WEIHENSTEPHAN · TRIESDORF
University of Applied Sciences

agri benchmark

Kultiviertes Fleisch vs. konventionelle Schweinemast

Vergleich der Landnutzung mithilfe linearer Optimierung

Hanno Koßmann, Thorsten Möß, Peter Breunig
Hochschule Weihenstephan-Triesdorf

Hintergrund

In den letzten Jahren hat das allgemeine Interesse an kultiviertem Fleisch, auch als Zell-basiertes oder In-vitro-Fleisch bekannt, zugenommen. Dieser innovative Ansatz zielt darauf ab, Fleisch durch Zellkulturverfahren in Bioreaktoren zu produzieren und so die negativen Auswirkungen der konventionellen Tierhaltung auf Umwelt, Tierwohl und Ressourcenverbrauch zu reduzieren (Treich, 2021). Eine der wichtigsten Fragestellungen in diesem Zusammenhang ist die Flächeneffizienz und die Landnutzung für die Produktion von kultiviertem Fleisch im Vergleich zur konventionellen Tierhaltung, insbesondere im Hinblick auf die wachsende Weltbevölkerung und den zunehmenden Bedarf an proteinreichen Lebensmitteln (Röös et al., 2017; Flachowsky et al., 2017).
Ziel dieser Studie ist es, die Flächeneffizienz für die kultivierte Schweinefleischproduktion im Vergleich zur klassischen Schweinehaltung zu untersuchen und die Auswirkungen der verschiedenen Ansätze auf die Landnutzung zu bewerten.
Zudem wird in der Studie untersucht, wie Fruchtfolgerestriktionen und der Bedarf an Protein und Zucker die Landnutzung beeinflussen und wie diese Faktoren in zukünftigen Entwicklungen der kultivierten Fleischproduktion berücksichtigt werden sollten. Durch die Einbeziehung verschiedener Szenarien und Technologien liefert die Studie ein umfassendes Bild der aktuellen und zukünftigen Möglichkeiten der kultivierten Fleischproduktion und ihrer Auswirkungen auf die Landnutzung.

Material und Methoden

Datenerhebung: Unsere Studie basiert auf Daten von landwirtschaftlichen Kulturen in Deutschland und Futtermittelanalysen zur Bestimmung der AS-Muster und Glc-Gehalte (INRAE-CIRAD-AFZ Feed tables, Durst et al. 2021). Informationen zur Produktion von kultiviertem Fleisch stammen hauptsächlich von Humbird (2020).
Durchschnittliche Erträge pro Hektar stammen aus Daten der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL, 2023) und des statistischen Bundesamtes (2020).

Kulturen: Untersuchte Kulturen umfassen **Eiweiß- und Ölpflanzen** (Sojabohne, Lupine, Ackerbohne, Erbse, Winterraps, Sonnenblume) und **Stärkepflanzen** (Körnermais, Winterweizen, Roggen, Triticale, Wintergerste, Hafer, Kartoffel).

Nährstoffberechnung: Die Nährstofflieferung pro Hektar wurde durch Multiplikation der Nährstoffgehalte der Erntegüter (%) mit den Hektarerträgen (t FM/ha) errechnet, wobei die Trockenmassegehalte der Futtermittel berücksichtigt wurden (LfL, 2023; DESTATIS, 2020).

Annahmen zur Nährstoffausbeute: Eine AS-Ausbeute von 70% für kultiviertes Fleisch wurde angenommen. Die Glc-Ausbeute wurde aus Stärke- und Zuckeranteilen abgeleitet, wobei 100% der Stärke und Disaccharide aus Energie- und Ölpflanzen in Glc umgewandelt wurden. Bei Körnerleguminosen wurde eine Umwandlungsrate von 50% angenommen (Humbird, 2020).

