

Fachveröffentlichung

Einfluss der Raumgeometrie und der Luftabkühlung auf die Wurfweite von Luftkühlern



*Dipl. Ing. Heinz Jackmann
Geschäftsfeldleiter Industriekälte*

Themenschwerpunkte:

- Wurfweite eines Luftkühlers: Messungen unter idealen Bedingungen vs. tatsächliche Bedingungen in der Praxis
- Beschreibung der Entwicklung eines Berechnungsmodells, das den Einfluss der Parameter Coanda-Effekte, Luftabkühlung und Raumgeometrie berücksichtigt
- Vergleich der Ergebnisse des Berechnungsmodells mit in Tests ermittelten Werten

Kurzfassung

Als Wurfweite eines Luftkühlers bezeichnet man die Entfernung zum Luftkühler, in der noch eine Mindest-Luftgeschwindigkeit von 0,5 m/s im Zentrum des eindringenden Luftstrahls messbar ist. Die Angaben in den Datenblättern der Hersteller basieren auf Messungen unter idealen Bedingungen und berücksichtigen nicht die Einflüsse der Raumgeometrie und die Temperatur der eingeblasenen Luft.

Die in den Datenblättern angegebenen Wurfweiten werden in der Praxis oft nicht erreicht, weil niedrige Raumhöhen die Wurfweite reduzieren oder die Temperaturdifferenz zwischen dem eindringenden Luftstrahl und der Raumluft ein vorzeitiges Ablösen der Strömung an der Decke bewirkt.

Basierend auf theoretischen Berechnungen und Labormessungen haben wir ein Berechnungsmodell entwickelt, das es ermöglicht, die Eindringtiefe eines Luftstrahls für jeden Raum individuell zu ermitteln. Dabei werden die Einflüsse der Raumgeometrie ebenso berücksichtigt wie die Einflüsse durch die niedrige Temperatur der eingeblasenen Luft.

Die Messung der Wurfweite im Raum stellt hohe Anforderungen an die Messtechnik. Bei unseren Labormessungen haben wir mit modernen Messmethoden die Geschwindigkeit und die Richtung der Luftströmung in jedem Messpunkt erfasst und in ein Strömungsmodell übertragen.

In der Präsentation zeigen wir den Einfluss der Raumgeometrie und der Luftabkühlung auf die Wurfweite bei Luftkühlern und einen Vergleich der Messungen mit den Ergebnissen aus unserem Berechnungsmodell.

Stichwörter: Wurfweite, Raumgeometrie, Luftabkühlung, Coanda-Effekt, Eindringtiefe

Einleitung

Für die Planung von Kühlräumen benötigen die Kunden Angaben für die Eindringtiefe des Luftstrahls von Luftkühlern. Die Eindringtiefe wird im Allgemeinen als Wurfweite eines Luftkühlers bezeichnet. Die Angaben der Hersteller für die Wurfweite basieren auf Messungen und theoretischen Berechnungen unter idealen Bedingungen in großen Räumen (der Raum ist größer als die Wurfweite, isotherme Luftumwälzung ohne Abkühlung, keine störenden Einbauten).

Die Einflüsse der Kühleranordnung, der Raumgeometrie, der Luftabkühlung und der Raumeinbauten können bei den Angaben in den Datenblättern der Hersteller nicht berücksichtigt werden, weil die spezifischen Daten der Räume nicht bekannt sind.

Die Angaben der Wurfweiten in den Datenblättern sind somit nur Anhaltswerte, die an die Kühlräume angepasst werden müssen.

Für viele Planungen werden die Werte jedoch ohne Korrektur übernommen, was dazu führt, dass in Einzelfällen die projektierte Wurfweite des Luftstrahls in den Räumen nicht erreicht wird.

Für die Abschätzung der tatsächlich in der Praxis erreichten Wurfweite benötigt man detaillierte Kenntnisse der Räume, Temperaturen und ein hohes Maß an Erfahrung.

Um bei der Abschätzung der Wurfweite mehr Planungssicherheit zu erreichen, haben wir ein Berechnungsmodell erstellt, welches die Einflüsse der Coanda-Effekte, der Luftabkühlung und der Raumgeometrie berücksichtigt.

