

CO₂ bedwelling in slachterijen

1. Inleiding.

Dr. Hoenderken, bedwellingsexpert en dierenarts, heeft in 1978 als eerste in Nederland onderzoek gedaan naar het CO₂ bedwelmen (verdoven) van slachtvarkens met hoge concentraties CO₂. Zijn onderzoek toonde aan dat het CO₂ bedwelmen van slachtvarkens gepaard gaat met extreme stress, pijn, ademnood en doodsangst voor het varken.

In 1979 werd de CO₂ bedwelling dan ook verboden. Dit naar aanleiding van een experiment dat dr. Hoenderken uitvoerde in aanwezigheid van de veterinaire dienst en inspectie. Tijdens dit experiment werd een varken in een plexiglazen box met 80% CO₂ getakeld om op deze manier het bedwelmingsproces te kunnen volgen. De veterinaire dienst en inspectie was zo geschokt bij het aanschouwen van dit experiment, dat de CO₂ bedwelling per direct werd verboden.

Helaas werd 20 jaar later de Vleeskeuringwet ingetrokken en werd nieuwe EU-regelgeving van kracht. Het CO₂ bedwelmen van slachtvarkens was weer toegestaan.

Praktijk

In Nederland worden er elk jaar miljoenen varkens bedwelmd met >80% koolstofdioxide (CO₂). Ook in andere landen is het bedwelmen van varkens met CO₂ een veel toegepaste methode. Vlees afkomstig van varkens die met CO₂ bedwelmd zijn, is - vergeleken met vlees dat afkomstig is van elektrisch bedwelmde varkens - van iets betere kwaliteit. Elektrische bedwelling veroorzaakt namelijk puntbloedingen in het vlees en CO₂ bedwelling niet. Slachterijen kiezen ook voor verdoving met CO₂ omdat dit veel efficiënter is dan andere methodes. Groepen varkens kunnen zo in één keer verdoofd worden in plaats van één voor één. Op deze manier worden meer dan 600 varkens per uur gedood. Bij het CO₂ bedwelmen gaan varkens groepsgewijs met een lift een put in die gevuld is met CO₂. Helemaal onderaan deze put bevindt zich de hoogste concentratie CO₂. Er is meestal geen zicht op de varkens in deze put. Niet alleen heeft de consument geen idee wat er zich afspeelt tijdens het CO₂ bedwelmen, ook de controleurs van de NVWA kunnen in de meeste gevallen niet bekijken hoe het bedwelmingsproces verloopt.

Wettelijk is vastgelegd dat bij het slachtproces pijn en stress moeten worden vermeden:

- Richtlijn 93/119/EG, artikel 3: *Bij het verplaatsen, onderbrengen, fixeren, bedwelmen, slachten en doden moet ervoor worden gezorgd dat de dieren **elke vermijdbare opwinding of pijn of elk vermijdbaar lijden wordt bespaard.***
- In EU verordening 1099/2009 verstaat men onder “bedwelmen”:
*Iedere bewust gebruikte methode die een dier **pijnloos** in een staat van bewusteloosheid en gevoelloosheid brengt, met inbegrip van methoden die onmiddellijk de dood tot gevolg hebben.*

Consumenten zullen er ook vanuit gaan dat het doden en slachten van varkens op een ‘humane’ wijze plaatsvindt.

CO₂ bedwelming zichtbaar maken

De bedwelming met CO₂ is **niet pijnloos** en levert **veel stress** op. Het veroorzaakt doodsangsten, ademnood en pijn in de luchtwegen. Varkens in Nood wil de wijze van bedwelming van varkens in Nederlandse slachthuizen zichtbaar maken, omdat de consument het recht heeft om te weten hoe de dieren aan hun einde komen. Hopelijk zal het gevolg zijn dat CO₂ bedwelming vervangen wordt door een diervriendelijker methode. Al in 2009 heeft Varkens in Nood samen met andere organisaties beeldmateriaal openbaar gemaakt van de CO₂ verdoving. Dat heeft toen geleid tot een hevige politieke en maatschappelijke discussie. In 2015 is het onderwerp opnieuw ter sprake gekomen en die commotie werd gevolgd door een motie van de PvdD. De conclusie van deze aangenomen motie: de Tweede Kamer wilde een einde aan de bedwelming met CO₂. Een einddatum is echter nog steeds niet in zicht. Hierdoor sterven er nog steeds tienduizenden varkens per dag een stressvolle en pijnlijke dood.

