

## Einschätzung der Betäubungsmethoden bei Mastschweinen

Die EU-Schlachtverordnung schreibt vor, dass Schmerzen vermieden und Stress und Leiden bei der Tötung von Tieren so gering wie möglich gehalten werden müssen.<sup>1</sup> Die Betäubungsverfahren müssen unmittelbar den vollständigen Verlust des Wahrnehmungs- und Empfindungsvermögens bewirken.<sup>2</sup> Wenn dies nicht gewährleistet werden kann, darf zumindest die Betäubungseinleitung keine Angst, Schmerzen und Leid bei den Schweinen verursachen.<sup>3</sup> Dabei ist allerdings nicht zu missachten, dass die Schlachtung allein eines der stressreichsten Ereignisse in der Schweinehaltung ist.<sup>4</sup>

Eine deutschlandweite Erhebung in Schlachtbetrieben belegt, dass im Mittel 1 %, in einigen Betrieben sogar bis zu 14 % der Schweine vor der Brühanlage noch bei Bewusstsein waren.<sup>5</sup> Verfahren, wie die kommerziell eingesetzte Elektrobetäubung, sind in der Handhabung sehr anspruchsvoll und bergen das Risiko für Fehlbetäubungen. Die Betäubung mittels Kohlenstoffdioxid, die größtenteils eingesetzt wird, ist dagegen wegen ihrer aversiven Wirkung tierschutzrelevant. Bei der Erarbeitung der EU-Schlachtverordnung wurde die Empfehlung der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA), „den Einsatz von Kohlendioxid bei Schweinen [...] schrittweise einzustellen“, allerdings nicht eingearbeitet. Grund dafür sind wirtschaftliche Aspekte, was aus tierschutzfachlicher Sicht stark zu kritisieren ist.<sup>6</sup>

Trotz jahrelanger Forschung zu alternativen Betäubungsverfahren gibt es bisher keine Methoden, die Angst, Schmerzen, Stress und Leiden bei der Tötung deutlich reduzieren und breitflächig etabliert wurden. Bei der Schlachtung liegt der Fokus weiterhin darauf, die Kosten niedrig und die Schlachtkapazitäten hoch zu halten.

### Betäubung mit Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>)

Für die Betäubung mit Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) werden die Schweine meist in kleineren Gruppen mithilfe von Gondeln in einen Betäubungsschacht transportiert. Es gibt zwei verschiedene Systeme:

- Das „dip-lift“-System, bei dem eine Gondel etwa sechs Tiere in die CO<sub>2</sub>-Konzentration absenkt.
- Das „Paternoster“-System besteht aus bis zu acht Gondeln, die in einer Grube rotieren und immer wieder stoppen, um Tiere einzuladen und bewusstlose Tiere auszuladen. In jede Paternoster-Gondel passen zwei bis sechs Schweine.

Rechtlich sind CO<sub>2</sub>-Konzentrationen von mindestens 80 % für mindestens 100 Sekunden vorgeschrieben. Zunehmend mehr Schlachtbetriebe nutzen Konzentrationen von 90 % und darüber.

Die Betäubungswirkung beruht darauf, dass die erhöhte CO<sub>2</sub>-Konzentration den Sauerstoffgehalt im Blut senkt (respiratorische Azidose). Das CO<sub>2</sub> senkt zudem den pH-Wert des Blutes der Schweine, was sich bis zur Flüssigkeit, die das Gehirn umgibt, ausbreitet. Das schränkt die Funktion des Gehirns ein und führt zum Verlust des Bewusstseins. Da der erhöhte CO<sub>2</sub>-Gehalt im Blut jedoch auch das Atemzentrum stimuliert, erhöht sich die Atemfrequenz und es kommt zur Atemnot (Gefühl des Erstickens). Erst bei einem längeren Aufenthalt in hoher Konzentration tritt der Tod ein.<sup>7,8,9</sup>

Es gibt keine offiziellen Zahlen, wie viele Schweine in Deutschland im Rahmen der Schlachtung mit CO<sub>2</sub> betäubt werden. Laut Angaben von Schreiber (2019), nutzen 2018 etwa 78 % der Schweineschlachthöfe der zehn größten Schlachtunternehmen diese Betäubungsmethode.<sup>10</sup>

Bei der Betrachtung der wissenschaftlichen Literatur zur Betäubung mittels CO<sub>2</sub> wird deutlich, dass ein direkter Vergleich der Studienergebnisse schwierig ist. Verhaltensbeschreibungen variieren und die Autor:innen verwenden unterschiedliche Begriffe.

### **Vorteile**

- **Betäubung in der Gruppe:** Die Schweine werden zur Betäubung nicht getrennt, sondern bleiben in der Gruppe,<sup>11,12</sup> was dem arttypischen Verhalten entspricht und Angst und Stress reduziert.<sup>13</sup>
- **Fixierung:** Die Tiere werden bei der Betäubung nicht fixiert.<sup>14,15</sup>
- **Automatischer Zutrieb:** Moderne Anlagen haben einen automatischen Zutrieb zur Betäubungsanlage installiert, sodass in der Regel keine Elektrotreiber eingesetzt werden müssen. Dadurch wird der Kontakt zu Menschen reduziert und es ist weniger belastend für die Schweine.<sup>16,17</sup>
- **Verlängerte Zeit der Bewusstlosigkeit:** Mit zunehmender Verweildauer in hohen CO<sub>2</sub>-Konzentrationen (über der rechtlich vorgeschriebenen Mindestzeit) verlängert sich die Zeit der Bewusstlosigkeit, sodass diese (theoretisch) an den Schlachtablauf angepasst werden könnte.<sup>18</sup>

### **Nachteile**

- **Aversive Wirkung:** CO<sub>2</sub> verursacht bei den Schweinen Erstickungsgefühle und Atemnot, Schmerzen durch Reizung der Atemwegsschleimhäute<sup>19,20</sup> und Muskelreaktionen.<sup>21</sup> Als Ausdruck der Angst und Schmerzen schreien<sup>22</sup> sie und versuchen zu fliehen.<sup>23</sup> Diese Reaktionen sind unvermeidlich da sie Teil des Wirkprozesses sind<sup>24</sup> und finden bei Bewusstsein der Tiere statt.<sup>25</sup> Die aversive Wirkung von CO<sub>2</sub> steigt mit zunehmender Konzentration,<sup>26,27</sup> zeigt sich aber bereits ab 30 %.<sup>28</sup> Reduzierte CO<sub>2</sub>-Konzentrationen verlangsamen das Einsetzen der Bewusstlosigkeit und verlängern die Zeit, in der die Tiere unter der aversiven Wirkung leiden.<sup>29</sup> Schweine, die unter Laborbedingungen die Möglichkeit dazu hatten, meiden Umgebungen mit erhöhten CO<sub>2</sub>-Konzentrationen, selbst beim erstmaligen Kontakt, wodurch darauf zu schließen ist, dass sie es als unangenehm wahrnehmen.<sup>30,31,32</sup>
- **Verletzungsgefahr:** Beim Abwehrverhalten steigen die Schweine aufeinander und springen auf und ab sowie gegen die Wände der Gondel, was ein Verletzungsrisiko für sie selbst und andere Schweine darstellt.<sup>33,34</sup>

- **Betäubungseintritt:** Je nach ausgewerteten Parametern für die Bewusstlosigkeit, kann die festgestellte Zeit variieren.<sup>35</sup> Überwiegend dauert es bei CO<sub>2</sub>-Konzentrationen ab 80 % etwa 15 bis 30 Sekunden.<sup>36,37,38,39,40,41</sup>
- **Individualität nicht einbezogen:** Aufgrund (biologischer) Unterschiede oder äußerer Umstände, wie z.B. das Handling, reagieren Tiere unterschiedlich auf CO<sub>2</sub> (wie schnell sie auf das Gas reagieren, welche Reaktionen sie zeigen) und verlieren nicht alle gleichzeitig das Bewusstsein,<sup>42,43</sup> was ein Risiko beim standardisierten Schlachtprozess darstellt.
- **Grenzschicht:** Es entsteht eine Grenzschicht, in der die CO<sub>2</sub>-Konzentration bereits ansteigt, aber noch Sauerstoff vorhanden ist, sodass die Tiere Belastungsreaktionen zeigen, ohne dass sie bereits betäubt werden.<sup>44</sup> In "Paternoster-Systemen" kommen die Tiere durch das Rotieren der Gondeln frühzeitig mit geringen Mengen CO<sub>2</sub> in Kontakt. Neben den aversiven Reaktionen, weigern sich die Schweine dadurch, die Gondeln zu betreten.<sup>45</sup>
- **Kein Eingreifen möglich:** Während der Betäubung sind die Tiere in den Gondeln für das Personal nicht erreichbar, sodass nicht direkt eingegriffen werden kann, wenn Probleme auftreten,<sup>46</sup> zumal eine Überwachung und Einordnung der Verhaltensreaktionen unter kommerziellen Bedingungen meist ohnehin nicht möglich ist.<sup>47</sup>
- **Technik:** Automatisch schließende Türen, die Tiere treffen oder sie "weiter-schieben" führen zu Stress, Angst und Schmerzen. Zeitdruck begünstigt raues Handling und somit den schmerzhaften Einsatz von Treibmitteln (z. B. Elektrotreiber).<sup>48</sup> Es wird vermutet, dass die lauten Geräusche der Betäubungsanlage<sup>49</sup> und das Herabfahren der Gondeln die Schweine verängstigt.<sup>50</sup> CO<sub>2</sub>, das bei der Einleitung ungenügend verdampft wird, senkt die Temperatur in den Gondeln und die Schweine atmen trockenes kaltes Gas ein, was zusätzliche Schmerzen verursacht.<sup>51</sup>
- **Management:** Wenn die Gondeln überbelegt werden, steigt das Risiko, dass nicht alle Tiere (vollständig) betäubt werden.<sup>52</sup>
- **Ältere Anlagen:** In veralteten Betäubungsanlagen erfolgt der Zutrieb einzeln und ist mit erheblichen Belastungen verbunden,<sup>53</sup> weil die Tiere von anderen Schweinen getrennt und dafür häufig Elektrotreiber eingesetzt werden.<sup>54</sup>

## Fazit

Die aversive Wirkung, die sich bei den Schweinen in Form von Schmerzen, Angst und Atemnot äußert, ist unvermeidlich mit der CO<sub>2</sub>-Betäubung in hohen Konzentrationen verbunden.<sup>55,56</sup> Neben körperlichen Leiden ist die Rede von "intensive[n] psychische[n] Belastung[en]" der Tiere.<sup>57</sup> Die Methode ist außerdem anfällig für managementbedingte Fehler. Mitunter wird von Autor:innen angemerkt, dass die Studien nicht immer exakt die Bedingungen der aktuellen Betäubungspraxis widerspiegeln<sup>58</sup> und sich Beobachtungen, wie z. B. des Verhaltens, nicht auf alle Tiere übertragen lassen.

Dennoch kommt die Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) anhand dieser Ergebnisse zu dem Schluss, dass die CO<sub>2</sub>-Betäubung ein erhebliches Problem für das

Wohlbefinden der Schweine darstellt.<sup>59</sup> Und das bereits ab Konzentrationen von 30 %. Aus diesen Gründen ist die Betäubungsmethode tierschutzrelevant und abzulehnen.

Die Forschung an Alternativen und deren Einführung muss verstärkt werden.

## Elektrobetäubung

Bei der kommerziell eingesetzten elektrischen Betäubung wird Strom durch den Körper geleitet. Wenn genügend Strom durch das Gehirn führt (Elektrobetäubung durch Kopfdurchströmung), wird eine epilepsieartige Aktivität ausgelöst. Das Tier verliert sein Bewusstsein und empfindet keine Schmerzen.

