

## **Publication professionnelle**

### ***L'influence de la forme géométrique du local et du refroidissement de l'air sur la portée d'air des frigorifères***



*Ing. dipl. Heinz Jackmann  
Directeur de la division  
Réfrigération Industrielle*

#### Sujet principaux:

- Portée d'air d'un frigorifère: valeurs mesurées sous conditions idéales contre conditions réelles
- Description du développement du modèle de calcul qui tient en compte l'impact des paramètres suivants : effet Coandă, refroidissement de l'air et forme géométrique du local
- Comparaison des résultats des mesures avec les calculs théoriques du nouveau modèle de calcul

## Résumé

La portée d'air d'un frigorifère est définie par la distance au frigorifère, pour laquelle il est encore possible de mesurer, au centre du jet d'air pénétrant, une vitesse minimale d'air de 0,5 m/s. Reposant sur des mesures établies sous des conditions idéales, les données des fiches techniques des fabricants ne tiennent pas compte de l'impact de la forme géométrique du local, ni de la température de l'air pulsé vers l'intérieur.

Les portées d'air indiquées dans les fiches techniques ne sont souvent pas atteintes dans la pratique, à cause de faibles hauteurs de locaux qui réduisent la portée ou encore par la différence de température entre le jet d'air pénétrant et l'air ambiant, qui induit un détachement prématuré de l'écoulement laminaire au plafond.

Fort de ces raisons, nous avons conçu un modèle de calcul, basé sur des calculs théoriques et des mesures en laboratoire, qui permet de calculer individuellement la profondeur de pénétration du jet d'air en fonction des spécificités du local. Ce modèle de calcul tient non seulement compte de la forme géométrique du local, mais aussi de l'impact de la faible température de l'air soufflé.

La technique de mesure doit répondre à de hautes exigences pour définir la portée d'air dans un local. Lors de nos mesures en laboratoire, effectuées avec des méthodes modernes, nous avons enregistré la vitesse et la direction du flux de l'air à chaque point de mesure pour en déduire, après évaluation, un modèle d'écoulement de l'air.

La présentation vous montre l'influence découlant de la forme géométrique du local et du refroidissement de l'air sur la portée d'air des frigorifères, ainsi qu'une comparaison des mesures réelles et des résultats de notre modèle de calcul.

**Mots-clés** : portée d'air, forme géométrique du local, refroidissement de l'air, effet Coandă, profondeur de pénétration

## Introduction

Pour planifier des chambres réfrigérées, les clients ont besoin de données relatives à la profondeur de pénétration des jets d'air générés par les frigorifères. La profondeur de pénétration est en règle générale désignée par la portée d'air d'un frigorifère. Les indications des fabricants portant sur la portée d'air reposent sur des mesures et des calculs théoriques pour des conditions idéales dans de grands locaux (le local est plus grand que la portée d'air, recirculation isotherme de l'air s'effectue sans refroidissement, absence d'obstacles perturbateurs).

Les influences de la disposition des frigorifères, de la forme géométrique du local, du refroidissement de l'air et des éléments installés ne peuvent pas être prises en compte pour les données des fiches techniques des fabricants, parce que les données spécifiques des locaux ne sont pas connues.

Les portées indiquées dans les fiches techniques ne sont ainsi que des données indicatives, devant être adaptées aux spécificités des chambres réfrigérées.

Ces valeurs sont néanmoins souvent prises en compte sans correction dans beaucoup de planifications, ce qui entraîne que les portées de jet d'air prévues dans les locaux ne sont pas atteintes dans certains cas.

L'estimation des portées d'air réellement atteintes dans la pratique requiert des connaissances détaillées des locaux et des températures ainsi qu'une bonne expérience.

Pour atteindre une meilleure sécurité de planification lors de l'estimation de la portée d'air, nous avons conçu un modèle de calcul qui tient compte des impacts des effets Coandă, du refroidissement de l'air et de la forme géométrique des locaux.