Mit diesem Berechnungsprogramm ist es möglich, für jeden Luftkühler die Eindringtiefe des Luftstrahls für einen definierten Raum näherungsweise zu bestimmen.

1 Aufgabe und Zielsetzung

1.1 Aufgabe

Erstellen eines Berechnungsprogramms für die Ausbreitung eines Luftstrahls in einem definierten Raum unter Berücksichtigung der Coanda-Effekte, der Luftabkühlung und der Raumgeometrie.

1.2 Messungen der Luftströmungen

Messungen der Luftströmungen im eindringenden Luftstrahl mit Angabe von Geschwindigkeit und Strömungsrichtung. Visualisierung der Messergebnisse.

1.3 Vergleich der Messergebnisse

Vergleich der Messergebnisse mit den theoretischen Berechnungen des neuen Berechnungsmodells.

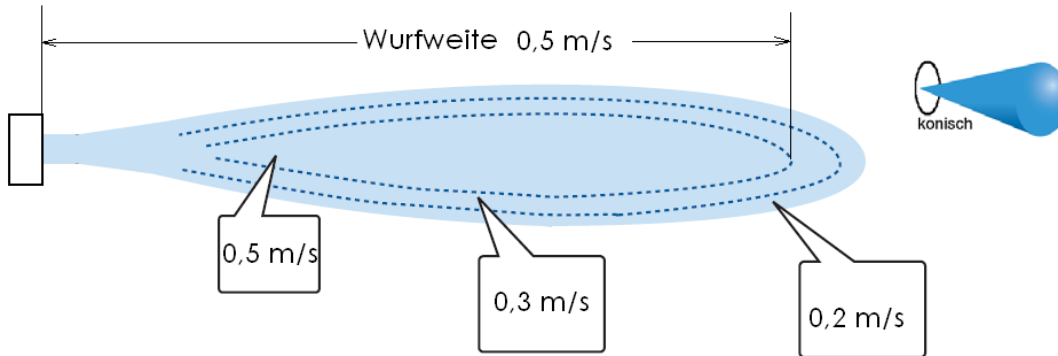
1.4 Zielsetzung

Erstellen eines Berechnungsprogramms, das es ermöglicht, bei der Planung die Wurfweiten der Luftkühler für unterschiedliche Räume zu ermitteln. Dabei sollen die Einflüsse der Kühleranordnung, der Luftabkühlung und der Raumgeometrie berücksichtigt werden.

2. Wurfweiten und Stand der Technik

2.1 Was versteht man unter der Wurfweite eines Luftkühlers?

Nach der heutigen Definition ist die Wurfweite der Abstand zwischen dem Luftkühler und dem am weitesten entfernten Punkt, an dem im eindringenden Luftstrahl eine Strömungsgeschwindigkeit von 0,5 m/s gemessen werden kann (siehe Abbildung 1).



2.2 Bisherige Messungen der Wurfweite

Um die Wurfweite zu bestimmen, wird der Luftkühler auf einer ebenen Fläche (auf dem Boden oder unter der Decke) montiert. Der Ventilator des Luftkühlers wird eingeschaltet und die Grenzschicht des Luftstroms mit einer Mindestgeschwindigkeit von 0,5 m/s wird bestimmt.

Um die Länge der möglichen Wurfweite zu erreichen, werden die Messungen in Räumen durchgeführt, die in jedem Fall länger sind als die mögliche Wurfweite. In diesen meist hohen und breiten Räumen treten erfahrungsgemäß auch keine Beeinflussungen des Luftstrahls durch rückströmende Luft auf. Eine Abkühlung der Luft wird ebenfalls nicht berücksichtigt. Die so ermittelte Wurfweite ist die maximal erreichbare Wurfweite gem. VDI-Entwurf 328.

Die Messungen erfolgen in der Regel mit Messinstrumenten, die nur die Geschwindigkeit, aber nicht die Lufttrichtung erfassen. Solche Messungen geben Anhaltspunkte für die mögliche Eindringtiefe eines Luftstrahles, sind aber sehr theoretisch und für einen Kühlraum oft nicht praxisrelevant (siehe Abbildung 2).