Bei der Kopf-Körper-Betäubung wird zusätzlich Strom durch den Körper geleitet, um Herzkammerflimmern bzw. einen Herzstillstand auszulösen. Die Betäubung kann durch einen Stromkreis erzeugt werden, indem zwei Elektroden an den Kopf und eine Elektrode an der Brust angesetzt werden. Diese Variante ist sehr gebräuchlich in Schlachthäusern. Werden die Schweine dagegen mit zwei Stromkreisläufen betäubt, werden zuerst zwei Elektroden am Kopf für die Kopfbetäubung und anschließend eine Elektrode an der Brust platziert.

Die Elektroden werden entweder mechanisch oder manuell angesetzt. Um eine ausreichende Betäubungswirkung zu erreichen, ist darauf zu achten, dass die Elektroden am richtigen Platz angebracht sind und genug Strom fließt.<sup>60</sup>

### Vorteile

- **Betäubungswirkung:** Die Wahrnehmungs- und Empfindungslosigkeit tritt innerhalb weniger Millisekunden ein.<sup>61,62</sup> Bei optimalen Bedingungen nach 300 ms.<sup>63</sup>
- **Betäubungsdauer:** Bei der Ganzkörperbetäubung (Stromzufuhr vom Kopf zum Körper) ist die Wahrscheinlichkeit der Wiedererlangung des Bewusstseins geringer als bei der Kopfbetäubung. Daher wird diese Methode aus Gründen des Tierschutzes als geeigneter angesehen.<sup>64</sup>

### Nachteile

- **Trennung von der Gruppe:** Die Vereinzelnung stellt eine erhebliche Belastung für die Tiere dar.<sup>65</sup>
- **Zuführung zur Fixierung:** Besonders belastend für die Tiere ist die Zuführung zur Betäubung. In häufig verwendeten Einzeltreibgängen, verweigern sie das Weitergehen und "Treibhilfen" wie Schlagstöcke oder Elektrotreiber werden massiv eingesetzt.<sup>66,67</sup> Je mehr Kraft dabei aufgewendet wird, desto schmerzhafter ist es.<sup>68</sup>
- **Fixierung:** Bei der elektrischen Betäubung muss das Tier fixiert sein. Schweine sind stressanfällige Tiere und die Fixierung verursacht starken Stress.<sup>69,70</sup>
- **Falsche Platzierung der Elektroden:** Die ideale Platzierung der Elektroden ist unter kommerziellen Bedingungen stark erschwert.<sup>71</sup> Häufig werden die Zangen falsch positioniert.<sup>72</sup> Sind die Tiere bei der Durchströmung der Brust (des Herzens) noch bei Bewusstsein, ist das sehr schmerzhaft.<sup>73</sup> Durch Fehlplatzierung der Elektroden kann statt eines epileptiformen Anfalls eine Elektroimmobili-

sation verursacht werden, bei der die Tiere bei Bewusstsein den Stromschmerz wahrnehmen, aber aufgrund eines ebenfalls schmerzhaften generalisierten Muskelkrampfes keine Schmerzäußerungen zeigen.<sup>74</sup>

- **Zu kurze Expositionsdauer:** Die Dauer der Bewusstlosigkeit hängt von der zugeführten Strommenge und Dauer der Durchströmung ab.<sup>75</sup> Hohe Bandgeschwindigkeiten führen zu hohen Durchsatzraten bei den automatisierten Kopf-Körper-Betäubungsgeräten und begünstigen einen unzureichenden oder zu kurzen Kontakt mit den Elektroden,<sup>76</sup> wodurch das Fehlbetäubungsrisiko steigt.
- **Schmerzen durch Einleitungsphase:** Kürzere Stromflusszeiten führen nicht zur Empfindungs- und Wahrnehmungslosigkeit, sondern zu deutlichen Schmerzäußerungen und Panikreaktionen, wodurch davon ausgegangen werden kann, dass die Einleitungsphase jeder üblichen Elektrobetäubung mit einer (kurzzeitigen) starken Schmerzempfindung verbunden ist.<sup>77</sup>
- **Ungeeignete elektrische Parameter:** Faktoren, wie die falsche Wahl der elektrischen Parameter (zu niedrige Spannungen oder Strom), begünstigen eine unzureichende Betäubung.<sup>78</sup> Ebenso eine fehlende Kalibrierung der Geräte, fehlende Überwachung der Betäubungsqualität und die fehlende Anpassung der Einstellungen an unterschiedliche Tierarten (z. B. Schlachtgewicht bei Ebern und Sauen).<sup>79</sup>
- **Betäubungsbeurteilung:** Diese ist schwerer als bei anderen Betäubungsmethoden, da es nicht einfach ist, die Symptome des gewünschten epileptiformen Anfalls von denen einer Fehlbetäubung zu unterscheiden. Die Immobilisierung des Tieres („Immobilisierungseffekt“), die durch den Stromfluss durch den Körper verursacht wird, kann Symptome der Fehlbetäubung oder des Wiedererwachens kaschieren.<sup>80</sup>
- **Risikante Betäubung:** Die erfolgreiche Betäubung hängt bei manuellen Geräten stark von der Sachkenntnis des:der Anwender:in ab, die Elektroden genau zu platzieren und genügend Strom zu liefern.<sup>81</sup> Äußere Einflüsse, wie Licht oder Geräusche, zum Zeitpunkt der Betäubung erhöhen das Risiko für unvorhersehbare Kopfbewegungen des Tieres und verhindern den richtigen Ansatz des Gerätes.<sup>82</sup> Die meisten Geräte und angewendeten Stromparameter sind vor allem für schwere Schweine (ältere Sauen) nicht ausreichend und erhöhen das Fehlbetäubungsrisiko.<sup>83</sup>
- **Wiedererwachen während Entblutung:** Die Elektrobetäubung mittels Kopfdurchströmung führt nicht zum Tod. Somit kann eine verzögerte Entblutung dazu führen, dass die Tiere nach Abklingen der Betäubungswirkung wieder zu Bewusstsein kommen.<sup>84</sup>
- **Stress:** Die Tiere zeigen eine höhere metabolische Umsatzrate nach elektrischer Betäubung im Vergleich zu anderen Betäubungsmethoden, wie der CO<sub>2</sub>-Betäubung, was auf mehr Stress bei den elektrisch betäubten Schweinen hinweist.<sup>85</sup>

## Fazit

Die Elektrobetäubung ist für die Schweine mit Schmerzen und Leid verbunden. Oftmals werden die Tiere von der Gruppe getrennt, was zu erheblichem Stress führt. Die Fixierung verursacht zusätzliche Belastungen. Vor allem die Einleitungsphase ist zwangsweise schmerzhaft für die Schweine. Die Betäubungswirkung und -effektivität sind stark von den Anwender:innen abhängig und werden in der Praxis eher nach der Fleischqualität ausgerichtet als nach dem Betäubungserfolg<sup>86</sup>. Es herrscht ein hohes Risiko für Fehlbetäubungen. Aus diesen Gründen ist die Elektrobetäubung tierschutzrelevant und abzulehnen.

## Betäubung mit anderen Gasen und Gasgemischen

Die Betäubung mit anderen Gasen als Kohlenstoffdioxid funktioniert nach der Methode des "Controlled atmosphere stunning" (CAS). Dabei werden die Schweine direkt oder schrittweise den Gasen oder einem Gemisch aus den Gasen und Kohlenstoffdioxid ausgesetzt.<sup>87</sup> Letzteres ist ein Ansatz, um die Nachteile der reinen CO<sub>2</sub>-Betäubung (Schmerzen, Angst und Atemnot bzw. das Gefühl des Erstickens) zu verhindern.<sup>88</sup>

Nachfolgend werden die Betäubung mit dem Inertgas Stickstoff (N<sub>2</sub>) und dem Edelgas Argon (Ar) beschrieben. Beide Verfahren werden derzeit nicht kommerziell verwendet.

### Stickstoff und Stickstoff-Kohlenstoffdioxid-Gemisch

Bei der Betäubung mit Stickstoff verursacht die Erhöhung der Stickstoff-Konzentration einen Sauerstoffmangel. Das Gas kann in hohen Konzentrationen allein oder in Gemischen mit CO<sub>2</sub> eingesetzt werden. Aufgrund der schwierigen technischen Umsetzung für Stickstoff in hohen Konzentrationen gibt es bisher nur wenige Studien dazu und es werden in der Regel Gasgemische mit CO<sub>2</sub> verwendet. Das Verfahren wurde bisher nur unter Laborbedingungen erforscht.<sup>89,90</sup> Die europäische Schlachtverordnung erlaubt die Verfahren für die einfache Betäubung von Schweinen.<sup>91</sup>

### Vorteile

- **Geringe aversive Wirkung:** Stickstoff weist selbst in hohen Konzentrationen eine geringere aversive Wirkung auf als CO<sub>2</sub>.<sup>92</sup> Gasgemische aus Stickstoff und CO<sub>2</sub> reduzieren daher die aversive Wirkung von CO<sub>2</sub>.<sup>93</sup>
- **Gruppenbetäubung:** Ähnlich wie bei anderen Gasen können Tiere in Gruppen ohne Fixierung betäubt werden.<sup>94</sup>

### Nachteile

- **Aversive Wirkung:** Schweine zeigen bei Gasgemischen von 60 % oder 85 % Stickstoff und nur 20 % bzw. 15 % CO<sub>2</sub> Belastungssymptome, wie Fluchtverhalten und Luftschnappen<sup>95,96,97</sup> und die Verhaltensweisen zwischen den Gasgemischen und reinem CO<sub>2</sub> ähneln sich sehr.<sup>98</sup> Je höher der CO<sub>2</sub>-Anteil im Gasgemisch ist, desto häufiger zeigen die Schweine Luftschnappen (Atemnot) und umso frühzeitiger setzen Muskelreaktionen als Zeichen aversiven Verhaltens ein.<sup>99,100</sup> Im Vergleich zu Argon treten bei Gasgemischen aus Stickstoff und CO<sub>2</sub> vermehrt aversive Anzeichen (Fluchtverhalten, Keuchen) bei den Tieren auf.<sup>101</sup> Es gibt Hinweise, dass Stickstoff außerdem zu Krämpfen bei Schweinen führt.<sup>102</sup>

- **Verletzungsgefahr:** Durch die aversive Wirkung der Gasgemische aus Stickstoff und CO<sub>2</sub> sowie weiteren Faktoren, wie lauten Geräuschen der Betäubungsanlage, reagieren die Tiere verängstigt und springen aufeinander, wodurch ein erhöhtes Risiko für Verletzungen entsteht.<sup>103</sup>
- **Betäubungseintritt:** Gasgemische mit Stickstoff benötigen mehr Zeit bis zur Betäubungswirkung als die alleinige Nutzung von CO<sub>2</sub>.<sup>104</sup> Da die Bewusstlosigkeit nicht sofort einsetzt, gibt es eine erste Phase, in der die Schweine Schmerzen und Belastungen wahrnehmen.<sup>105</sup> Zudem bleiben die Tiere bei Bewusstsein, wenn sie der Atmosphäre zu kurz ausgesetzt werden.<sup>106</sup>
- **Betäubungswirkung:** Bei einem kürzeren Aufenthalt in der Gasgemisch-Atmosphäre ist die Betäubung reversibel und es besteht das Risiko, dass die Tiere wieder das Bewusstsein erlangen.<sup>107</sup> Darüber hinaus hält die Bewusstlosigkeit bei Gaskonzentrationen mit geringeren CO<sub>2</sub>-Anteilen oder im Gegensatz zur reinen CO<sub>2</sub>-Betäubung kürzer an. Als Folge erhöht sich das Risiko, dass Tiere im weiteren Schlachtprozess wieder das Bewusstsein erlangen.<sup>108,109</sup>
- **Vermischung mit Luft:** Es besteht das technische Problem, hohe Stickstoff-Konzentrationen zu halten, ohne dass sich das Gas mit Luft mischt. Dies stellt ein Risiko für die Betäubungswirkung und Kontrollierbarkeit dar.<sup>110</sup>
- **Ungenügende Absenkung des Sauerstoffgehaltes:** Da Stickstoff eine geringere Dichte als atmosphärische Luft aufweist, besteht das Risiko, dass in Bodennähe der Sauerstoffgehalt nicht gewünscht abgesenkt werden kann. Dies erhöht die technischen Anforderungen an die Betäubungsanlage.<sup>111,112</sup>
- **Bautechnische Faktoren der Betäubungsanlage:** Schließende Tore oder laute Geräusche sind beängstigend für die Tiere<sup>113</sup>.
- **Fehlende Forschung:** Da die Betäubung mittels Stickstoff noch nicht kommerziell verwendet wird, gibt es nur wenige Studien zum Ablauf und Sicherheit der Betäubung.<sup>114</sup>