Berechnung der Landnutzung: Die Betriebsfläche wurde auf 100 ha festgelegt. Ein lineares Optimierungsmodell wurde verwendet, um den Nährstoffbedarf in kg/kg CM-FM mit der Nährstofflieferung in kg/ha für konventionelle Schweinemast und kultiviertes Fleisch zu verrechnen. Die Landnutzung für konventionelle Schweinemast basiert auf der Futtermittelzusammensetzung (agri benchmark) und für kultiviertes Fleisch auf dem Nährstoffbedarf für Zellwachstum. Alle Rohstoffe werden vor Ort von dem Betrieb erzeugt (inkl. Soja).

Szenarien: Vier Szenarien wurden entwickelt, die sich hinsichtlich der Nutzung von Photovoltaik-Anlagen zur Energieversorgung und der Quellen für Protein und Zucker unterscheiden.

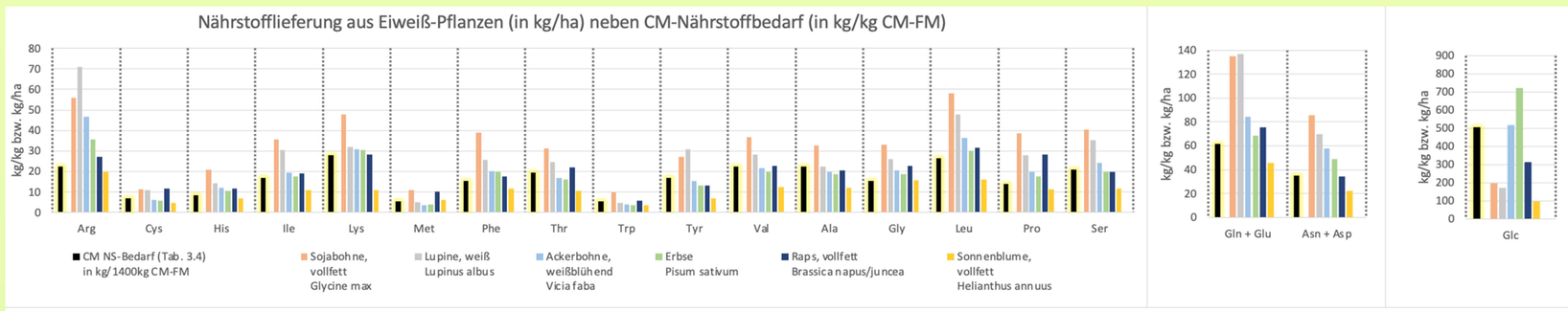
Energieaufwand: Der Energieaufwand wurde aus Daten bestehender LCAs für kultiviertes Fleisch und LCAs bestehender Schweinemastsysteme als Differenz berechnet. Anschließend der Produktion von kultiviertem Fleisch aufgeschlagen. Zu Effizienz von PV-Freiflächenanlagen in Bayern (1,35 ha/MWp) nutzten wir Daten von Böhm et al. (2022).

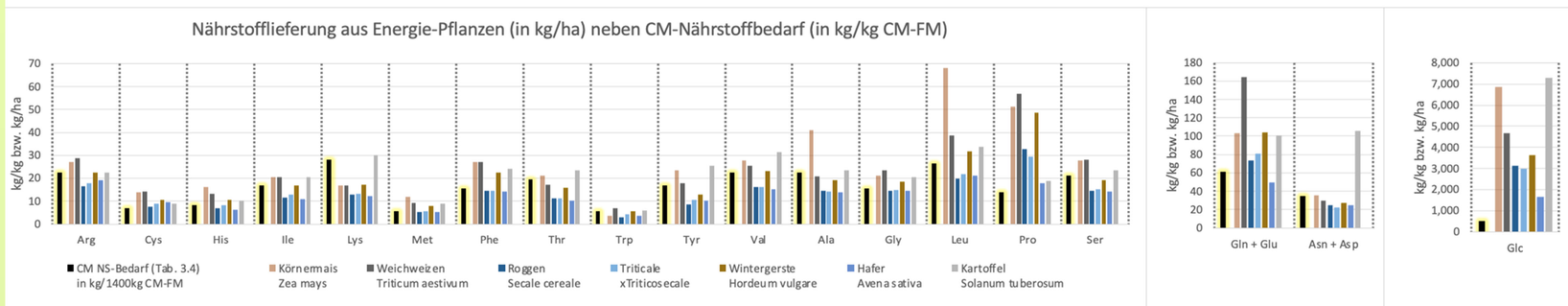
Szenarien:
Szenario 1: Kultiviertes Fleisch ohne PV-Anlagen und mit maximaler Ausbeute aus den Kulturen
Szenario 2: Kultiviertes Fleisch mit PV-Anlagen und mit maximaler Ausbeute aus den Kulturen
Szenario 3: Kultiviertes Fleisch ohne PV-Anlagen, aber mit Proteinen nur aus Proteinpflanzen und Energie/Zucker nur aus Energiepflanzen
Szenario 4: Kultiviertes Fleisch mit PV-Anlagen, aber mit Proteinen nur aus Proteinpflanzen und Energie/Zucker nur aus Energiepflanzen