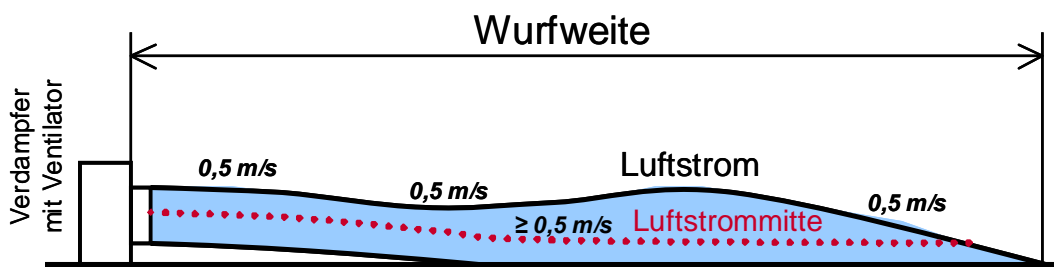


Abbildung 2: Messung der Wurfweite mit bisherigem Verfahren

2.3 Warum werden Wurfweiten in der Praxis häufig nicht erreicht?

In der Praxis haben Kühlräume ein sehr unterschiedliches Design:

- Der Luftstrom wird behindert durch Regale, Einbauten, Lampen oder Träger unter der Decke.
- Je nach Auslegung wird die Luft im Luftkühler zwischen 2 K und 5 K abgekühlt und erreicht vorzeitig den Ablösepunkt an der Decke.
- Durch eine niedrige Deckenhöhe oder Raumeinbauten wird der eindringende Luftstrahl durch die rückströmende Luft beeinflusst.

3. Aufbau des Berechnungsmodells

An das Berechnungsmodell wurden folgende Anforderungen gestellt:

Berechnung der Ausbreitung eines Luftstrahls in einem vorgegebenen Raum unter Berücksichtigung der Coanda-Effekte, Luftabkühlung und Raumgeometrie.

3.1 Einfluss des Coanda-Flächeneffektes

Der Coanda-Flächeneffekt entsteht, wenn ein Gerät nahe an einer ebenen Fläche, z. B. im Kühlraum unter der Decke, installiert wird. Der Luftstrom legt sich an die ebene Fläche und breitet sich nicht konisch, sondern halbkonisch aus. Dieser Effekt erhöht die Wurfweite um bis zu 40 % (siehe Abbildung 3). Werden die Luftkühler nicht direkt unter der Decke montiert, wird der Coanda-Flächeneffekt nur teilweise oder gar nicht erreicht.

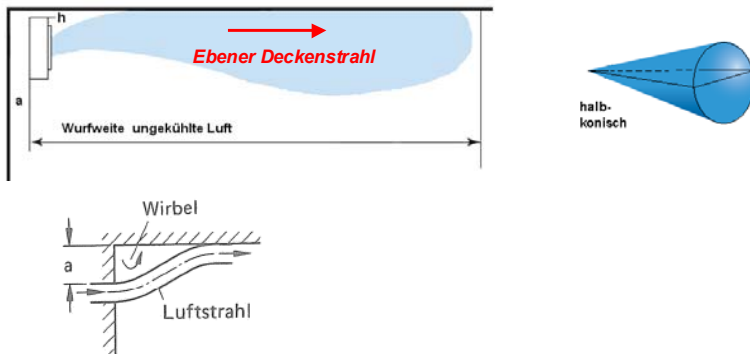
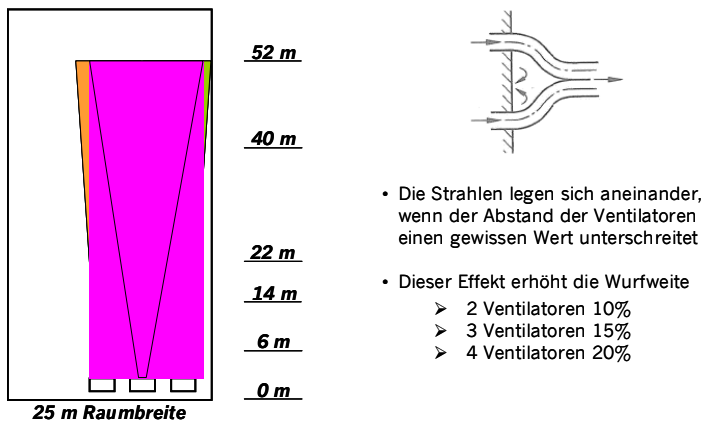


Abbildung 3: Einfluss des Coanda Flächeneffektes

3.2 Einfluss des Coanda-Parallel-Strahlen-Effektes

Werden mehrere Luftkühler dicht nebeneinander montiert, fließt der eindringende Luftstrahl der einzelnen Ventilatoren zusammen. Dieser Effekt erhöht die Wurfweite um 10 - 20 % (siehe Abbildung 4).