## Fazit

Auf der Suche nach Alternativen für die CO<sub>2</sub>-Betäubung wird Stickstoff untersucht. Die Studienlage, wenn auch geringer als bei anderen Verfahren, gibt eindeutige Hinweise, dass selbst bei Gasgemischen aus Stickstoff mit geringeren CO<sub>2</sub>-Konzentrationen aversive Reaktionen auftreten und die Schweine entsprechend leiden. Eindeutige Vorteile für den Tierschutz sind bei Gasgemischen nicht belegt.<sup>115</sup>

## Argon

Argon erzielt eine betäubende Wirkung durch eine Anoxie im Gehirn (Sauerstoffmangel).<sup>116</sup> Ein mögliches Verfahren ist der Gebrauch von 90 % Argon in der Luft.<sup>117</sup> Dabei versteifen die Tiere nach 10 Sekunden für etwa 5 Sekunden und verlieren dann ihre Körperposition.<sup>118</sup> Da das Edelgas schwerer als Luft ist, kann es in Gruben, Containern<sup>119</sup> oder "dip lift"-Systemen genutzt werden.<sup>120</sup> Das Verfahren wurde bisher überwiegend unter Laborbedingungen erforscht.<sup>121</sup> Die europäische Schlachtverordnung erlaubt ein Gasgemisch mit Argon für die einfache Betäubung von Schweinen.<sup>122</sup>

## Vorteile

- **Keine Atemnot:** Die Tiere erleben kein Gefühl der Atemnot in der Anflutungs-/ Einleitungsphase.<sup>123</sup>
- **Weniger aversiv:** Argon ist geruchs- und geschmacklos, weniger aversiv und verursacht keine Atemlosigkeit während der Einleitungsphase.<sup>124,125</sup> Es gibt allerdings Hinweise auf eine aversive Wirkung bei Menschen, sodass hier noch Forschungsbedarf besteht.<sup>126</sup>
- **Betäubungseintritt:** Die Zeit bis zum Eintreten der Bewusstlosigkeit durch Anoxie ist kürzer und weniger variabel als bei der reinen CO<sub>2</sub>-Betäubung mit hoher Konzentration.<sup>127</sup> Allerdings darf die Expositionszeit nicht zu kurz sein, da die Tiere sonst während des Entblutens krampfen.<sup>128</sup>
- **Erregungslage:** Während der Einwirkung von Argon verlieren die Schweine ihre Körperposition ohne erregtes Verhalten.<sup>129</sup>

## Nachteile

- **Betäubungsdauer:** Die Betäubung hält kurz an, folglich muss das Entbluten schnell und ohne Verzögerung durchgeführt werden, um zu verhindern, dass die Tiere während des Stechens ihr Bewusstsein wiedererlangen.<sup>130,131,132</sup>
- **Unzureichende Betäubung und Wiedererwachen:** Liegt die Sauerstoffkonzentration über 2 %, verlängert sich die Einleitung der Bewusstlosigkeit, werden die Schweine unzureichend betäubt oder sind bei Bewusstsein, wenn sie aus der Betäubungsanlage geworfen werden. Das Auswerfen und Entbluten bei Bewusstsein führt zu Schmerzen und Angst.<sup>133</sup>
- **Zu kurze Einwirkzeit:** Ist die Einwirkzeit von Argon zu kurz, bleiben die Tiere bei Bewusstsein oder erlangen ihr Bewusstsein vor oder während des Entblutens wieder. Die Tiere erleiden Angst und Schmerzen.<sup>134</sup>
- **Überladung:** Wird die Betäubungskammer oder Gondel mit zu vielen Tieren beladen, werden einige Schweine dem Gas unzureichend ausgesetzt und Tiere können übereinander fallen. Unten liegenden Tieren wird dadurch der Brustkorb zusammengedrückt und sie atmen nicht genug Gas ein. Die Tiere erleiden Angst und Schmerzen.<sup>135</sup>
- **Atemnot:** Eine Einwirkung von 90 % Argon führt zu minimaler Atemnot vor dem Verlust des Bewusstseins.<sup>136</sup>

## Fazit

Im Vergleich zu den derzeit üblichen Betäubungsverfahren beinhaltet das Verfahren das Potenzial, tierschutzrelevante Probleme zu mindern oder gänzlich zu verhindern. Die Betäubung durch Anoxie mittels 90 % Argon und 2 % Restsauerstoff kann als Alternative zur Gasbetäubung mittels Kohlenstoffdioxid genutzt werden.<sup>137</sup> Vor allem da die Tiere wenig aversive Wahrnehmungen erleben. Das Gas wird derzeit unter anderem nicht verwendet, da das Vorkommen begrenzt ist<sup>138</sup> und dadurch die Kosten im Vergleich zu Kohlenstoffdioxid höher sind.<sup>139</sup> Als Alternative zur reinen Argon-Betäubung ist ein zweistufiges Verfahren unter Verwendung von Argon und CO<sub>2</sub> möglich (siehe nachfolgend beschriebenes Betäubungsverfahren).



Bei einer Bewertung der Betäubungsmethoden aus Tierschutzsicht sind ästhetische Auswirkungen auf die Fleischbeschaffenheit wie Blutpunkte bei Argonbetäubung nicht prioritär zu beachten.<sup>140</sup>

## Argon-Kohlenstoffdioxid-Gemisch

Bei dem Verfahren werden die Schweine direkt oder schrittweise dem Argon-Kohlenstoffdioxid-Gasgemisch ausgesetzt. Es ist möglich, Gruben oder Kammern zu verwenden.<sup>141</sup> Eine hyperkapnische Anoxie verursacht die Betäubungswirkung. Die Kohlenstoffdioxidkonzentration im Gemisch sollte weniger als 40 % (da die Tiere sonst Schmerzen, Angst und Atemnot erleiden) und der Restsauerstoffgehalt weniger als 2 % betragen.<sup>142</sup> Ein weiteres untersuchtes Verfahren ist eine Mischung aus 30 % CO<sub>2</sub> in Argon mit einem Restsauerstoffgehalt von weniger als 2 %.<sup>143</sup> Die europäische Schlachtverordnung erlaubt Kohlenstoffdioxid in Verbindung mit Argon für die einfache Betäubung von Schweinen, wenn die Dauer der Exposition bei einem Kohlenstoffdioxidanteil von mindestens 30 % weniger als 7 Minuten beträgt.<sup>144</sup>

### Vorteile

- **Stabilität und uniforme Konzentration:** Gasgemisch aus Argon und bis zu 30 % CO<sub>2</sub> besitzen eine hohe Stabilität und zeigen eine uniforme Konzentration in der Grube.<sup>145</sup>
- **Geringe Aversion:** Da das Gasgemisch einen niedrigen CO<sub>2</sub>-Anteil besitzt, zeigen die Tiere bei dem Verfahren eine geringere Aversion gegenüber der Begasung.<sup>146</sup>
- **Schnellere Wirkung:** Reduzierte Zeit von Krämpfen und schnelleres Eintreten des Atemstillstands als bei reiner Argonbetäubung.<sup>147</sup>

### Nachteile

- **Aversion und Atemnot möglich:** Beide können nicht grundsätzlich ausgeschlossen werden, sondern hängen von den Anteilen der Gase im Gemisch ab. Je höher der CO<sub>2</sub>-Anteil im Gemisch ist, desto stärker zeigen die Tiere aversives Verhalten.<sup>148</sup>
- **Schlechtes Monitoring des Eintritts der Betäubungswirkung:** Es ist nicht immer möglich, den genauen Eintritt des Verlustes der Körperhaltung als frühestes Zeichen des Eintretens der Bewusstlosigkeit und Empfindungslosigkeit festzustellen, da die Tiere bereits zuvor beginnen zu krampfen.<sup>149</sup>
- **Zu kurze Einwirkzeit:** Ist die Einwirkzeit des Gasgemisches zu kurz, ist der Eintritt der Bewusstlosigkeit verzögert, bleiben die Tiere bei Bewusstsein oder erlangen ihr Bewusstsein vor oder während des Entblutens wieder. Die Tiere erleiden Angst, Schmerzen und Atemnot.<sup>150</sup>
- **Niedrige Temperatur:** Bei der Verwendung von flüssigem oder soliden CO<sub>2</sub> in der Kammer statt Verdampfung sinkt die Umgebungstemperatur, was Schmerzen bei den Schweinen verursacht.<sup>151</sup>
- **Überladung:** Wird die Betäubungskammer oder Gondel mit zu vielen Tieren beladen, werden einige Schweine dem Gas unzureichend ausgesetzt und Tiere

können übereinander fallen. Unten liegenden Tieren wird dadurch der Brustkorb zusammengedrückt und sie atmen nicht genug Gas ein. Die Tiere erleiden Angst, Schmerzen und Atemnot.<sup>152</sup>

## Fazit

Die Methode ist anfällig für managementbedingte Fehler. Der Vorteil liegt jedoch in der geringen Aversion gegenüber dem Gasgemisch. Das Verfahren verursacht weniger Schmerzen, Angst und Atemnot als die Betäubung mit einer hohen CO<sub>2</sub> Konzentration.<sup>153</sup> Allerdings zeigen die Tiere mehr Aversion als bei einer Betäubung mit 90 % Argon.<sup>154</sup>

Das Gasgemisch kann in existierenden Anlagen mit "dip-lift"-Systemen verwendet werden. Sollte das Verfahren als Kompromiss zwischen der reinen Argon- bzw. CO<sub>2</sub>-Betäubung verwendet werden, sollten Untersuchungen bestätigen, welche Gasmischung am wenigsten aversive Reaktionen bei ausreichenden Betäubungszeiten und -tiefe ermöglicht.

Ein zweistufiges Verfahren mit einem einleitenden Betäubungsgas kann potenziell das Risiko der Aversion durch das Gasgemisch verringern und gleichzeitig ermöglichen, dass die Betäubungszeit und Krämpfe nicht übermäßig lange dauern.<sup>155</sup>

## Alternativen

Auf der Suche nach Alternativen zu den aktuell eingesetzten Betäubungsmethoden werden unterschiedliche Ansätze untersucht. Nachfolgend werden drei Verfahren näher beschrieben.

### Helium

Die Bewusstlosigkeit wird wie bei Argon durch Hyp- bzw. Anoxie erzeugt.<sup>156</sup> Helium führt also zu einem Sauerstoffmangel und bewirkt somit den Verlust des Wahrnehmungs- und Empfindungsvermögens.<sup>157</sup>

Ein untersuchtes Verfahren ist die Betäubung mit 98,5 % Helium und einem Restsauerstoffgehalt von 1,5 % über 180 Sekunden. Die Tiere verlieren nach im Mittel 20 Sekunden ihr Stehvermögen mit anschließender Phase der unkontrollierten Muskelkontraktionen.<sup>158</sup>

Bisher ist Helium als Betäubungsmethode in der EU zwar zugelassen, wird aber nicht kommerziell eingesetzt. Daher ist die Studienlage unter kommerziellen Bedingungen gering, wird aber immer wieder als Alternative zur aversiven CO<sub>2</sub>-Betäubung diskutiert.<sup>159</sup>

### Vorteile

- **Keine aversiven Reaktionen:** Die Tiere zeigen kein Abwehrverhalten in einer Helium-Atmosphäre.<sup>160,161,162</sup>
- **Gruppenbetäubung:** Die Helium-Betäubung könnte in Gruppen erfolgen.<sup>163</sup>

### Nachteile

- **Technischer Aufwand:** Da Helium eine geringere Dichte als atmosphärische Luft hat, ist es schwierig, das Gas für Betäubungszwecke zu verwenden. Es muss beachtet werden, dass der gesamte Raum auch in Bodennähe eine genügend hohe Konzentration aufweist.<sup>164</sup>

## Fazit

Helium weist deutliche Vorteile in Bezug auf das Wohlbefinden der Tiere auf. Derzeit wird es nicht kommerziell genutzt, unter anderem da es im Verhältnis zu anderen Gasen aufgrund des begrenzten, endlichen Vorkommens auf der Erde teuer und schwer verfügbar ist.<sup>165</sup> Die Einschätzung der Vor- und Nachteile beruht auf wenigen Untersuchungen. Trotz vielversprechender Hinweise auf eine Leidminderung durch das Verfahren, kann aufgrund der geringen Studienlage keine abschließende Bewertung vorgenommen werden.

