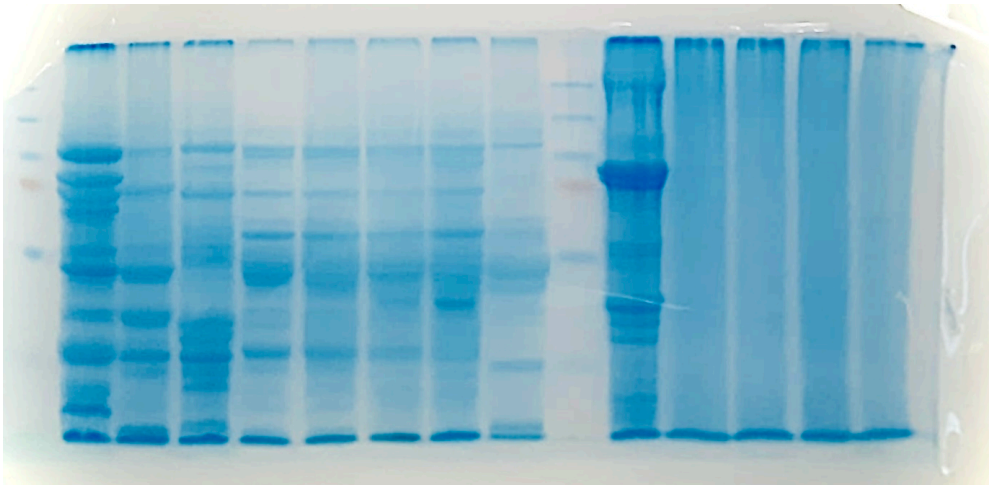
Hector Seminar

Karlsruher Institut für Technologie

Proteine in Fleischalternativen



Abschlussbericht im Rahmen der Kooperationsphase 2021/22

Durchgeführt am Fortbildungszentrum für Technik und Umwelt des
Karlsruher Instituts für Technologie
Betreut durch Frau Dr. Christine Scholl
Abgabe am 30.09.2022

Lasse Möbius
Trifelsstraße 4
76187 Karlsruhe
lassemoebius2@gmail.com

Amelie Schwert
Marie-Juchaczstraße 11
76137 Karlsruhe
ami.schwert@gmail.com

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung **1**

2 Material und Methoden **2**

2.1 Material . . . 2

2.2 SDS-Polyacrylamid-Gelelektrophorese . . . 3

2.3 Versuchsbeschreibung . . . 5

2.3.1 Belegung der Gele . . . 5

2.3.2 Probenaufbereitung . . . 6

2.3.3 Beladen der Gele und Trennung der Proteine . . . 6

2.3.4 Färben und Entfärben der Gele . . . 6

3 Ergebnisse **7**

3.1 Laborergebnisse . . . 7

3.1.1 Hülsenfrüchte . . . 8

3.1.2 Insekten . . . 9

3.1.3 Seitan und Tofu . . . 10

3.1.4 Jackfruit . . . 10

3.1.5 Fleisch . . . 11

3.2 Klimawirkung . . . 12

3.2.1 Treibhausgasemissionen . . . 12

3.2.2 Wasserbedarf . . . 12

3.2.3 Flächenbedarf . . . 13

4 Diskussion **14**

4.1 Hülsenfrüchte . . . 14

4.2 Seitan und Tofu . . . 14

4.3 Jackfruit . . . 15

4.4 Fleisch . . . 15

4.5 Insekten . . . 15

4.6 Fehlerdiskussion . . . 15

4.6.1 Einflussnehmende Faktoren . . . 15

4.6.2 Gelelektrophorese . . . 16

4.7 Fazit . . . 16

4.8 Ausblick . . . 16

5 Anhang **17**

6 Danksagung **18**

Abstract

With Global Warming and veganism, due to ethical reasons, on the rise, humankind is in dire need of an alternative protein source to meat. In this project, we aimed to find a source of food that offers a sufficient amount and variety of proteins and is environmentally sustainable as well.
To achieve this goal a selection of foods was examined, regarding their protein diversity, by utilizing an SDS-PAGE. This method allows for sorting proteins by size.
To put the proteins in context with the consequences of the production, we researched the required resources, including greenhouse gas emissions. The two foods that performed best were soybeans as well as insects.

1 Einleitung

Aufgrund des Klimawandels und der ethischen Verwerflichkeit von Massentierhaltung spielen vegane Nahrungsmittel in der heutigen Gesellschaft eine immer größere Rolle. Dabei ist es wichtig, auf eine gesunde Ernährung und eine ausreichende Proteinzufuhr Acht zu geben. Proteine sind lebenswichtig, da sie die nötigen Aminosäuren zum Wachstum und Erhalt von Zellen und Geweben liefern. Da Fleisch eine bedeutende Proteinquelle ist, ist es wichtig, gute und vertretbare Alternativen zu finden. Diese sollten sowohl eine hohe Qualität an Proteinen als auch eine geringe Umweltauswirkung haben.

Hochwertige Proteine zeichnen sich durch den Gehalt an bestimmten Aminosäuren aus. Insgesamt gibt es 20 Aminosäuren, von denen 8 essenziell sind. Das bedeutet, dass der Körper sie nicht selbst herstellen kann und sie durch die Nahrung aufgenommen werden müssen. Durch eine SDS-Polyacrylamid-Gelelektrophorese werden die Proteine einer Probe nach ihrer Größe aufgetrennt. Durch die Größe der Proteine kann man herausfinden, um welches Protein es sich handelt.

Neben der physiologischen Bedeutung der Proteine sind auch umweltrelevante Fragen wichtig. Dabei werden der Wasser- und Flächenbedarf sowie die Treibhausgasemission betrachtet.

Unter anderem wurden verschiedene pflanzliche Proteinquellen untersucht. Dabei wurden sowohl unverarbeitete Produkte, darunter verschiedene Hülsenfrüchte wie z. B. Linsen oder Sojabohne als auch verarbeitete Produkte wie Seitan, Tofu und Jackfruit als die bekanntesten Fleischersatzprodukte auf dem Markt untersucht.

