

# **CO<sub>2</sub> in geventileerde bewaarplassen**

documentversie: 2.0

Dr. Leo Lukasse, Ir. Jan Verschoor, Ing. Els Otma

Maart 2012

Rapport nr. 1315

## Colofon

Titel	CO <sub>2</sub> in geventileerde bewaarplaatsen
Versie	2.0
Auteur(s)	Dr. Leo Lukasse, Ir. Jan Verschoor, Ing. Els Otma
Nummer	1315
Publicatiedatum	Maart 2012
Vertrouwelijk	nee
OPD-code	11620764
Goedgekeurd door	Ir. Janneke de Kramer (nog niet)

Wageningen UR Food & Biobased Research  
P.O. Box 17  
NL-6700 AA Wageningen  
Tel: +31 (0)317 480 084  
E-mail: [info.fbr@wur.nl](mailto:info.fbr@wur.nl)  
Internet: [www.wur.nl](http://www.wur.nl)

© Wageningen UR Food & Biobased Research, instituut binnen de rechtspersoon Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, 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.*

## **Inhoudsopgave**

<b>1 Inleiding</b>	<b>4</b>
<b>2 respiratie</b>	<b>5</b>
<b>3 Modelvergelijkingen</b>	<b>8</b>
<b>4 Ademhalingsmetingen: materiaal en methode</b>	<b>10</b>
<b>5 Ademhalingsmetingen: resultaten</b>	<b>11</b>
<b>Literatuur</b>	<b>13</b>

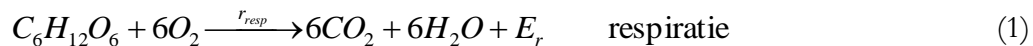
# 1 Inleiding

Dit document beschrijft een eenvoudig model voor voorspelling van het verloop van de CO<sub>2</sub> concentratie in bewaarplaatsen. Het model is tevens geïmplementeerd in een gebruiksvriendelijk excel-programma. Doel van dit programma is om in het ontwerp van bewaarplaatsen beter gefundeerde beslissingen te kunnen nemen over te installeren luchtverversingscapaciteit. Ter verificatie van belangrijke modelparameters is de ademhalingsactiviteit van een vijftal product/opslagtemperatuur-combinaties bepaald.

Hfst. 2 beschrijft het respiratieproces in het algemeen en de wijze waarop dat in dit model beschreven wordt voor aardappelen, uien en winterwortelen. Hfst. 3 geeft alle in het model gebruikte vergelijkingen, incl. verklaring van de variabelen. Hfst. 4 geeft de aanpak volgens welke de CO<sub>2</sub>-productie is gemeten. De meetresultaten worden tenslotte gegeven in hfst. 5.

## 2 respiratie

Respiratie is de oxidatie van organisch materiaal door levende organismen. Bij de bewaring van aardappelen, groenten en fruit is respiratie een biochemisch proces dat optreedt in het bewaarde levende product om in de energiebehoefte te voorzien. Bij respiratie of ademhaling van levend product wordt zuurstof gebruikt, en CO<sub>2</sub> en warmte geproduceerd. Er zijn diverse eenheden in omloop. De meest gangbare maat voor respiratiesnelheid is waarschijnlijk wel de autonome warmteproductie  $r_{heat}$  in Watt per ton [W/ton]. De reactievergelijking voor respiratie luidt:



waar  $E_r$  = oxidatie energie van glucose (ATP+warmte) = 2.816 MJ/mol glucose.  
De waarde van  $E_r$  is afkomstig uit BINAS (1977).