## Low atmospheric pressure stunning (LAPS)

Die Methode beruht auf einer Betäubung durch Sauerstoffmangel, indem in der Betäubungskammer mittels Dekompression der Sauerstoff entzogen und der Luftdruck gesenkt wird.<sup>166</sup> Bisher ist das Verfahren in der EU für kommerzielle Schlachtungen nur für "Masthühner" unter 4 kg zugelassen.<sup>167</sup> Allerdings wurde das Verfahren zugelassen, nachdem EFSA geurteilt hat, dass die Methode bezüglich des Wohlbefindens der Tiere nicht schlechter ist als die bis dahin zugelassenen Verfahren. Da diese bezüglich des Wohlbefindens aber selbst schlecht abschneiden, sind die Anforderungen an das Betäubungsverfahren niedrig.

### Vorteile

- Gruppenbetäubung: Die Schweine können wahrscheinlich in Gruppen betäubt werden.<sup>168</sup>

### Nachteile

- Schmerzen und Belastungen: Bei der Betrachtung von Ergebnissen bei anderen Tierarten schlussfolgern die Autor:innen, dass LAPS ein Risiko für Schmerzen und Belastungen darstellt.<sup>169</sup>

## Fazit

Bisher gibt es nur wenige Studien, die die Betäubungswirkung von LAPS bei Schweinen untersucht haben. Bei erwachsenen Schweinen wurde das Verfahren noch nicht untersucht.

Bei Ferkeln wurde eine längere Zeit bis zum Tod als bei CO<sub>2</sub> festgestellt. Problematisch ist, dass die Betäubung nicht bei allen Ferkeln effektiv war.<sup>170</sup>

## Schaum

Das Verfahren ist bisher nicht zur Schlachtung zugelassen. Einige Studien untersuchten das Betäubungsverfahren, bei dem ein Schaum mit Stickstoff angereichert wird. Im Gegensatz zu reinen Gasen wird der Vorteil vermutet, dass der Schaum die Luft effektiv verdrängen kann und somit hohe Stickstoff-Konzentrationen erreicht werden können.<sup>171</sup> Die Betäubungswirkung entspricht dann der Stickstoff-Betäubung.

Da es noch keine einheitliche Technik und Betäubungsanlagen für das Verfahren gibt, fallen die Studienergebnisse unterschiedlich aus.<sup>172</sup>

## Vorteile

- Keine Informationen.

## Nachteile

- **Aversive Wirkung:** Die Tiere zeigten Atemnot und Fluchtverhalten.<sup>173</sup> Sobald der Schaum auf Kopfhöhe der Tiere ist, versuchen sie ihn allerdings zu meiden.<sup>174,175</sup>
- **Betäubungswirkung:** Die Betäubung von "Schlachtschweinen" ergab in einer Studie schlechte Resultate, indem selbst Expositionszeiten von über drei Minuten keine sichere Bewusstlosigkeit erzeugten. Die Tiere erlangten zudem schnell wieder das Bewusstsein, sodass die Nachbetäubungsrate entsprechend hoch war.<sup>176</sup>

## Fazit

Derzeit können keine sicheren Aussagen zum Einsatz dieser Betäubungsmethode unter kommerziellen Bedingungen getroffen werden. Die Studienlage ist zu gering.<sup>177</sup> Auch wenn beobachtet wurde, dass keine Unterschiede und aversiven Reaktionen beim Einleiten von luftgefülltem oder mit Stickstoff angereichertem Schaum auftraten, gilt das nur bis der Schaum auf Höhe der Köpfe der Schweine ist.<sup>178,179</sup> Daher ist es nicht möglich, aus Tierschutzsicht eine abschließende Bewertung vorzunehmen.

Albert Schweitzer Stiftung für unsere Mitwelt  
Stand 01-2023

---

## Endnoten

- 1** Verordnung (EG) Nr. 1099/2009 des Rates vom 24. September 2009 [über den Schutz von Tieren zum Zeitpunkt der Tötung](#). Erwägungsgrund (2).
- 2** Hirt, A., Maisack, C. & Moritz, J. (2016). TierSchG Tierschutzgesetz-Kommentar, 3. Auflage. München: Verlag Franz Vahlen.
- 3** Atkinson, S., Algers, B., Pallisera, J., Velarde, A., & Llonch, P. (2020). [Animal Welfare and Meat Quality Assessment in Gas Stunning during Commercial Slaughter of Pigs Using Hypercapnic-Hypoxia \(20% CO<sub>2</sub> 2% O<sub>2</sub>\) Compared to Acute Hypercapnia \(90% CO<sub>2</sub> in Air\)](#). Animals, 10(12), 2440.
- 4** Mota-Rojas, D., Bolanos-Lopez, D., Concepcion-Mendez, M., Ramirez-Telles, J., Roldan-Santiago, P., Flores-Peinado, S., & Mora-Medina, P. (2012). [Stunning swine with CO<sub>2</sub> gas: controversies related to animal welfare](#). International Journal of Pharmacology, 8(3), 141-151.
- 5** Rindermann, G. (2008). [Pneumonien bei Mastschweinen und ihr Einfluss auf den Betäubungseffekt in der CO<sub>2</sub>-Betäubung](#) (Doctoral dissertation FU Berlin).
- 6** Verordnung (EG) Nr. 1099/2009 des Rates vom 24. September 2009 [über den Schutz von Tieren zum Zeitpunkt der Tötung](#). Erwägungsgrund (6).
- 7** EFSA Panel on Animal Health and Welfare (AHAW), Nielsen, S. S., Alvarez, J., Bicout, D. J., Calistri, P., Depner, K., Drewe, J. A., Garin-Bastuji, B., Rojas, J. L. G., Schmidt, C. G., Michel, V., Chueca, M. A. M., Roberts, H. C., Sihvonen, L. H., Spooler, H., Stahl, K., Viltrop, A., Winckler, C., Candiani, D., Fabris, C., Van der Stede, Y. & Velarde, A. (2020). [Welfare of pigs at slaughter](#). EFSA Journal, 18(6). S. 64.
- 8** Gerritzen, M. A., Marahrens, M., Kongsted, H., & Bracke, M. B. (2021). [Review of pig welfare in slaughterhouses at stunning and bleeding](#). Regulation (EU).
- 9** Schreiber, S. (2019). [Verhinderung der Weiterverarbeitung lebender Schweine an Schlachthöfen mit Koh-](#)

[lenstoffdioxidbetäubung mittels automatischer Bildanalyse auf Eigenbewegung während einer Heißwasserbesprühung](#) (Doctoral dissertation Universität Leipzig).

**10** Schreiber, S. (2019). [Verhinderung der Weiterverarbeitung lebender Schweine an Schlachthöfen mit Kohlenstoffdioxidbetäubung mittels automatischer Bildanalyse auf Eigenbewegung während einer Heißwasserbesprühung](#) (Doctoral dissertation Universität Leipzig).

**11** EFSA Panel on Animal Health and Welfare (AHAW), Nielsen, S. S., Alvarez, J., Bicout, D. J., Calistri, P., Döpner, K., Drewe, J. A., Garin-Bastuji, B., Rojas, J. L. G., Schmidt, C. G., Michel, V., Chueca, M. A. M., Roberts, H. C., Sihvonen, L. H., Spoolder, H., Stahl, K., Viltrop, A., Winckler, C., Candiani, D., Fabris, C., Van der Stede, Y. & Velarde, A. (2020). [Welfare of pigs at slaughter](#). EFSA Journal, 18(6). S. 63.

**12** Sindhøj, E., Lindahl, C., & Bark, L. (2021). [Potential alternatives to high-concentration carbon dioxide stunning of pigs at slaughter](#). Animal, 15(3).

**13** Atkinson, S., Algers, B., Pallisera, J., Velarde, A., & Llonch, P. (2020). [Animal Welfare and Meat Quality Assessment in Gas Stunning during Commercial Slaughter of Pigs Using Hypercapnic-Hypoxia \(20% CO<sub>2</sub> 2% O<sub>2</sub>\) Compared to Acute Hypercapnia \(90% CO<sub>2</sub> in Air\)](#). Animals, 10(12), 2440.

**14** EFSA Panel on Animal Health and Welfare (AHAW), Nielsen, S. S., Alvarez, J., Bicout, D. J., Calistri, P., Döpner, K., Drewe, J. A., Garin-Bastuji, B., Rojas, J. L. G., Schmidt, C. G., Michel, V., Chueca, M. A. M., Roberts, H. C., Sihvonen, L. H., Spoolder, H., Stahl, K., Viltrop, A., Winckler, C., Candiani, D., Fabris, C., Van der Stede, Y. & Velarde, A. (2020). [Welfare of pigs at slaughter](#). EFSA Journal, 18(6). S. 63.

**15** Tierärztliche Vereinigung für Tierschutz (TVT). (2015). Tierschutzgerechtes Schlachten von Rindern, Schweinen, Schafen und Ziegen. Merkblatt Nr. 89. S. 31.

**16** Tierärztliche Vereinigung für Tierschutz (TVT). (2015). Tierschutzgerechtes Schlachten von Rindern, Schweinen, Schafen und Ziegen. Merkblatt Nr. 89. S. 30.

**17** Atkinson, S., Algers, B., Pallisera, J., Velarde, A., & Llonch, P. (2020). [Animal Welfare and Meat Quality Assessment in Gas Stunning during Commercial Slaughter of Pigs Using Hypercapnic-Hypoxia \(20% CO<sub>2</sub> 2% O<sub>2</sub>\) Compared to Acute Hypercapnia \(90% CO<sub>2</sub> in Air\)](#). Animals, 10(12), 2440.

**18** European Food Safety Authority (EFSA). (2004). [Opinion of the Scientific Panel on Animal Health and Welfare \(AHAW\) on a request from the Commission related to welfare aspects of the main systems of stunning and killing the main commercial species of animals](#). EFSA Journal, 2(7), 45. S. 37.

**19** EFSA Panel on Animal Health and Welfare (AHAW), Nielsen, S. S., Alvarez, J., Bicout, D. J., Calistri, P., Döpner, K., Drewe, J. A., Garin-Bastuji, B., Rojas, J. L. G., Schmidt, C. G., Michel, V., Chueca, M. A. M., Roberts, H. C., Sihvonen, L. H., Spoolder, H., Stahl, K., Viltrop, A., Winckler, C., Candiani, D., Fabris, C., Van der Stede, Y. & Velarde, A. (2020). [Welfare of pigs at slaughter](#). EFSA Journal, 18(6). p. 65.

**20** Tierärztliche Vereinigung für Tierschutz (TVT). (2015). Tierschutzgerechtes Schlachten von Rindern, Schweinen, Schafen und Ziegen. Merkblatt Nr. 89. S. 29.

**21** Schreiber, S. (2019). [Verhinderung der Weiterverarbeitung lebender Schweine an Schlachthöfen mit Kohlenstoffdioxidbetäubung mittels automatischer Bildanalyse auf Eigenbewegung während einer Heißwasserbesprühung](#) (Doctoral dissertation Universität Leipzig).

**22** Machtolf, M., Moje, M., Troeger, K., & Bülte, M. (2013). [Die Betäubung von Schlachtschweinen mit Helium](#). Mitteilungsblatt Fleischforschung Kulmbach 52(202). 203-214..