Beide Coanda-Effekte sollen in dem Berechnungsmodell für die Ausbreitungsberechnung des Luftstrahls berücksichtigt werden.

3.3 Einfluss der Luftabkühlung

In dem Berechnungsmodell wird neben dem Einfluss der Coanda-Effekte auch der Einfluss der Luftabkühlung berücksichtigt. Im Vergleich zu einer isothermen Luftumwälzung kommt es bei abgekühlter Luft zu einem vorzeitigen Ablösepunkt des Luftstrahls an der Decke. Nach dem Ablösepunkt wird aus dem halbkonischen Deckenstrahl ein nahezu konischer Freistrahl (siehe Abbildung 5). Besonders bei Distanzen über 40 m kann sich die Wurfweite durch Luftabkühlung bis zu 25 % reduzieren (siehe Abbildung 6).

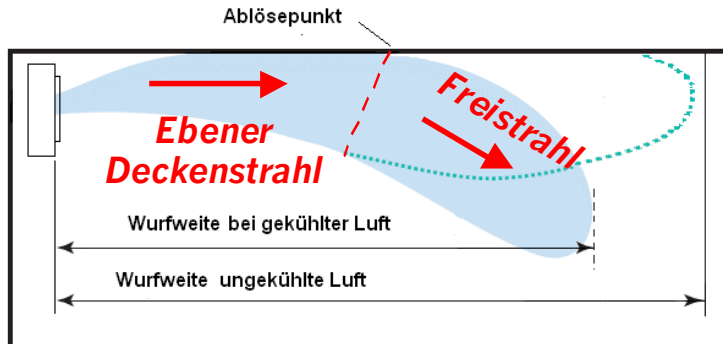


Bild 5: Einfluss der Luftabkühlung auf den Deckenstrahl

Einfluss der Luftabkühlung auf die Wurfweite bei einem definierten Luftkühler

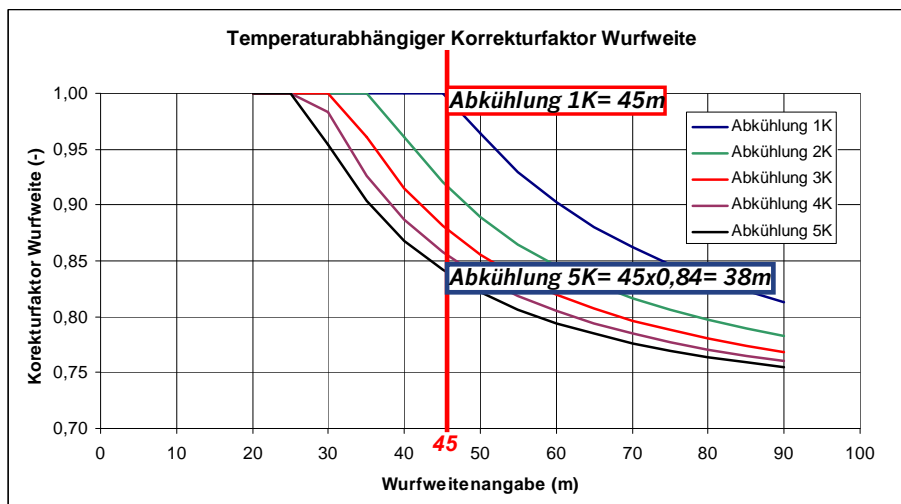


Abbildung 6: Einfluss unterschiedlicher Luftabkühlungen auf die Wurfweite.

Das Berechnungsprogramm berücksichtigt die Temperatur der eingeblasenen Luft im Vergleich zur Raumluft und berechnet den Ablösepunkt x des ebenen Deckenstrahls und die tatsächlich erreichbare Wurfweite.

3.4 Einfluss der Raumgeometrie

Der Querschnitt des Raumes in Längsrichtung des Luftstroms hat Einfluss auf die Eindringtiefe des Luftstrahls.