2. Fysiologie van CO₂ bedwelming en dierenwelzijn

Het ademhalingsmechanisme

Het ademhalingsmechanisme zorgt ervoor dat de concentratie CO₂, O₂ in het bloed en de pH-waarde van het bloed binnen bepaalde grenswaarden blijft. Receptoren die zich in de hersenstam, aorta en de halsslagaders bevinden registreren deze waarden voortdurend en activeren de ademhaling als deze waarden beneden of boven de grenswaarden komen. Verder bevinden er zich receptoren in de longen die kortdurende hoge concentraties CO₂ registreren.

Er zijn drie verschillende receptoren die zorgen voor feedback van de concentraties CO₂, O₂ in het bloed en de pH-waarde van het bloed, in de hersenstam, aorta en halsslagaders:

De eerste receptor registreert de concentratie CO₂ in het bloed. De concentratie CO₂ in het bloed is de belangrijkste prikkel die aanzet tot ademen. Wanneer de concentratie CO₂ in het bloed stijgt sturen de CO₂-receptoren prikkels naar het ademhalingscentrum en wordt via het sympathisch zenuwstelsel de ademhaling geactiveerd. Hierdoor wordt het teveel aan CO₂ weer uitgeademd.

Een tweede receptor die samenhangt met de eerste, registreert de pH-waarde van het bloed. Deze pH-waarde is onder andere afhankelijk van de concentratie CO₂ in het bloed. Hoe hoger de concentratie CO₂, hoe lager de pH-waarde en dus hoe zuurder het bloed. Wanneer de pH tot beneden grenswaarden daalt geven de pH-receptoren prikkels door aan het ademhalingscentrum en wordt via het sympathisch zenuwstelsel de ademhaling geactiveerd. Het teveel aan CO₂ wordt uitgeademd en de pH-waarde van het bloed stijgt.

Een derde receptor registreert de concentratie O₂ in het bloed. Wanneer de O₂ concentratie in het bloed tot beneden grenswaarden daalt geven de O₂-receptoren prikkels door aan het ademhalingscentrum en wordt via het sympathisch zenuwstelsel de ademhaling geactiveerd. Het tekort aan O₂ wordt door middel van inademen weer aangevuld.

In de longen bevinden zich daarnaast nog andere receptoren die acuut reageren op de aanwezigheid van CO₂. Deze receptoren zijn zeer gevoelig voor CO₂, maar ongevoelig voor O₂. Wanneer deze receptoren gestimuleerd worden door CO₂, door hoge concentraties CO₂ in te ademen resulteert dit onmiddellijk in ademnood, pijn en stress. De stimulatie van deze receptoren veroorzaakt waarschijnlijk ook het niezen, hoesten en het hoofd schudden wat tijdens de CO₂ bedwelming van slachtvarkens wordt waargenomen.

De gevolgen van CO₂ bedwelming

Varkens worden tijdens de CO₂ bedwelming aan hoge concentraties CO₂ (>80%) blootgesteld. Wanneer deze hoge concentraties CO₂ ingeademd worden, stijgt de CO₂ concentratie in de bloedbaan zeer snel. Dit wordt ook wel hypercapnia genoemd. Tevens daalt de pH-waarde van het bloed en daarmee de pH waarde van de hersenvloeistof.

De receptoren in de hersenstam, aorta en halsslagaders meten dat de CO₂ concentratie in het bloed hoog is en de pH van het bloed te laag. Er worden daarom prikkels naar het ademhalingscentrum gestuurd om het teveel aan CO₂ uit te scheiden via de longen. De ademhaling wordt versneld.

