

KLIMAEFFEKT BEI GASDICHTER GETREIDEAUFBEWAHRUNG

*Verglichen mit herkömmlicher Trocknung und
Lagerung im Bodenspeicher oder Silo*



Inhalt

Klimaeffekt bei gasdichter Getreideaufbewahrung, verglichen mit herkömmlicher Trocknung und Lagerung im Bodenspeicher	2
Klimaeffekt bei gasdichter Getreideaufbewahrung (Sammlung).....	2
1. Klimabelastung beim Anbau von Futtergetreide in Dänemark.....	3
2. Austrocknungsbedarf und Klimabelastung bei Trocknung	5
3. Atmungsverluste	10
4. Nährwert von gasdicht aufbewahrtem Getreide und Bedeutung für die Klimabelastung	11
5. Früheres Einsetzen von Folgekulturen.....	13
Referenzen	14
Anhang 1. Klimabelastung beim Anbau von Winterweizen und Sommergerste	15
Lachgasemissionen.....	15
Phosphor- und Kalidünger.....	15
Kalkdüngung	16
Herstellung von Pestiziden.....	16
Kraftstoffverbrauch	16
Stromverbrauch in Verbindung mit Bewässerung.....	16

Klimaeffekt bei gasdichter Getreideaufbewahrung, verglichen mit herkömmlicher Trocknung und Lagerung im Bodenspeicher

In diesem Bericht wurde eine Schätzung zum Unterschied bei Treibhausgasemissionen im Vergleich zwischen verhältnismäßig gasdichter Getreideaufbewahrung und herkömmlicher Trocknung und Lagerung in Bodenspeichern. Die Schätzung kann zur Beurteilung der gasdichten Getreideaufbewahrung als einer Methode zur Reduktion der Klimabelastung in der Tierproduktion herangezogen werden.

Die Analyse basiert auf Prinzipien aus Lebenszyklusanalysen und hat folgende Teilanalysen mit einbezogen:

- Deklaration der Treibhausgasemissionen beim Anbau von Futtergetreide in Dänemark
- Analyse des Austrocknungsbedarfs bei Getreide, welches über einen Zeitraum von 1992-2018 bei Feldversuchen geerntet wurde
- Treibhausgasemissionen bei der herkömmlichen Trocknung und Lagerung von Getreide
- Eventuelle Unterschiede bei Atmungsverlusten zwischen verhältnismäßig gasdicht sowie herkömmlich aufbewahrt Getreide
- Futterplan für Mastschweine im Hinblick auf verhältnismäßig gasdicht sowie herkömmlich aufbewahrt Getreide
- Schätzung der kumulierten Auswirkungen auf Treibhausgasemissionen bei gasdichter Getreideaufbewahrung

Klimaeffekt bei gasdichter Getreideaufbewahrung (Sammlung)

Der Ausgangspunkt ist eine Situation mit herkömmlich getrocknetem Getreide, das in einem Futterplan für Mastschweine enthalten ist. Diese Situation wird verglichen mit einem Futterplan, in dem Winterweizen und Sommergerste enthalten sind, die gasdicht aufbewahrt werden. Die Klimabelastung der zwei Aufbewahrungssysteme unterscheidet sich primär in drei Bereichen:

- Energieverbrauch für die Trocknung
- Verdaulichkeit des Getreides
- Verlust von Trockenmasse bei Atmung.

Tabelle 1: Gesammelte Aufstellung der Klimaauswirkungen in vier Szenarien.

	Übliche Schätzung des Trocknungsbedarfs *	Austrocknungsbedarf Feldversuch	Austrocknungsbedarf Feldversuch + 1 Prozent	Austrocknungsbedarf 3 Prozent**
Durchschn. Feuchtigkeitsgehalt bei Ernte, Prozent	16,50	16,87	16,56	18,00
Feuchtigkeitsgehalt, der durch Trocknung schwindet, kg/dt Getreide	1,76	2,20	2,97	3,53
CO ₂ -Emissionen von Heizöl für die Trocknung, kg CO ₂ eq./dt	0,34	0,43	0,58	0,69
CO ₂ -Emissionen von Stromverbrauch für die Trocknung (Luftgebläse), kg CO ₂ eq./dt	0,09	0,11	0,14	0,16

CO ₂ -Emissionen von Stromverbrauch für die Kühlung (Luftgebläse), kg CO ₂ eq./dt	0,014	0,014	0,014	0,014
CO ₂ -Emissionen des gesamten Energieverbrauchs, kg CO ₂ eq./dt	0,45	0,55	0,73	0,86
Unter Umständen geringere Atmungsverluste (auf 1% geschätzt), kg CO ₂ eq./dt	0,29	0,29	0,29	0,29
Erhöhter Nährwert (höhere Verdaulichkeit), kg CO ₂ eq./dt	0,51	0,51	0,51	0,51
Klimaeffekt gesamt bei gasdichter Aufbewahrung, kg CO₂eq./dt Getreide	1,25	1,35	1,53	1,66
Reduzierung der Klimaauswirkungen bei gasdichter Getreideaufbewahrung in Prozent	4,3	4,7	5,3	5,7

*DCA,2016; **Hansen und Winther, 2015

Der Klimaeffekt bei gasdichter Getreideaufbewahrung entspricht beim Getreideanbau mit herkömmlicher Trocknung einer Reduzierung der gesamten Klimabelastung um 4,3-5,7 Prozent.

Es ist zu betonen, dass die Berechnungen des Klimaeffekts als Folge eines höheren Nährwertes und geringerer Atmungsverluste auf unsicheren Daten basieren. Die berechneten Klimaeffekte sollten daher als mögliches Potenzial angesehen werden. Eine eigentliche Dokumentation der geschätzten Klimaeffekte erfordert genauere Untersuchungen.

Im Folgenden sind die oben vorgestellten Resultate genauer dargelegt.