**23** Farm Animal Welfare Council (FAWC). (2003). [Report on the Welfare of Farmed Animals at Slaughter or Killing](#) Part 1: Red Meat Animals.

**24** EFSA Panel on Animal Health and Welfare (AHAW), Nielsen, S. S., Alvarez, J., Bicout, D. J., Calistri, P., Döpner, K., Drewe, J. A., Garin-Bastuji, B., Rojas, J. L. G., Schmidt, C. G., Michel, V., Chueca, M. A. M., Roberts, H. C., Sihvonen, L. H., Spoolder, H., Stahl, K., Viltrop, A., Winckler, C., Candiani, D., Fabris, C., Van der Stede, Y. & Velarde, A. (2020). [Welfare of pigs at slaughter](#). EFSA Journal, 18(6). p. 68.

**25** Remien, D. (2001). [Gasmessungen bei der Kohlendioxidbetäubung von Schweinen in einem ausgewählten Schlachtbetrieb](#) (Doctoral dissertation TiHo Hannover).

**26** EFSA Panel on Animal Health and Welfare (AHAW), Nielsen, S. S., Alvarez, J., Bicout, D. J., Calistri, P., Döpner, K., Drewe, J. A., Garin-Bastuji, B., Rojas, J. L. G., Schmidt, C. G., Michel, V., Chueca, M. A. M., Roberts, H. C., Sihvonen, L. H., Spoolder, H., Stahl, K., Viltrop, A., Winckler, C., Candiani, D., Fabris, C., Van der Stede, Y. & Velarde, A. (2020). [Welfare of pigs at slaughter](#). EFSA Journal, 18(6). p. 65.

- 27** Llonch, P., Dalmau, A., Rodriguez, P., Manteca, X., & Velarde, A. (2012). [Aversion to nitrogen and carbon dioxide mixtures for stunning pigs](#). *Animal Welfare*, 21, 33-39.
- 28** Wallgren, T., Wallenbeck, A., & Berg, C. (2021). [Stunning methods for pigs at slaughter](#).
- 29** EFSA Panel on Animal Health and Welfare (AHAW), Nielsen, S. S., Alvarez, J., Bicot, D. J., Calistri, P., Depner, K., Drewe, J. A., Garin-Bastuji, B., Rojas, J. L. G., Schmidt, C. G., Michel, V., Chueca, M. A. M., Roberts, H. C., Sihvonen, L. H., Spooler, H., Stahl, K., Viltrop, A., Winckler, C., Candiani, D., Fabris, C., Van der Stede, Y. & Velarde, A. (2020). [Welfare of pigs at slaughter](#). *EFSA Journal*, 18(6). p. 65.
- 30** Rindermann, G. (2008). [Pneumonien bei Mastschweinen und ihr Einfluss auf den Betäubungseffekt in der CO<sub>2</sub>-Betäubung](#) (Doctoral dissertation FU Berlin).
- 31** EFSA Panel on Animal Health and Welfare (AHAW), Nielsen, S. S., Alvarez, J., Bicot, D. J., Calistri, P., Depner, K., Drewe, J. A., Garin-Bastuji, B., Rojas, J. L. G., Schmidt, C. G., Michel, V., Chueca, M. A. M., Roberts, H. C., Sihvonen, L. H., Spooler, H., Stahl, K., Viltrop, A., Winckler, C., Candiani, D., Fabris, C., Van der Stede, Y. & Velarde, A. (2020). [Welfare of pigs at slaughter](#). *EFSA Journal*, 18(6). S. 64.
- 32** Wallgren, T., Wallenbeck, A., & Berg, C. (2021). [Stunning methods for pigs at slaughter](#).
- 33** Atkinson, S., Algers, B., Pallisera, J., Velarde, A., & Llonch, P. (2020). [Animal Welfare and Meat Quality Assessment in Gas Stunning during Commercial Slaughter of Pigs Using Hypercapnic-Hypoxia \(20% CO<sub>2</sub> 2% O<sub>2</sub>\) Compared to Acute Hypercapnia \(90% CO<sub>2</sub> in Air\)](#). *Animals*, 10(12), 2440.
- 34** Atkinson, S., Larsen, A., Llonch, P., Velarde, A., & Algers, B. (2015). [Group stunning of pigs during commercial slaughter in a Butina pasternoster system using 80% Nitrogen and 20% carbon dioxide compared to 90% carbon dioxide](#). Department of Animal Welfare and Health.
- 35** Remien, D. (2001). [Gasmessungen bei der Kohlendioxidbetäubung von Schweinen in einem ausgewählten Schlachtbetrieb](#) (Doctoral dissertation TiHo Hannover).
- 36** Farm Animal Welfare Council (FAWC). (2003). [Report on the Welfare of Farmed Animals at Slaughter or Killing Part 1: Red Meat Animals](#). p. 29.
- 37** Schreiber, S. (2019). [Verhinderung der Weiterverarbeitung lebender Schweine an Schlachthöfen mit Kohlenstoffdioxidbetäubung mittels automatischer Bildanalyse auf Eigenbewegung während einer Heißwasserbesprühung](#) (Doctoral dissertation Universität Leipzig).
- 38** Remien, D. (2001). [Gasmessungen bei der Kohlendioxidbetäubung von Schweinen in einem ausgewählten Schlachtbetrieb](#) (Doctoral dissertation TiHo Hannover).
- 39** EFSA Panel on Animal Health and Welfare (AHAW), Nielsen, S. S., Alvarez, J., Bicot, D. J., Calistri, P., Depner, K., Drewe, J. A., Garin-Bastuji, B., Rojas, J. L. G., Schmidt, C. G., Michel, V., Chueca, M. A. M., Roberts, H. C., Sihvonen, L. H., Spooler, H., Stahl, K., Viltrop, A., Winckler, C., Candiani, D., Fabris, C., Van der Stede, Y. & Velarde, A. (2020). [Welfare of pigs at slaughter](#). *EFSA Journal*, 18(6). S. 65.
- 40** Verhoeven, M., Gerritzen, M., Velarde, A., Hellebrekers, L., & Kemp, B. (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*, Volume 3, Article 38.
- 41** Gerritzen, M. A., Marahrens, M., Kongsted, H., & Bracke, M. B. (2021). [Review of pig welfare in slaughterhouses at stunning and bleeding](#). Regulation (EU).
- 42** Rindermann, G. (2008). [Pneumonien bei Mastschweinen und ihr Einfluss auf den Betäubungseffekt in der CO<sub>2</sub>-Betäubung](#) (Doctoral dissertation FU Berlin).
- 43** Jongman, E. C., Woodhouse, R., Rice, M., & Rault, J. L. (2021). [Pre-slaughter factors linked to variation in responses to carbon dioxide gas stunning in pig abattoirs](#). *Animal*, 15(2), 100134.
- 44** Remien, D. (2001). [Gasmessungen bei der Kohlendioxidbetäubung von Schweinen in einem ausgewählten Schlachtbetrieb](#) (Doctoral dissertation TiHo Hannover).
- 45** Wallgren, T., Wallenbeck, A., & Berg, C. (2021). [Stunning methods for pigs at slaughter](#).
- 46** Tierärztliche Vereinigung für Tierschutz (TVT). (2015). *Tierschutzgerechtes Schlachten von Rindern, Schweinen, Schafen und Ziegen*. Merkblatt Nr. 89. S. 31.
- 47** EFSA Panel on Animal Health and Welfare (AHAW), Nielsen, S. S., Alvarez, J., Bicot, D. J., Calistri, P., Depner, K., Drewe, J. A., Garin-Bastuji, B., Rojas, J. L. G., Schmidt, C. G., Michel, V., Chueca, M. A. M., Roberts, H. C., Sihvonen, L. H., Spooler, H., Stahl, K., Viltrop, A., Winckler, C., Candiani, D., Fabris, C., Van der Stede, Y. & Velarde, A. (2020). [Welfare of pigs at slaughter](#). *EFSA Journal*, 18(6). S. 65.

- 48** Gerritzen, M. A., Marahrens, M., Kongsted, H., & Bracke, M. B. (2021). [Review of pig welfare in slaughterhouses at stunning and bleeding](#). Regulation (EU).
- 49** Atkinson, S., Larsen, A., Llonch, P., Velarde, A., & Algers, B. (2015). [Group stunning of pigs during commercial slaughter in a Butina pasternoster system using 80% Nitrogen and 20% carbon dioxide compared to 90% carbon dioxide](#). Department of Animal Welfare and Health.
- 50** European Food Safety Authority (EFSA). (2004). [Opinion of the Scientific Panel on Animal Health and Welfare \(AHAW\) on a request from the Commission related to welfare aspects of the main systems of stunning and killing the main commercial species of animals](#). EFSA Journal, 2(7), 45. S. 101.
- 51** EFSA Panel on Animal Health and Welfare (AHAW), Nielsen, S. S., Alvarez, J., Bicot, D. J., Calistri, P., Depner, K., Drewe, J. A., Garin-Bastuji, B., Rojas, J. L. G., Schmidt, C. G., Michel, V., Chueca, M. A. M., Roberts, H. C., Sihvonen, L. H., Spooler, H., Stahl, K., Viltrop, A., Winckler, C., Candiani, D., Fabris, C., Van der Stede, Y. & Velarde, A. (2020). [Welfare of pigs at slaughter](#). EFSA Journal, 18(6). S. 65.
- 52** EFSA Panel on Animal Health and Welfare (AHAW), Nielsen, S. S., Alvarez, J., Bicot, D. J., Calistri, P., Depner, K., Drewe, J. A., Garin-Bastuji, B., Rojas, J. L. G., Schmidt, C. G., Michel, V., Chueca, M. A. M., Roberts, H. C., Sihvonen, L. H., Spooler, H., Stahl, K., Viltrop, A., Winckler, C., Candiani, D., Fabris, C., Van der Stede, Y. & Velarde, A. (2020). [Welfare of pigs at slaughter](#). EFSA Journal, 18(6). p. 65.
- 53** Tierärztliche Vereinigung für Tierschutz (TVT). (2015). Tierschutzgerechtes Schlachten von Rindern, Schweinen, Schafen und Ziegen. Merkblatt Nr. 89. S. 31.
- 54** Länderarbeitsgemeinschaft Verbraucherschutz (LAV). (2019). [Handbuch Tierschutzüberwachung bei der Schlachtung und Tötung](#). AG Tierschutz.
- 55** EFSA Panel on Animal Health and Welfare (AHAW), Nielsen, S. S., Alvarez, J., Bicot, D. J., Calistri, P., Depner, K., Drewe, J. A., Garin-Bastuji, B., Rojas, J. L. G., Schmidt, C. G., Michel, V., Chueca, M. A. M., Roberts, H. C., Sihvonen, L. H., Spooler, H., Stahl, K., Viltrop, A., Winckler, C., Candiani, D., Fabris, C., Van der Stede, Y. & Velarde, A. (2020). [Welfare of pigs at slaughter](#). EFSA Journal, 18(6). S. 68.
- 56** Gerritzen, M. A., Marahrens, M., Kongsted, H., & Bracke, M. B. (2021). [Review of pig welfare in slaughterhouses at stunning and bleeding](#). Regulation (EU).
- 57** Machtolf, M., Moje, M., Troeger, K., & Bülte, M. (2013). [Die Betäubung von Schlachtschweinen mit Helium](#). Mitteilungsblatt Fleischforschung Kulmbach 52, Nr. 202, 203-214. S. 206; 209.
- 58** Schreiber, S. (2019). [Verhinderung der Weiterverarbeitung lebender Schweine an Schlachthöfen mit Kohlenstoffdioxidbetäubung mittels automatischer Bildanalyse auf Eigenbewegung während einer Heißwasserbesprühung](#) (Doctoral dissertation Universität Leipzig).
- 59** EFSA Panel on Animal Health and Welfare (AHAW), Nielsen, S. S., Alvarez, J., Bicot, D. J., Calistri, P., Depner, K., Drewe, J. A., Garin-Bastuji, B., Rojas, J. L. G., Schmidt, C. G., Michel, V., Chueca, M. A. M., Roberts, H. C., Sihvonen, L. H., Spooler, H., Stahl, K., Viltrop, A., Winckler, C., Candiani, D., Fabris, C., Van der Stede, Y. & Velarde, A. (2020). [Welfare of pigs at slaughter](#). EFSA Journal, 18(6). S. 68.
- 60** EFSA Panel on Animal Health and Welfare (AHAW), Nielsen, S. S., Alvarez, J., Bicot, D. J., Calistri, P., Depner, K., Drewe, J. A., Garin-Bastuji, B., Rojas, J. L. G., Schmidt, C. G., Michel, V., Chueca, M. A. M., Roberts, H. C., Sihvonen, L. H., Spooler, H., Stahl, K., Viltrop, A., Winckler, C., Candiani, D., Fabris, C., Van der Stede, Y. & Velarde, A. (2020). [Welfare of pigs at slaughter](#). EFSA Journal, 18(6). S. 49.
- 61** AG Tierschutz der Länderarbeitsgemeinschaft Verbraucherschutz (2019). [Handbuch Tierschutzüberwachung bei der Schlachtung und Tötung](#).
- 62** Brandt, P., & Aaslyng, M. D. (2015). Welfare measurements of finishing pigs on the day of slaughter: A review. Meat science, 103, 13-23. S. 20.
- 63** Troeger, K. (2008). [Tiergerechtes Schlachten: Defizite und Lösungsansätze](#). Leipziger Blaue Hefte, 2, S. 652.
- 64** EFSA Panel on Animal Health and Welfare (AHAW), Nielsen, S. S., Alvarez, J., Bicot, D. J., Calistri, P., Depner, K., Drewe, J. A., Garin-Bastuji, B., Rojas, J. L. G., Schmidt, C. G., Michel, V., Chueca, M. A. M., Roberts, H. C., Sihvonen, L. H., Spooler, H., Stahl, K., Viltrop, A., Winckler, C., Candiani, D., Fabris, C., Van der Stede, Y. & Velarde, A. (2020). [Welfare of pigs at slaughter](#). EFSA Journal, 18(6), S. 58.
- 65** Barton Gade (1997) zitiert in Troeger, K. (2008). [Tiergerechtes Schlachten: Defizite und Lösungsansätze](#). Leipziger Blaue Hefte, 2, S. 652.
- 66** Zusammengefasst in Außel, M. (2001). [Belastung von Schlachtschweinen in zwei Zuführungssystemen zur](#)