Eine eher kontroverse Fleischalternative bieten Insekten. Auch wenn sie schon in einigen Kulturen als alltägliches Nahrungsmittel genutzt werden, werden sie in der westlichen Welt noch immer mit Abneigung betrachtet. Trotzdem finden sie auch in unsere Kultur Einzug und werden von einigen als Fleischalternative verwendet. Die am häufigsten zur Verarbeitung verwendeten Insekten sind Larven des Getreideschimmelkäfers sowie des Mehlkäfers. Aber auch andere Insekten wie Heuschrecken und Heimchen und Grillen werden mittlerweile zu Nahrungsmitteln verarbeitet.

Um einen Vergleich zu schaffen wurden die Proteine und die Umweltauswirkungen von Geflügel, Schweine- und Rindfleisch betrachtet.

Das Ziel dieser Untersuchung ist es, eine qualitative Analyse von Proteinen unterschiedlicher Fleischalternativen durchzuführen und die Ergebnisse in einen Umweltkontext zu stellen.

2 Material und Methoden

2.1 Material

Da es viele unterschiedliche Fleischalternativen gibt, wurden sie in unterschiedliche Kategorien geteilt und dadurch ausgewählt. Die erste Kategorie sind Hülsenfrüchte, da sie eine pflanzliche, unverarbeitete Proteinquelle darstellen. Getestet werden Sojabohnen, Erbsen, Kichererbsen, Bohnen und unterschiedliche Linsensorten. Die zweite Kategorie stellen verarbeitete, fleischähnliche Produkte dar. Dazu gehören Tofu, Seitan und Jackfruit. Zur letzten Kategorie gehören Insekten, wie Buffalo Würmer (die Larven des glänzendschwarzen Getreideschimmelkäfer), Grillen Heuschrecken, Mehlwürmer, Maulwurfsgrillen, Bambusmaden und Zophobas. Die Maulwurfsgrillen, Bambusmaden, Zophobas, das Rinderhackfleisch, Schweinehackfleisch und Hähnchenfleisch wurden vom Labor zur Verfügung gestellt, während die anderen Produkte gekauft wurden.

Sojabohnen getrocknet, Rapunzel

Erbsen getrocknet, dennree

Kichererbsen getrocknet, Rapunzel

Tellerlinsen getrocknet, Müllers Mühle

Beluga Linsen getrocknet, Alnatura

Braune Linsen getrocknet, dennree

Rote Linsen getrocknet, dennree

Braune Bohnen getrocknet, HAK

Seitan Natur, Nagel

Tofu Natur, Alnatura

Buffalo Würmer getrocknet, SNACK-insects

Grillen, Heuschrecken, Mehlwürmer getrocknet, SNACK-insects

Jackfruit Natur in Salzlake
Biozentrale

Abbildung 1: Bilder der Proben

2.2 SDS-Polyacrylamid-Gelelektrophorese

Eine SDS-Polyacrylamid-Gelelektrophorese (SDS-PAGE) eignet sich um ein Gemisch von Proteinen nach der Größe der einzelnen Proteine zu trennen. Dabei werden die Proteine in einem elektrischen Feld nach ihrer molekularen Masse aufgetrennt. Proteine besitzen allerdings aufgrund ihrer unterschiedlichen Aminosäurenzusammensetzung kein konstantes Verhältnis von Ladung und Masse.
Diese Ladungsunterschiede werden zunächst mithilfe von Natriumdodecylsulfat (SDS) beseitigt. Durch die Anlagerung des negativ geladenen SDS werden die Proteine entfaltet und gleichmäßig mit negativen Ladungen überzogen.
Die Struktureigenschaften eines Proteins würden ebenfalls das Laufverhalten verfälschen. Aus diesem Grund werden die Disulfidbrücken mit Dithiotreitol (DTT) aufgelöst. So sind die Proteine linearisiert und gleichmäßig geladen.

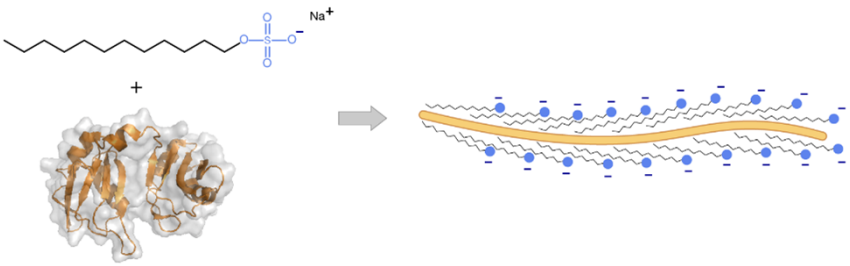


Abbildung 2: Linearisierung eines Proteins durch SDS-Anlagerung[1]

Die SDS-PAGE wird in einem zweistufigem Polyacrylamidgel (PAA-Gel) durchgeführt. Das bedeutet, dass es ein Sammel- und Trenngel gibt. Die Gele entstehen durch eine chemische Reaktion, bei der sich Acrylamid-Moleküle zu einem dreidimensionalen Gitter verbinden. Sammel- und Trenngel unterscheiden sich durch ihren pH-Wert und durch ihre Menge an Acrylamid, wodurch sie unterschiedliche Porengrößen haben. Durch Zugabe des Katalysators TEMED und des Radikalstarters

Ammoniumpersulfat (APS) wird die Polymerisation begonnen. Die Lösung wird anschließend blasenfrei zwischen zwei Glasplatten gegossen, zuerst das Trenngel, dann das Sammelgel. Durch einen Probenkamm, der noch in das flüssige Gel gesteckt wird, entstehen nach der Polymerisation Taschen, in die die Proben gefüllt werden können.