1. Klimabelastung beim Anbau von Futtergetreide in Dänemark

Die Klimabelastung durch den Getreideanbau wird in diese Analyse mit einbezogen, da die zwei Aufbewahrungssysteme nach der Lagerung, als Folge von Unterschieden bei Atmungsverlusten, potentiell verschiedene Ausbeuten generieren. Die Klimabelastung wurde für Winterweizen und Sommergerste berechnet.

Tabelle 2: Klimabelastung beim Anbau von Winterweizen und Sommergerste ab Hof, angegeben in kg CO₂eq. pro ha. und pro dt. Getreide. „Sand“ entspricht den Erdtypen JB 1-4; Lehm: JB 5-8 (SEGES eigene Berechnungen abgeändert von Piil und Hvid, 2017).

		Sand	Lehm	Ganz Dänemark
Winterweizen	Kg CO ₂ eq./ha	2.081	2.348	2.233
	kg CO ₂ eq./dt	31	27	29
Sommergerste	Kg CO ₂ eq./ha	1.621	1.678	1.642
	Kg CO ₂ /dt.	30	25	29

Die Berechnung der Klimabelastung basiert auf LCA-Prinzipien, d.h. die mit der Produktion und dem Transport von Hilfsstoffen (Dünger, Kraftstoff, Pestizide usw.) Treibhausgasemissionen werden auch mit einbezogen.

Die Klimabelastung ist berechnet ab Hof vor evt. Trocknung, d.h. Treibhausgasemissionen in Verbindung mit Trocknung, Lagerung und Transport des Getreides werden nicht mit einbezogen, abgesehen vom Transport vom Feld.

Getreideanbau in Dänemark wird begleitet von der Anforderung des Anbaus von Folgekulturen. Die Klimaauswirkungen des Anbaus von Folgekulturen werden nicht in die Berechnung mit einbezogen, wie in Tabelle 2 zu sehen ist.

Eventuelle Veränderungen bei Kohlenstoffablagerungen im Boden sind in Tabelle 2 nicht mit einbezogen.

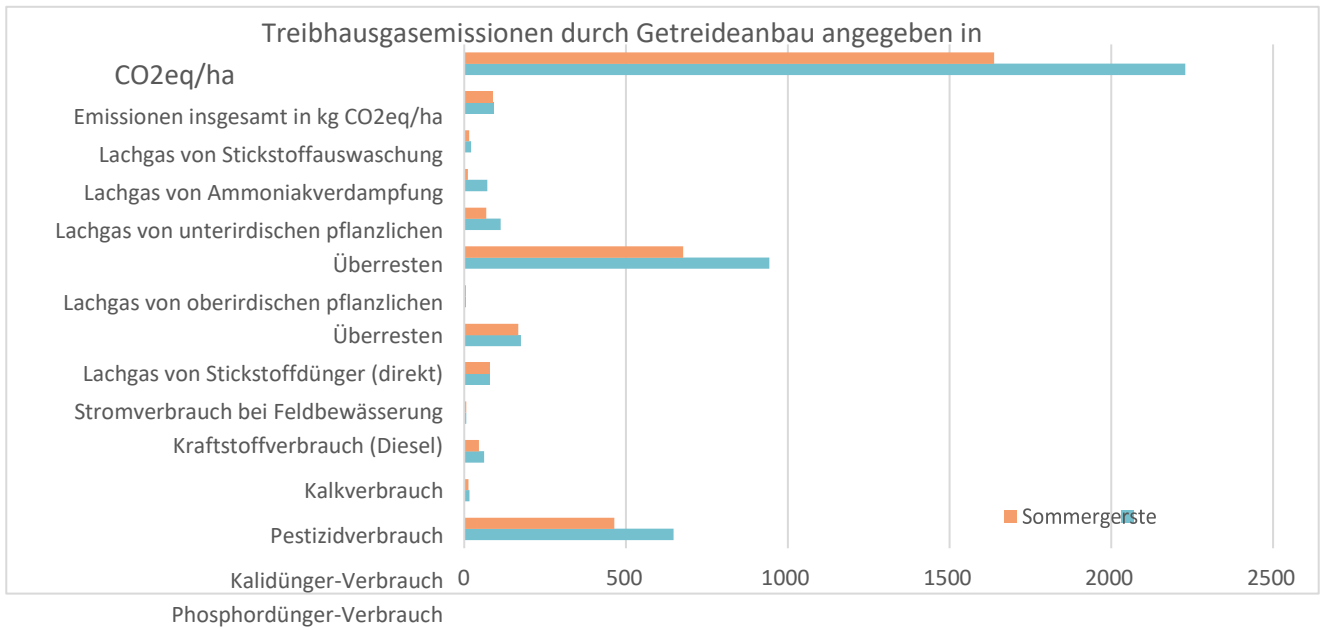


Abbildung 1: Treibhausgasemissionen berechnet in kg CO₂ eq/ha für Getreideanbau in Dänemark. SEGES eigene Berechnungen abgeändert von Piil und Hvid, 2017.

Klimaauswirkungen von Getreideanbau pro ha. zu sehen in Abbildung 1. Lachgasemissionen aus der Produktion und Zuteilung von Düngemittel stellen die weitaus größten Emissionsquellen dar. Die weiteren Voraussetzungen für die Berechnung der Klimabelastung beim Anbau von Futtergetreide in Dänemark gehen aus Anhang 1 hervor.

2. Austrocknungsbedarf und Klimabelastung bei Trocknung

Bei herkömmlicher Aufbewahrung von Getreide in Bodenspeichern oder Silos ist der Feuchtigkeitsgehalt ein entscheidender Faktor bei der Bewahrung der Getreidequalität. Austrocknungsbedarf bei Getreide variiert jährlich. Dementsprechend variiert auch der Energiebedarf für die Trocknung. Es gibt allerdings keine Statistiken über den Feuchtigkeitsgehalt des Getreides zum Zeitpunkt der Ernte und somit auch nicht zum Austrocknungsbedarf.