Ce logiciel de calcul permet d'approcher de très près la profondeur de pénétration réelle du jet d'air dans un local défini, en fonction du frigorifère sélectionné.

## 1 Mission et objectif

### 1.1 Mission

Création d'un logiciel de calcul pour définir la propagation d'un jet d'air dans un local défini, en tenant compte des effets Coandă, du refroidissement de l'air et de la forme géométrique du local.

### 1.2 Mesures des écoulements de l'air

Mesures et indications des vitesses et des directions d'écoulements de l'air à l'intérieur d'un jet d'air pénétrant. Modélisation numérique des résultats des mesures.

### 1.3 Comparaison des résultats des mesures

Comparaison des résultats des mesures avec les calculs théoriques du nouveau modèle de calcul.

### 1.4 Objectif

Création d'un logiciel de calcul, capable de définir les portées d'air de différents frigorifères en fonction des spécificités de différents locaux, avec prise en compte des influences découlant de la disposition du frigorifère, du refroidissement de l'air et de la forme géométrique du local.

## 2. Portées d'air et état de l'art

### 2.1 Que signifie la portée d'air d'un frigorire

Selon la définition actuelle, la portée d'air est la distance entre le frigorire et le point le plus éloigné d'un jet d'air pénétrant, auquel la vitesse finale mesurée d'écoulement de l'air présente encore une valeur minimale de 0,5 m/s (voir fig. 1).

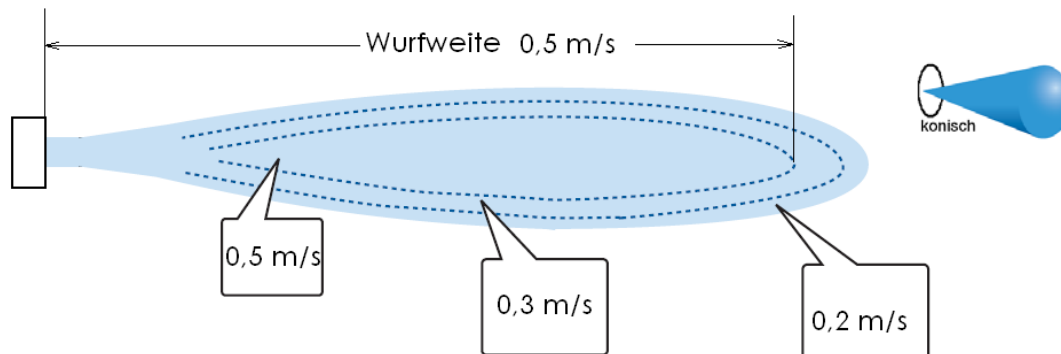


Figure 1 : Définition de la portée d'air d'un frigorire

Portée d'air	Wurfweite
conique	konisch

### 2.2 Mesure classique de la portée d'air

Pour définir la portée d'air, le frigorire est monté sur une surface plane (sur le sol ou au plafond). Après activation du ventilateur du frigorire, on détermine la couche limite du flux d'air dont la vitesse minimale d'écoulement de l'air est de 0,5 m/s.

Pour atteindre à coup sûr la longueur maximale possible de la portée d'air, les mesures sont effectuées dans des locaux dont la longueur est en tout cas supérieure à la portée possible. Ces locaux souvent hauts et larges sont en règle générale exempts de facteurs négatifs pour la propagation du jet d'air, comme par exemple, un courant d'air inverse causé par des obstacles. Le refroidissement de l'air est également négligé. La portée d'air ainsi déterminée est la portée maximale possible selon l'ébauche de la norme « VDI-Entwurf 328 ».

Effectuées en règle générale avec des instruments qui mesurent uniquement la vitesse de l'air sans considérer sa direction, de telles mesures fournissent bien sûr des valeurs indicatives pour une possible profondeur de pénétration d'un jet d'air, mais elles sont très théoriques et ne reflètent souvent pas la réalité de l'écoulement de l'air dans un local réfrigéré (voir fig. 2).