Wanneer echter de atmosfeer uit hoge concentraties CO₂ bestaat, zal door een snellere ademhaling de concentratie CO₂ in het bloed alleen maar toenemen. De varkens zullen steeds sneller en dieper gaan ademen (hyperventileren), maar juist daardoor stijgt de CO₂ concentratie in het bloed steeds sneller. Het ademhalingsmechanisme slaat op hol.

De pH van het bloed en de pH van de hersenvloeistof blijft dalen. De normale pH van de hersenvloeistof is 7,4. Wanneer de pH uiteindelijk daalt tot circa 7,0 zal bewusteloosheid intreden. Voordat deze bewusteloosheid is ingetreden veroorzaken de hoge concentraties CO₂ ademnood, pijn in de luchtwegen, desoriëntatie, paniek en convulsies.

Tijdens de CO₂ bedwelming bevat de lucht circa 5% O₂. Een normale atmosfeer bevat 20,9% O₂. Wanneer lucht wordt ingeademd die te weinig zuurstof bevat, daalt de concentratie O₂ in het bloed langzaam. Receptoren in de halsslagader zullen het tekort aan O₂ in het bloed registreren en prikkels doorgeven aan het ademhalingcentrum. De ademhaling zal geactiveerd worden. De snellere ademhaling zal niet leiden tot het normaliseren van de O₂ concentratie. De te lage concentraties O₂ in het bloed zal leiden tot duizeligheid, desoriëntatie, misselijkheid, bewusteloosheid en uiteindelijk de dood.

Receptoren in de longen zullen tijdens de CO₂ bedwelming acuut reageren op de hoge concentraties CO₂. Dit zal ertoe leiden dat de varkens ademnood hebben, pijn en stress ervaren voordat de bewusteloosheid is ingetreden.

De duur van de CO₂ bedwelming

Wetenschappelijk onderzoek (Velarde et al. 2007) toont aan, dat wanneer het moment van omvallen gezien wordt als het moment waarop het varken zijn bewustzijn verliest, de CO₂ bedwelming van slachtvarkens met 70% CO₂ gemiddeld 34,4 seconden duurt en bij een blootstelling aan 90% CO₂ gemiddeld 22,4 seconde.

In de grootste slachterij van Nederland, VION Boxtel, worden 90.000 slachtvarkens per week bedwelmd met 80% CO₂.¹ Het is aannemelijk dat ieder varken dat hier geslacht wordt een doodstrijd voert van meer dan 20 seconden.

3. Gevolgen van CO₂ bedwelming

In het vorige hoofdstuk werd aangegeven dat de CO₂ bedwelming leidt tot o.a. extreme stress, pijn, paniek en ademnood. Er zijn vele wetenschappelijke rapporten die dit onderbouwen. Hieronder enkele citaten afkomstig uit wetenschappelijke bron:

Ademnood

'Gas-anesthesie heeft ook zijn beperkingen. Zo leidt overdosering tot verlamming van de ademhalingspijpen, waarna de dood door verstikking volgt.' (Animal Sciences Group, 2007)

'Alle varkens hebben tijdens de blootstelling aan hoge concentraties CO₂ (>70%) ademnood (aantoonbaar door hijgen) en vertonen een heftige afkeer tegen de CO₂, doordat zij proberen te ontsnappen tot aan het moment dat de bewusteloosheid is ingetreden. Dit is onomstotelijk bewijs dat aantoonst dat bij CO₂ bedwelming het dierenwelzijn in geding is.' (Velarde et al. 2007)

'Additionally, carbon dioxide induces severe respiratory distress causing hyperventilation and a sense of breathlessness during the induction phase prior to the loss of consciousness'. (Gregory et al. 1990)

'Inhalation of carbon dioxide in concentrations of 50% or more are known to be pungent (bijtend) and cause breathlessness in most human subjects (Gregory et al. cited in Lambooi, 1990).'