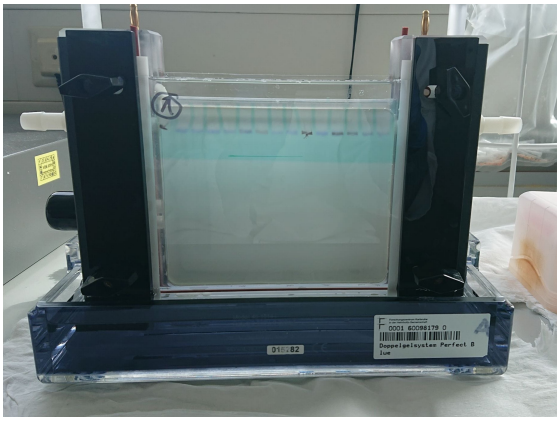


Abbildung 3: Aufbau einer Gelelektrophorese

Danach wird eine elektrische Spannung angelegt. Da die Proben aufgrund des SDS geladen negativ sind, bewegen sie sich zur positiv geladenen Anode. Die Poren des Gels stellen für die Proteine einen Laufwiderstand da. Je größer ein Protein, desto höher ist der Widerstand. Aus diesem Grund bewegen sich die große Proteine langsamer und kleine Proteine schneller zur Anode. So werden die Proteine nach ihrer Größer getrennt. Im Laufpuffer befinden sich Elektrolyten, in denen Glycinat- und Chloridionen enthalten sind. Glycin liegt bei neutralem pH-Wert überwiegend als Zwitterion vor, bei hohen pH-Werten verlieren die Glycinat-Ionen ihre positive Ladungen und werden überwiegend anionisch. Im Sammelgel wandern die kleineren, negativ geladenen Chloridionen darum vor den Proteinen. Die etwas größeren, negativ und teilweise positiv geladenen Glycinat-Ionen wandern nach den Proteinen. Durch den höheren pH-Wert im Sammelgel, werden die Glycinat-Ionen negativ geladen und überholen deshalb die Proteine beim Wandern. Dadurch werden die Banden der Proteine schmaler und schärfer.
Die Gele werden dann durch den Farbstoff Coomassie-Blau gefärbt. Der Farbstoff bindet fest an die Proteine, sodass nach dem Entfärben des Gels, nur die einzelnen Banden sichtbar sind.[2]

[2]Ehlermann, J., Schäfer, H. (o. D.): Praktikumsskript / Qualitative und quantitative Analyse von Proteinen.

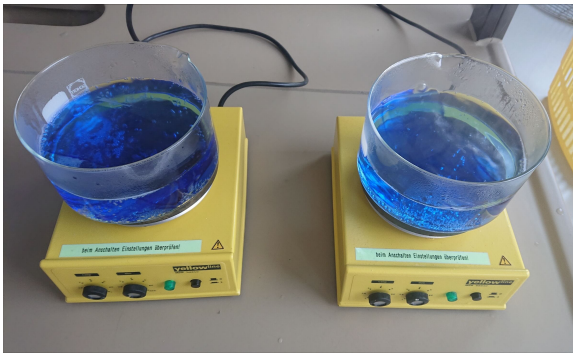


Abbildung 4: Entfärben des Gels

2.3 Versuchsbeschreibung

2.3.1 Belegung der Gele

1	2	3	4	5	6	7	8
Marker	Soja	Erbsen	Kicher-erbsen	Teller-linsen	Schwarze Linsen	Braune Linsen	Rote Linsen
9	10	11	12	13	14	15	-
Braune Bohnen	Marker	Buffalo-würmer	Heu-Schrecken	Maulwurfs-Grillen	Bambus-maden	Zophobas	

Abbildung 5: Belegung Gel 1

1	2	3	4	5	6	7	8
Marker	Buffalo-würmer	Mehl-würmer	Grillen	Heu-schrecken	Marker	Buffalo-Würmer	Mehl-würmer
9	10	11	12	13	14	15	-
Grillen	Heu-schrecken	Marker	-	-	-	-	

Abbildung 6: Belegung Gel 2

1	2	3	4	5	6	7	8
Marker	Buffalo-Würmer	Mehl-Würmer	Grillen	Heu-schrecken	Marker	Buffalo-Würmer	Mehl-Würmer
9	10	11	12	13	14	15	
Grillen	Heu-schrecken	Marker	-	-	-	-	

Abbildung 7: Belegung Gel 3

2.3.2 Probenaufbereitung

1.Zerkleinerung eines linsengroßen Stückes der Probe (zusätzliches Mörsern der trockenen Proben)
2. Zugabe von jeweils 0,5 ml Aufschlusspuffer zu jeder Probe
3. Zugabe von je 100 mikroliter DTT-Lösung
4. Vortexen der Proben zum Mischen
5. 10 Minuten langes Kochen der Proben im Schüttelheizblock bei 95° C
6. Zentrifugation 3 Minuten bei 13.000 Upm
7. Vom Überstand werden je 100 Mikroliter in ein neues Eppendorfgefäß pipettiert
8. Zugabe von 7,5 mikroliter BPB-Färbelösung (Bromphenolblau)
9. Kurzes Vortexen der Proben

2.3.3 Beladen der Gele und Trennung der Proteine

1. Pipettieren des Markers (5 Mikroliter) und der Proben (je 10 Mikroliter) in das Gel
2. Das Sammelgel mit je 80 mA und das Trenngel mit je 100 mA laufen lassen
3. Die Trennung beträgt 1-2 Stunden

2.3.4 Färben und Entfärben der Gele

1. Die Gele werden entnommen und in einer Schale mit Coomassie-Lösung überschichtet
2. Die Schalen werden 20 min lang geschwenkt
3. Die Coomassie-Lösung wird zurück in die Glasflasche gegossen und das Gel in eine Glasschale mit VE-Wasser überführt
4. Das Gel wird 5 min in VE-Wasser gekocht, danach wird das Wasser abgegossen und frisches VE-Wasser eingefüllt

3 Ergebnisse

3.1 Laborergebnisse

Die Gele zeigen die Proteine nach ihrer molekularen Masse aufgetrennt. Anhand des Größenstandards lässt sich die Größe einzelner Proteine der Probe bestimmen. Diese kann man dann tabellarisch darstellen, damit sich die verschiedenen Proben untereinander besser vergleichen lassen.