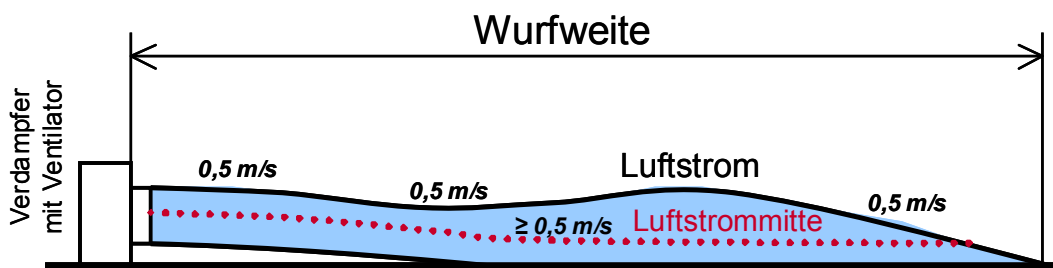


Figure 2 : Mesure de la portée d'air à l'aide de procédés classiques

vaporateur avec ventilateur	Verdampfer mit Ventilator
Portée d'air	Wurfweite
Flux d'air	Luftstrom
Centre du flux d'air	Luftstrommitte

### 2.3 Pourquoi est-ce que les portées d'air ne sont souvent pas atteintes dans la pratique ?

Les chambres réfrigérées présentent souvent des caractéristiques très différentes dans la pratique :

- L'écoulement de l'air est perturbé par des étagères, des éléments, des lampes ou des traverses au plafond.
- Selon la conception, l'air est refroidi de 2 K à 5 K dans le frigorifère et atteint ainsi prématurément le point de décollement au plafond.
- La faible hauteur du plafond et les éléments installés dans le local engendrent une perturbation du jet d'air pénétrant par le courant inverse.

### 3. Structure du modèle de calcul

Le modèle de calcul doit remplir les conditions suivantes :

Calcul de la propagation d'un jet d'air dans un local prédéfini, en tenant compte des effets Coandă, du refroidissement de l'air et de la forme géométrique du local.

#### 3.1 Impact de l'effet Coandă

L'effet Coandă survient lorsqu'un appareil est installé à proximité d'une surface plane, comme par exemple le plafond. Le jet d'air suit alors cette surface et subit une déviation qui lui fait perdre sa forme conique d'origine pour devenir semi-conique. Cet effet augmente la portée d'air jusqu'à 40 % (voir fig. 3). Si les frigorifères ne sont pas montés directement sous le plafond, l'effet Coandă n'est atteint que partiellement ou pas du tout.

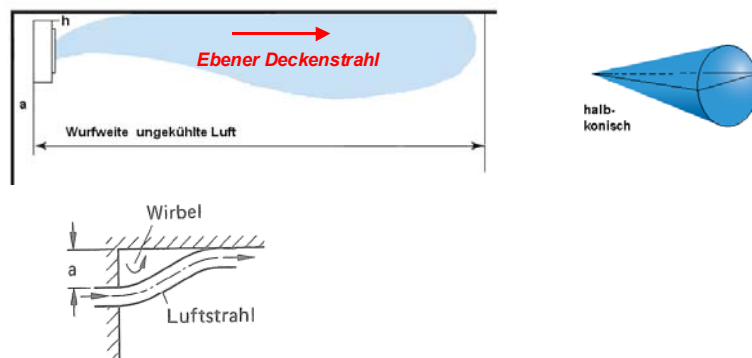


Figure 3 : Impact de l'effet Coandă

Jet plan au niveau du plafond	<i>Ebener Deckenstrahl</i>
Portée d'air non refroidi	<i>Wurfweite ungekühlte Luft</i>
semi-conique	<i>Halbkonisch</i>
Tourbillon	<i>Wirbel</i>
Jet d'air	<i>Luftstrahl</i>

### 3.2 Impact de l'effet Coandă sur des jets parallèles

Si plusieurs frigorifères sont montés côte à côte, les jets d'air générés par les ventilateurs individuels se rejoignent. Cet effet augmente la portée d'air de 10 à 20 % (voir fig. 4).