'The exposure to carbon dioxide stimulates respiration and pigs start to hyperventilate which causes respiratory discomfort (Raj and Gregory, 1996), and in humans this is interpreted as dyspnea or breathlessness (Gregory et al., 1990; Stark et al., 1981). The severity of breathlessness in humans is known to increase with the rate of increase in blood carbon dioxide levels (Stark et al., 1981).'

Pijn

'CO₂ is een prikkelend gas en irriteert de luchtwegen' (Gregory, 1994)

Varkens die verdoofd worden met 86% CO₂ in lucht vertonen duidelijke tekenen van pijn bij ademhaling (zwaar ademen en gillen) en afwijkend gedrag (Hoenderken, 1983; Troeger and Wolterdorf, 1991; EFSA, 2004).

'Inhalation of carbon dioxide in concentrations of 50% or more are known to be pungent and cause breathlessness in most human subjects (Gregory et al. cited in Lambooi, 1990).'

Aversie

Wanneer hoge concentraties CO₂ worden voorgeschreven, omdat de bewusteloosheid hierbij sneller intreedt, moet er bij stil gestaan worden dat hogere concentraties grotere aversie kunnen oproepen.

'Studies have shown that the majority of pigs (75%) avoided an atmosphere of 70% concentration of carbon dioxide (Cantieni, 1976), and Raj and Gregory (1995) found that pigs withdrew from an atmosphere of 90% in less than 5 sec.'

'This aversion to carbon dioxide atmosphere was found to be greater than the motivation to obtain a reward (apples), even after 24 hours of fasting (Raj and Gregory, 1995).'

'Moreover, 87.5% of pigs preferred to go without water for 72 hours rather than endure exposure to carbon dioxide again (Cantieni, 1976).'

In de gondel zijn, vanaf het moment dat de gondel naar beneden ging tot het moment het dier volledig ligt (zie boven), per dier de volgende gedragingen vastgesteld: omdraaien, sprong voorwaarts, achteruitlopen, naar voren vallen, wankelen, zitten, trillen van de hammen, gaspen en zwaar ademen, vallen, glijden, stuiteren, spartelen en fors trappen, oprichten van lichaam, overeind komen, gillen, oprichten van kop. (Animal Sciences Group, 2009)

Duur aversieve reactie

'Als het moment waarop het varken het evenwicht verliest en omvalt, gezien wordt als het moment waarop het bewustzijn verloren gaat (gebruikelijke aanname in de wetenschap), duurt het lijden van het varken bij een blootstelling aan 70% CO₂ gemiddeld 34,4 en bij een blootstelling aan 90% CO₂ gemiddeld 22,4 seconde.' (Velarde et al. 2007)

'The faster and deeper respiration during hyperventilation in high concentration carbon dioxide atmosphere will result in increased gas intake and thereby increased efficiency of the stunning method, which may shorten the induction period and time to loss of consciousness (Forslid, 1992). From an animal welfare point of view this may be an advantage. However, the time to onset of breathlessness is quicker with high than low concentrations of carbon dioxide (Stark et al., 1981).'

'Hartung et al. (2002) carried out EEG measurements, analysis of catecholamines and clinical investigations on slaughter pigs stunned with either 80 or 90% carbon dioxide. The stunning time for 90% carbon dioxide was 73 sec, but at 80% carbon dioxide, it was over 70 sec and was not sufficient to stun pigs properly.'

Conclusie

Wetenschappelijk onderzoek onderbouwt de stelling dat CO₂ bedwelming ernstig ongerief bij varkens veroorzaakt. Dit geldt zowel voor concentraties van 70%, als 80% als 90%. In het geval van een concentratie van 70% zijn de aversieve reacties minder heftig maar duurt het langer voordat de dieren bedwelmd zijn.

De aversieve reactie die wordt veroorzaakt door het CO₂ gas bestaat uit ademnood, pijn, extreme stress, hyperventileren, pogingen tot ontsnappen en irritatie van de slijmvliezen. Deze aversieve reactie duurt gemiddeld ruim 20 seconden.