Respiratiesnelheid  $r_{heat}$  wordt in [W/ton] opgegeven, terwijl voor de CO<sub>2</sub> balans de CO<sub>2</sub>-productie  $r_{CO_2}$  [L (ton product)<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>] relevant is. De omrekeningsfactor is:

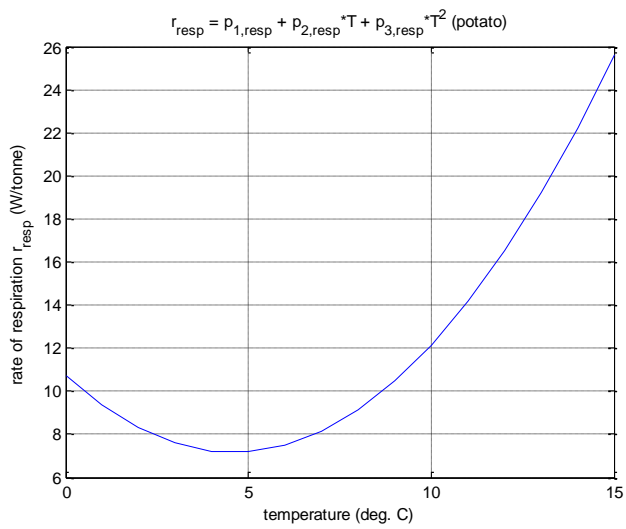
$$CO_2 \text{ production [L (ton product)}^{-1} \text{ h}^{-1}] = 0.17 * \text{heat production [W (ton product)}^{-1}]$$

De respiratie rate  $r_{resp}$  van een product hangt af van het fysiologisch stadium van dat product, bijv. direct na oogst maakt het veel uit of het gewas reeds afgestorven was, danwel nog vol in de groei. Ook maakt het uit of een product in rust is, of dat bijv. kieming of veroudering op gang zijn gekomen. Naast wondheling spelen ras, spruitvorming en temperatuur een rol. Bij serieuze afwijkingen van buitenluchtcondities zijn ook de concentraties O<sub>2</sub> en CO<sub>2</sub> van invloed. Al deze invloedsfactoren worden binnen deze studie buiten beschouwing gelaten, met uitzondering van de temperatuursafhankelijkheid. De temperatuursafhankelijkheid wordt voor zowel aardappelen, uien als wortels gemodelleerd volgens

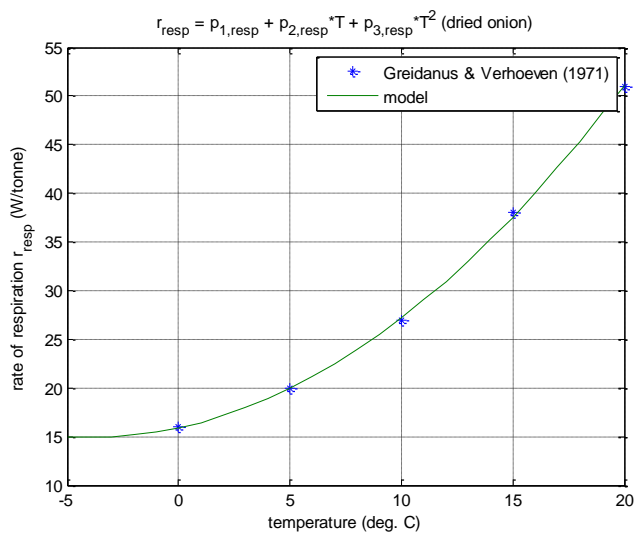
$$r_{heat}(T_{pr}) = (p_{1,resp} + p_{2,resp} * T_{pr} + p_{3,resp} * T_{pr}^2) \quad [\text{W/ton}] \quad (2)$$

met parameters  $p_{1,resp}$  tm  $p_{3,resp}$  volgens Tabel 2.