[Elektrobetäubung und die Auswirkungen auf das Wohlbefinden](#) (Doctoral dissertation, Hannover, Tierärztl. Hochschule, 2001). S. 36.

**67** Troeger, K. (2008). Tierschutzgerechtes Schlachten von Schweinen: Defizite und Lösungsansätze. Tierärztliche Praxis Ausgabe G: Großtiere/Nutztiere, 36(S 01), S34-S38.

**68** EFSA Panel on Animal Health and Welfare (AHAW), Nielsen, S. S., Alvarez, J., Bicot, D. J., Calistri, P., Depner, K., Drewe, J. A., Garin-Bastuji, B., Rojas, J. L. G., Schmidt, C. G., Michel, V., Chueca, M. A. M., Roberts, H. C., Sihvonen, L. H., Spooler, H., Stahl, K., Viltrop, A., Winckler, C., Candiani, D., Fabris, C., Van der Stede, Y. & Velarde, A. (2020). [Welfare of pigs at slaughter](#). EFSA Journal, 18(6), S. 51.

**69** EFSA Panel on Animal Health and Welfare (AHAW), Nielsen, S. S., Alvarez, J., Bicot, D. J., Calistri, P., Depner, K., Drewe, J. A., Garin-Bastuji, B., Rojas, J. L. G., Schmidt, C. G., Michel, V., Chueca, M. A. M., Roberts, H. C., Sihvonen, L. H., Spooler, H., Stahl, K., Viltrop, A., Winckler, C., Candiani, D., Fabris, C., Van der Stede, Y. & Velarde, A. (2020). [Welfare of pigs at slaughter](#). EFSA Journal, 18(6), S. 55.

**70** Brandt, P., & Aaslyng, M. D. (2015). Welfare measurements of finishing pigs on the day of slaughter: A review. Meat science, 103, 13-23. S. 20.

**71** EFSA Panel on Animal Health and Welfare (AHAW), Nielsen, S. S., Alvarez, J., Bicot, D. J., Calistri, P., Depner, K., Drewe, J. A., Garin-Bastuji, B., Rojas, J. L. G., Schmidt, C. G., Michel, V., Chueca, M. A. M., Roberts, H. C., Sihvonen, L. H., Spooler, H., Stahl, K., Viltrop, A., Winckler, C., Candiani, D., Fabris, C., Van der Stede, Y. & Velarde, A. (2020). [Welfare of pigs at slaughter](#). EFSA Journal, 18(6). S. 49;51.

**72** FAWC (2009). [Report on the Welfare of Farmed Animals at Slaughter or Killing Part 1: Red Meat Animals](#). S. 30.

**73** EFSA Panel on Animal Health and Welfare (AHAW), Nielsen, S. S., Alvarez, J., Bicot, D. J., Calistri, P., Depner, K., Drewe, J. A., Garin-Bastuji, B., Rojas, J. L. G., Schmidt, C. G., Michel, V., Chueca, M. A. M., Roberts, H. C., Sihvonen, L. H., Spooler, H., Stahl, K., Viltrop, A., Winckler, C., Candiani, D., Fabris, C., Van der Stede, Y. & Velarde, A. (2020). [Welfare of pigs at slaughter](#). EFSA Journal, 18(6). S. 49;59.

**74** Länderarbeitsgemeinschaft Verbraucherschutz (LAV). (2019). [Handbuch Tierschutzüberwachung bei der Schlachtung und Tötung](#). AG Tierschutz.

**75** European Food Safety Authority (EFSA). (2004). [Opinion of the Scientific Panel on Animal Health and Welfare \(AHAW\) on a request from the Commission related to welfare aspects of the main systems of stunning and killing the main commercial species of animals](#). EFSA Journal, 2(7), 45.

**76** EFSA Panel on Animal Health and Welfare (AHAW), Nielsen, S. S., Alvarez, J., Bicot, D. J., Calistri, P., Depner, K., Drewe, J. A., Garin-Bastuji, B., Rojas, J. L. G., Schmidt, C. G., Michel, V., Chueca, M. A. M., Roberts, H. C., Sihvonen, L. H., Spooler, H., Stahl, K., Viltrop, A., Winckler, C., Candiani, D., Fabris, C., Van der Stede, Y. & Velarde, A. (2020). [Welfare of pigs at slaughter](#). EFSA Journal, 18(6). S. 60.

**77** Troeger, K. (2008). [Tiergerechtes Schlachten: Defizite und Lösungsansätze](#). Leipziger Blaue Hefte, 2, S. 652.

**78** EURCRAW. (2021). [Review of pig welfare in slaughterhouses at stunning and bleeding](#). S. 10.

**79** EFSA Panel on Animal Health and Welfare (AHAW), Nielsen, S. S., Alvarez, J., Bicot, D. J., Calistri, P., Depner, K., Drewe, J. A., Garin-Bastuji, B., Rojas, J. L. G., Schmidt, C. G., Michel, V., Chueca, M. A. M., Roberts, H. C., Sihvonen, L. H., Spooler, H., Stahl, K., Viltrop, A., Winckler, C., Candiani, D., Fabris, C., Van der Stede, Y. & Velarde, A. (2020). [Welfare of pigs at slaughter](#). EFSA Journal, 18(6). S. 51.

**80** Tierärztliche Vereinigung für Tierschutz (TVT). (2015). Tierschutzgerechtes Schlachten von Rindern, Schweinen, Schafen und Ziegen. Merkblatt Nr. 89. S. 23;27.

**81** Farm Animal Welfare Council (FAWC). (2003). [Report on the Welfare of Farmed Animals at Slaughter or Killing Part 1: Red Meat Animals](#). S. 30.

**82** Tierärztliche Vereinigung für Tierschutz (TVT). (2015). Tierschutzgerechtes Schlachten von Rindern, Schweinen, Schafen und Ziegen. Merkblatt Nr. 89. S. 23.

**83** Hirt, A., Maisack, C. & Moritz, J. (2016). TierSchG Tierschutzgesetz-Kommentar, 3. Auflage. München: Verlag Franz Vahlen.

**84** Tierärztliche Vereinigung für Tierschutz (TVT). (2015). Tierschutzgerechtes Schlachten von Rindern, Schweinen, Schafen und Ziegen. Merkblatt Nr. 89. S. 25.

**85** Bertram et al. (2002). in Brandt, P., & Aaslyng, M. D. (2015). Welfare measurements of finishing pigs on the day of slaughter: A review. Meat science, 103, 13-23.. S. 20.



- 86** AG Tierschutz der Länderarbeitsgemeinschaft Verbraucherschutz (2019). [Handbuch Tierschutzüberwachung bei der Schlachtung und Tötung](#).
- 87** EFSA Panel on Animal Health and Welfare (AHAW), Nielsen, S. S., Alvarez, J., Bicout, D. J., Calistri, P., Depner, K., Drewe, J. A., Garin-Bastuji, B., Rojas, J. L. G., Schmidt, C. G., Michel, V., Chueca, M. A. M., Roberts, H. C., Sihvonen, L. H., Spooler, H., Stahl, K., Viltrop, A., Winckler, C., Candiani, D., Fabris, C., Van der Stede, Y. & Velarde, A. (2020). [Welfare of pigs at slaughter](#). EFSA Journal, 18(6). S. 48, 70.
- 88** Mota-Rojas, D., Bolanos-Lopez, D., Concepcion-Mendez, M., Ramirez-Telles, J., Roldan-Santiago, P., Flores-Peinado, S., & Mora-Medina, P. (2012). Stunning swine with CO<sub>2</sub> gas: controversies related to animal welfare. International Journal of Pharmacology, 8(3), 141-151 zitiert in EFSA Panel on Animal Health and Welfare (AHAW), Nielsen, S. S., Alvarez, J., Bicout, D. J., Calistri, P., Depner, K., Drewe, J. A., Garin-Bastuji, B., Rojas, J. L. G., Schmidt, C. G., Michel, V., Chueca, M. A. M., Roberts, H. C., Sihvonen, L. H., Spooler, H., Stahl, K., Viltrop, A., Winckler, C., Candiani, D., Fabris, C., Van der Stede, Y. & Velarde, A. (2020). Welfare of pigs at slaughter. EFSA Journal, 18(6). S. 68.
- 89** Sindhøj, E., Lindahl, C., & Bark, L. (2021). [Potential alternatives to high-concentration carbon dioxide stunning of pigs at slaughter](#). Animal, 15(3).
- 90** Wallgren, T., Wallenbeck, A., & Berg, C. (2021). [Stunning methods for pigs at slaughter](#).
- 91** Verordnung (EG) Nr. 1099/2009 des Rates vom 24. September 2009 [über den Schutz von Tieren zum Zeitpunkt der Tötung](#). Anhang I Verzeichnis der Betäubungsverfahren und damit zusammenhängenden Angaben. Tabelle 3 - Verfahren unter Anwendung von Gas.
- 92** Wallgren, T., Wallenbeck, A., & Berg, C. (2021). [Stunning methods for pigs at slaughter](#).
- 93** Sindhøj, E., Lindahl, C., & Bark, L. (2021). [Potential alternatives to high-concentration carbon dioxide stunning of pigs at slaughter](#). Animal, 15(3).
- 94** Wallgren, T., Wallenbeck, A., & Berg, C. (2021). [Stunning methods for pigs at slaughter](#).
- 95** Wallgren, T., Wallenbeck, A., & Berg, C. (2021). [Stunning methods for pigs at slaughter](#).
- 96** Llonch, P., Dalmau, A., Rodriguez, P., Manteca, X., & Velarde, A. (2012). [Aversion to nitrogen and carbon dioxide mixtures for stunning pigs](#). Animal Welfare, 21, 33-39.
- 97** Llonch, P., Rodriguez, P., Gispert, M., Dalmau, A., Manteca, X., & Velarde, A. (2012). [Stunning pigs with nitrogen and carbon dioxide mixtures: effects on animal welfare and meat quality](#). Animal, 6(4), 668-675.
- 98** Atkinson, S., Larsen, A., Llonch, P., Velarde, A., & Algers, B. (2015). [Group stunning of pigs during commercial slaughter in a Butina pasternoster system using 80% Nitrogen and 20% carbon dioxide compared to 90% carbon dioxide](#). Department of Animal Welfare and Health.
- 99** Llonch, P., Rodriguez, P., Jospin, M., Dalmau, A., Manteca, X., & Velarde, A. (2013). [Assessment of unconsciousness in pigs during exposure to nitrogen and carbon dioxide mixtures](#). Animal, 7(3), 492-498.
- 100** Llonch, P., Dalmau, A., Rodriguez, P., Manteca, X., & Velarde, A. (2012). [Aversion to nitrogen and carbon dioxide mixtures for stunning pigs](#). Animal Welfare, 21, 33-39.
- 101** Dalmau, A., Rodriguez, P., Llonch, P., & Velarde, A. (2010). [Stunning pigs with different gas mixtures: aversion in pigs](#). Animal Welfare, 19, 325-333.
- 102** Sindhøj, E., Lindahl, C., & Bark, L. (2021). [Potential alternatives to high-concentration carbon dioxide stunning of pigs at slaughter](#). Animal, 15(3).
- 103** Atkinson, S., Larsen, A., Llonch, P., Velarde, A., & Algers, B. (2015). [Group stunning of pigs during commercial slaughter in a Butina pasternoster system using 80% Nitrogen and 20% carbon dioxide compared to 90% carbon dioxide](#). Department of Animal Welfare and Health.
- 104** Sindhøj, E., Lindahl, C., & Bark, L. (2021). [Potential alternatives to high-concentration carbon dioxide stunning of pigs at slaughter](#). Animal, 15(3).
- 105** Llonch, P., Rodriguez, P., Jospin, M., Dalmau, A., Manteca, X., & Velarde, A. (2013). [Assessment of unconsciousness in pigs during exposure to nitrogen and carbon dioxide mixtures](#). Animal, 7(3), 492-498.
- 106** EFSA Panel on Animal Health and Welfare (AHAW), Nielsen, S. S., Alvarez, J., Bicout, D. J., Calistri, P., Depner, K., Drewe, J. A., Garin-Bastuji, B., Rojas, J. L. G., Schmidt, C. G., Michel, V., Chueca, M. A. M., Roberts, H. C., Sihvonen, L. H., Spooler, H., Stahl, K., Viltrop, A., Winckler, C., Candiani, D., Fabris, C., Van der Stede, Y. & Velarde, A. (2020). [Welfare of pigs at slaughter](#). EFSA Journal, 18(6).