4. Alternatieven.

In de vorige hoofdstukken werd aangetoond dat de CO₂ bedwelming ongerief veroorzaakt bij varkens. Uit wetenschappelijk onderzoek blijkt dat er humanere manieren bestaan om varkens te bedwelmen. In 2016 is er door Wageningen University & Research (WUR) een literatuur- en marktonderzoek afgerond naar het verbeteren van het welzijn van slachtvarkens in het verdovingstraject op de slachterij. Het is uitermate belangrijk dat de voortzetting van dit onderzoek naar alternatieven alle middelen en prioriteit krijgt om direct te worden voortgezet, zodat het zo snel mogelijk leidt tot een einde van CO₂ bedwelming van varkens.

Zuurstofverdringing met alternatieve gassen

Het CO₂ gas wordt hierbij vervangen door een niet prikkelend gas (bijvoorbeeld stikstof, argon of helium) en de zuurstof wordt langzaam weggenomen. Anoxia (het tekort aan zuurstof in het lichaam) veroorzaakt namelijk geen heftige afkeer bij de varkens. Varkens lopen zelfs vrijwillig een atmosfeer zonder zuurstof binnen.

De EFSA (European Food Safety Authority) stelde in 2004 het volgende:

'Samenvattend kan uit beschikbare literatuur gesteld worden dat anoxia (een tekort aan zuurstof in het bloed) veroorzaakt door niet-aversieve gassen (o.a. stikstof en/of argon) de diervriendelijkste manier is waarop een varken gasbedwelmd kan worden.

Er bestaan echter nog geen praktijkrijpe bedwelgingsinstallaties die gebruik maken van niet-aversieve gassen en de FAWC (2003) beveelt de overheid dan ook aan meer onderzoek en ontwikkeling hier naar te financieren.' (EFSA, 2004)

Bedwelgingsinstallaties die gebruik maken van zuurstofverdringing met behulp van niet irriterende gassen zijn nog niet ontworpen. Wel is er al onderzoek gedaan naar bedwelming van varkens met deze alternatieve gassen.

Stikstof

Verdoving met stikstofgas biedt goede perspectieven. Stikstof is niet prikkelend dus zou een goed alternatief kunnen vormen voor koolzuurgas. Momenteel wordt er in Duitsland onderzoek verricht naar de mogelijkheden om stikstof toe te passen bij de verdoving van varkens.

70% CO₂ en 30% O₂

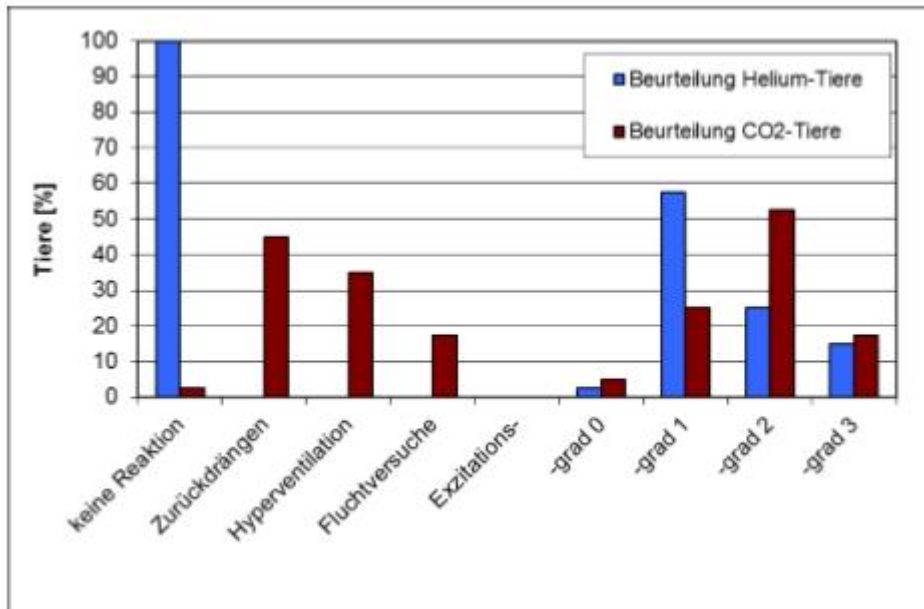
Door het toevoegen van O₂ aan het CO₂ mengsel kunnen de nadelige effecten worden verminderd, maar hierdoor vertraagt het intreden van bewusteloosheid (Lambooy 1999; Gerritzen 2000). De combinatie van 70% CO₂ en 30% O₂ is bij de narcose van biggen voor castratie wel gebruikt.