Deshalb werden die Resultate dieser Analyse in vier Szenarien präsentiert, die unterschiedlichen Austrocknungsbedarf repräsentieren.

In DCA, 2016 wurden Berechnungen des Energieverbrauchs bei der Trocknung angestellt, basierend auf einem geschätzten Austrocknungsbedarf von 1,5 Prozentpunkten. Diese Schätzung ist die Grundlage für frühere Berechnungen des Energieverbrauchs bei der Trocknung (Szenario 1).

SEGES hat eine Aufstellung des gemessenen Flüssigkeitsgehaltes bei Feldversuchen von Winterweizen, Wintergerste und Sommergerste im Zeitraum von 1992-2018 als Grundlage für diese Analyse genommen (Szenario 2). Des Weiteren wurde eine Übertrocknung gemäß 1 Prozentpunkt obendrauf gerechnet (Szenario 3). Übertrocknung kann in der Praxis bei Bodentrocknungsanlagen als Absicherung und zur Kompensation unebener Austrocknung in großen Anlagen zum Einsatz kommen. Letztendlich wurde auf Grundlage von Hansen und Winther, 2015, ein Austrocknungsbedarf von 3 Prozentpunkten berechnet (Szenario 4).

Der DLG-Qualitätsmanager gibt Auskunft darüber (persönliche Mitteilung), dass im Schnitt ca. 50% des Getreides einen Austrocknungsbedarf hat, und dass der durchschnittliche Flüssigkeitsgehalt in dem Teil des Getreides mit Austrocknungsbedarf vermutlich zwischen 17 und 18% liegt. Daraus ergibt sich ein durchschnittlicher jährlicher Austrocknungsbedarf von 1-1,5 Prozentpunkten für die gesamte Getreideernte.

In Abbildung 2 ist der Anteil der Feldversuche, die mit einem Flüssigkeitsanteil von über 15% und somit mit einem Austrocknungsbedarf geerntet wurden. Es wurden Messdaten von 14.833 Versuche im ganzen Land mit einbezogen.

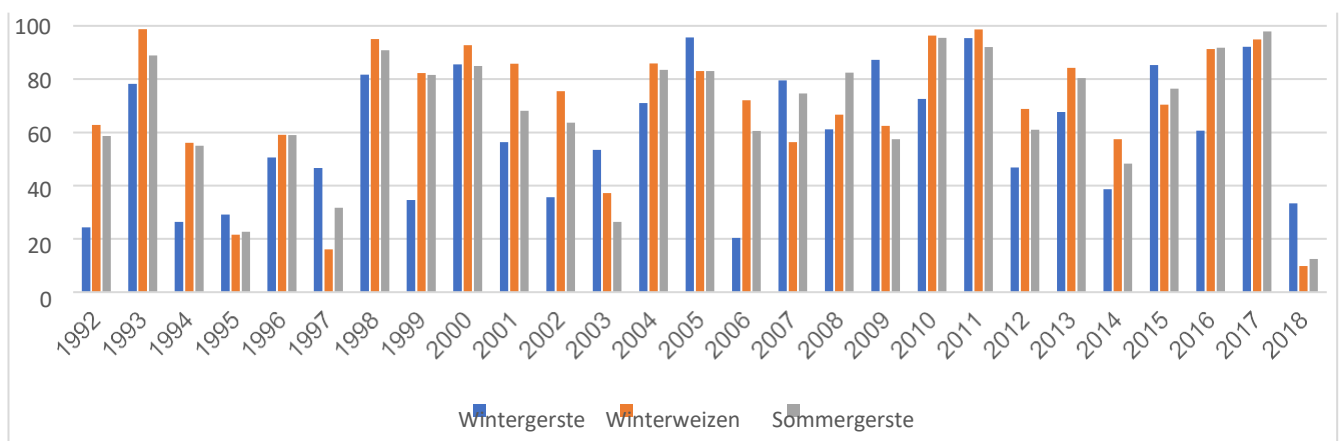


Abbildung 2: Anteil der Feldversuche mit Wintergerste, Winterweizen und Sommergerste, die im Zeitraum von 1992-2018 mit einem Flüssigkeitsgehalt von >15% geerntet wurden (angegeben in Prozent). Insgesamt 14.833 Feldversuche.

Tabelle 3 gibt den durchschnittlichen Austrocknungsbedarf an, verteilt nach Jahr und Folgekulturen vor dem Hintergrund der Daten aus Feldversuchen (Szenario 2) zum Teil von Szenario 2 plus 1 Prozentpunkt (Szenario 3).

Es ist nicht sicher, dass der Austrocknungsbedarf bei den Feldversuchen den Austrocknungsbedarf in der Praxis widerspiegelt, da der Flüssigkeitsgehalt im Getreide bei der Wahl des Erntezeitpunktes für die Feldversuche keine besonders wichtige Rolle spielt. Unterschiede im Austrocknungsbedarf zwischen verschiedenen Jahren wird hingegen als repräsentativ bewertet.

Im Folgenden wird gerechnet mit der bisherigen Schätzung für den Austrocknungsbedarf von 1,5 Prozentpunkten (DCA, 2016), der Schätzung bei Feldversuchen mit Winterweizen von 1,87 Prozentpunkten, der Schätzung bei Feldversuchen mit Winterweizen plus einem Prozentpunkt samt einem Austrocknungsbedarf von 3 Prozentpunkten (Hansen und Winther, 2015) vgl. Tabelle 2.

Tabelle 3 Austrocknungsbedarf bei Feldversuchen von 1992-2018 als Durchschnitt für alle Versuche, d.h. sowohl Versuche mit und ohne Trocknungsbedarf (Szenario 1). Durchschn. Austrocknungsbedarf bei Feldversuchen von 1992-2018 + 1 Prozent (Szenario 3).

