

Het effect van luchtbeweging op de gemeten K-waarde van koelvoertuigen

Ir. Aart-Jan van der Voort, Dr. ir. Leo Lukasse

Rapport nr. 418

Abstract

The K-value of a normally insulated (FNA) vehicle has been measured at different air flows in order to gain quantitative insight in the effect of air flow on the measured K-value of insulated vehicles. By means of interpolation the K-value has been estimated that would be measured at the minimum and maximum norms for air flow as prescribed in the ATP. From this study it appears that variation in air flow within the ATP norms may give rise to variations in measured K-value of up to 6% for normally insulated (FNA) vehicles. For heavily insulated vehicles (FRC) this will be limited to about 4%. During standard measurements in our designated Dutch ATP testing station the air flow is just above the minimum norms.

Colofon

Titel	Het effect van luchtbeweging op de gemeten K-waarde van koelvoertuigen.
Auteur(s)	Ir. Aart-Jan van der Voort, Dr. ir. Leo Lukasse
A&F nummer	418
ISBN-nummer	90-6754-916-9
Publicatiedatum	15 April 2005
Vertrouwelijk	Nee
OPD-code	04/029
Goedgekeurd door	Ir. Aart-Jan van der Voort

Agrotechnology & Food Innovations B.V.
P.O. Box 17
NL-6700 AA Wageningen
Tel: +31 (0)317 475 024
E-mail: info.agrotechnologyandfood@wur.nl
Internet: www.agrotechnologyandfood.wur.nl

© Agrotechnology & Food Innovations B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, hetzij mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever. De uitgever aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele fouten of onvolkomenheden.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system of any nature, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of the publisher. The publisher does not accept any liability for inaccuracies in this report.



Het kwaliteitsmanagementsysteem van Agrotechnology & Food Innovations B.V. is gecertificeerd door SGS International Certification Services EESV op basis van ISO 9001:2000.

Inhoudsopgave

<u>Abstract</u>	2
1 <u>Inleiding</u>	4
2 <u>Theorie</u>	4
3 <u>Methoden</u>	5
4 <u>Resultaten</u>	6
5 <u>Discussie</u>	6
5.1 <u>K-waarden bij minimum en maximum ATP-normen voor luchtbeweging</u>	6
5.2 <u>Spreiding in gemeten K-waarden</u>	7
5.3 <u>Effect van luchtsnelheden op K-meting bij zwaar geïsoleerde voertuigen (FRC).</u>	7
6 <u>Conclusies</u>	8
7 <u>Literatuur</u>	8
8 <u>Samenvatting</u>	9
9 <u>Dankbetuiging</u>	9
10 <u>Bijlage 1, kalibratiecertificaat gebruikte luchtsnelheidsmeter.</u>	10

1 Inleiding

De isolatiewaarde van een willekeurige wand is mede afhankelijk van de luchtbeweging aan beide zijden van die wand (Fig. 1). Bij meting van de K-waarde ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{C}^{-1}$) van een koelvoertuig wordt de gemeten K-waarde dan ook mede bepaald door de luchtbeweging rondom en in het voertuig. Doel van dit onderzoek is om experimenteel te kwantificeren hoe groot de invloed is van luchtbeweging op gemeten K-waarde.

2 Theorie

De weerstand tegen warmtestroming van een willekeurige wand is schematisch weergegeven in Fig. 1. Hierin is R_{wand} de warmteweerstand van de wand zelf. $R_{0,\text{intern}}$ en $R_{0,\text{extern}}$ zijn de weerstanden van de stilstaande luchtlagen (grenslagen) aan beide zijde van de wand. De K-waarde van een wand is een functie van de weerstanden volgens:

$$R = R_{0,\text{intern}} + R_{\text{wand}} + R_{0,\text{extern}} \quad [\text{m}^2\cdot\text{C}\cdot\text{W}^{-1}] \quad (1)$$

$$K = \frac{1}{R} = \frac{1}{R_{0,\text{intern}} + R_{\text{wand}} + R_{0,\text{extern}}} \quad [\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{C}^{-1}] \quad (2)$$

Gevoelsmatig is het meteen duidelijk dat bij meer luchtbeweging aan een wandoppervlak de grenslaag dunner wordt en dus weerstand R_0 daalt en daardoor K toeneemt. Voor een meer theoretische onderbouwing van de relatie tussen grenslaagweerstand en lichtsnelheden zie bijv. Berjan (1993).