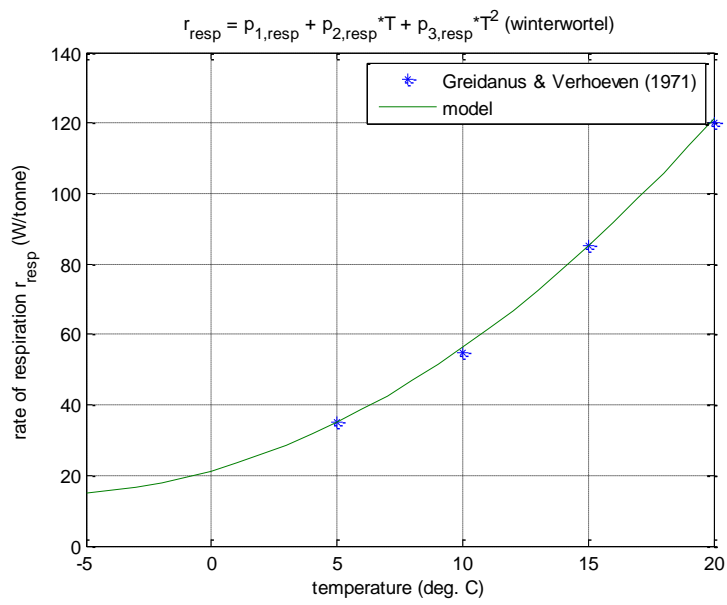
Fig. 1 tm Fig. 3 geven het verloop van  $r_{resp}(T)$  voor aardappelen, uien en winterwortelen grafisch weer. Voor aardappelen wordt de correctheid van de orde-grootte onderbouwd door de goede overeenkomst met de data voor die temperatuurrange in zowel Grahs et al. (1978) als op [www.postharvest.com.au](http://www.postharvest.com.au), voor ui en winterwortel zijn de curves gefit op metingen verzameld gepubliceerd door Greidanus & Verhoeven (1971).



**Fig. 1, respiratie van aardappelen volgens vgl. 2.**



**Fig. 2, respiratie van uien volgens vgl. 2.**



**Fig. 3, respiratie van wortelen volgens vgl. 2.**

### 3 Modelvergelijkingen

Het verloop van CO<sub>2</sub> concentratie in een geventileerde bewaarplaats wordt beschreven door:

$$\frac{dCO_2}{dt} = \frac{\phi}{V_{air}} \times (CO_2^{amb} - CO_2) + \frac{m_{prod} \times 100 \times r_{CO_2}}{V_{air}} \quad [\% \text{ h}^{-1}] \quad (3)$$

Waarin

$$r_{CO_2} = 0.17 \times r_{heat} \quad [\text{L ton}^{-1} \text{ h}^{-1}] \quad (4)$$

$$r_{heat}(T_{pr}) = (p_{1,resp} + p_{2,resp} * T_{pr} + p_{3,resp} * T_{pr}^2) \quad [\text{W/ton}] \quad (5)$$

$$V_{air} = 1000 \times V_{store} - \frac{10^6 \times m_{prod}}{\rho_{prod}} \quad [\text{L lucht}] \quad (6)$$

$$\phi = 1000 \times (\phi_{lek} + \phi_{hoofd} + \phi_{verversing}) \quad [(\text{L lucht}) \text{ h}^{-1}] \quad (7)$$

$$\phi_{lek} = V_{store} \times \phi_{lek}^{specific} \quad [(\text{m}^3 \text{ lucht}) \text{ h}^{-1}] \quad (8)$$

$$\phi_{hoofd} = \frac{luikstand}{100} \times \frac{u_{hoofd}}{100} \times \phi_{hoofd}^{max} \quad [(\text{m}^3 \text{ lucht}) \text{ h}^{-1}] \quad (9)$$

$$\phi_{verversing} = \frac{u_{verversing}}{100} \times \phi_{verversing}^{max} \quad [(\text{m}^3 \text{ lucht}) \text{ h}^{-1}] \quad (10)$$

De betekenis van de model-inputs in bovenstaande vergelijkingen wordt gegeven in Tabel 1. Produktspecifieke parameters worden gegeven in Tabel 2. Voor de overige symbolen zie Tabel 3.