Konv. Betrieb: Ferkelerzeugung und Mast entsprechend zweier typischer Betriebe von agri benchmark

Ergebnisse

Nährstoffbedarf kult. Fleisch und Nährstofflieferung lw. Kulturen



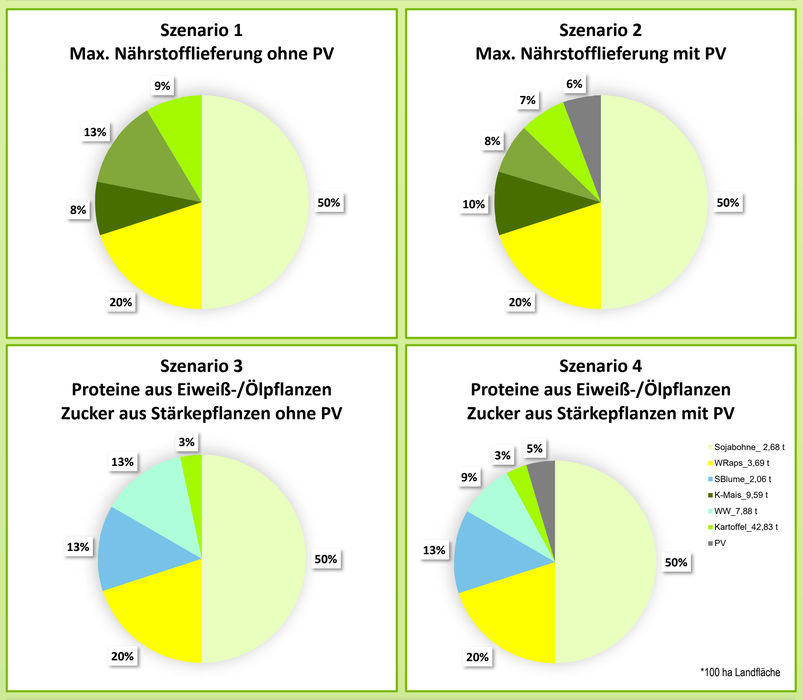


Nährstofflieferung in kg/ha für Proteine und Zucker

Nährstoffausbeute bei Hydrolyse	
Glc aus Stärke (Legum.)	50%
Glc aus Stärke (allg.)	100%
AS-Ausbeute (allg.)	70%