Helium

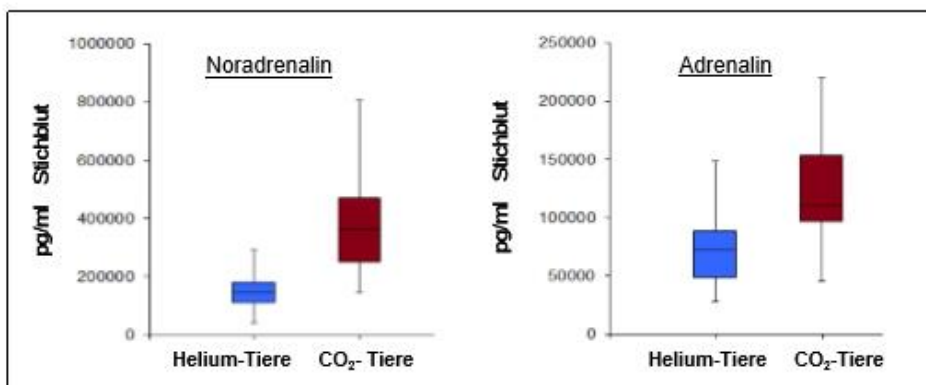
Duits onderzoek vergeleek de bedwelming van varkens met CO₂ en met helium. (M. Machtolf et al. 2013) Bij bedwelming met helium werden geen aversieve reacties waargenomen aan de dieren, terwijl de varkens in de CO₂ gaskamer hyperventileerden, vluchtgedrag vertoonden en krijsten. Metingen in het bloed van de geslachte varkens lieten zien dat de varkens die met CO₂ waren bedwelmd significant hogere adrenaline en noradrenaline waardes hadden.

In figuur 1 is duidelijk zichtbaar dat tijdens dit experiment geen achteruitlopen, vluchtgedrag en hyperventilatie zijn waargenomen bij de met helium vergaste dieren (keine reaktion). Ook is te zien dat de graad van excitatie bij helium lager was dan bij CO₂.

Figuur 2 laat zien dat verdoving met helium leidt tot veel lagere adrenaline en noradrenaline concentraties. Dit wijst op een veel lagere hoeveelheid stress bij de onderzochte dieren.



Figuur 1- Weergave van de waarnemingen aan 40 varkens verdoofd met helium en 40 varkens verdoofd met CO₂ en de graad van excitatie



Figuur 2- noradrenaline en adrenalineconcentraties in pg/ml het bloed van 40 varkens verdoofd met helium en 40 varkens verdoofd met CO₂

Helium lijkt dus een veelbelovende vervanging voor koolzuurgas bij de bedwelming van varkens. Een groot nadeel van Helium is dat het veel duurder is dan CO₂. Meer onderzoek naar deze methode is nog nodig.

Elektrische bedwelming

Elektrische bedwelming wordt al sinds 1980 toegepast. Varkens worden bij elektrische bedwelming individueel, met behulp van een elektrische schok op het hoofd (en hart), bedwelmd. Omdat de varkens individueel bedwelmd moeten worden, dienen zij eerst gesepareerd te worden. Dit brengt stress met zich mee. Er zijn inmiddels wel cirkelvormige oprijfsystemen ontwikkeld die een groepsgewijze, stressloze opdrijving naar elektrische bedwelming mogelijk maken. Een voorbeeld is in de Duitse slachterij Thönes Natur te zien. Hier worden zo'n 110 varkens per uur geslacht.²

Het grote voordeel van een goed uitgevoerde elektrische bedwelming is dat het het varken binnen een seconde het bewustzijn verliest.