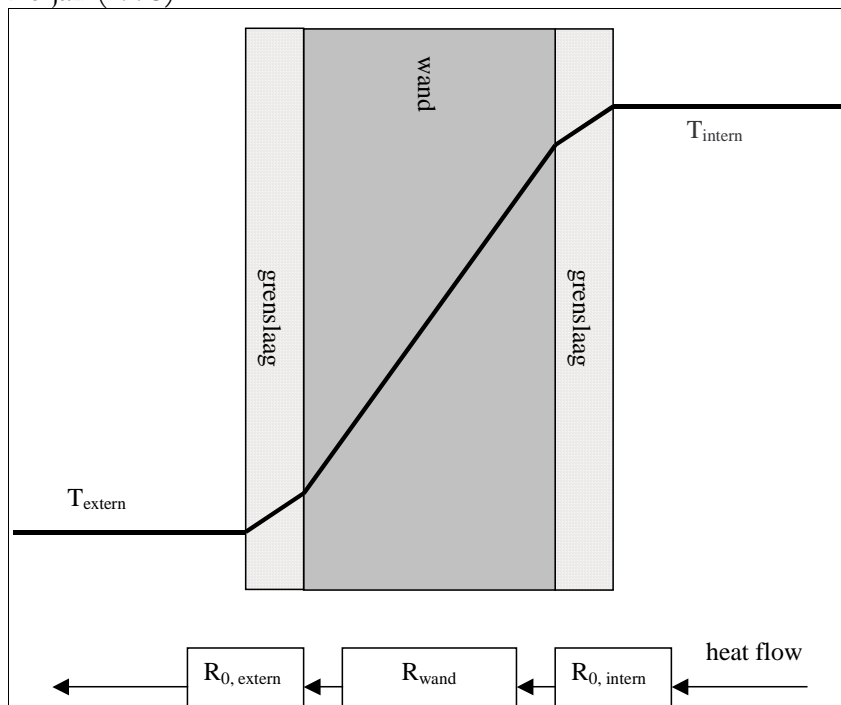


Fig. 1, schematisch overzicht warmtestroming door een wand.

Om de meetresultaten van de ATP-teststations onderling uitwisselbaar te maken zijn er twee voorschriften m.b.t. luchtbeweging opgenomen in het ATP meetprotocol (ATP, 2003):

- a) luchtsnelheid op 10 cm van alle buitenzijden moet liggen tussen 1 en 2 m/s (ATP, annex 1, appendix 2, paragraph 9).
- b) intern circulatievoud moet liggen tussen 40 en 70 (m³/h).(m⁻³ laadruim) (ATP, annex 1, appendix 2, paragraph 10).

3 Methodes

In de erkende ATP testfaciliteit te Wageningen is de K-waarde gemeten aan een normaal geïsoleerd koelvoertuig (FNA-klasse) bij verschillende luchtbewegingen. Fig. 2 toont het type koelvoertuig, maar niet het exacte exemplaar, zoals gebruikt tijdens de experimenten.



Fig. 2, tijdens experimenten gebruikte type koelvoertuig.

In de experimenten zijn de luchtbewegingen gevarieerd binnen de extremen die haalbaar zijn in de Wageningse ATP testfaciliteit. Alle metingen vonden plaats in een tijdsbestek van een week (1 april '05 – 8 april '05). Zie Tabel 1 voor de proefopzet.