Jahre	Anteil der Versuche mit Austr.bedarf		Szenario 2		Szenario 3	
	W.weizen	Sommergerste	W.weizen	Sommergerste	W.weizen	Sommergerste
1992	63	59	1,52	1,39	2,15	1,98
1993	99	89	3,26	2,83	4,25	1,77
1994	56	55	1,40	1,22	1,96	1,77
1995	22	23	0,28	0,58	0,49	0,80
1996	59	59	1,57	1,18	2,16	1,77
1997	16	32	0,27	0,62	0,43	0,94
1998	95	91	3,19	3,56	4,14	4,47
1999	82	82	2,07	2,10	2,90	2,92
2000	93	85	3,05	2,46	3,98	3,31
2001	86	68	2,80	1,97	3,65	2,65
2002	75	64	1,67	1,23	2,43	1,86
2003	37	26	0,53	0,39	0,90	0,65
2004	86	83	2,56	2,78	3,42	3,61
2005	83	83	1,78	1,85	2,61	2,68
2006	72	61	1,90	1,39	2,62	2,00
2007	56	75	1,30	1,90	1,86	2,64
2008	67	82	2,05	3,00	2,72	3,83
2009	62	57	1,22	1,13	1,84	1,70
2010	96	95	2,77	3,44	3,73	4,40
2011	99	92	3,61	3,32	4,60	4,24
2012	69	61	1,73	1,61	2,42	2,22
2013	84	80	1,77	1,63	2,61	2,43
2014	57	48	1,36	0,94	1,94	1,43
2015	70	76	1,62	2,14	2,32	2,90
2016	91	92	2,30	2,68	3,21	3,60
2017	95	98	2,64	3,10	3,59	4,08
2018	10	13	0,07	0,16	0,16	0,29
i. D.			1,86	1,87	2,56	2,55

Energieverbrauch für die Trocknung

Der Energieverbrauch bei herkömmlicher Trocknung von Getreide wurde vor dem Hintergrund des Trocknungsbedarfs für Sommergerste und Winterweizen bei Feldversuchen im Zeitraum von 1992-2018. Der durchschnittliche Austrocknungsbedarf für Winterweizen bzw. Sommergerste betrug 1,86 respektive 1,87 Prozentpunkte in Szenario 2 und 2,38 respektive 2,70 Prozentpunkte in Szenario 3, wie in Tabelle 3 angegeben. Des Weiteren wird in Szenario 4 mit einem Trocknungsbedarf von 3 Prozentpunkten gerechnet.

Tabelle 4: Trocknungsbedarf in den 4 Szenarien.

	Trocknungsbedarf 1,5 Prozent (DCA, 2016)	Trocknungsbedarf Feldversuche	Trocknungsbedarf Feldversuche + 1 Prozent	Trocknungsbedarf 3 Prozent (Hansen und Winther, 2015)
Durchschn. Flüssigkeitsgehalt bei Ernte	16,5 %	16,87 %	16,56	18
Gewünschter Feuchtigkeitsgehalt	15,0 %	15,0 %	14,0 %	15,0 %
Austrocknungsbedarf, Prozentpunkte	1,5	1,87	2,56	3
Flüssigkeitsmenge, die ausgetrocknet werden muss, kg/dt getrocknetes Getreide	1,76	2,20	2,97	3,53

In DCA, 2016, wird ein Energieverbrauch für Trocknung mit Trockengebläse und Ölbrenner angegeben. Der Energieverbrauch wird angegeben mit 0,7 und 2,7 MJ pro kg. verdampften Wassers beim Betrieb von Trockengebläse und Ölbrenner. Dazu kommt ein geschätzter Energieverbrauch von 0,1 kWh pro dt. beim Betrieb einer Umrührschnecke.

CO₂-Emissionen beim Verbrauch von Öl zur Trocknung

In die Berechnung geht mit ein, dass 0,266 kg CO₂ pro kWh bei der Nutzung von Brennöl abgeleitet werden.

Tabelle 5: Energieverbrauch und Emissionen von Öl bei der Trocknung.

	Trocknungsbedarf 1,5 Prozent (DCA, 2016)	Trocknungsbedarf Feldversuche	Trocknungsbedarf Feldversuche + 1 Prozent	Trocknungsbedarf 3 Prozent (Hansen und Winther, 2015)
Durchschn. Flüssigkeitsgehalt bei Ernte	16,5	16,87	16,56	18
Flüssigkeitsmenge, die ausgetrocknet werden muss, kg/dt getrocknetes Getreide	1,76	2,20	2,97	3,53
Energieverbrauch Brennöl, MJ pro dt. (2,7 MJ/kg Wasser)	4,80	5,97	8,06	9,57
Energieverbrauch Brennöl, kWh pro dt.	1,3	1,61	2,18	2,58
CO ₂ -Emissionen bei Brennöl, kg CO ₂ pro dt. (0,266 kg CO ₂ /kWh)	0,34	0,43	0,58	0,69

CO₂-Emissionen beim Verbrauch von Öl zur Trocknung und zum Umrühren

Ableitung von CO₂ bei Nutzung von Elektrizität hängt von der Art der Elektrizitätsgewinnung ab. In Übereinstimmung damit, dass der Anteil nachhaltiger Energiequellen steigt, sinken CO₂-Emissionen pro kWh Strom. Im DCA-Bericht „Umwelttechnologien in der landwirtschaftlichen Primärproduktion – Betriebswirtschaft und Umwelteffizienz“ von 2016 wird mit Emissionen von 0,351 kg CO₂ pro kWh gerechnet. Im Bericht der dänischen Energieagentur „Schlüsselzahlen für Energieverbrauch und -versorgung“ von 2017 werden Emissionen von 0,206 kg CO₂ pro verbrauchter kWh angegeben. Infolge der letzten Berechnungen, vgl. Abbildung 3, sind CO₂-Emissionen unter 0,2 kg pro kWh gesunken. Im Folgenden wird mit 0,206 kg CO₂ pro kWh gerechnet.