- 107** Sindhøj, E., Lindahl, C., & Bark, L. (2021). [Potential alternatives to high-concentration carbon dioxide stunning of pigs at slaughter](#). *Animal*, 15(3).
- 108** Sindhøj, E., Lindahl, C., & Bark, L. (2021). [Potential alternatives to high-concentration carbon dioxide stunning of pigs at slaughter](#). *Animal*, 15(3).
- 109** Llonch, P., Rodriguez, P., Jospin, M., Dalmau, A., Manteca, X., & Velarde, A. (2013). [Assessment of unconsciousness in pigs during exposure to nitrogen and carbon dioxide mixtures](#). *Animal*, 7(3), 492-498.
- 110** Sindhøj, E., Lindahl, C., & Bark, L. (2021). [Potential alternatives to high-concentration carbon dioxide stunning of pigs at slaughter](#). *Animal*, 15(3).
- 111** Sindhøj, E., Lindahl, C., & Bark, L. (2021). [Potential alternatives to high-concentration carbon dioxide stunning of pigs at slaughter](#). *Animal*, 15(3).
- 112** Wallgren, T., Wallenbeck, A., & Berg, C. (2021). [Stunning methods for pigs at slaughter](#).
- 113** Atkinson, S., Larsen, A., Llonch, P., Velarde, A., & Algers, B. (2015). [Group stunning of pigs during commercial slaughter in a Butina pasternoster system using 80% Nitrogen and 20% carbon dioxide compared to 90% carbon dioxide](#). Department of Animal Welfare and Health.
- 114** Wallgren, T., Wallenbeck, A., & Berg, C. (2021). [Stunning methods for pigs at slaughter](#).
- 115** Schreiber, S. (2019). [Verhinderung der Weiterverarbeitung lebender Schweine an Schlachthöfen mit Kohlenstoffdioxidbetäubung mittels automatischer Bildanalyse auf Eigenbewegung während einer Heißwasserbesprühung](#) (Doctoral dissertation Universität Leipzig).
- 116** Raj, A. B. M., Johnson, S. P., Wotton, S. B., & McInstry, J. L. (1997). [Welfare implications of gas stunning pigs: 3. the time to loss of somatosensory evoked potential and spontaneous electrocorticogram of pigs during exposure to gases](#). *The veterinary journal*, 153(3), 329-339.
- 117** Raj, A. B. M. (2008). Welfare of pigs during stunning and slaughter. [Welfare of pigs: From birth to slaughter](#). S. 237.
- 118** Raj, A. B. M. (1999). [Behaviour of pigs exposed to mixtures of gases and the time required to stun and kill them: welfare implications](#). *Veterinary record*, 144(7), 165-168. S. 166.
- 119** Länderarbeitsgemeinschaft Verbraucherschutz (LAV). (2019). [Handbuch Tierschutzüberwachung bei der Schlachtung und Tötung](#). AG Tierschutz. S. 32.
- 120** Sindhøj, E., Lindahl, C., & Bark, L. (2021). [Potential alternatives to high-concentration carbon dioxide stunning of pigs at slaughter](#). *Animal*, 15(3). S. 6.
- 121** EFSA Panel on Animal Health and Welfare (AHAW), Nielsen, S. S., Alvarez, J., Bicout, D. J., Calistri, P., Depner, K., Drewe, J. A., Garin-Bastuji, B., Rojas, J. L. G., Schmidt, C. G., Michel, V., Chueca, M. A. M., Roberts, H. C., Sihvonen, L. H., Spooler, H., Stahl, K., Viltrop, A., Winckler, C., Candiani, D., Fabris, C., Van der Stede, Y. & Velarde, A. (2020). [Welfare of pigs at slaughter](#). *EFSA Journal*, 18(6). S. 70.
- 122** Verordnung (EG) Nr. 1099/2009 des Rates vom 24. September 2009 [über den Schutz von Tieren zum Zeitpunkt der Tötung](#). Anhang I Verzeichnis der Betäubungsverfahren und damit zusammenhängenden Angaben. Tabelle 3 - Verfahren unter Anwendung von Gas.
- 123** Troeger, K. (2008). [Tierschutzgerechtes Schlachten von Schweinen: Defizite und Lösungsansätze](#). *Tierärztliche Praxis Ausgabe G: Großtiere/Nutztiere*, 36(S 01), S34-S38.
- 124** EFSA Panel on Animal Health and Welfare (AHAW), Nielsen, S. S., Alvarez, J., Bicout, D. J., Calistri, P., Depner, K., Drewe, J. A., Garin-Bastuji, B., Rojas, J. L. G., Schmidt, C. G., Michel, V., Chueca, M. A. M., Roberts, H. C., Sihvonen, L. H., Spooler, H., Stahl, K., Viltrop, A., Winckler, C., Candiani, D., Fabris, C., Van der Stede, Y. & Velarde, A. (2020). [Welfare of pigs at slaughter](#). *EFSA Journal*, 18(6). S. 70.
- 125** Raj, A. B. M. (2008). Welfare of pigs during stunning and slaughter. [Welfare of pigs: From birth to slaughter](#). S. 237.
- 126** Moosavi, S. H., Golestanian, E., Binks, A. P., Lansing, R. W., Brown, R., & Banzett, R. B. (2003). [Hypoxic and hypercapnic drives to breathe generate equivalent levels of air hunger in humans](#). *Journal of Applied Physiology*, 94(1), 141-154.
- 127** Raj, A. B. M., Johnson, S. P., Wotton, S. B., & McInstry, J. L. (1997). [Welfare implications of gas stunning pigs: 3. the time to loss of somatosensory evoked potential and spontaneous electrocorticogram of pigs during exposure to gases](#). *The veterinary journal*, 153(3), 329-339.

- 128** Raj, A.B.M., 1999. [Behaviour of pigs exposed to mixtures of gases and the time required to stun and kill them: welfare implications](#). Veterinary Record 144, 165. S. 167.
- 129** Raj, A. B. M. (2008). Welfare of pigs during stunning and slaughter. [Welfare of pigs: From birth to slaughter](#). S. 237.
- 130** EFSA Panel on Animal Health and Welfare (AHAW), Nielsen, S. S., Alvarez, J., Bicout, D. J., Calistri, P., Depner, K., Drewe, J. A., Garin-Bastuji, B., Rojas, J. L. G., Schmidt, C. G., Michel, V., Chueca, M. A. M., Roberts, H. C., Sihvonen, L. H., Spoolder, H., Stahl, K., Viltrop, A., Winckler, C., Candiani, D., Fabris, C., Van der Stede, Y. & Velarde, A. (2020). [Welfare of pigs at slaughter](#). EFSA Journal, 18(6). S. 70.
- 131** Raj, A. B. M. (1999). [Behaviour of pigs exposed to mixtures of gases and the time required to stun and kill them: welfare implications](#). Veterinary record, 144(7), 165-168.
- 132** Brandt, P., & Aaslyng, M. D. (2015). [Welfare measurements of finishing pigs on the day of slaughter: A review](#). Meat science, 103, 13-23. S. 20.
- 133** EFSA Panel on Animal Health and Welfare (AHAW), Nielsen, S. S., Alvarez, J., Bicout, D. J., Calistri, P., Depner, K., Drewe, J. A., Garin-Bastuji, B., Rojas, J. L. G., Schmidt, C. G., Michel, V., Chueca, M. A. M., Roberts, H. C., Sihvonen, L. H., Spoolder, H., Stahl, K., Viltrop, A., Winckler, C., Candiani, D., Fabris, C., Van der Stede, Y. & Velarde, A. (2020). [Welfare of pigs at slaughter](#). EFSA Journal, 18(6). S. 71.
- 134** EFSA Panel on Animal Health and Welfare (AHAW), Nielsen, S. S., Alvarez, J., Bicout, D. J., Calistri, P., Depner, K., Drewe, J. A., Garin-Bastuji, B., Rojas, J. L. G., Schmidt, C. G., Michel, V., Chueca, M. A. M., Roberts, H. C., Sihvonen, L. H., Spoolder, H., Stahl, K., Viltrop, A., Winckler, C., Candiani, D., Fabris, C., Van der Stede, Y. & Velarde, A. (2020). [Welfare of pigs at slaughter](#). EFSA Journal, 18(6). S. 71 f.
- 135** EFSA Panel on Animal Health and Welfare (AHAW), Nielsen, S. S., Alvarez, J., Bicout, D. J., Calistri, P., Depner, K., Drewe, J. A., Garin-Bastuji, B., Rojas, J. L. G., Schmidt, C. G., Michel, V., Chueca, M. A. M., Roberts, H. C., Sihvonen, L. H., Spoolder, H., Stahl, K., Viltrop, A., Winckler, C., Candiani, D., Fabris, C., Van der Stede, Y. & Velarde, A. (2020). [Welfare of pigs at slaughter](#). EFSA Journal, 18(6). S. 71 f.
- 136** Raj, A. B. M., & Gregory, N. G. (1996). [Welfare implications of the gas stunning of pigs 2. Stress of induction of anaesthesia](#). Animal Welfare, 5(1), 71-78.
- 137** Raj, A. B. M., & Gregory, N. G. (1996). [Welfare implications of the gas stunning of pigs 2. Stress of induction of anaesthesia](#). Animal Welfare, 5(1), 71-78.
- 138** Sindhøj, E., Lindahl, C., & Bark, L. (2021). [Potential alternatives to high-concentration carbon dioxide stunning of pigs at slaughter](#). Animal, 15(3). S. 3.
- 139** Sindhøj, E., Lindahl, C., & Bark, L. (2021). [Potential alternatives to high-concentration carbon dioxide stunning of pigs at slaughter](#). Animal, 15(3). S. 6.
- 140** Troeger, K. (2008). [Tierschutzgerechtes Schlachten von Schweinen: Defizite und Lösungsansätze](#). Tierärztliche Praxis Ausgabe G: Großtiere/Nutztiere, 36(S 01), S34-S38.
- 141** Länderarbeitsgemeinschaft Verbraucherschutz (LAV). (2019). [Handbuch Tierschutzüberwachung bei der Schlachtung und Tötung](#). AG Tierschutz. S. 31.
- 142** EFSA Panel on Animal Health and Welfare (AHAW), Nielsen, S. S., Alvarez, J., Bicout, D. J., Calistri, P., Depner, K., Drewe, J. A., Garin-Bastuji, B., Rojas, J. L. G., Schmidt, C. G., Michel, V., Chueca, M. A. M., Roberts, H. C., Sihvonen, L. H., Spoolder, H., Stahl, K., Viltrop, A., Winckler, C., Candiani, D., Fabris, C., Van der Stede, Y. & Velarde, A. (2020). [Welfare of pigs at slaughter](#). EFSA Journal, 18(6). S. 73.
- 143** Raj, A. B. M. (1999). [Behaviour of pigs exposed to mixtures of gases and the time required to stun and kill them: welfare implications](#). Veterinary record, 144(7), 165-168. S. 165 ff.
- 144** Verordnung (EG) Nr. 1099/2009 des Rates vom 24. September 2009 [über den Schutz von Tieren zum Zeitpunkt der Tötung](#). Anhang I Verzeichnis der Betäubungsverfahren und damit zusammenhängenden Angaben. Tabelle 3 - Verfahren unter Anwendung von Gas.
- 145** EFSA Panel on Animal Health and Welfare (AHAW), Nielsen, S. S., Alvarez, J., Bicout, D. J., Calistri, P., Depner, K., Drewe, J. A., Garin-Bastuji, B., Rojas, J. L. G., Schmidt, C. G., Michel, V., Chueca, M. A. M., Roberts, H. C., Sihvonen, L. H., Spoolder, H., Stahl, K., Viltrop, A., Winckler, C., Candiani, D., Fabris, C., Van der Stede, Y. & Velarde, A. (2020). Welfare of pigs at slaughter. EFSA Journal, 18(6). S. 73.
- 146** Dalmau, A., Rodriguez, P., Llonch, P., & Velarde, A. (2010). [Stunning pigs with different gas mixtures: aversion in pigs](#). Animal Welfare, 19, 325-333. S. 332.