**Tabel 1, overzicht modelparameters (inputs).**

Symbol	Betekenis	Eenheid	Waarde
$\phi_{lek}^{specifiek}$	specifiek lekdebiet	$[(\text{m}^3/\text{h})/(\text{m}^3 \text{ store})]$	0.03 ~ 1.09 (default 0.5)
$\phi_{verversing}^{max}$	max. capaciteit van verversingsventilatoren	$[\text{m}^3/\text{h}]$	-
$\phi_{hoofd}$	max. capaciteit van hoofdventilatoren	$[\text{m}^3/\text{h}]$	-
luikstand	Luikstand (100% = open)	[%]	0 ~ 100
$m_{prod}$	Hoeveelheid product in de bewaarplaats	ton	-
product	Soort bewaard produkt	-	<aardappel, ui, wortel>
$u_{hoofd}$	Aangesproken percentage van hoofdventilatorvermogen	[%]	0 ~ 100



$u_{\text{verversing}}$	Aangesproken percentage van verversingsventilatorvermogen	[%]	0 ~ 100
$V_{\text{store}}$	Intern volume van bewaarruimte	[m <sup>3</sup> ]	-
$T_{\text{pr}}$	produkttemperatuur	[°C]	-

De waarde voor specifiek lekdebiet  $\phi_{\text{lek}}^{\text{specifiek}}$  in bovenstaande tabel is onzeker. Ongetwijfeld hangt die samen met bewaarplaatsbouw en -onderhoud, windsnelheid en blootstelling daaraan, en ventilatoractiviteit in de bewaarplaats. Pringle *et al.* (2009) gebruiken op p. 229  $\phi_{\text{lek}}^{\text{specifiek}} = 0.5 \text{ h}^{-1}$ , Bishop en Maunder geven een range variërend van  $\phi_{\text{lek}}^{\text{specifiek}} = 0.03 \text{ h}^{-1}$  voor 2832 m<sup>3</sup> bewaarplaatsen tot  $\phi_{\text{lek}}^{\text{specifiek}} = 1.09 \text{ h}^{-1}$  voor 5.7 m<sup>3</sup> bewaarplaatsen, Bos *et al.* (2004) rapporteren voor een bewaarplaats van  $\pm 1550 \text{ m}^3$   $\phi_{\text{lek}}^{\text{specifiek}} = 0.45 \text{ h}^{-1}$  bij geen ventilatie en  $0.9 \text{ h}^{-1}$  bij ventilator-gedreven interne circulatie. Deze gegevens zijn de basis voor de aanname dat  $\phi_{\text{lek}}^{\text{specifiek}}$  ligt tussen 0.03 en  $1.09 \text{ h}^{-1}$ , met een defaultwaarde van  $0.5 \text{ h}^{-1}$ .

**Tabel 2, productspecifieke modelparameters (inputs).**

Symbol	$\rho_{\text{pr}}$ [kg/m <sup>3</sup> product]	$p_{1,\text{resp}}$ [W/ton]	$p_{2,\text{resp}}$ [W/ton °C]	$p_{3,\text{resp}}$ [W/ton °C <sup>2</sup> ]
Betekenis	dichtheid product	ademhalingsparam. (vgl. 2)	ademhalingsparam. (vgl. 2)	ademhalingsparam. (vgl. 2)
aardappel	1014	10.75	-1.56	0.17
ui	846	15.9	0.5	0.063
wortel	1005	21.3	2	0.15

**Tabel 3, overzicht modelparameters (interne variabelen en outputs).**

Symbol	Betekenis	Eenheid	Waarde
$\phi$	Ventilatiedebiet	[L/h]	-
$\phi_{\text{verversing}}$	Debiet verversingsventilatoren	[m <sup>3</sup> /h]	-
$\phi_{\text{hoofd}}$	Debiet hoofdventilatoren	[m <sup>3</sup> /h]	-
$CO_2^{\text{amb}}$	CO <sub>2</sub> in buitenlucht	[%]	0.0391
CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> concentratie in bewaarplaats	[%]	
$r_{\text{heat}}$	autonome warmteproductie	[W/ton]	
$r_{\text{CO}_2}$	CO <sub>2</sub> productiesnelheid	[L ton <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ]	
t	tijd	h	
$V_{\text{air}}$	volume lucht in bewaarruimte	[L]	-