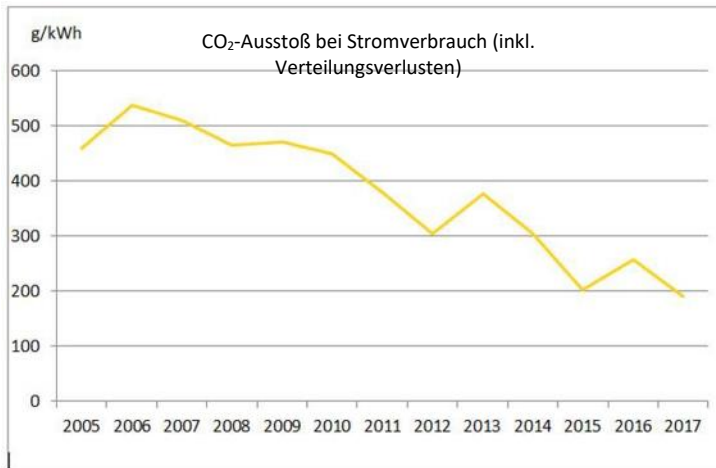


Abbildung 3: Entwicklungen im CO₂-Ausstoß bei Stromverbrauch, g CO₂ pro kWh, Energinet, 2017.

Tabelle 6: CO₂-Emissionen bei Nutzung von Elektrizität zur Trocknung und zum Umrühren

	Trocknungsbedarf 1,5 Prozent (DCA, 2016)	Trocknungsbedarf f Feldversuche	Trocknungsbedarf Feldversuche + 1 Prozent	Trocknungsbedarf 3 Prozent (Hansen und Winther, 2015)
Durchschn. Flüssigkeitsgehalt bei Ernte, %	16,50	16,87	16,56	18,00
Flüssigkeitsmenge, die ausgetrocknet werden muss, kg/dt getrocknetes Getreide	1,76	2,20	2,97	3,53
Stromverbrauch für Trockengebläse, MJ pro dt. (0,7 MJ/kg Flüssigkeit)	1,24	1,54	2,08	2,47
Stromverbrauch für Trockengebläse, MJ pro dt. (3,6 MJ/kWh)	0,33	0,42	0,56	0,67
Stromverbrauch für Umrührung pro dt.	0,1	0,1	0,1	0,1
Stromverbrauch insgesamt für Trocknung und Umrührung pro dt.	0,43	0,52	0,66	0,77
CO ₂ -Emissionen bei Stromverbrauch, kg CO ₂ pro dt. (0,206 kg CO ₂ /kWh)	0,09	0,11	0,14	0,16

CO₂-Emissionen bei Nutzung von Elektrizität zur Abkühlung

Sowohl Flüssigkeitsgehalt und Temperatur sind dafür entscheidend, ob das Getreide sicher im Bodenspeicher oder einem nicht gasdichten Silo aufbewahrt werden kann. Daher muss Stromverbrauch dafür berechnet werden, das Getreide mit einem Kaltluftgebläse zu kühlen. In Kristensen und Grundtoft, 2003, wird geschätzt, dass der Zeitraum, für den das Getreide mit Kaltluft gekühlt werden muss, ungefähr 0,5 Stunden pro dt. bei empfohlener Gebläsekapazität entspricht. Dies führt einen Stromverbrauch in Höhe von 0,07 kWh pro dt. mit sich. Dies entspricht 0,014 kg CO₂ pro dt.

CO₂-Emissionen insgesamt bei Trocknung und Abkühlung

Aus der untenstehenden Tabelle geht hervor, dass der Hauptteil der CO₂-Emissionen bei der Getreidetrocknung aufgrund der Nutzung von Öl zum Erhitzen der Zuluft entsteht.

Tabelle 7: CO₂-Emissionen insgesamt bei Trocknung und Abkühlung von Getreide.

	Trocknungsbedarf 1,5 Prozent (DCA, 2016)	Trocknungsbedarf Feldversuche	Trocknungsbedarf Feldversuche + 1 Prozent	Trocknungsbedarf 3 Prozent (Hansen und Winther, 2015)
Durchschn. Flüssigkeitsgehalt bei Ernte, %	16,50	16,87	16,56	18,00
Flüssigkeitsmenge, die ausgetrocknet werden muss, kg/dt getrocknetes Getreide	1,76	2,20	2,97	3,53
CO ₂ -Emissionen bei Nutzung von Heizöl zur Trocknung, kg CO ₂ eq./dt	0,34	0,43	0,58	0,69
CO ₂ -Emissionen bei Nutzung von Elektrizität zur Trocknung (Luftgebläse), kg CO ₂ eq./dt	0,09	0,11	0,14	0,16
CO ₂ -Emissionen von Stromverbrauch für die Kühlung (Luftgebläse), kg CO ₂ eq./dt	0,014	0,014	0,014	0,014
CO₂-Emissionen des gesamten Energieverbrauchs, kg CO₂eq./dt	0,45	0,55	0,73	0,86

3. Atmungsverluste

Getreide wird als geeignet für nicht gasdichte Aufbewahrung angesehen, wenn der Flüssigkeitsgehalt unter 15 liegt und die Temperaturen maximal 7-8°C betragen. Unter solchen Bedingungen ist der Atmungsverlust bei herkömmlicher Lagerung bescheiden. Ab der Ernte des Getreides und bis das Getreide ausgetrocknet und auf 7-8°C abgekühlt ist, vergeht einige Zeit, abhängig von den Wetterbedingungen im jeweiligen Jahr. Bei Getreide, das mit einem Flüssigkeitsgehalt von über 15 Prozent oder bei Temperaturen über 7-8°C liegt, geschieht ein Atmungsverlust. Es gibt keine Aufstellung dazu, wie groß der Atmungsverlust in der Praxis ist. Ausländische Untersuchungen zeigen, dass Atmungsverluste signifikant sein können.