Abbildung 8: Tabellarische Darstellung der Ergebnisse

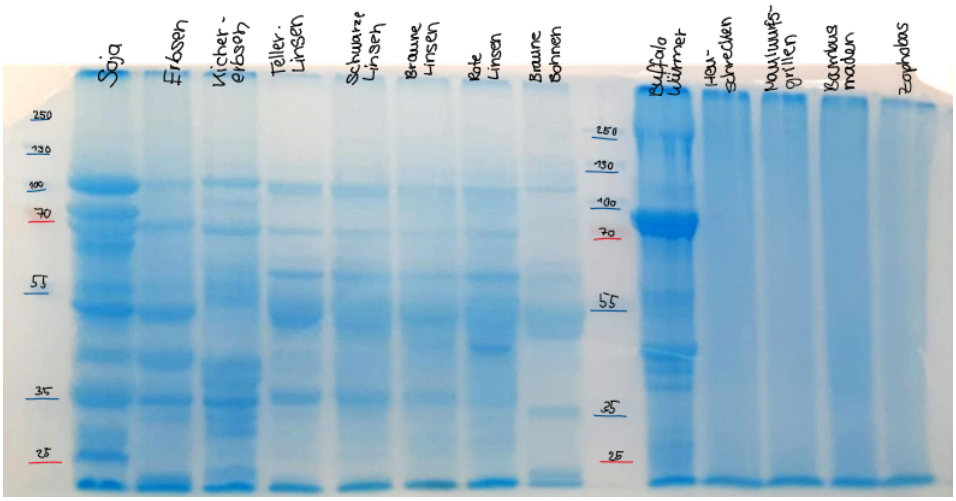


Abbildung 9: Gel mit Hülsenfrüchten und Insekten

3.1.1 Hülsenfrüchte

Beim Auswerten der Proben fällt auf, dass die verschiedenen Proben sehr ähnliche Banden haben. Alle Proben enthalten Proteine der Größe 105 und 36 kDA. Außer den braunen Bohnen enthalten auch Proben Proteine der Größe 69 kDA. Darüber hinaus enthalten alle Proben außer den Kichererbsen Proteine der Größe 50 kDA. Bei den verschiedenen Linsen fällt die Ähnlichkeit besonders auf. Alle Linsensorten enthalten Proteine der Größe 105, 69, 57, 50 und 36 kDA. Lediglich die roten Linsen enthalten ein weiteres Protein der Größe 48 kDA. Die Sojabohne sticht besonders durch ihre Diversität an Proteinen heraus, denn es sind 10 unterschiedliche Proteine deutlich sichtbar. [3]

Tabelle 1: Proteingehalt von Hülsenfrüchten

Nahrungsmittel	Proteingehalt in g/ 100g
Soja	33,7 g
Erbsen	22,9 g
Kichererbsen	19,0 g
Tellerlinsen	23,5 g
Schwarze Linsen	23,0 g
Braune Linsen	25,0 g
Rote Linsen	25,5 g
Braune Bohnen	8,0 g

[3] Imkenberg, U. et al:
https://www.proteintabelle.de/proteine-eiweiss-huelsenfruechte.html

3.1.2 Insekten

Tabelle 2: Proteingehalt von Insekten

Nahrungsmittel	Proteingehalt in g/ 100g
Bufallowürmer	59,6 g
Heuschrecken	56,3 g
Maulwurfsgrillen	Keine Angabe
Bambusmaden	Keine Angabe
Zophobas	54,3 g
Mehlwürmer	54,1 g
Grillen	60,0 g

Bei der ersten Versuchsreihe mit den Insekten waren lediglich bei den Bufallo-Würmern Banden sichtbar. Bei den aus dem Labor stammenden Proben, den Heuschrecken, Maulwurfsgrillen, Bambusmaden und Zophobas waren keine Banden sichtbar. Da die Abwesenheit von Banden höchstwahrscheinlich an der Lagerung liegt, ist die Entscheidung gefallen, die Insekten aus dem Labor bei der Auswertung nicht zu berücksichtigen und die Versuchsreihe zu wiederholen. Dabei haben wir uns für andere Insekten wie Mehlwürmer, Grillen und Heuschrecken entschieden, die schon häufiger in der Ernährung verwendent werden.

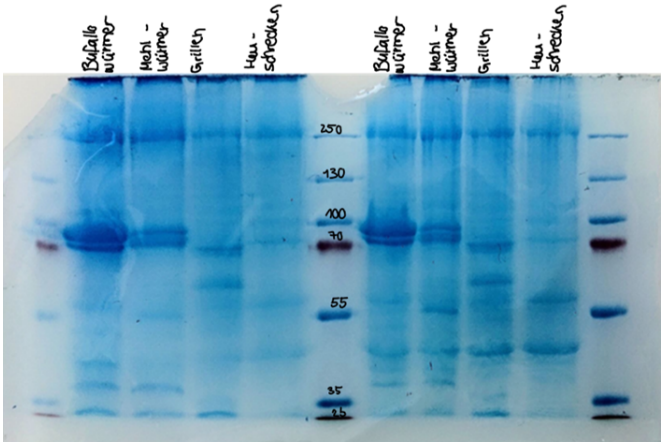


Abbildung 10: Gel mit Insekten

Besonders deutlich bei den Buffalo-Würmern sind die Banden bei 90 und 75 kDA. Diese kommen

auch bei den Mehlwürmern vor. Auch sonst gibt es Ähnlichkeiten zwischen den verschiedenen Insekten. Alle Insekten enthalten Proteine der Größe 250 kDA, 42 kDA und 25 kDA. Die Bufallo-Würmer haben die größte Diversität an Proteinen. Es sind 9 Proteine unterschiedlicher Größen deutlich sichtbar.

3.1.3 Seitan und Tofu

Seitan und insbesondere Tofu werden häufig als Fleischersatz verwendet, aus diesem Grund wurde ebenfalls eine Versuchsreihe mit ihnen gemacht.

Tabelle 3: Proteingehalt von Seitan und Tofu

Nahrungsmittel	Proteingehalt in g/ 100g
Seitan	27,7 g
Tofu	9,8 g

Da Tofu aus verarbeiteten Sojabohnen hergestellt wird, ist es interessant, das Bandenmuster von Soja mit dem von Tofu zu vergleichen. Bei Tofu fehlen einige Banden, die bei Soja vorhanden sind. Bei Tofu sind 7 Proteine unterschiedlicher Größe deutlich sichtbar. Es sind Proteine bei 100 kDA, 85 kDA, 64 kDA, 50 kDA, 39 kDA, 36 kDA und 26 kDA vorhanden. Zwischen Seitan und Tofu sind keine Ähnlichkeiten vorhanden. Seitan enthält Banden bei 125 kDA, 90 kDA, 60 kDA, 50 kDa, 43 kDA, 37 kDA und 33 kDA.