			Eiweiß- und Öl-Pflanzen						Energie-/Kohlenhydrat-Pflanzen						
			Sojabohne, vollfett *Glycine max*	**Lupine, weiß** *Lupinus albus*	**Ackerbohne, weißblühend** *Vicia faba*	**Erbse** *Pisum sativum*	**Raps, vollfett** *Brassica napus/juncea*	**Sonnenblume, vollfett** *Helianthus annuus*	**Körnermais** *Zea mays*	**Weichweizen** *Triticum aestivum*	**Roggen** *Secale cereale*	**Triticale** *xTriticosecale*	**Wintergerste** *Hordeum vulgare*	**Hafer** *Avena sativa*	**Kartoffel** *Solanum tuberosum*
			kg/ha	*kg/ha*	*kg/ha*	*kg/ha*	*kg/ha*	*kg/ha*	*kg/ha*	*kg/ha*	*kg/ha*	*kg/ha*	*kg/ha*	*kg/ha*	*kg/ha*
Nährstoffe – Saccharide	Glucose	Glc	164,81	91,11	816,06	868,09	323,43	74,74	6259,61	4881,79	3110,05	3655,46	3617,38	1720,59	7392,14
Nährstoffe – Aminosäuren – essentiell	Arginin	Arg	47,41	37,64	73,45	43,00	27,98	15,13	24,75	30,02	16,48	21,94	22,30	19,92	22,95
	Cystein	Cys	9,55	5,75	9,57	6,96	11,96	3,68	12,71	14,74	7,67	10,77	10,69	9,80	8,88
	Glutamin	Gln	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Histidin	His	17,67	7,63	19,14	12,68	11,96	5,23	14,72	13,65	6,90	9,94	10,69	6,32	10,36
	Isoleucin	Ile	30,28	16,20	30,67	21,13	19,59	8,34	18,73	21,29	11,50	15,73	16,73	11,38	20,73
	Lysin	Lys	40,38	17,04	48,40	36,78	29,25	8,48	15,39	17,47	13,03	16,15	17,19	12,64	30,35
	Mehionin	Met	9,37	2,72	5,35	4,97	10,43	4,81	10,70	9,83	5,37	7,04	7,90	5,37	8,88
	Phenylalanin	Phe	32,81	13,59	31,52	23,86	18,32	8,91	24,75	28,39	14,56	17,80	22,30	14,86	24,43
	Threonin	Thr	26,32	12,96	26,73	19,39	22,64	8,06	19,40	18,01	11,12	13,66	15,80	10,43	23,69
	Tryptophan	Trp	8,29	2,40	6,19	4,47	6,11	2,83	3,34	7,10	3,07	5,38	5,58	3,79	5,92
	Tyrosin	Tyr	23,07	16,31	23,92	15,66	13,48	5,23	21,41	18,56	8,43	12,84	13,01	10,75	25,91
	Valin	Val	31,19	15,05	34,05	23,86	23,40	9,62	25,42	26,75	16,10	19,87	23,23	15,81	31,83
Nährstoffe – Aminosäuren – nicht essentiell	Alanin	Ala	27,58	11,81	30,95	22,37	21,37	9,19	37,46	21,84	14,56	17,39	19,05	14,23	23,69
	Asparagin	Asn	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Asparaginsäure	Asp	72,29	37,22	90,33	58,90	35,36	16,83	32,78	31,12	24,91	27,33	27,41	25,61	107,34
	Glutaminsäure	Glu	114,29	72,56	132,82	82,51	78,10	34,79	94,32	171,95	73,59	99,37	104,07	50,90	102,16
	Glycin	Gly	27,94	13,90	32,36	22,37	23,40	12,02	19,40	24,56	14,56	18,22	18,58	15,17	20,73
	Leucin	Leu	49,03	25,40	57,12	36,04	32,56	12,30	62,21	40,40	19,93	26,50	31,59	21,81	34,05
	Prolin	Pro	32,63	14,74	31,24	21,13	29,25	8,63	46,83	59,50	32,58	36,02	48,32	18,33	19,25
	Serin	Ser	34,07	18,71	38,27	23,61	20,61	9,05	25,42	29,48	14,56	18,63	19,05	14,54	23,69
	Gln + Glu		114,29	72,56	132,82	82,51	78,10	34,79	94,32	171,95	73,59	99,37	104,07	50,90	102,16
	Asn + Asp		72,29	37,22	90,33	58,90	35,36	16,83	32,78	31,12	24,91	27,33	27,41	25,61	107,34
	∑ AS		634,17	341,66	722,07	479,67	435,76	183,12	509,75	584,65	308,92	394,59	433,49	281,66	544,84
	∑ AS + Glc		798,98	432,77	1538,13	1347,75	759,20	257,86	6769,37	5466,44	3418,97	4050,04	4050,86	2002,25	7936,98