Wir sind der Ansicht, dass bei gasdichter Getreideaufbewahrung durchschnittlich weniger Atmungsverluste entstehen als bei herkömmlicher Lagerung im Bodenspeicher oder Silo. Wir können die tatsächlichen Unterschiede beim Atmungsverlust nicht beziffern, rechnen aber mit einem reduzierten Atmungsverlust, der 1 Prozent Trockenmasse entspricht.

Bei gasdichter Getreideaufbewahrung kann in Risikojahren, in denen der Flüssigkeitsgehalt im Getreide niedrig ist, CO₂ ins Silo beigefügt werden, um den Sauerstoff zu verdrängen und die Atmungsprozesse aufzuhalten.

Atmungsverluste bringen reduzierte Trockenmasse-Ausbeuten ab Lager mit sich und eine dementsprechend erhöhte Klimabelastung pro dt. Getreide.

In Abschnitt 1 sind die Treibhausgasemissionen beim Anbau von Winterweizen in Dänemark mit 29 kg CO₂eq./dt. Getreide berechnet. Wenn bei gasdichter Aufbewahrung durchschnittlich ein Atmungsverlust von entweder 0,5; 1,0 oder 1,5 Prozent vermieden wird, entspricht dies reduzierten Treibhausgasemissionen von 0,145; 0,290 und 0,435 kg CO₂eq./dt. Getreide.

4. Nährwert von gasdicht aufbewahrtem Getreide und Bedeutung für die Klimabelastung

Gasdichte Getreideaufbewahrung erhöht laut Poulsen (2010) die Verdaulichkeit von Protein und insbesondere Phosphor. Die Resultate stammen aus einem kleineren Verdaulichkeitsversuch in 2010, bei dem insgesamt 16 Schweine teilnahmen. Die Untersuchung zeigte, dass die Verdaulichkeit von Protein sich von 78,2 auf 80,7 Prozent erhöhte. Für Phosphor erhöhte sich die Verdaulichkeit von 41,4 auf 46 Prozent.

Tabelle 8. Die Resultate des Verdaulichkeitsversuches mit einer Futtermischung, wo der Getreideanteil aus verhältnismäßig trocken und gasdicht aufbewahrtem Getreide bestand (Nach Poulsen, 2010).

	Kontrolle (tor)	Gasdicht (Versuch)	
Verdaulichkeit von:			
Trockenmasse, %	82,9	83,5	NS
Protein, %	78,2	80,7	p = 0,10
Phosphor, %	41,4	46,0	p < 0,01
Calcium, %	38,9	40,3	NS
Energie, %	81,7	82,3	NS
FEs/kg Trockenmasse	1,13	1,14	NS

Aufgrund der in Tabelle 8 präsentierten Resultate des Verdaulichkeitsversuches hat SEGES einen abgestimmten Futterplan für Mastschweine erarbeitet, der auf diesen Werten für jeweils trockenes und gasdicht aufbewahrtes Getreide (Tabelle 9) basiert.

Die gestiegene Verdaulichkeit von Phosphor bewirkt, dass weniger Monocalciumphosphat entsprechend 0,19 Prozentpunkten zur Futtermischung hinzugefügt werden muss. Dies reduziert den Ausstoß von Phosphor in der Tierzucht. Inwieweit dies in einem Klimaeffekt resultiert oder nicht, hängt davon ab, ob der reduzierte Phosphorausstoß in der Tierzucht eine gestiegene Anwendung von Phosphor in chemischen Düngemitteln auf dem Feld nach sich zieht. Es stellt einen kleinen positiven Klimaeffekt dar, wenn der verringerte Phosphorausstoß schlicht den Phosphorgehalt in landwirtschaftlichen Nutzflächen reduziert und nicht den Verbrauch von Phosphor in chemischen Düngemitteln erhöht.

Die höhere Proteinverdaulichkeit als Folge gasdichter Getreideaufbewahrung ermöglicht die geringere Nutzung von Sojaschrot und erhöht die Menge an Weizen ein bisschen. Dies hat unter dem Strich einen positiven Klimaeffekt, da die Auswirkungen der reduzierten Menge Sojaschrot größer sind als die Auswirkungen der höheren Weizenmenge. Die Klimabelastung bei der Produktion von Sojaschrot wurde gemessen von Mogensen et al.(2018) und entspricht 0,665 kg CO₂eq./kg Sojaschrot (ohne direkte oder indirekte Land Use Change).

Die gestiegene Proteinverdaulichkeit und der daraus resultierende Austausch von Sojaschrot mit Weizen bedingt außerdem einen leicht erhöhten Zusatz der Aminosäuren Lysin-HCL und Threonin entsprechend jeweils 0,02 und 0,01 Prozent. Es war nicht möglich, Zahlen für die Klimabelastung durch Lysin-HCL und Threonin zu erlangen. Es wird ein bescheidener Effekt vermutet.

	Auswirkung auf Treibhausgasemissionen
Mehrverbrauch von Weizen 1,18 kg x 0,29 kg CO ₂ /kg	0,3422 kg CO ₂ eq.
Nichtverwendung von Sojaschrot 1,13 kg x 0,665 kg CO ₂ /kg	-0,7515 kg CO ₂ eq.
Veränderte Treibhausgasemissionen pro 100 kg Futtermischung	-0,4093 kg CO ₂ eq.
Veränderte Treibhausgasemissionen pro dt. Futtergetreide	-0,5122 kg CO ₂ eq.

Tabelle 9. Futtermischung für Mastschweine, basierend auf Getreide mit einer Verdaulichkeit gemäß den Ergebnissen in Tabelle 8 bei jeweils trockenem sowie gasdicht aufbewahrtm Getreide. Von SEGES erarbeitet.