De effectiviteit van de elektrische bedwelming is afhankelijk van het onderhouden en juist afstellen van de bedwelmingapparatuur, de kwaliteit van het personeel en de snelheid van de slachtlijn. Het komt in de praktijk nogal eens voor dat een elektrische bedwelming faalt.

Toch staat dit niet in verhouding tot de CO₂ bedwelming, waarbij **elk** varken meer dan 20 seconden extreme stress, ademnood en pijn ondervindt voordat bewusteloosheid is ingetreden.

Uit onderzoek waarin elektrische bedwelming vergeleken wordt met CO₂ bedwelming blijkt dat bij elektrische bedwelming de varkens beter bedwelmd zijn. Bij 25 procent van de varkens, bedwelmd met CO₂, werden reflexen geconstateerd die bewustzijn indiceren. Ook blijkt dat de elektrische bedwelminginstallatie minder gevoelig is voor incorrect handelen dan de CO₂ bedwelminginstallatie. (A. Velarde, 2000)

Conclusies

Tijdens het verdoven van varkens met hoge concentraties koolzuurgas (CO₂) slaat het ademhalingsmechanisme op hol. De verschillende feedbacksystemen die concentraties CO₂, O₂ in het bloed en pH-waarden van het bloed registreren en deze - door de ademhaling aan te sturen - binnen bepaalde waarden houden, kunnen de extreme concentraties CO₂ en O₂ in het bloed en pH-waarden van het bloed tijdens de CO₂ bedwelming niet herstellen. Hierdoor ervaart het varken extreme paniek en ademnood (hyperventilatie). Het varken zal er alles aan doen om aan de omgeving met hoge CO₂ concentraties te ontsnappen. In een wetenschappelijk experiment werd aangetoond dat varkens liever 72 uur zonder drinkwater zaten dan nog een keer koolzuurgas te moeten ervaren.

Wetenschappelijk onderzoek onderbouwt de stelling dat CO₂ bedwelming ernstig ongerief bij varkens veroorzaakt. Dit geldt zowel voor concentraties van 70%, als 80% als 90%. De aversieve reactie die wordt veroorzaakt door het CO₂ gas bestaat uit ademnood, pijn, extreme stress, hyperventileren, pogingen tot ontsnappen en irritatie van de slijmvliezen. Deze fase waarin varkens stress, pijn, paniek en ademnood ervaren houdt ruim 20 seconden aan.

In Nederland worden bijna alle varkens bij de slacht verdoofd met CO₂. Het gaat om bijna 15 miljoen varkens per jaar. De varkens worden in groepen in een gondel geplaatst die afzakt naar een omgeving met een concentratie van circa 80% CO₂. Wat er in de gondel gebeurt is niet zichtbaar voor consumenten. Meestal is het ook niet zichtbaar voor inspecteurs van de NVWA.

Animal Sciences Group (2009) omschreef wat zich afspeelt in de verdovingsgondel:

In de gondel zijn, vanaf het moment dat de gondel naar beneden ging tot het moment het dier volledig ligt, per dier de volgende gedragingen vastgesteld: omdraaien, sprong voorwaarts, achteruitlopen, naar voren vallen, wankelen, zitten, trillen van de hammen, gaspen en zwaar ademen, vallen, glijden, stuiten, spartelen en fors trappen, oprichten van lichaam, overeind komen, gillen, oprichten van kop.

Deze vorm van verdoving is dus uitdrukkelijk **niet pijnloos** en is **zeer stressvol**, ondanks dat de wet anders voorschrijft. Toch blijft de methode gehandhaafd omdat het de meest efficiënte is (er kunnen meer dan 600 varkens per uur worden geslacht) en omdat gasverdoving voordelen biedt in vergelijking met elektrische verdoving wat betreft de kwaliteit van het vlees.