- 147** Machold, U., Troeger, K., Moje, M., 2003. A comparison of carbon dioxide, argon, a nitrogen-argon mixture and argon/carbon dioxide (2 steps-system) under animal welfare aspects. *Fleischwirtschaft* 83, 109–114 zitiert in Sindhøj, E., Lindahl, C., & Bark, L. (2021). [Potential alternatives to high-concentration carbon dioxide stunning of pigs at slaughter](#). *Animal*, 15(3). S. 4.
- 148** Sindhøj, E., Lindahl, C., & Bark, L. (2021). [Potential alternatives to high-concentration carbon dioxide stunning of pigs at slaughter](#). *Animal*, 15(3). S. 4.
- 149** EFSA Panel on Animal Health and Welfare (AHAW), Nielsen, S. S., Alvarez, J., Bicout, D. J., Calistri, P., Depner, K., Drewe, J. A., Garin-Bastuji, B., Rojas, J. L. G., Schmidt, C. G., Michel, V., Chueca, M. A. M., Roberts, H. C., Sihvonen, L. H., Spooler, H., Stahl, K., Viltrop, A., Winckler, C., Candiani, D., Fabris, C., Van der Stede, Y. & Velarde, A. (2020). [Welfare of pigs at slaughter](#). *EFSA Journal*, 18(6). S. 73.
- 150** EFSA Panel on Animal Health and Welfare (AHAW), Nielsen, S. S., Alvarez, J., Bicout, D. J., Calistri, P., Depner, K., Drewe, J. A., Garin-Bastuji, B., Rojas, J. L. G., Schmidt, C. G., Michel, V., Chueca, M. A. M., Roberts, H. C., Sihvonen, L. H., Spooler, H., Stahl, K., Viltrop, A., Winckler, C., Candiani, D., Fabris, C., Van der Stede, Y. & Velarde, A. (2020). [Welfare of pigs at slaughter](#). *EFSA Journal*, 18(6). S. 74.
- 151** EFSA Panel on Animal Health and Welfare (AHAW), Nielsen, S. S., Alvarez, J., Bicout, D. J., Calistri, P., Depner, K., Drewe, J. A., Garin-Bastuji, B., Rojas, J. L. G., Schmidt, C. G., Michel, V., Chueca, M. A. M., Roberts, H. C., Sihvonen, L. H., Spooler, H., Stahl, K., Viltrop, A., Winckler, C., Candiani, D., Fabris, C., Van der Stede, Y. & Velarde, A. (2020). [Welfare of pigs at slaughter](#). *EFSA Journal*, 18(6). S. 74.
- 152** EFSA Panel on Animal Health and Welfare (AHAW), Nielsen, S. S., Alvarez, J., Bicout, D. J., Calistri, P., Depner, K., Drewe, J. A., Garin-Bastuji, B., Rojas, J. L. G., Schmidt, C. G., Michel, V., Chueca, M. A. M., Roberts, H. C., Sihvonen, L. H., Spooler, H., Stahl, K., Viltrop, A., Winckler, C., Candiani, D., Fabris, C., Van der Stede, Y. & Velarde, A. (2020). [Welfare of pigs at slaughter](#). *EFSA Journal*, 18(6). S. 74.
- 153** EFSA Panel on Animal Health and Welfare (AHAW), Nielsen, S. S., Alvarez, J., Bicout, D. J., Calistri, P., Depner, K., Drewe, J. A., Garin-Bastuji, B., Rojas, J. L. G., Schmidt, C. G., Michel, V., Chueca, M. A. M., Roberts, H. C., Sihvonen, L. H., Spooler, H., Stahl, K., Viltrop, A., Winckler, C., Candiani, D., Fabris, C., Van der Stede, Y. & Velarde, A. (2020). [Welfare of pigs at slaughter](#). *EFSA Journal*, 18(6). S. 74; 100.
- 154** Dalmau, A., Rodriguez, P., Llonch, P., Velarde, A., 2010b. Stunning pigs with different gas mixtures: aversion in pigs. *Animal Welfare* 19, 325–333.
- 155** Sindhøj, E., Lindahl, C., & Bark, L. (2021). [Potential alternatives to high-concentration carbon dioxide stunning of pigs at slaughter](#). *Animal*, 15(3). S. 4, 6 f.
- 156** Marahrens, M., & Schwarzlose, I. (o. D.) [Projektskizze. Untersuchungen zur Betäubung von Schlachtschweinen mit einem Stickstoff-gefüllten hochexpansiven Schaum unter Tierschutz- und Fleischqualitätsaspekten \(„Proof of Concept“\)](#).
- 157** Melchers, V. (2021, 01.07.). [Helium als Alternative zu Kohlendioxid?](#) vetline.de. www.vetline.de/helium-als-alternative-zu-kohlendioxid
- 158** Machtolf, M., Moje, M., Troeger, K., & Bülte, M. (2013). [Die Betäubung von Schlachtschweinen mit Helium](#). *Mitteilungsblatt Fleischforschung Kulmbach* 52, Nr. 202, 203-214. S. 206; 209.
- 159** Wallgren, T., Wallenbeck, A., & Berg, C. (2021). [Stunning methods for pigs at slaughter](#).
- 160** Machtolf, M., Moje, M., Troeger, K., & Bülte, M. (2013). [Die Betäubung von Schlachtschweinen mit Helium](#). *Mitteilungsblatt Fleischforschung Kulmbach* 52, Nr. 202, 203-214. S. 209.
- 161** Sindhøj, E., Lindahl, C., & Bark, L. (2021). [Potential alternatives to high-concentration carbon dioxide stunning of pigs at slaughter](#). *Animal*, 15(3).
- 162** Wallgren, T., Wallenbeck, A., & Berg, C. (2021). [Stunning methods for pigs at slaughter](#).
- 163** Wallgren, T., Wallenbeck, A., & Berg, C. (2021). [Stunning methods for pigs at slaughter](#).
- 164** Sindhøj, E., Lindahl, C., & Bark, L. (2021). [Potential alternatives to high-concentration carbon dioxide stunning of pigs at slaughter](#). *Animal*, 15(3).
- 165** Sindhøj, E., Lindahl, C., & Bark, L. (2021). [Potential alternatives to high-concentration carbon dioxide stunning of pigs at slaughter](#). *Animal*, 15(3).
- 166** Sindhøj, E., Lindahl, C., & Bark, L. (2021). [Potential alternatives to high-concentration carbon dioxide stunning of pigs at slaughter](#). *Animal*, 15(3).

- 167** [Durchführungsverordnung \(EU\) 2018/723 der Kommission vom 16. Mai 2018 zur Änderung der Anhänge I und II der Verordnung \(EG\) Nr. 1099/2009 des Rates über den Schutz von Tieren zum Zeitpunkt der Tötung in Bezug auf die Genehmigung der Betäubung mit niedrigem Luftdruck, ABI L 122/112018.](#)
- 168** Wallgren, T., Wallenbeck, A., & Berg, C. (2021). [Stunning methods for pigs at slaughter.](#)
- 169** Sindhøj, E., Lindahl, C., & Bark, L. (2021). [Potential alternatives to high-concentration carbon dioxide stunning of pigs at slaughter.](#) *Animal*, 15(3).
- 170** Sindhøj, E., Lindahl, C., & Bark, L. (2021). [Potential alternatives to high-concentration carbon dioxide stunning of pigs at slaughter.](#) *Animal*, 15(3).
- 171** Sindhøj, E., Lindahl, C., & Bark, L. (2021). [Potential alternatives to high-concentration carbon dioxide stunning of pigs at slaughter.](#) *Animal*, 15(3).
- 172** Sindhøj, E., Lindahl, C., & Bark, L. (2021). [Potential alternatives to high-concentration carbon dioxide stunning of pigs at slaughter.](#) *Animal*, 15(3).
- 173** Sindhøj, E., Lindahl, C., & Bark, L. (2021). [Potential alternatives to high-concentration carbon dioxide stunning of pigs at slaughter.](#) *Animal*, 15(3).
- 174** Lindahl, C., Sindhøj, E., Brattlund Hellgren, R., Berg, C., & Wallenbeck, A. (2020). [Responses of pigs to stunning with nitrogen filled high-expansion foam.](#) *Animals*, 10(12), 2210.
- 175** Wallgren, T., Wallenbeck, A., & Berg, C. (2021). [Stunning methods for pigs at slaughter.](#)
- 176** Sindhøj, E., Lindahl, C., & Bark, L. (2021). [Potential alternatives to high-concentration carbon dioxide stunning of pigs at slaughter.](#) *Animal*, 15(3).
- 177** Wallgren, T., Wallenbeck, A., & Berg, C. (2021). [Stunning methods for pigs at slaughter.](#)
- 178** Lindahl, C., Sindhøj, E., Brattlund Hellgren, R., Berg, C., & Wallenbeck, A. (2020). [Responses of pigs to stunning with nitrogen filled high-expansion foam.](#) *Animals*, 10(12), 2210.
- 179** Wallgren, T., Wallenbeck, A., & Berg, C. (2021). [Stunning methods for pigs at slaughter.](#)