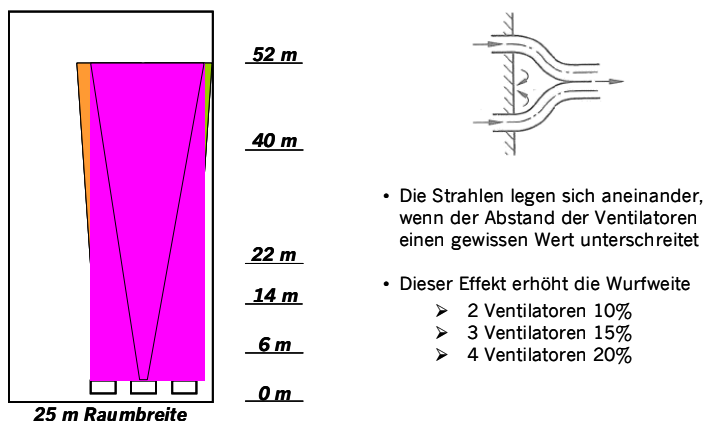


Figure 4 : Impact de l'effet Coandă sur des jets parallèles

Les deux cas de figure de l'effet Coandă doivent être pris en compte pour le calcul de la propagation du jet d'air.

Largeur du local 25 m	25 m Raumbreite
Les jets se rejoignent si l'écart des ventilateurs est inférieur à une certaine valeur.	Die Strahlen legen sich aneinander, wenn der Abstand der Ventilatoren einen gewissen Wert unterschreitet.
Cet effet augmente la portée d'air	Dieser Effekt erhöht die Wurfweite
x ventilateurs x %	x Ventilatoren x %

### 3.3 Impact du refroidissement de l'air

Outre les effets Coandă, le modèle de calcul tient également compte de l'influence du refroidissement de l'air. Comparé à une recirculation d'air isotherme, le jet d'air refroidi atteint prématurément un point de décollement au niveau du plafond. Le jet d'air semi-conique initial au niveau du plafond se détache après le point de décollement et devient alors presque un jet conique libre (voir fig. 5).

La réduction de la portée d'air découlant du refroidissement peut atteindre 25 % pour des distances supérieures à 40 m (voir fig. 6).

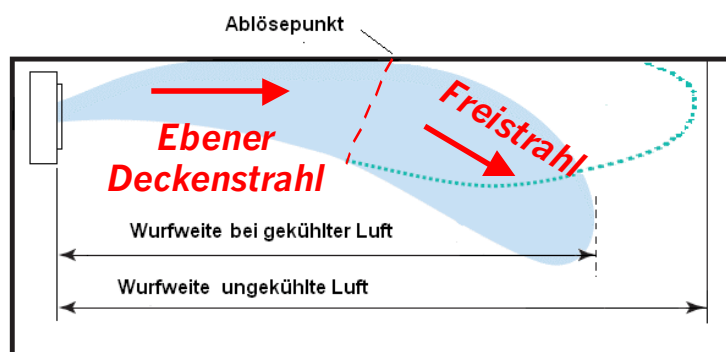


Figure 5 : Impact du refroidissement de l'air sur le jet d'air au niveau du plafond

Point de décollement	Ablösepunkt
Jet plan au niveau du plafond	Ebener Deckenstrahl
Jet libre	Freistrah
Portée d'air refroidi	Wurfweite bei gekühlter Luft
Portée d'air non refroidi	Wurfweite ungekühlte Luft