## 4 Ademhalingsmetingen: materiaal en methode

De achtergrond van de voor de metingen bestemde producten staat beschreven in onderstaande tabel:

product	ras	herkomst	maat	bewaar- geschiedenis	bijzonderheden
<i>Aardappels</i>	Victoria	lichte zavel	consumptie uitgegroeid	$\pm 12$ °C	doodgespoten met Reglone en 3 weken afharden
<i>Uien</i>	Paraat F1	lichte zavel	uitgegroeid	$\pm 12$ °C	niet behandeld met kiemremmer
<i>Peen</i>	Narbonne	zavel, veldgewas	teeltdoel C/D peen		

Van de volgende producten is de CO<sub>2</sub>-productie bepaald bij genoemde temperaturen:

Aardappelen	2°C
Aardappelen	7°C
Uien	7°C
Uien	25°C
Wortelen	2°C

De producten zijn aangeleverd d.d. 4/11 door Tolsma in zakken van 20 kg.

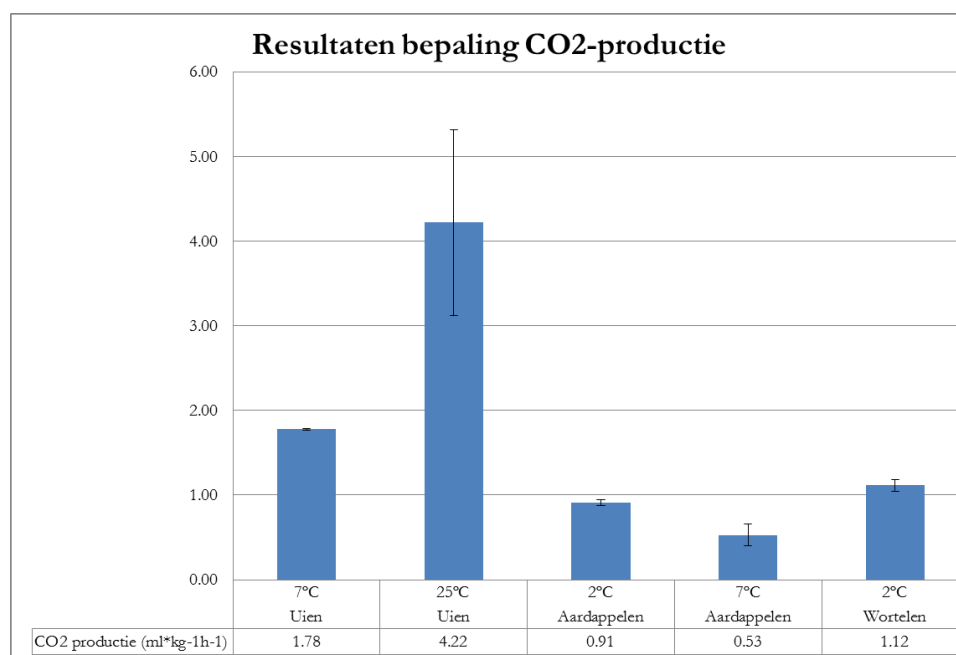
Deze zijn voorafgaand aan de meting tijdelijk opgeslagen in een ongekoelde cel (15-20°C), de aardappelen en wortelen bestemd voor meting bij 2°C zijn in een koelcel bij 4°C geplaatst.

Vanaf 16/11/2011 zijn de producten bij de beoogde meettemperaturen in koelcellen met nauwkeurige temperatuurregeling geplaatst. De zakken zijn steeds verdeeld over twee netzakken die na weging per stuk in RVS doorstroomcontainers van 65l geplaatst, zodat de metingen feitelijk in duplo uitgevoerd zijn.

Deze doorstroomcontainers zijn continu doorstroomd met CO<sub>2</sub>-vrije lucht, die gegenereerd is uit zuivere stikstof en (21%) zuurstof met behulp van Mass Flow Controllers (Brooks Instruments).