3.1.4 Jackfruit

Die Jackfruit hat, wenn sie unreif geerntet wird, eine fasrige Konsistenz, die an Hähnchenfleisch erinnert und einen neutralen Geschmack. Aus diesem Grund kann sie bei richtiger Zubereitung den Fleischgeschmack imitieren und wird deshalb auch häufig als Fleischersatz verwendet.
Bei den Versuchsergebnissen sind die Banden allerdings so hell, dass sie fast nicht zu erkennen sind.

3.1.5 Fleisch

Da es bei dieser Forschung vor allem darum geht, Fleischersatzprodukte zu finden, ist es sinnvoll, diese auch mit Fleisch zu vergleichen.

Tabelle 4: Proteingehalt von Fleisch

Nahrungsmittel	Proteingehalt in g/ 100g
Schwein	ca. 22 g
Rind	ca. 27 g
Huhn	ca. 20 g

Die drei untersuchten Fleischarten haben nahezu identische Bandenmuster. Die auffälligsten Banden liegen bei ca. 200 kDa und um 40 kDa. Diese Banden sind sehr stark ausgeprägt. Ebenfalls fällt auf, dass die Banden bei Fleisch sehr dick sind und wie ausgewaschen scheinen, ohne aber an Sichtbarkeit zu verlieren, wie man es bei Tofu sehen kann.

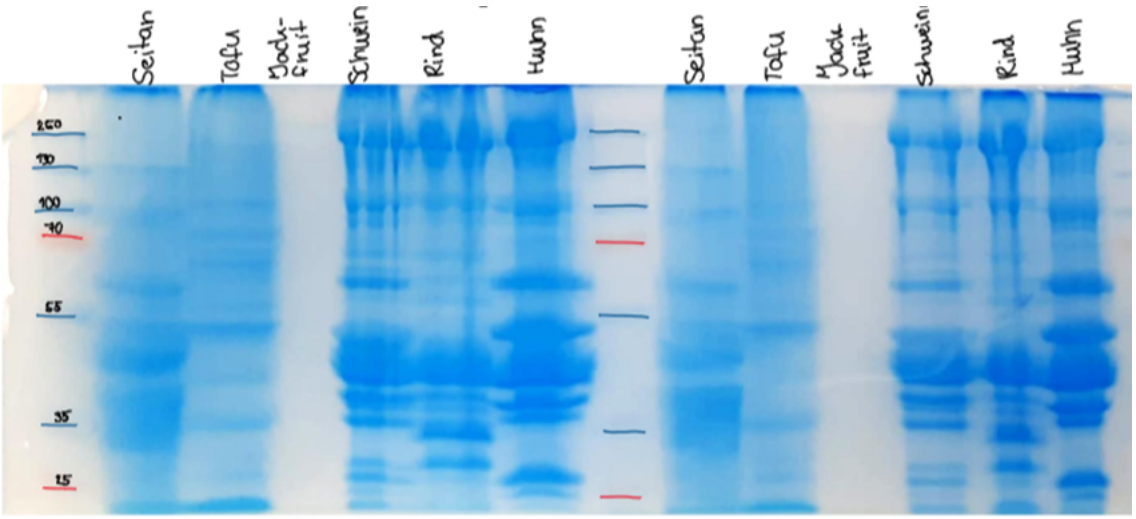


Abbildung 11: Gel mit verarbeiteten Produkten, Jackfruit und Fleisch

3.2 Klimawirkung

3.2.1 Treibhausgasemissionen

Für die Produktion eines Kilos Fleischersatzes auf Sojabasis werden 2,8 kg Treibhausgase ausgestoßen. Für Schweinefleisch beträgt der Ausstoß 4,1 kg, für Geflügel 4,3 kg und für Rindfleisch sogar 30,5 kg. Seitan liegt mit einem Ausstoß von 4,2 kg CO_2-Äquivalent genau zwischen Schwein und Geflügel. Am besten schneiden bei den Emissionen die Insekten ab. Mit bis zu 1,5 kg CO_2-Äquivalent liegen sie weit in Führung. Zu beachten ist dabei, dass 42% der Emissionen von insektenbasierten Produkten auf die Herstellung und Lieferung des Futtermittels zurückzuführen sind. Es gibt also großes Potenzial, die Insektenzucht durch den Einsatz von Futtermitteln aus Abfall- oder Nebenprodukten weiter zu optimieren.[4]

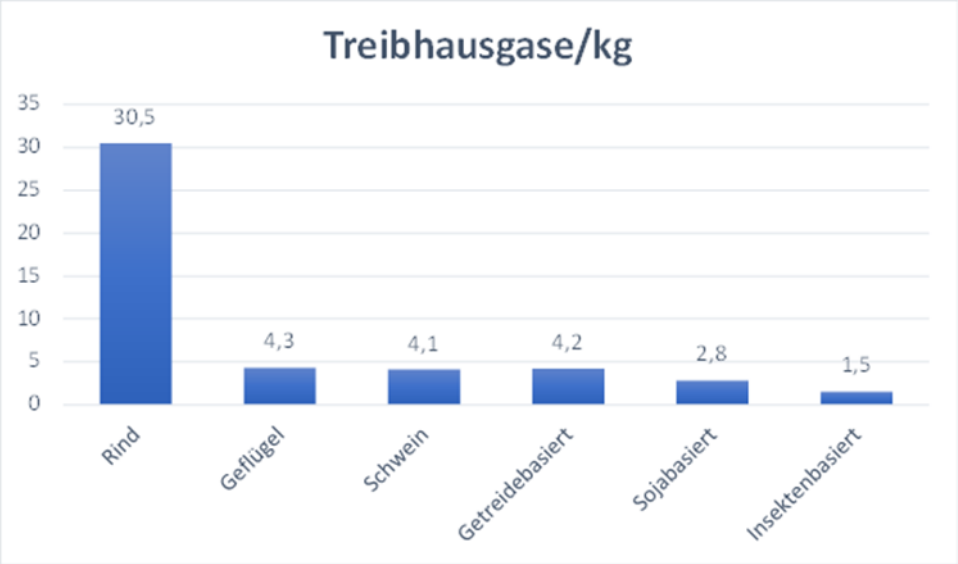


Abbildung 12: Treibhausgasemissionen in kg/ kg Produkt

3.2.2 Wasserbedarf

Für die Produktion von 100 g essbarem Rind werden 1542 Liter Wasser benötigt, für 100 g Schweinefleisch sind es 599 Liter und für Geflügel 433 Liter. Auch hier bieten die pflanzlichen Alternativen bessere Werte. Für die Produktion von 100 g Tofu werden ca. 180 Liter Wasser verbraucht, für Seitan sogar nur 130 Liter. Die Insekten sind diesmal nicht Vorreiter, sondern ordnen sich mit 434 Litern knapp über Geflügel ein. [4]