## Einfluss der Luftabkühlung auf die Wurfweite bei einem definierten Luftkühler

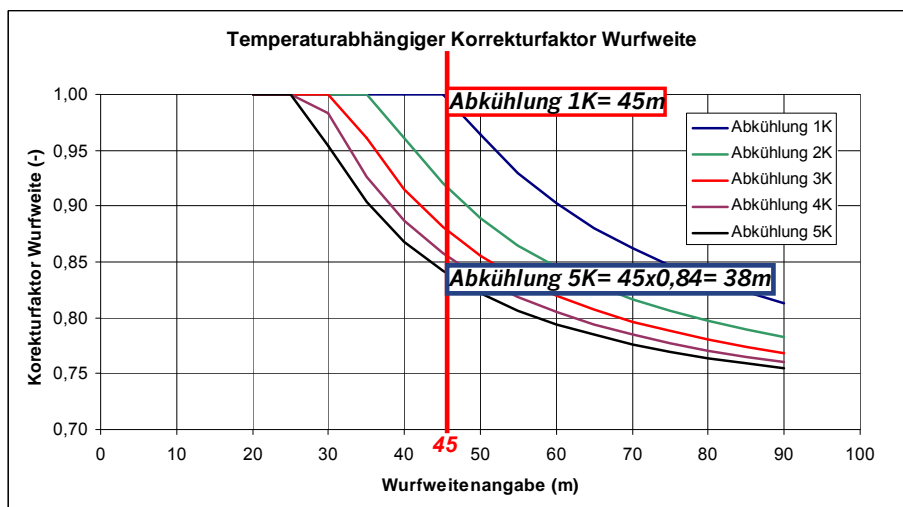


Figure 6 : Impact des divers refroidissements d'air sur la portée.

Impact du refroidissement de l'air sur la portée en fonction d'un frigorifère défini	Einfluss der Luftabkühlung auf die Wurfweite bei einem definierten Luftkühler
Coefficient de correction pour la portée d'air en fonction de la température	Temperaturabhängiger Korrekturfaktor Wurfweite
Coefficient de correction pour la portée d'air	Korrekturfaktor Wurfweite
Refroidissement de 1 K	Abkühlung 1K
Portée d'air (m)	Wurfweitenangabe (m)

En tenant compte de la différence de température du jet d'air et de la température ambiante, le logiciel de calcul définit le point de décollement  $x$  du jet plan au niveau du plafond et calcule ainsi la portée d'air réelle.

### 3.4 Impact de la forme géométrique du local

La section longitudinale du local par rapport à l'axe du flux d'air conditionne la profondeur de pénétration du jet d'air.

Le jet d'air pénétrant se propage sous le plafond en forme elliptique en étant de plus en plus influencé par le courant inverse, à mesure que la distance d'éloignement du frigorifère augmente, cela étant particulièrement valable pour les petites sections de local.

Les calculs ont conduit au résultat rapproché suivant :

Lorsque la section du jet d'air pénétrant atteint 40 % de la section du local, alors l'écoulement de l'air est perturbé par le courant d'air inverse, ce qui a pour effet de renverser la direction du flux d'air (voir fig. 7).



Figure 7 : Section du local dans le sens du flux d'air

Largeur du local B	Raumbreite B
Hauteur du local H	Raumhöhe H
Espace pour l'écoulement inverse de l'air	Platz für rückströmende Luft
Couche limite de vitesse 5 m/s	Grenzschicht mit Geschwindigkeit von .5 m/s

Pour calculer la forme de propagation du jet d'air pénétrant, le modèle de calcul effectue un calcul rapproché en considérant cette forme de propagation comme un demi-cercle et non comme une ellipse. Ainsi on peut atteindre des résultats de précision suffisante, comme l'ont montré de nombreuses mesures de comparaison.

La hauteur du local influence la profondeur de pénétration du jet d'air.

#### Point de décollement X

Selon les connaissances actuelles, la profondeur résiduelle du jet d'air libre, qui suit l'atteinte du point de décollement X du jet d'air plan au niveau du plafond, se situe entre une à deux fois la valeur de la hauteur du local (voir fig. 8).