Tabel 1, proefopzet

experiment	luchtbeweging extern	luchtbeweging intern
1	standaard	standaard
2	maximaal	maximaal
3	minimaal	minimaal
4	maximaal	norm

De keuze om het luchtsnelheidseffect te meten aan een normaal geïsoleerd voertuig is ingegeven door het feit dat het effect van luchtsnelheid groter wordt naarmate de wandisolatie R_{wand} kleiner (K-waarde groter) is. Dat het effect van luchtsnelheid afneemt bij toenemende R_{wand} blijkt uit vgl. 1. Bij een zwaar geïsoleerd voertuig is $R_{0,intern} + R_{0,extern}$ maar een klein deel van de totale weerstand R , en kan dus ook maar een klein deel van R beïnvloed worden door luchtsnelheid. Bij een normaal geïsoleerd voertuig kan $R_{0,intern} + R_{0,extern}$ een veel groter aandeel van de totale weerstand R worden, en is dus ook een groter aandeel van R blootgesteld aan de invloed van luchtsnelheid. Bij meting aan een normaal geïsoleerd voertuig zullen de effecten van luchtsnelheden dus het beste meetbaar zijn.

Tijdens ieder experiment worden op een groot aantal plaatsen rondom het voertuig de luchtsnelheden gemeten met een Testo400-logger met hittekogelsonde, recent herleidbaar naar internationale standaards gekalibreerd (zie bijlage 1, blz. 10).

4 Resultaten

Tijdens alle vier de experimenten zijn de luchtsnelheden handmatig gemeten op een groot aantal plaatsen rondom het voertuig (op 10 cm afstand van wanden, vloer en dak). De gemeten experimentele condities zijn samengevat in Tabel 2.

Tabel 2, gemeten experimentele condities

experiment	gemiddelde luchtsnelheid extern v_{ext} (m/s)	gemiddelde luchtsnelheid intern (m/s)	intern circulatievoud C_{int} (h ⁻¹)
1	1.3	0.4	46
2	2.1	1.7	148
3	0.2	< 0.05	10
4	2.1	0.4	46

De K-waarden gemeten in de verschillende experimenten zijn weergegeven in Tabel 3.

Tabel 3, gemeten K-waarden

experiment	luchtbeweging extern	luchtbeweging intern	K (W.m ⁻² .°C ⁻¹)
1	standaard	standaard	0.588
2	maximaal	maximaal	0.651
3	minimaal	minimaal	0.553
4	maximaal	standaard	0.610

5 Discussie

5.1 K-waarden bij minimum en maximum ATP-normen voor luchtbeweging

De metingen in Tabel 3 zeggen nog niet rechtstreeks iets over de K-waarde die gemeten zou worden met luchtbeweging op de minimum- en maximumnormen voor luchtbeweging in het

ATP (hfst. 2). Om daar een uitspraak over te kunnen doen is een lineair model gefit op de metingen uit Tabel 2 en Tabel 3:

$$\hat{K} = p_1 + p_2 * v_{ext} + p_3 * C_{int} \quad [\text{W.m}^{-2}.\text{°C}^{-1}] \quad (3)$$

de gewone kleinste kwadratenschatting van parameters p_1 , p_2 en p_3 is

$$\begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \end{bmatrix} = (X^T * X)^{-1} * X^T * y = \begin{bmatrix} 0.543 \\ 2.2 * 10^{-2} \\ 4.1 * 10^{-4} \end{bmatrix} \quad (4)$$

waarin X uit Tabel 2 en y uit Tabel 3 is afgelezen:

$$X = \begin{bmatrix} 1.3 & 46 \\ 2.1 & 148 \\ 0.2 & 10 \\ 2.1 & 46 \end{bmatrix}, \quad y = \begin{bmatrix} 0.588 \\ 0.651 \\ 0.553 \\ 0.610 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Met het model uit vgl. 3 en parameterwaarden uit vgl. 4 kan K bij de minimum- en maximumnormen voor luchtbeweging geschat worden. Het resultaat van die schatting staat in de onderste twee rijen van Tabel 4.

5.2 Spreiding in gemeten K-waarden

Om het beeld van de spreiding in gemeten en geschatte K-waarden te verhelderen is aan Tabel 4 een laatste kolom toegevoegd met daarin de procentuele afwijking t.o.v. de standaardmeting. Uit die kolom blijkt dat in onze testfaciliteit de gemeten K-waarde aan dit normaal geïsoleerde voertuig kan worden verhoogd/verlaagd t.o.v. onze standaard met maar liefst +11 resp. -6%. Ofwel we hebben de technische mogelijkheden om forse fouten te introduceren. Wanneer we binnen de ATP-normen voor luchtbeweging blijven, is de mogelijke afwijking t.o.v. onze standaard slechts +5 resp. -1%. Deze spreiding is veel kleiner. Verder blijkt hieruit dat onze standaardmeting vrijwel gelijk is aan de meting bij de minimum norm.