[4] Jetzke, T. et al:
Die Zukunft im Blick: Fleisch der Zukunft, Umweltbundesamt, 2019.
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-06-25_trendanalyse_fleisch-der-zukunft_web_bf.pdf

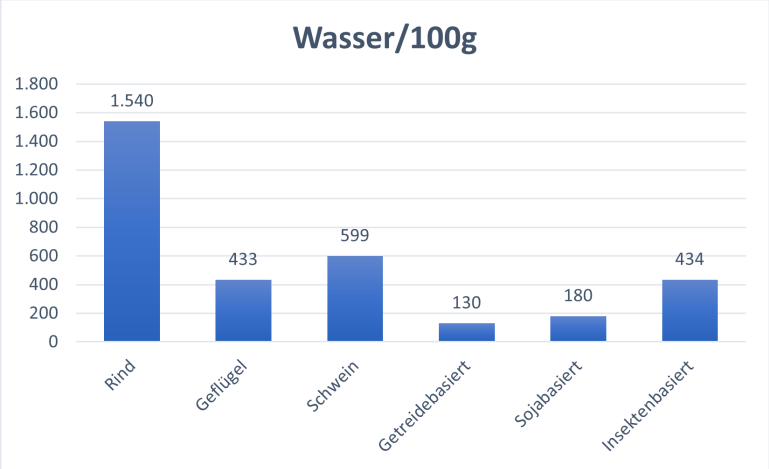


Abbildung 13: Wasserverbrauch in l/100g Produkt

3.2.3 Flächenbedarf

Für 100 g verzehrfähiges Rinderfleisch liegt der Flächenverbrauch bei bis zu 4,9 m², für 100 g Geflügel werden ca. 0,4 m² Fläche benötigt, während Schweinefleisch ca. 1,25 m² braucht. Seitan benötigt dagegen 0,582 m² pro 100 g, während sojabasierte Produkte nur bis zu 0,13 m² pro 100 g brauchen. Insekten sind sehr platzsparende Tiere und kommen so auf einen Flächenverbrauch von 0,15 m² pro 100 g. [4]

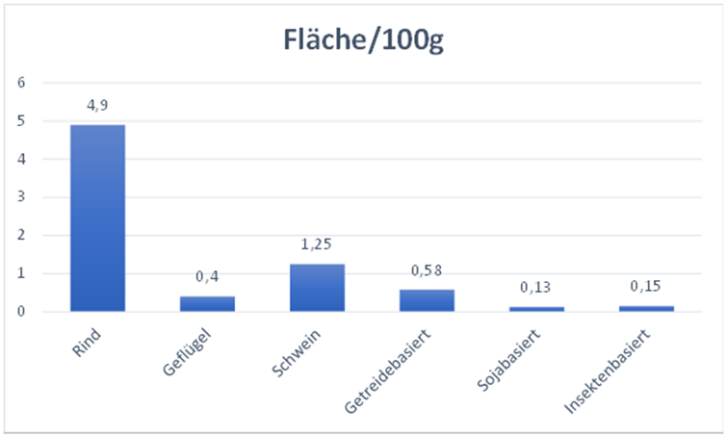


Abbildung 14: Flächenbedarf in m^2/100g Produkt

[4] Jetzke, T. et al:
Die Zukunft im Blick: Fleisch der Zukunft, Umweltbundesamt, 2019. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/p
06-25_trendanalyse_fleisch-der-zukunft_web_bf.pdf

4 Diskussion

4.1 Hülsenfrüchte

Soja enthält vor allem unterschiedliche Sorten des Proteins β-Conglycinin und Glycinin. Das Protein mit 85 kDA ist β-Conglycinin α´, das Protein mit 69 kDA ist β-Conglycinin α und das Protein der Größe 50 kDA ist β-Conglycinin β. Das Protein ist Glycinin A3 ist 39 kDA groß, das Protein der Größe 36 kDA ist Glycinin A1,2,4 und Glycinin B1,2,4 hat die Größe 26 kDA. Diese Proteine enthalten alle essentiellen Aminosäuren in ausreichender Menge.[12] [13]

Erbsen enthalten die Proteine Convicilin der Größe 69 KDA, Vicilin der Größe 50 kDA und 36 kDA und Legumin a der Größe 39 kDA. Diese Proteine enthalten zu wenig der Aminosäuren Methionin und Tryptophan.[14] [15]

Kichererbsen enthalten ähnliche Proteine wie Erbsen. Convicilin, sowie Vicilin der Größe 54 kDA sind enthalten. Es sind außerdem 2 unterschiedliche Sorten Legumin enthalten Legumin (acid subunit) der Größe 36 kDA und Legumin (basic subunit) der Größe 27 kDA. Außerdem ist Lectin enthalten ein Protein der Größe 32 kDA. Die essentielle Aminosäure Methionin ist bei diesen Proteinen nicht genügend enthalten.[16] [17]

Das wesentliche Protein in Linsen ist vor allem Vicilin. Außerdem enthalten sie auch Legumin (acid subunit). Rote Linsen enthalten ein Protein mehr als die anderen Linsensorten, das Protein Vicilin der Größe 45 kDA. Diesen Proteinen mangelt es an Methionin und Cystein.[18] [19]
Braune Bohnen enthalten vor allem das Protein Vicilin in den Größen 57 kDA, 50 kDA und 48 kDA. Außerdem ist das Protein Legumin der Größe 36 kDA enthalten. Hier mangelt es ebenfalls an Methionin.[20]

Alle Hülsenfrüchte haben eine niedrige Klimawirkung und sind daher relativ nachhaltige Lebensmittel. Soja eignet sich am besten als Proteinquelle, da keine essenziellen Aminosäuren fehlen, jedoch können auch die anderen Hülsenfrüchte, z.B. in Verbindung mit Weizenprotein um die Aminosäuren Defizite auszugleichen, gut als Proteinlieferant genutzt werden.