Der eindringende Luftstrahl breitet sich ellipsenförmig unter der Decke aus und wird besonders bei kleinen Raumquerschnitten mit zunehmendem Abstand vom Luftkühler durch die rückströmende Luft beeinflusst.

Die Berechnungen haben näherungsweise zu folgendem Ergebnis geführt:

Wenn der Querschnitt des einströmenden Luftstrahls ca. 40 % des Raumquerschnitts erreicht, wird die Luftströmung durch die rückströmende Luft gestört und kehrt um (siehe Abb. 7).



Abbildung 7 Raumquerschnitt in Luftrichtung

Das Berechnungsmodell berechnet die Ausbreitungsform des eindringenden Luftstroms näherungsweise als Halbkreis und nicht als Ellipse. Vergleichsmessungen haben gezeigt, dass damit ausreichend genaue Ergebnisse erreicht werden.

Die Höhe des Raumes hat Einfluss auf die Eindringtiefe des Luftstrahls.

Abrisspunkt X

Wenn der Abrisspunkt X des ebenen Deckenstrahls erreicht ist, hat der anschließende Freistrahl nach bisherigen Erkenntnissen noch eine Wirkungstiefe vom ein- bis zweifachen der Raumhöhe (siehe Abbildung 8).

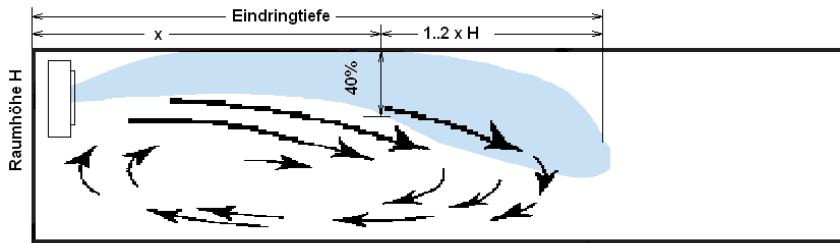


Abbildung 8: Abrisspunkt X und Wirktiefe

Primärwirbel

Die treibende Kraft für den Primärwirbel ist die eingeblassene Luft. Die im Luftstrahl enthaltene Strömungsenergie wird dadurch abgebaut, dass Umgebungsluft aus dem Raum angesaugt und dem Luftstrahl beigemischt wird (Induktion). Das heißt, der Luftstrahl nimmt auf seinem Weg durch den Raum in transportiertem Luftvolumen zu, verliert dabei an Geschwindigkeit, und die unterschiedlichen Temperaturen gleichen sich an (siehe Abbildung 9).

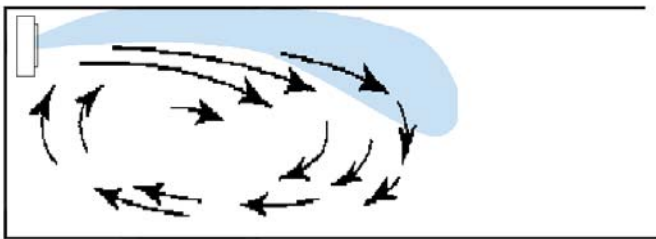


Abbildung 9: Wirklänge des Primärwirbels

Die maximale Ausdehnung des Primärwirbels liegt nach heutiger Erfahrung bei der ca. 3 – 4,5-fachen Raumhöhe, danach ergeben sich Sekundärwirbel.

Primärwirbel und Sekundärwirbel

Ist das Verhältnis der Raumlänge zur Raumhöhe größer als 4,5:1 ist eine einwandfreie Durchströmung des Kühlraums durch den Primärwirbel auszuschließen (siehe Abbildung 10).



Abbildung 10: Primärwirbel und Sekundärwirbel

3.5 Zusammenfassung

Mit dem neuen Berechnungsmodell kann man die Eindringtiefe des Luftstromes in einen Raum individuell bestimmen. Berücksichtigt werden bei der Berechnung

- die Coanda-Effekte,
- die Luftabkühlung
- und die Raumgeometrie.