Mischung	Kontrolle	Gasdicht	
Norm	30-110 kg	30-110 kg	Unterschied
Getreide	Getrocknet	Gasdicht	
Flüssigkeitsgehalt im Getreide %	15 % Flüssigkeit	15% Flüssigkeit	
Phytase	nein	nein	
FK Phosphor bei 0 Phytase	49,5	54,40	4,90
FK Rohprotein	84,8	87,30	2,50
Zusammensetzung, %:			
Sommergerste (durchschn. 2015-17)	30,00	30,00	
Weizen (durchschn. 2015-17)	48,72	49,90	1,18
Sojaschrot abgeschn.	12,21	11,08	-1,13
Sonnenblumenschrot	5,00	5,00	
Palmöl	1,00	1,00	
Futterkreide	1,15	1,25	
Monocalciumphosphat	0,82	0,63	-0,19
Natriumchlorit	0,39	0,40	0,01
Lysin-HCL	0,35	0,37	0,02
Methionin	0,04	0,04	
Threonin	0,12	0,13	0,01
Vitaminmischung	0,20	0,20	
Inhalt			
Trockenmasse %	86,09	86,03	
Rohprotein %	15,04	14,66	-0,38
Rohfett	3,19	3,19	
FEsv pro 100 kg	106,33	106,68	
Phosphor g/kg	5,37	4,90	-0,47
Preis DKK/100 kg	166,23	164,56	-1,67
Preis DKK/100 FEsv	156,33	154,26	-2,07

Die wirtschaftliche Bedeutung der höheren Verdaulichkeit nach gasdichter Getreideaufbewahrung wurde berechnet und geht aus Tabelle 9 hervor. Die preismäßigen Einsparungen von 1,67 Öre pro kg Futter lässt sich auf ca. 1 Öre durch höhere Proteinverdaulichkeit und ca. 0,67 Öre durch höhere Phosphorverdaulichkeit aufteilen. Dies entspricht ca. 2,09 DKK pro dt. Getreide bei gasdichter Aufbewahrung, was wiederum ca. 4 DKK pro produziertem Mastschwein entspricht.

5. Früheres Einsetzen von Folgekulturen

Die gasdichte Getreideaufbewahrung erhöht die Anzahl an Erntestunden pro Tag, da ein höherer Flüssigkeitsgehalt im Getreide eher akzeptabel ist, als bei herkömmlicher Getreidelagerung. Damit kann die Ernte in potenziell kürzerer Zeit durchgeführt werden, was es möglich macht, danach früher Folgekulturen mit höherer Schadstoffaufnahme zu nutzen.

Bei kreuzblütenden Folgekulturen ist eine erhöhte Schadstoffaufnahme zu erwarten, was 2 kg N/ha. für jeden Tag im August entspricht, den die Folgekulturen früher eingesetzt werden. Bei Gräsern gilt, dass die Schadstoffaufnahme sich um 1 kg N/ha. pro Tag erhöht, den die Folgekulturen früher eingesetzt werden. Dementsprechend tritt auch eine höhere Aufnahme von CO₂ bei früher eingesetzten Folgekulturen auf.

Sowohl eine erhöhte Schadstoffaufnahme als auch eine erhöhte Biomasseproduktion bei Folgekulturen haben einen positiven Klimaeffekt. Dies wurde nicht in den geschätzten Klimaeffekt von gasdichter Getreideaufbewahrung einberechnet, da unklar ist, in welchem tatsächlichen Ausmaß ein früherer Einsatz von Folgekulturen bei Betrieben mit luftdichter Getreidelagerung stattfindet.

Referenzen

Dalgaard, R., Halberg, N., Hermansen, J.E., 2007. Danish pork production. An environmental assessment. DJF Animal Science No. 82

DCA. 24. Mai 2016. Umwelttechnologien in der landwirtschaftlichen Primärerzeugung – Betriebswirtschaft und Umwelteffizienz.

Umweltbehörde, 2017. Schädlingsbekämpfungsmittelstatistik 2016. <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2017/11/978-87-93614-41-3.pdf>

Energiebehörde, 2017. <https://ens.dk/service/statistik-data-noegletal-og-kort/noegletal-og-internationale-ind-Korrekturer>

Hansen, N.M. 2017. Statistik zum Kalkverbrauch in 2017. Nicht veröffentlicht.

Hansen, M.T. und Winther, E.B. 2015. Standardvoraussetzungen - für VE für Prozessunterlagen. Energiebehörde

https://ens.dk/sites/ens.dk/files/VEP_ordning/ve-proces_standardvaerdier_final.pdf

Kristensen, E.F. und Gundtoft, S. 2003. Trocknung von Getreide in Lagertrocknungsanlagen. Grünes Wissen nr. 282. <https://pure.au.dk/ws/files/456215/gym282.pdf%20.%20Valget%20p%C3%A5%20,7>

Poulsen, H.D. 2010. Nährwert von gasdicht aufbewahrttem Getreide verglichen mit lagerfestem Getreide. Institut für Haustierbiologie und -gesundheit. Agrarwissenschaftliche Fakultät, Universität Aarhus

Piil, K. und Hvid, S.K. 2017. Klimaauswirkungen beim Getreideanbau in Dänemark

Mogensen, L., Knudsen M.T., Dorca-Preda T., Nielsen N.I., Kristensen I.S. und Kristensen T. 2018. Nachhaltigkeitsparameter für herkömmliche Futtermittel für Rindvieh – Methoden und Tabellenwerte. DCA-Bericht Nr. 116,

Anhang 1. Klimabelastung beim Anbau von Winterweizen und Sommergerste

Die Berechnung der Klimabelastung durch den Anbau von Winterweizen und Sommergerste basiert auf den im Folgenden präsentierten Voraussetzungen.

Lachgasemissionen

Lachgasemissionen machen einen großen Teil der Klimabelastung beim Getreideanbau aus. Es gibt vier wesentliche Quellen für Lachgasemissionen:

- Düngemittelverteilung
- Auswaschung von Schadstoffen
- Ammoniakverdampfung
- Verfall von unterirdischen und oberirdischen Pflanzenresten

Die wichtigste Quelle von Emissionen in Verbindung mit dem Getreideanbau sind Lachgasemissionen bei der Herstellung und Verteilung von Stickstoffdüngemittel. Emissionen aus ausgebrachtem Stickstoffdüngemittel werden als 1 Prozent der verteilten kg N berechnet (IPCC, 2006).