4.2 Seitan und Tofu

Seitan enthält HMW Glutenin Untereinheiten und LMW Glutenin Untereinheiten enthalten. Das sind Speicherproteine der Größe 125 kDA und 60 kDA. Außerdem sind alle Gliadine, Reserveproteine des Weizens, enthalten. Seitan enthält also α-/β-, γ- und ω-Gliadine. Diese Proteine enthalten jedoch nicht genug Lysin. [22]

Da Tofu aus Soja hergestellt wird, enthält es die ähnliche Proteine. Es ist β-conglycinin α´ und und β-conglycinin β enthalten. Außerdem ist auch Glycinin A3, Glycinin A1,2,4 und Glycinin B1,2,4 enthalten.

Aus diesem Grund sind wie bei Soja alle essentielle Aminosäuren enthalten. Durch die Verarbeitung hat Tofu allerdings nur noch etwa 1/4 des Proteingehaltes von Sojabohnen.[20] [21]

Auch Seitan und Tofu sind ziemlich nachhaltig und sind in ihrer Klimawirkung zwischen Hülsenfrüchten und Geflügel einzuordnen.

4.3 Jackfruit

Bei der Jackfruit-Probe sind keine deutlichen Banden erkennbar. Daraus lässt sich schließen, dass fast keine Proteine in Jackfruit enthalten sind. Aus diesem Grund eignet sich Jackfruit nicht als Fleischalternative. Zu der Klimawirkung gibt es momentan noch keine Studien.

4.4 Fleisch

Fleisch besteht zu 42% aus den Proteinen Aktin (42 kDa) und Myosin (220 kDa). Diese beiden enthalten alle 8 essenziellen Aminosäuren. Andere Proteine, die in relevanten Mengen in Fleisch enthalten sind, sind sarkoplasmatische Proteine wie z.B. Hemoglobin (68 kDa) oder Glyceraldehyde-3-Phosphate Dehydrogenase (37 kDa), sowie Bindegewebsproteine wie z.B. Elastin (68 kDa) und Collagen (250-300 kDa). Allerdings hat die Produktion von Fleisch eine große Klimawirkung. Besonders kritisch zu betrachten ist dabei Rindfleisch, welches mit seinem CO_2-Ausstoß, sowie Wasser- und Landnutzung, weit über allen anderen Produkten liegt.[1]

4.5 Insekten

Da auch Insekten eine Muskulatur besitzen, die aus den Proteinen Aktin und Myosin besteht, beinhalten sie alle essenziellen Aminosäuren in ausreichender Menge. [11] Insekten haben die niedrigste Klimawirkung, der von uns untersuchten Produkte, mit Ausnahme des Wasserbedarfs. Dieser ist allerdings hauptsächlich durch das Futter der Insekten bedingt und kann durch eine Fütterung mittels z.B. Bioabfall verringert werden.

4.6 Fehlerdiskussion

4.6.1 Einflussnehmende Faktoren

Um störende Einflüsse zu vermeiden, müssen zu Beginn einflussnehmende Faktoren geklärt werden. Zu diesem gehören vor allem die Lagerung und die Verarbeitung der Proben. Aus diesem Grund wurde versucht, die einzelnen Produkte unter möglichst gleichen Bedingungen zu kaufen (Datum, Laden, Marke), damit die Lagerungsart sowie Länge und die Verarbeitung sich möglichst entsprechen. Die Insekten, die wir im Labor zur Verfügung gestellt bekommen haben, wurden z.B. vermutlich zu

lange gelagert oder wurden teilweise nicht korrekt gekühlt. Dadurch könnten die Proteine denaturiert sein, was zu den fehlenden Banden in unserem Versuch geführt hat.

4.6.2 Gelelektrophorese

Bei der Gelelektrophorese gibt es ebenfalls einige Fehlerquellen. Ein häufiger Störfaktor ist zu viel Salz in der Probe. Dieses verhindert die Anlagerung von SDS an die Proteine. Aus diesem Grund sollte die Probe eine geringe bis gar keine Salzkonzentration haben. Außerdem sollte die Menge der verwendeten Probe beachtet werden. Wird zu viel der Probe verwendet, kann es passieren, dass sehr stark ausgeprägte Banden die weniger Dominanten verdecken, sollten diese nah beieinander liegen. Wird wiederum zu wenig verwendet, sind weniger ausgeprägte Banden nicht sichtbar. Wie bei allen wissenschaftlichen Verfahren kann die Gelelektrophorese fehleranfällig sein, diese können jedoch bei ordnungsgemäßer Vorbereitung und Handhabung minimiert werden.

4.7 Fazit

Fleisch ist hinsichtlich seiner Klimawirkung keine nachhaltige Proteinquelle. Hülsenfrüchte und Weizenprotein bieten zwar für sich keine ausreichende Versorgung mit essentiellen Aminosäuren, ergänzen sich allerdings vollständig. Insekten sowie Soja bieten einen vollwertigen Fleischersatz und sind zudem nicht so klimaschädlich wie Fleisch.

4.8 Ausblick

Interessant wäre es, durch eine Massenspektromie die Proteine zu untersuchen, die nicht bestimmen konnten. Weiter wäre es interessant, mehr unterschiedlich stark verarbeitete Produkte wie z. B. Tempeh oder Quorn zu vergleichen, um herauszufinden, welchen Einfluss die Verarbeitung auf die Proteine hat. Neben der Proteinzusammensetzung und Klimawirkung wären außerdem auch ethische Faktoren zu berücksichtigen.