4. Messungen der Wurfweite mit dem 3 D-Messsystem

Bei der Messung der Wurfweite kommt es darauf an, neben der Luftgeschwindigkeit auch die Luftrichtung zu erfassen. Übliche Messgeräte wie z. B. ein Flügelrad-Anemometer oder ein Thermo-Anemometer sind dafür nicht geeignet. Beide Messmethoden erfassen nur die Strömungsgeschwindigkeit und liefern keine Erkenntnisse darüber, ob es sich um Primär- oder Sekundär-Luftströmungen handelt oder um Turbulenzen im Luftstrom.

Für unsere Messungen haben wir ein neuartiges 3-D-Messsystem verwendet.

Der 3-D-Messsensor (siehe Abbildung 11) ist eine Kugel mit Öffnungen an verschiedenen Stellen. Dieser komplexe Messsensor erfasst sowohl kleinste Luftgeschwindigkeiten wie auch deren Strömungsrichtungen.

Mit einem Computermodell kann eine dreidimensionale Graphik der Luftströmung des eindringenden Luftstrahls erstellt werden (siehe Abbildung 12).

Primär- und Sekundär-Strömungen können eindeutig voneinander abgegrenzt werden.



Abbildung 11: Messsensor des 3D-Messsystems

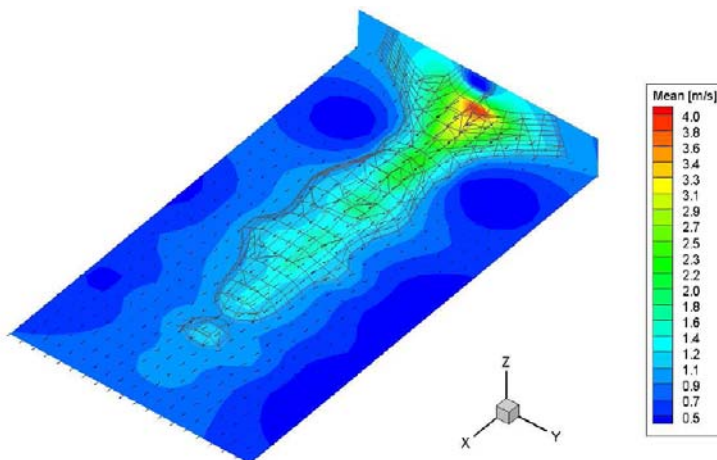


Abbildung 12: Dreidimensionale Grafik der Luftströmungen

5. Vergleich der Messergebnisse mit den Berechnungen

5.1 Vergleichsmessungen der Coanda-Effekte

Erste Vergleichsmessungen zeigen eine gute Übereinstimmung zwischen den berechneten Daten aus dem neuen Berechnungsprogramm und den Messdaten mit dem 3-D-Messsystem. Der Einfluss des Coanda-Flächeneffektes wird vom Berechnungsprogramm ausreichend gut erfasst (siehe Abbildung 13).

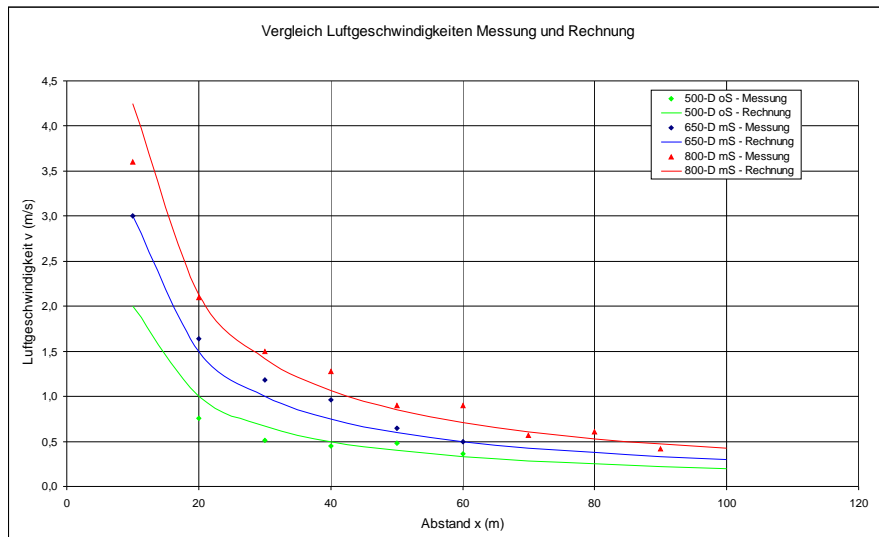


Abbildung 13: Vergleich Messungen / Berechnungen

Der Coanda-Parallel-Strahleneffekt wird ausreichend gut erfasst (siehe Abbildung 14)