Tabel 4, Gemeten en geschatte K-waarden en procentuele afwijkingen t.o.v. standaardmeting.

case	luchtbeweging extern	luchtbeweging intern	K (W.m ⁻² .°C ⁻¹)	$\Delta K/K_{\text{standaard}} * 100$ (%)
exp. 1	standaard	standaard	0.588	0
exp. 2	maximaal	maximaal	0.651	+11
exp. 3	minimaal	minimaal	0.553	-6
exp. 4	maximaal	standaard	0.610	+4
$K_{\text{max.norm}}^\dagger$	2 m/s	70 h ⁻¹	0.616	+5
$K_{\text{min.norm}}^\dagger$	1 m/s	40 h ⁻¹	0.582	-1

5.3 Effect van luchtsnelheden op K-meting bij zwaar geïsoleerde voertuigen (FRC).

Tabel 4 is gebaseerd op metingen aan een normaal geïsoleerd (FNA) koelvoertuig. Hoe zou het luchtsnelheidseffect doorwerken bij een zwaar geïsoleerd voertuig met bijv. $K=0.36 \text{ W.m}^{-2}.\text{°C}^{-2}$?

[†] niet gemeten, maar geschat m.b.v. vgl. 3.

Om die vraag te beantwoorden berekenen we eerst de warmteweerstanden R bij de K-waarden uit Tabel 4 m.b.v. vgl. 2 (zie kolom 3 in Tabel 5). Onder de aanname dat in experiment 2 geldt $R_0 = R_{0,intern} + R_{0,extern} = 0 \text{ m}^2 \cdot \text{°C} \cdot \text{W}^{-1}$ kan R_0 in ieder experiment worden uitgerekend m.b.v. vgl. 1 als (gemeten $R - R_{exp,2}$), zie kolom 4 in Tabel 5. Voor een FRC-voertuig met $R_{wand,FRC} = 2.6 \text{ m}^2 \cdot \text{°C} \cdot \text{W}^{-1}$ geldt dan volgens vgl. 1 dat $R_{FRC} = R_{wand,FRC} + R_0$, en volgens vgl. 2 dat $K_{FRC} = 1/R_{FRC}$ (zie kolom 5 en 6 in Tabel 5). De spreiding in die afgeleide K_{FRC} -waarden wordt tenslotte weergegeven in de laatste kolom van Tabel 5, net zoals in Tabel 4.

Wanneer we binnen de ATP-normen voor luchtbeweging blijven, is de mogelijke afwijking in K-waarde meting t.o.v. onze standaard bij zwaar geïsoleerde voertuigen slechts +3 resp. -1%. Zoals blijkt uit vergelijking van de laatste kolommen van Tabel 4 en Tabel 5 is de gemeten K-waarde bij een FRC-voertuig fors minder afhankelijk van luchtbeweging dan bij een FNA-voertuig. Dit is ook wel te begrijpen: naarmate de wandisolatie dikker wordt, wordt het procentuele aandeel van de luchtbewegingsafhankelijke grenslaag kleiner (Fig. 1).

Tabel 5, Gemeten en geschatte K- en R-waarden.

case	$K_{FNA} (\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{°C}^{-1})$	$R_{FNA} (\text{m}^2 \cdot \text{°C} \cdot \text{W}^{-1})$	$R_0 (\text{m}^2 \cdot \text{°C} \cdot \text{W}^{-1})$	$R_{FRC} (\text{m}^2 \cdot \text{°C} \cdot \text{W}^{-1})$	$K_{FRC} (\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{°C}^{-1})$	$\Delta K_{FRC}/K_{FR}$ C,standaard *100 (%)
exp. 1	0.588	1.701	0.165	2.765	0.362	0
exp. 2	0.651	1.536	0.000	2.600	0.385	+6
exp. 3	0.553	1.808	0.272	2.872	0.348	-4
exp. 4	0.610	1.639	0.103	2.703	0.370	+2
$K_{max.norm}$	0.616	1.623	0.086	2.686	0.372	+3
$K_{min.norm}$	0.582	1.719	0.183	2.783	0.359	-1