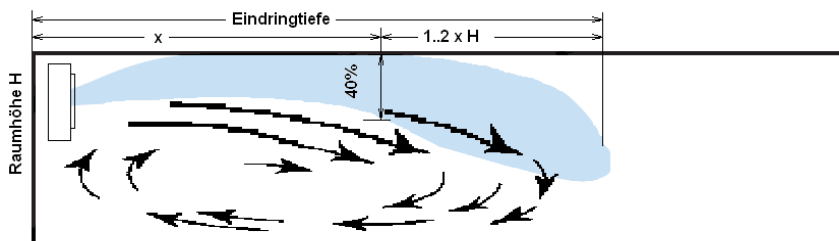


Figure 8 : Point de décollement X et profondeur de pénétration résiduelle

Profondeur de pénétration	Eindringtiefe
Hauteur du local H	Raumhöhe H

#### Tourbillon primaire

La formation du tourbillon primaire est engendrée par la force de l'air soufflé vers l'intérieur. Ce phénomène a pour effet de dégrader l'énergie d'écoulement contenue dans le jet d'air, ce qui provoque une aspiration de l'air ambiant qui est ainsi mélangé au jet d'air (induction). Cela signifie que lors de son cheminement à travers le local, le jet d'air gagne en volume d'air véhiculé, ce qui lui fait perdre de la vitesse et qui engendre un équilibrage progressif des différentes températures (voir fig. 9).

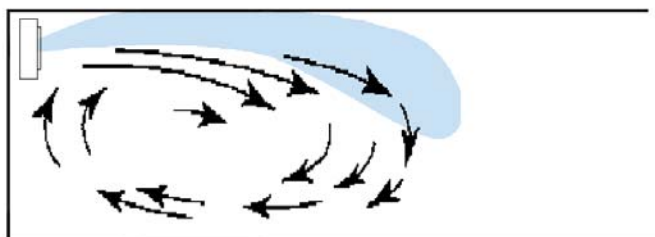


Figure 9 : Longueur d'action du tourbillon primaire

Selon notre expérience actuelle, le tourbillon primaire se propage sur une distance de 3 à 4,5 fois la hauteur du local et est ensuite suivi par la formation de tourbillons secondaires.

#### Tourbillon primaire et secondaire

Si le rapport de la longueur et de la hauteur du local est supérieur à 4,5 : 1, alors l'écoulement laminaire impeccable à travers le local est exclu (voir fig. 10).



Figure 10 : Tourbillon primaire et secondaire

### 3.5. Synthèse

Le nouveau modèle de calcul permet de définir individuellement la profondeur de pénétration d'un flux d'air dans un local.

Le calcul tient compte

- des effets Coandă,
- du refroidissement de l'air et
- de la forme géométrique du local.

### 4. Mesures de la portée d'air avec un système de mesure 3D

Lors de la mesure de la portée d'air, il est non seulement nécessaire de mesurer la vitesse de l'air, mais également sa direction. Les appareils de mesure classiques, comme par exemple, un anémomètre à moulinet ou thermique, ne sont pas appropriés pour cela.

Les deux méthodes précitées mesurent en effet uniquement la vitesse d'écoulement de l'air, sans montrer s'il s'agit de flux primaires ou secondaires, ou encore de turbulences.

Nos mesures ont été réalisées avec un nouveau genre de système de mesure 3D.

Son capteur de mesure complexe 3D (voir fig. 11) est une sphère comportant plusieurs orifices, capable de relever les plus petites vitesses de l'air ainsi que leurs directions.

Une modélisation numérique permet d'élaborer un graphique tridimensionnel de l'écoulement de l'air d'un jet d'air pénétrant (voir fig. 12).

Les flux primaires et secondaires sont clairement différenciables.