Bronnen

- Velarde, A., 2007, 'Aversion to carbon dioxide stunning in pigs: effect of carbon dioxide concentration and halothane genotype', *Animal Welfare*, 2007, 16, p. 513-522
- Rodríguez, Velarde et al. Assessment of unconsciousness during carbon dioxide stunning in pigs. *Animal Welfare* 2008, 17: 341-349
- Velarde, A. et al, 2000. Survey of the effectiveness of stunning procedures used in Spanish pig abattoirs. *Veterinary Record*, 146, 65-68.
- Gas-anesthesie heeft ook zijn beperkingen. Zo leidt overdosering tot verlamming van de ademhalingspijpen, waarna de dood door verstikking volgt.' (Animal Sciences Group, 2007)
- Hartung et al., 2008, Influence of CO₂ stunning on EEG, catecholamines and clinical reflexes of slaughter pigs. In Proceedings 20th International Pig Veterinary Society Congress. June 22–26. Durban, South Africa. p. 265.
- Gregory, N.G. et al., 1990 Effect of Stunning Current on Downgrading in Ducks, *British Poultry Science*, 31: 429-431.
- Raj, A.B.M. et al., 1996. Welfare implications of the gas stunning of pigs 2. Stress of induction of anaesthesia, *Animal Welfare*, 5: 71-78.
- Stark, R.D. et al., 1981. Methods to assess breathlessness in healthy subjects: A critical evaluation and application to analyse the acute effects of diazepam and promethazine on breathlessness induced by exercise or exposure to raised levels of carbon dioxide. *Clinical Science*, 61: 429-440.
- Raj, A.B.M., 1995. Welfare implications of the gas stunning of pigs 1. Determination of aversion to the initial inhalation of carbon dioxide or argon. *Animal Welfare*, 4, p. 273-280.
- Cantieni, J., 1976. Ein Beitrag zur carbon dioxide-Betäubung von Schlachtschweinen, *Schweiz Arch Tierheilk*, 119: 255-375
- Forslid, A, 1992 Inefficiency of bilateral amygdaloid lesions to reduce the transient motor reactions exhibited by swine during exposure to CO₂, *Acta Physiologica*, 146, 1, 1992: 61–65
- Hartung, J. et al., 2002, Carbon dioxide-Betäubung von Schlachtschweinen: Einfluss auf EEG, Katecholaminausschüttung und klinische Reflexe. *Dtsch. tierärztl. Wschr.* 109, 135-139.
- Lambooj, E et al, 1999. Behavioural responses during exposure of broiler chickens to different gas mixtures, *Applied Animal Behavioural Science*, 62, 1999, 255-265
- Gerritzen, M. A., Lambooj, E., Hillebrand, S. J. W., Lankhaar, J. A. C., Pieterse, C., 2000. Behavioural responses of broilers to different gaseous atmospheres. *Poultry Science*, 79, 928-933.
- European Food Safety Authority (EFSA). Welfare aspects of animal stunning and killing methods, June 2004.

European Food Safety Authority (EFSA). Information session with stakeholders on the AHAW Panel guidance on the assessment criteria for studies evaluating the effectiveness of stunning interventions regarding animal protection at the time of killing. June 2015.

M. Machtolf et al. (2013) Die Betäubung von Schlachtschweinen mit Helium (Stunning slaughter pigs with helium) Mitteilungsblatt Fleischforschung Kulmbach 52, Nr. 202, 203-214.

Gerritzen, 2016: Time to Loss of Consciousness and Its Relation to Behavior in Slaughter Pigs during Stunning with 80 or 95% Carbon Dioxide, *Frontiers in Veterinary Science*, 2016,3,38

¹ <http://www.vionfood.nl/nl/productie/productielocaties/>

² <https://www.youtube.com/watch?v=lasVRGdmz1o>