6 Conclusies

De gemeten K-waarde is afhankelijk van de luchtbeweging in en rond het voertuig. Binnen de ATP-normen is voor normaal geïsoleerde (FNA) koelvoertuigen een variatie in gemeten K-waarde mogelijk van zo'n 6%. Voor zwaar geïsoleerde (FRC) koelvoertuigen bedraagt dit zo'n 4%. Bij de standaardmeting in onze erkende Nederlandse ATP-testfaciliteit ligt de luchtbeweging juist boven de minimumnorm.

7 Literatuur

- ATP (2003). Agreement on the international carriage of perishable foodstuffs and on the special equipment to be used for such carriage. www.unece.org/trans/main/wp11/atp.html.
 Berjan, A. (1993). Heat transfer. John Wiley & Sons, Inc., USA, 675 p.

8 Samenvatting

Om kwantitatief inzicht te krijgen in het effect van luchtbeweging op de gemeten K-waarde van koelvoertuigen is de K-waarde van een normaal geïsoleerd (FNA) koelvoertuig gemeten bij verschillende luchtbewegingen. D.m.v. interpolatie is vervolgens ook een schatting gemaakt van de K-waarde die gemeten zou zijn bij resp. de minimum en maximum normen voor luchtbeweging zoals die in het ATP worden voorgeschreven. Uit deze studie blijkt dat variatie van luchtbeweging binnen de ATP-normen tot een variatie in gemeten K-waarde kan leiden van zo'n 6% bij normaal geïsoleerde (FNA) koelvoertuigen. Voor zwaar geïsoleerde (FRC) koelvoertuigen bedraagt dit zo'n 4%. Bij de standaardmeting in onze erkende Nederlandse ATP-testfaciliteit ligt de luchtbeweging juist boven de minimumnormen.

9 Dankbetuiging

Wij danken Talson Transport Engineering (www.talson.nl) voor haar medewerking aan dit onderzoek door financiële ondersteuning en door het beschikbaar stellen van een Mega Giga trailer uitgevoerd met rollerbanenvloer en een inwendige hoogte van maar liefst 3030 mm.

10 Bijlage 1, kalibratiecertificaat gebruikte luchtsnelheidsmeter.



kalibratie en training

blad 4 van 4

testo BV

Certificaatnr.: 050802

Kalibratiecertificaat testo 0635 1549

Firmanaam:	Agrotechn.y & Food Innovations	Deb. nr.:	1091639	Kalibratiedatum:	03-03-05
Plaats:	WAGENINGEN	Onze order:	20174982	Herkalibratie:	03-03-06
Persoon:	Drs. Ir. L.J.S. Lukasse	Uw order:	S/25000229		

Apparatuur:	Type nr.:	Prod. d.d.:	Serie nr.:	Gebruiker(snr.):
Meetapparaat	0563 4001	okt 03	885717	-
Voeler	0635 1549	sep 04	-	-

Toepassing:

Dit meetmiddel wordt toegepast voor luchtsnelheidsmetingen aan het binnenklimaat. (Luchtkanalen, roostermetingen).

Meetresultaten luchtsnelheid:

Ref. meter/onzekerheid:	Uitlezing:	Afw (abs):	Specificatie:*
1,02 ± 0,05 m/s	1,03 m/s	0,01 m/s	± 0,09 m/s
4,02 ± 0,09 m/s	3,91 m/s	0,11 m/s	± 0,25 m/s
8,01 ± 0,16 m/s	7,66 m/s	0,35 m/s	± 0,47 m/s

* Opgave fabrikant (incl. onzekerheid uitleesinstrument)

Omgevingscondities:

Alle kalibraties zijn uitgevoerd in een geconditioneerde ruimte (23°C ± 3°C, 40% ± 30% R.V.)

Gebruikte kalibratie-apparatuur en herleidbaarheden:

Alle gebruikte referentiemiddelen zijn gekalibreerd herleidbaar naar (inter)nationale standaard.

Opmerkingen:

Geen.

Paraaf uitvoerder:

F.H.
Dhr. F.H. Otten