Figure 11 : Capteur de mesure du système de mesure 3D

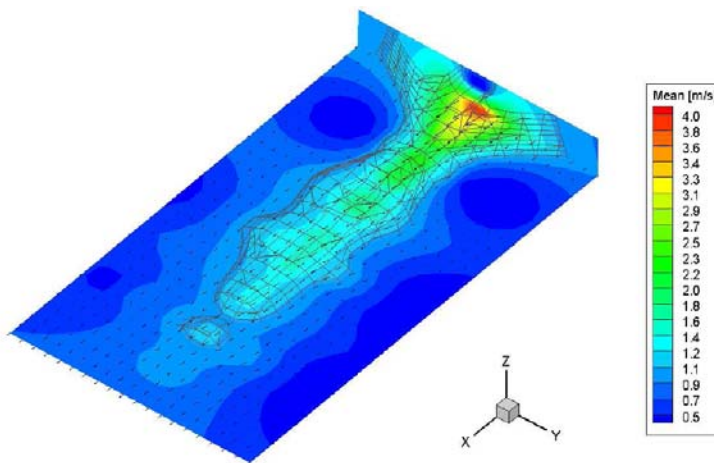


Figure 12 : Graphique tridimensionnel des flux d'air

## 5. Comparaison des résultats de mesure et des calculs

### 5.1 Mesures de comparaison des effets Coandă

Les premières mesures de comparaison montrent une bonne concordance entre les résultats du nouveau logiciel de calcul et les données des mesures effectuées avec le système de mesure 3D.

L'influence de l'effet Coandă est suffisamment prise en compte par le logiciel de calcul (voir fig. 13).



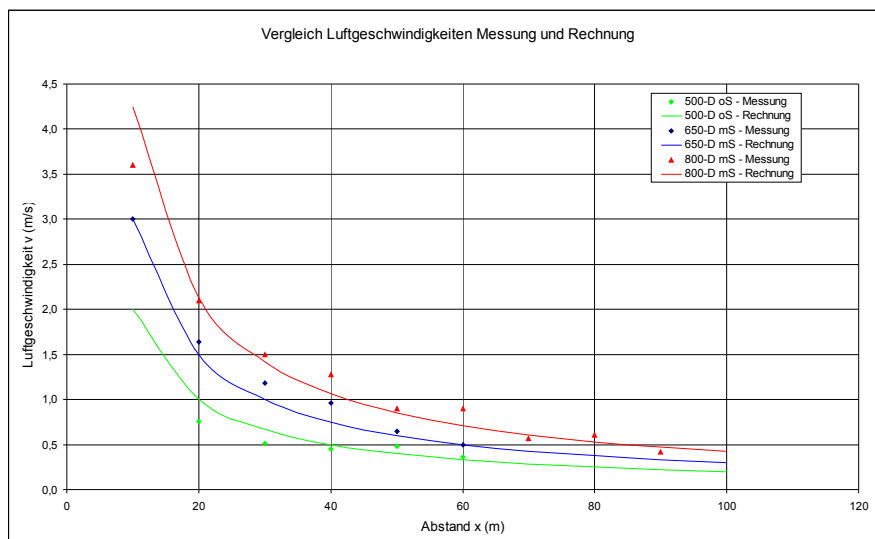


Figure 13 : Comparaison des mesures et des résultats de calcul

<i>Comparaison de la vitesse de l'air mesurée et calculée</i>	<i>Vergleich Luftgeschwindigkeit Messung und Rechnung</i>
<i>Vitesse de l'air</i>	<i>Luftgeschwindigkeit</i>
<i>Distance</i>	<i>Abstand</i>
<i>mesure</i>	<i>Messung</i>
<i>calcul</i>	<i>Rechnung</i>

La prise en compte de l'effet Coandă de jets parallèles est satisfaisante (voir fig. 14)