5 Anhang

Abbildungsverzeichnis

1 Bilder der Proben . . . 3
2 Linearisierung eines Proteins durch SDS-Anlagerung . . . 3
3 Aufbau einer Gelelektrophorese . . . 4
4 Entfärben des Gels . . . 5
5 Belegung Gel 1 . . . 5
6 Belegung Gel 2 . . . 5
7 Belegung Gel 3 . . . 6
8 Tabellarische Darstellung der Ergebnisse . . . 7
9 Gel mit Hülsenfrüchten und Insekten . . . 7
10 Gel mit Insekten . . . 9
11 Gel mit verarbeiteten Produkten, Jackfruit und Fleisch . . . 11
12 Treibhausgasemissionen in kg/ kg Produkt . . . 12
13 Wasserverbrauch in l/100g Produkt . . . 13
14 Flächenbedarf in m^2/100g Produkt . . . 13

Tabellenverzeichnis

1 Proteingehalt von Hülsenfrüchten . . . 8
2 Proteingehalt von Insekten . . . 9
3 Proteingehalt von Seitan und Tofu . . . 10
4 Proteingehalt von Fleisch . . . 11

6 Danksagung

Wir bedanken uns bei Frau Dr. Scholl dafür, dass sie uns dieses Projekt ermöglicht hat und uns mit Rat und Tat zur Seite stand.
Ebenfalls bedanken möchten wir uns bei Dr. Hans-Werner Hector und Josephine Hector, ihren Stiftungen für die Gründung des Hector-Seminars und die daraus für uns entstandene Möglichkeit, vielfältige Erfahrungen zu machen und Einblicke in die Welt der Wissenschaft zu bekommen.
Besonderen Dank schulden wir unseren momentanen und ehemaligen Kursleitern Paul Bischof, Anke Richert, Dietmar Gruber und Norbert Krieg, die uns all die Jahre im Hector-Seminar begleitet, unterstützt und ermuntert haben.

Literatur

[1] Jetzke, T. et al:
Die Zukunft im Blick: Fleisch der Zukunft, Umweltbundesamt, 2019.
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-06-25_trendanalyse_fleisch-der-zukunft_web_bf.pdf, (24.09.2022)

[2] Reinhardt, G. et al:
Ökologische Fußabdrücke von Lebensmitteln und Gerichten in Deutschland, ifeu, 2020
https://www.ifeu.de/fileadmin/uploads/Reinhardt-Gaertner-Wagner-2020-Oekologische-Fu%C3%9Fabdruecke-von-Lebensmitteln-und-Gerichten-in-Deutschland-ifeu-2020.pdf, (24.09.2022)

[3] Ehlermann, J., Schäfer, H. (o. D.):
Praktikumsskript / Qualitative und quantitative Analyse von Proteinen.

[4] TH Technologie:
http://de.scienceaq.com/Biologie/100609974.html, (24.09.2022)

[5] Berg, J. M. et al:
Stryer Biochemie 8. Auflage

[6] Imkenberg, U. et al:
https://www.proteintabelle.de/proteine-eiweiss-huelsenfruechte.html, (24.09.2022)

[7] Luft, V:
https://www.linsensorten.de/tellerlinsen.php, (24.09.2022)

[8] Reebig S, et al:
https://insektenliebe.com/de/haltungsberichte/futtertiere/futtertier-naehrwerttabelle/ , (24.09.2022)

[9] Fdardel:
https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=52471291, (24.09.2022)

[10] Hassadien M:
https://www.researchgate.net/publication/335293758_Meat_Protein, (24.09.2022)

[11] Leni G. et al:
https://www.researchgate.net/publication/340826096_Protein_hydrolysates_from_Alphitobius_diaperinus_and_Hermetia_illucens_larvae_treated_with_commercial_proteases, (24.09.2022)

[12] Hirano H. et al:
https://www.jbc.org/article/S0021-9258(17)42608-1/pdf, (24.09.2022)

[13] Srebric M.: https://www.researchgate.net/figure/SDS-PAGE-patterns-of-proteins-from-soybean-varieties_fig1_282284040, (24.09.2022)

[14] Vermeirssen V.:
https://www.researchgate.net/figure/SDS-PAGE-of-pea-and-whey-during-in-vitro-gastrointestinal-digestion-n-min-4-LMW_fig1_8570720, (24.09.2022)

[15] Sättele R.:
https://profuel.de/protein-biologische-wertigkeit-pdcaas, (24.09.2022)

[16] Chang Y. et al:
https://link.springer.com/article/10.1007/s11947-009-0303-y/figures/2, (24.09.2022)

[17] Krüger M.:
https://maxinutrition.de/maxi-blog/post/vegane-eiweissquellen%E2%80%93top-10-pflanzliche-lebensmittel/, (24.09.2022)

[18] Ettoumi Y.:
https://www.researchgate.net/figure/SDS-PAGE-electrophoresis-S-standard-PP-Pea-protein-CP-Chickpea-protein-LP-Lentil_fig1_280730260, (24.09.2022)

[19] Weiler N.:
https://www.bzfe.de/service/news/aktuelle-meldungen/news-archiv/meldungen-2019/april/linsen-als-eiweissquelle/, (24.09.2022)

[20] Srebric M.:
https://www.researchgate.net/figure/SDS-PAGE-patterns-of-proteins-from-soybean-varieties_fig1_282284040, (24.09.2022)

[21] Khanizadeh S.:
https://www.researchgate.net/figure/One-dimensional-SDS-PAGE-profiles-on-an-8-18-gradient-gel-from-eleven-null-and-two-tofu_fig1_52010483, (24.09.2022)

[22] Cudmore D:
https://vegfaqs.com/seitan-amino-acid-profile/Seitan_Doesnt_Have_a_Single_Amino_Acid_Profile, (24.09.2022)

Eigenständigkeitserklärung

Hiermit versichern wir, dass wir die vorliegende Arbeit unter Betreuung von Herrn Dietmar Gruber, Herrn Norbert Krieg und Frau Dr. Christine Scholl selbstständig verfasst haben und keine anderen als die gekennzeichneten Quellen und Materialien verwendet haben. Zudem versichern wir, dass alle Zitate als solche kenntlich gemacht wurden.

Lasse Möbius, 30.09.2022

Amelie Schwert, 30.09.2022