Tabelle 1 Lachgasemissionen aus der Produktion und Verteilung von chemischen Düngemitteln, berechnet pro Erdtyp bei gültigen Stickstoffnormen, kg CO₂eq./ha

	JB1	JB2	JB3	JB4	JB1-4	JB5	JB6	JB7	JB8	JB11
Winterweizen	1.404	1.451	1.404	1.451	1.615	1.662	1.662	1.756	1.756	1.451
Wintergerste	1.419	1.341	1.419	1.341	1.498	1.521	1.521	1.607	1.607	1.341
Sommergerste	1.113	1.074	1.113	1.074	1.255	1.137	1.137	1.184	1.184	1.074

Die Ammoniakverdampfung bei chemischen Düngemitteln macht 2,2% der zugeführten Menge Stickstoff (Elsgaard, 2015). Standard-Emissionsfaktoren für den Ammoniak-Niederschlag sind laut IPCC (2006) 0,01 kg N₂O-N/kg NH₃-N.

Tabelle 2: Emissionen aus Ammoniakverdampfung, kg CO₂eq./ha.

	JB1	JB2	JB3	JB4	JB1-4	JB5	JB6	JB7	JB8	JB11
Winterweizen	18,3	18,9	18,3	18,9	21,1	21,7	21,7	22,9	22,9	18,9
Wintergerste	18,5	17,5	18,5	17,5	19,5	19,9	19,9	21,0	21,0	17,5
Sommergerste	14,5	14,0	14,5	14,0	16,4	14,8	14,8	15,5	15,5	14,0

Tabelle 3: Emissionen durch Auswaschungen, kg CO₂eq./ha. (Mit N-LES4 in Kalkule Mark berechnet).

	JB1	JB2	JB3	JB4	JB1-4	JB5	JB6	JB7	JB8	JB11
Winterweizen	152	132	135	111	0	100	92	79	45	10
Wintergerste	152	132	135	111	0	99	91	79	45	10
Sommergerste	157	143	140	119	0	107	101	86	49	11

Phosphor- und Kalidünger

Emissionen aufgrund von Phosphor- und Kalidünger werden aus der Menge berechnet, die in der Getreideausbeute abgeführt wird. Die Verteilung von P und K übersteigt die Abnahme im Getreide, kann aber nicht als zugänglich für die nachfolgenden Kulturen angenommen werden. Auch im geborgenen Stroh findet eine Abnahme statt. Dies wird nicht mit einberechnet, da der Verbrauch von Phosphor und Kalium bei der Stroherstellung zur Verwendung des Strohs beispielsweise zum Ausstreuen oder zur Energiegewinnung, vgl. die generelle Abgrenzung der Analyse.

Tabelle 4: Emissionen aus P und K kg CO₂eq./ha.

	JB1	JB2	JB3	JB4	JB1-4	JB5	JB6	JB7	JB8	JB11
Winterweizen	53,3	67,1	53,3	67,1	71,1	84,9	84,9	89,8	89,8	67,1
Wintergerste	55,6	59,7	55,6	59,7	63,7	78,9	78,9	83,9	83,9	59,7
Sommergerste	46,5	53,6	46,5	53,6	58,7	65,7	65,7	69,8	69,8	53,6

Kalkdüngung

Es gibt keine Statistik zum Kalkverbrauch in den einzelnen Regionen oder bei den einzelnen Erdtypen. Landesweit wurden in Dänemark im Zeitraum zwischen 2007-2017 durchschnittlich 449.000 Tonnen Kalk (CaCO₃) im Jahr verwendet (Hansen, 2017). Dies entspricht 170 kg/ha. Die direkten Emissionen aus der Kalkanwendung können mit dem Emissionsfaktor 0,12 kg CO₂-C/kg CaCO₃. Hinzu kommen Abbau und Transport (0,019 kg/kg CaCO₃). Der Kalkverbrauch exklusiv Abbau führt daher zu Treibhausgasemissionen von 78kg CO₂eq/ha. kultivierter Fläche.

Herstellung von Pestiziden

Im Zeitraum von 2010-2016 betrug der durchschnittliche Verbrauch von Wirkstoffen in der dänischen Pflanzenzucht 1,11 kg/ha. (Umweltbehörde, 2017). Es gibt keine Statistik zum Verbrauch in den einzelnen Regionen oder bei den einzelnen Kulturen. Die Treibhausgasemissionen bei der Herstellung von Pestiziden lassen sich auf 5,37 kg CO₂eq./kg Wirkstoff beziffern (Elsgaard, 2015). Der Kalkverbrauch exklusiv Abbau führt daher zu Treibhausgasemissionen von 6,0 kg CO₂eq/ha.

Kraftstoffverbrauch

Der Kraftstoffverbrauch wurde von Pill, 2017, genommen.

Stromverbrauch in Verbindung mit Bewässerung

Der Stromverbrauch für die Feldbewässerung wird auf 4,6 kWh/mm/ha. berechnet (Pill, 2017). Die Treibhausgasemissionen pro kWh wurden aus den Schlüsselzahlen der Energiebehörde von 2017 entnommen und entsprechen 206 g CO₂eq./kWh (Energiebehörde, 2017).

**KLIMAEFFEKT BEI GASDICHTER
GETREIDEAUFBEWAHRUNG
- VERGlichen MIT HERKÖMMLICHER TROCKNUNG UND
LAGERUNG IM BODENSPEICHER ODER SILO**

wird herausgegeben von
SEGES
Landbrug & Fødevarer F.m.b.A.
Agro Food Park 15
8200 Aarhus N

+45 8740 5000
seges.dk

ERSTELLT VON
PlantelInnovation, SEGES

Autoren
Søren Kolind Hvid, SEGES, PlantelInnovation
Anna Marie Thierry, SEGES, PlantelInnovation

Dezember 2019