Fruchtfolge*



Flächenbedarf

Szenario/ LCA Quelle	Proteinquelle	Energiequelle	PV-Anlage	Flächen-effizienz (SG) (m²/kg)
1	Maximale Ausbeute aus Kulturen	Maximale Ausbeute aus Kulturen	Nein	5,60
2	Maximale Ausbeute aus Kulturen	Maximale Ausbeute aus Kulturen	Ja	5,79
3	Proteine aus Proteinpflanzen	Energie/Zucker aus Energiepflanzen	Nein	7,26
4	Proteine aus Proteinpflanzen	Energie/Zucker aus Energiepflanzen	Ja	7,26*
agri benchmark	Konventioneller Schweinebetrieb	Konventioneller Schweinebetrieb	-	7,05
Beispiele aus LCAs für Produktion von kultiviertem Fleisch				
Smetana, et al. 2015	Cyanobakterien	Cyanobakterien	-	0,4-0,8
CEDelft, 2021	Soja	Mais	-	1,8
Mattick, et al. 2015	Soja	Mais	-	5,4
Beispiele aus Europ. Schweinefleischproduktion				
Nijdam et al., 2012	Vergleich von 11 Studien aus Europa		-	8-15
Noya et al., 2017	Spanische Schweineproduktion		-	4,96
Nguyen et al., 2011	Dänische Schweineproduktion		-	6,55
Van Zanten et al., 2015	Holl. Schweineproduktion		-	5,37
Wirsenius et al., 2020	Deutsche Schweineproduktion		-	8,2

*Fruchtfolgerestriktionen für Leguminosen & Sommerungen verhindern zus. Proteinherstellung (50% Leguminosen/ 67% Sommerungen)

Diskussion

Kultiviertes Fleisch zeigt in unserer Studie für Süddeutschland im Vergleich zu Fleisch aus Schweinehaltung keine signifikanten Flächenbedarfsvorteile. Dieses Ergebnis steht im Kontrast zu einigen bisher publizierten Studien und Aussagen von Startup-Unternehmen. Die untersuchten Szenarien zeigen, dass Fruchtfolgerestriktionen, Protein- und Zuckergehalte der jeweiligen Pflanzenkulturen wichtige Faktoren für die Landnutzugseffizienz von kultiviertem Fleisch sind. Darüber hinaus führt der höhere Energiebedarf von kultiviertem Fleisch zu zusätzlichem Flächenbedarf bei Nutzung von erneuerbaren Energien, was in der Studie durch freiflächen-PV betrachtet wurde. Da der Flächenbedarf wesentlich für die Klimawirkung von Schweinefleisch ist (Wirsenius at al. 2020), können hier keine wesentlichen Vorteile durch kultiviertes Fleisch erwartet werden.
In dieser Studie betrachten wir die Nutzung von landwirtschaftlichen Kulturen als Grundlage für das Zellmedium. Neue biotechnologische Verfahren können eventuell die Erzeugung von Zellmedien ohne Agrarrohstoffe ermöglichen, was das Potenzial für eine effizientere und nachhaltigere Produktion von kultiviertem Fleisch erhöhen könnte.
Die Ergebnisse dieser Studie tragen zum Verständnis der Potenziale und Herausforderungen der kultivierten Fleischproduktion mit Blick auf die nötigen Ressourcen bei und liefern wichtige Informationen für politische Entscheidungsträger, Unternehmen und Verbraucher, um fundierte Entscheidungen zur Gestaltung einer nachhaltigeren Lebensmittelproduktion zu treffen.