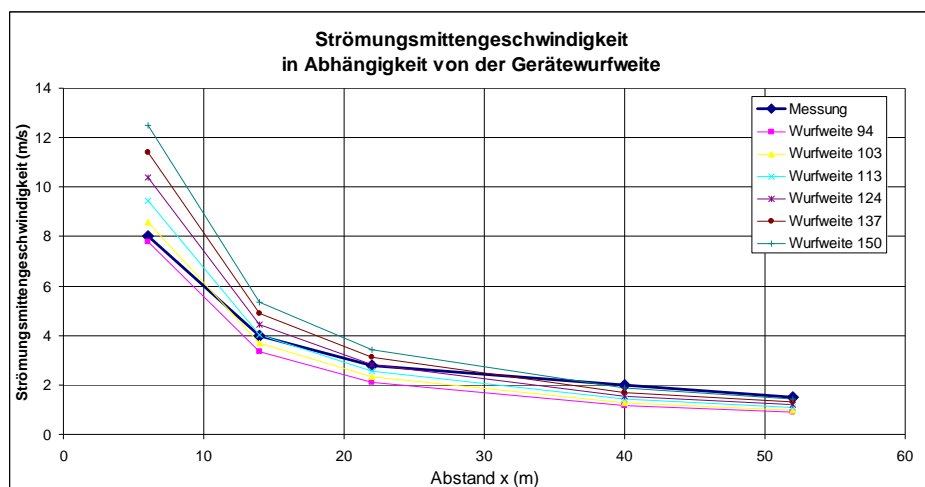
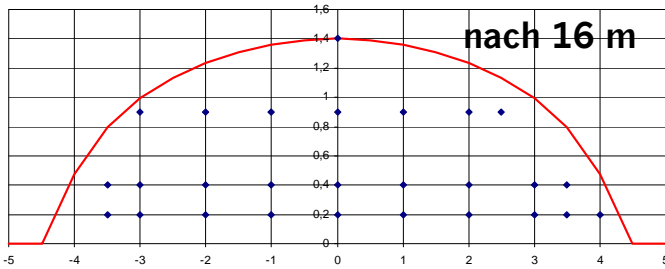


Abbildung 14: Vergleich Messungen / Berechnungen

5.2 Vergleichsmessungen des Luftstromprofils

Das Luftstromprofil wurde nach 5 m Entfernung und nach 16 m Entfernung gemessen. Die Abweichung zwischen der gemessenen Fläche (halbe Ellipse) und der Berechneten Fläche (halber Kreis) sind sehr gering. Auch in diesem Punkt ist das Berechnungsmodell ausreichend genau.



Messung:

- Halbe Ellipse – 10,4 m²

Rechnung:

- Halber Kreis – 10,6 m²

5.3 Zusammenfassung

Das entwickelte Berechnungsmodell liefert zuverlässige Anhaltswerte für die Ermittlung der tatsächlichen Eindringtiefe eines Luftstrahls in einen definierten Raum.

Sowohl die Coanda-Effekte wie auch die Luftabkühlung und die Raumgeometrie haben zum Teil erheblichen Einfluss auf die Eindringtiefe des Luftstrahls bzw. die Wurfweite der Luftkühler.

Alle o. g. Faktoren werden vom Berechnungsprogramm erfasst und deren Einfluss nach unseren bisherigen Erkenntnissen ausreichend genau berechnet.

5.4 Ausblick

Für die Abschätzung der Genauigkeit des Berechnungsmodells müssen noch weitere Messungen durchgeführt werden. Diese Messungen sollen nicht nur im Labor, sondern auch in der Praxis erfolgen.

Danach steht das Berechnungsprogramm im Hause Güntner zur Verfügung.

Unseren Kunden können wir dann in einzelnen Fällen eine wesentlich bessere Abschätzung der Eindringtiefe eines Luftstrahls in einen definierten Kühlraum geben.

Literaturverzeichnis

- Recknagel Sprenger Schramek ,
- Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik 03/04
- Entwurf ENV 328
- Systemair@com: Theorie Lüftung