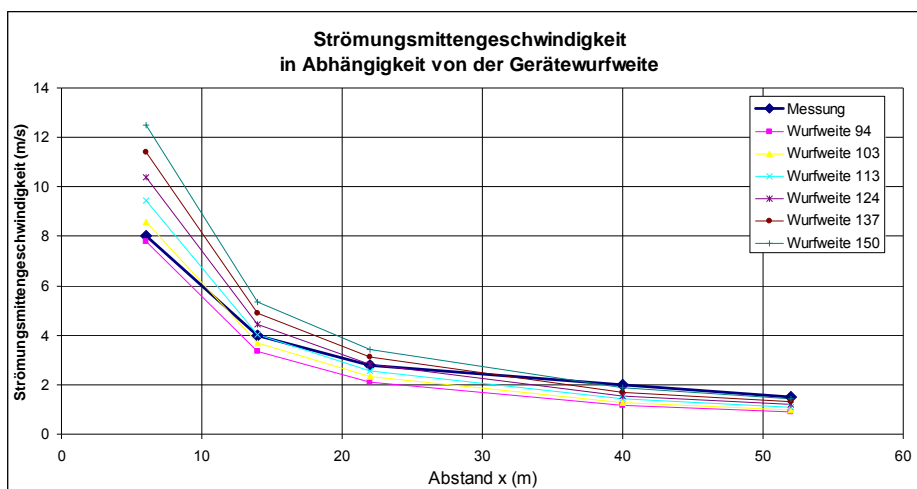


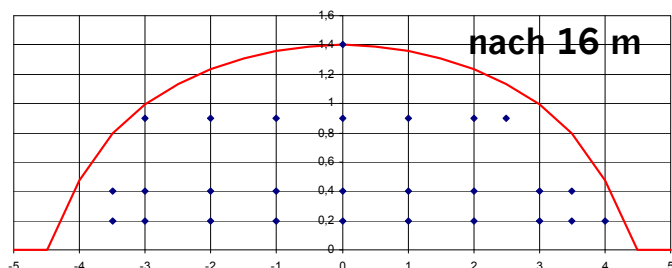
Figure 14 : Comparaison des mesures et des résultats de calcul

<i>Vitesses d'écoulements d'air en fonction de portées d'air d'appareils</i>	<i>Strömungsgeschwindigkeiten in Abhängigkeit von der Gerätewurfweite</i>
<i>Vitesse du centre de l'écoulement d'air</i>	<i>Strömungsmittengeschwindigkeit</i>
<i>Distance</i>	<i>Abstand</i>
<i>Mesure</i>	<i>Messung</i>
<i>Portée d'air</i>	<i>Wurfweite</i>

## 5.2 Mesures de comparaison du profil d'écoulement de l'air

Mesurée à une distance de 5 m et de 16 m, la surface du profil de l'écoulement de l'air mesurée (semi-elliptique) n'est que légèrement différente de celle calculée (demi-cercle).

Ceci montre que le modèle de calcul est également suffisamment précis sur ce point.



**Messung:**

- Halbe Ellipse – 10,4 m<sup>2</sup>

**Rechnung:**

- Halber Kreis – 10,6 m<sup>2</sup>

Figure 15 : Comparaison des mesures et des résultats de calcul

Après 16 m	Nach 16 m
Mesure :	Messung:
surface semi-elliptique	Halbe Ellipse
Calcul :	Rechnung:
surface en demi-cercle	Halber Kreis

## 5.3. Synthèse

Le modèle de calcul développé fournit des valeurs de référence fiables pour déterminer la profondeur de pénétration réelle d'un jet d'air dans un local défini.

Les effets Coandă, le refroidissement de l'air et la forme géométrique du local exercent une influence considérable sur la profondeur de pénétration du jet d'air ou encore sur la portée d'air des frigorifères.

Le logiciel de calcul tient compte de tous les facteurs précités et calcule leurs influences de manière suffisamment précise selon nos connaissances actuelles.

## 5.4 Perspective

D'autres mesures doivent encore être effectuées pour affiner l'appréciation de l'exactitude du modèle de calcul.

Ces mesures seront effectuées en laboratoire et dans la pratique.

Après évaluation et traitement des résultats obtenus, le logiciel de calcul sera disponible chez Güntner.

Nos clients pourront alors profiter d'une estimation beaucoup plus précise de la profondeur de pénétration d'un jet d'air dans un local défini.

## Bibliographie

- Recknagel Sprenger Schramek, Manuel pratique du génie climatique 03/04 (version allemande)
- Ébauche ENV 328
- Systemair@com : Theorie Lüftung (Théorie de la ventilation)