen mit Abluft-/Fortluftführung im Innenrohr und mit Außenluft-/Zuluftführung im Außenrohr. Das Innenrohr wird dabei durch regelmäßige Distanzhalter auf gleichen Abstand gehalten, die für die Reinigung so positioniert werden sollten, dass diese nicht beeinträchtigt wird. Für den Anschluss des Wärmeübertragers an das Verteilnetz sollten konstruktiv einfache Anschlüsse vorgesehen werden, die luft- und wasserdicht sind.

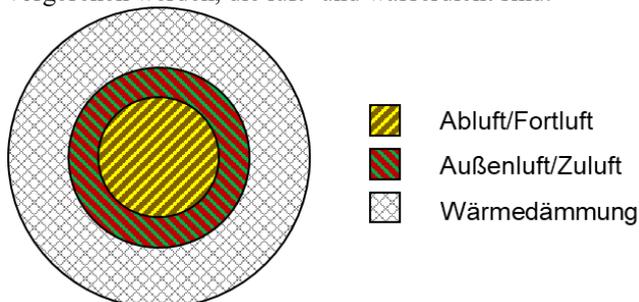


Abbildung 73: Schematische Darstellung für Rohr in Rohr – Innenrohr: Abluft/Fortluft, Außenrohr: Außenluft/Zuluft [ITG]

### Rohr in Rohr – Innenrohr: Außenluft/Zuluft, Außenrohr: Abluft/Fortluft

Dies sind konzentrische Rohr-in-Rohr-Konstruktionen mit Außenluft-/Zuluftführung im Innenrohr und mit Abluft-/Fortluftführung im Außenrohr. Das Innenrohr wird dabei durch regelmäßige Distanzhalter auf gleichen Abstand gehalten, die für die Reinigung so positioniert werden sollten, dass diese nicht beeinträchtigt wird. Für den Anschluss des Wärmeübertragers an das Verteilnetz sollten konstruktiv einfache Anschlüsse vorgesehen werden, die luft- und wasserdicht sind.

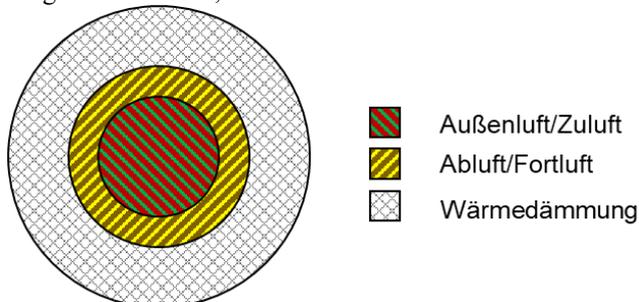


Abbildung 74: Schematische Darstellung für Rohr in Rohr – Innenrohr: Außenluft/Zuluft, Außenrohr: Abluft/Fortluft [ITG]

### Rohr in Rohr – Innenrohr: 3x Außenluft/Zuluft, Außenrohr: Abluft/Fortluft

Drei gleich große Innenrohre werden in das Außenrohr eingebaut. Dabei sind genügend große Abstände zwischen den Rohren zur Reinigung einzuhalten. Die Innenrohre werden dabei durch regelmäßige Distanzhalter auf gleichen Abstand gehalten. Für den Anschluss des Wärmeübertragers an das Verteilnetz sollten konstruktiv einfache Anschlüsse vorgesehen werden, die luft- und wasserdicht sind.

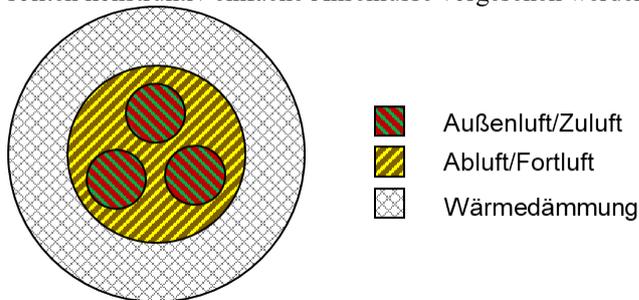


Abbildung 75: Schematische Darstellung für Rohr in Rohr – Innenrohr: 3x Außenluft/Zuluft, Außenrohr: Abluft/Fortluft [ITG]

**Rohr in Rohr (Rippenrohr): Innenrohr: Abluft/Fortluft, Außenrohr: Außenluft/Zuluft**

Hierbei wird das Rippenrohr konzentrisch in das Außenrohr eingebaut. Eine Steigerung der Wärmeübertragung geschieht durch 10 Rippen am Innenrohr. Die äußeren Rippen dienen dabei nur als Distanzhalter. Für den Anschluss des Wärmeübertragers an das Verteilnetz sollten konstruktiv einfache Anschlüsse vorgesehen werden, die luft- und wasserdicht sind.

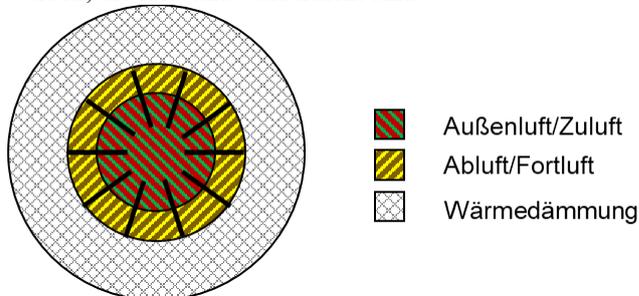


Abbildung 76: Schematische Darstellung für Rohr in Rohr (Rippenrohr) – Innenrohr: Abluft/Fortluft, Außenrohr: Außenluft/Zuluft [ITG]

**Kammerprofil – je 24 Kammern für Außenluft/Zuluft und Abluft/Fortluft**

Der Wärmeübertrager ist als rechteckige Hohlprofile (z. B. je 24 Kammern für Außenluft/Zuluft und Abluft/Fortluft) ausgeführt. Ein modularer Aufbau in Abhängigkeit des Luftvolumenstroms ist möglich. Für den Anschluss des Wärmeübertragers an das Verteilnetz sollten konstruktiv einfache Anschlüsse vorgesehen werden, die luft- und wasserdicht sind.

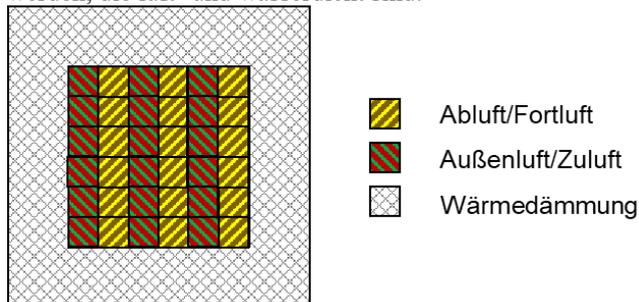


Abbildung 77: Schematische Darstellung für Kammerprofil – je 24 Kammern für Außenluft/Zuluft und Abluft/Fortluft [ITG]