Literatur

Böhm, V. J., de Witte, T., & Plaas, E. (2022). PV-Freiflächenanlagen: Rahmenbedingungen und Wirtschaftlichkeit. Berichte über Landwirtschaft, 100(2).
DESTATIS. (2020). Ernte- und Betriebsberichterstattung (EBE): Feldfrüchte und Grünland. Qualitätsbericht. https://www.destatis.de/DE/Methoden/Qualitaet/Qualitaetsberichte/Land-Forstwirtschaft-Fischerei/ernte-ebe.pdf?__blob=publicationFile
Flachowsky, G., Meyer, U., & Südekum, K.-H. (2017). Land Use for Edible Protein of Animal Origin—A Review. Animals, 7(12), 25. https://doi.org/10.3390/ani7030025
Humbird, D. (2020). Scale-Up Economics for Cultured Meat: Techno-Economic Analysis and Due Diligence [Preprint]. engrXiv. https://doi.org/10.31224/osf.io/795su
INRA-CIRAD-AFZ. (2023). INRA-CIRAD-AFZ feed tables | Tables of composition and nutritional values of feed materials. https://www.feedtables.com/content/inra-cirad-afz-feed-tables
LfL. (2023). LfL Deckungsbeiträge und Kalkulationsdaten; Erntejahre: 2017-2021. https://www.stmelf.bayern.de/idb/default.html
Mattick, C. S., Landis, A. E., Allenby, B. R., & Genovese, N. J. (2015). Anticipatory Life Cycle Analysis of In Vitro Biomass Cultivation for Cultured Meat Production in the United States. Environmental Science & Technology, 49(19), 11941–11949. https://doi.org/10.1021/acs.est.5b01614
Nguyen, T. L. T., Hermansen, J., & Mogensen, L. (2011). Environmental assessment of Danish Pork. Aarhus University. https://dcapub.au.dk/djfpdf/ir_103_54761_indhold_internet.pdf
Nijdam, D., Rood, T., & Westhoek, H. (2012). The price of protein: Review of land use and carbon footprints from life cycle assessments of animal food products and their substitutes. Food Policy, 37(6), 760–770. https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2012.08.002
Noya, I., Villanueva-Rey, P., González-García, S., Fernandez, M. D., Rodriguez, M. R., & Moreira, M. T. (2017). Life Cycle Assessment of pig production: A case study in Galicia. Journal of Cleaner Production, 142, 4327–4338. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.11.160
Röös, E., Bajželj, B., Smith, P., Patel, M., Little, D., & Garnett, T. (2017). Greedy or needy? Land use and climate impacts of food in 2050 under different livestock futures. Global Environmental Change, 47, 1–12. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.09.001
Sinke, P., Vergeer, R., & Odegard, I. (2021). LCA of cultivated meat Future projections for different scenarios. CEDelft.
Smetana, S., Mathys, A., Knoch, A., & Heinz, V. (2015). Meat alternatives: Life cycle assessment of most known meat substitutes. The International Journal of Life Cycle Assessment, 20(9), 1254–1267. https://doi.org/10.1007/s11367-015-0931-6
Van Zanten, H. H. E., Bikker, P., Mollenhorst, H., Meerburg, B. G., & De Boer, I. J. M. (2015). Environmental impact of replacing soybean meal with rapeseed meal in diets of finishing pigs. Animal, 9(11), 1866–1874. https://doi.org/10.1017/S1751731115001469
Wirsenius, S., T. Searchinger, J. Zionts, L. Peng, T. Beringer, and P. Dumas. 2020. “Comparing the Life Cycle Greenhouse Gas Emissions of Dairy and Pork Systems across Countries Using Land-Use Carbon Opportunity Costs.” Working Paper. Washington, DC: World Resources Institute. Available online at www.wri.org/publication/comparing-life-cycle-ghg-emissions.

Danksagung

Wir danken agri benchmark für das Bereitstellen der Daten. Die Forschungsarbeiten wurden von der Bayerischen Staatsregierung im Rahmen der High-Tech-Agenda Bayern gefördert.

Kontakt:
Hanno Koßmann
hanno.kossmann@hswt.de