21/11/2011 is de CO<sub>2</sub>-productie bepaald door de concentratie CO<sub>2</sub> in de uitstromende lucht uit de doorstroomcontainers te meten met een gekalibreerde infrarood-analyzer (ICA250). Daarnaast is de doorstroomsnelheid van het instromende gas geregistreerd.

## 5 Ademhalingsmetingen: resultaten



**Fig. 4, gemeten gemiddelde CO<sub>2</sub> productie per combinatie (product, temperatuur).**

De gemiddelde waarden van de twee herhalingen per object zijn hierboven weergegeven met standaarddeviatie, een tabel met alle meetwaarden volgt hier.

	Tot woensdag 16/11/2011	vanaf wo. 16/11 10 uur	gewicht (kg)	flow (ml/min)	%CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> productie (ml*kg-1*uur-1)	CO <sub>2</sub> productie (*ton-1*d-1)
<b>Uien</b>	RT	25°C	9.41	98	0.80%	5.00	120.0
<b>Uien</b>	RT	25°C	10.92	89.5	0.70%	3.44	82.6
<b>Aardappelen</b>	RT	7°C	10.79	101	0.11%	0.62	14.8
<b>Aardappelen</b>	RT	7°C	9.98	104	0.07%	0.44	10.5
<b>Uien</b>	4°C	7°C	8.75	110	0.24%	1.77	42.5
<b>Uien</b>	4°C	7°C	8.58	100	0.26%	1.78	42.8
<b>Wortelen</b>	4°C	2°C	8.91	99	0.16%	1.07	25.6
<b>Wortelen</b>	4°C	2°C	8.68	99	0.17%	1.16	27.9
<b>Aardappelen</b>	4°C	2°C	9.57	101	0.14%	0.89	21.3
<b>Aardappelen</b>	4°C	2°C	9.56	99	0.15%	0.93	22.4

Voor het verband tussen CO<sub>2</sub> produktie [ml.kg<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>] en warmteproduktie [W/ton] geldt:

$$\text{warmteproduktie [W/ton]} = 5.9 * \text{CO}_2 \text{ produktie [ml.kg}^{-1}\text{.h}^{-1}\text{]}$$

Gebruikmakend van dat gegeven, presenteert onderstaande tabel de gemiddelden uit Fig. 4 ook nog in W/ton.

**Tabel 4, gemeten CO<sub>2</sub> produktie en berekende warmteproduktie per (product, temperatuur) combinatie.**

	uien 7 °C	uien 25 °C	aardappelen 2 °C	aardappelen 7 °C	wortelen 2 °C
CO <sub>2</sub> produktie [ml.kg <sup>-1</sup> .h <sup>-1</sup> ]	1.78	4.22	0.91	0.53	1.12
warmteproduktie [W/ton]	10.5	24.9	5.4	3.1	6.6

## Literatuur

- [1] Bishop C.F.H., W.F. Maunder (1980). Potato mechanisation and storage. *Farming Press Ltd., Ipswich, Suffolk, UK.*
- [2] Bos D., D.A. van der Scahns, J. Mosquera Losada (2004). Luchtstromen en emissies van C-IPC uit een aardapplebewaarpplaats. *PPO rapport nr. 520317.*
- [3] Gottschalk, K. (1996). Mathematical modelling of the thermal behaviour of stored potatoes & developing of fuzzy control algorithms to optimise the climate in storehouses. *Proc. Math. and Control Appl. in Agric. and Hortic, Ed.. W. Day, P.C. Young, Acta Horticultura* 406, pp. 331-339.
- [4] Greidanus, P., Verhoeven, M.A. (1971). Productgegevens groente en fruit (Produce facts fruits and vegetables). Sprenger inst. Wag., mededeling no. 30 (in Dutch).
- [5] Grähs, L.E., B. Hylmö, A. Johansson, C. Wikberg (1978). The two point temperature measurement – a method to determine the rate of respiration in a potato pile. *Acta Agriculturae Scandinavica*, **28**, pp. 231-236.
- [6] Pringle B., C. Bishop, R. Clayton (2009). Potatoes postharvest. *CABI, Wallingford, Oxfordshire, UK.*