

Aylin Zengin, BSc

Aufnahme von Vitaminen in Getreidesamen beim Auskeimen

MASTERARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieur

Masterstudium Biotechnologie

eingereicht an der

Technischen Universität Graz

Betreuer

Herr Ao.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Michael Murkovic

Graz, Mai 2014

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am

Danksagung

Während meiner Diplomarbeit habe ich viel Unterstützung und Zuspruch erfahren, die maßgeblich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen hat.

Aus diesem Grund möchte ich mich bei meinem Betreuer, Herrn Ao.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Michael Murkovic für die wissenschaftliche Betreuung während meiner Diplomarbeit in der sehr netten Arbeitsgruppe bedanken.

Ein herzliches Dankeschön geht auch an die Firma Vis Vitalis für das interessante Projekt und besonders an Herrn Dipl.-Ing. Michael Guggemos für die angenehme und zielorientierte Zusammenarbeit.

Weiters möchte ich mich bei Frau Ing. Alma Ljubijankic bedanken, die mir bei technischen Fragen immer hilfsbereit zur Seite stand.

Ein großes Dankeschön möchte ich meinen Eltern widmen, die mir dieses interessante Studium erst ermöglicht haben. Meinem Vater, der mich in allem bestärkt hat und meiner Mutter, die mir all diese Jahre als beste Freundin Selbstvertrauen und Mut schenkte.

Vielen Dank!

INHALTSANGABE

1. QUINOA	9
1.1 GESCHICHTLICHER HINTERGRUND	9
1.2 TAXONOMIE UND MORPHOLOGIE DER QUINOA PFLANZ	9
1.2.1 Taxonomie	9
1.2.2 Morphologie	9
1.3 AUFBAU DES KORNS	9
1.3.1 Die Quinoa Hülle	10
1.4 ARTEN VON QUINOA	10
1.5 GEOGRAPHIE DES ANBAUS	10
1.5.1 Kultivierung in der Steiermark	11
1.6 NÄHRWERTTABELLEN VON QUINOA	12
1.7 SAPONIN	14
1.7.1 Aufbau der Saponine	14
1.7.2 Geschmack	14
1.8 QUINOA ENZYME	14
1.9 VERWENDUNGSMÖGLICHKEITEN	14
2. GETREIDE	16
2.1 BROT	16
2.2 WEIZEN	17
2.2.1 <i>Geschichtlicher Hintergrund</i>	17
2.2.2 WEIZENSORTEN	17
2.2.3 DAS KORN	18
2.2.4 NÄHRSTOFFGEHALT	18
2.2.5 Die Proteine des Weizens	19
2.2.5.1 Gliadin	20
2.2.5.2 Glutenin	20
2.2.5.3 Globulin	20
2.2.5.4 Albumine	20
2.2.6. Optimale Wachstumsbedingungen	21
2.1.7 Produzenten	21
2.2.8 Der Markt für Weizen	22
2.3 ZÖLIAKIE	22

3. BUCHWEIZEN	24
3.1 GESCHICHTLICHER HINTERGRUND	24
3.2 BUCHWEIZENARTEN	24
3.3 BOTANIK	24
3.4 WIRTSCHAFTLICHE ASPEKTE	25
3.5 NÄHRSTOFFE	25
3.5.1. Proteine	25
3.6 VERWENDUNG UND PRODUKTE.....	26
4. MATERIALIEN UND METHODEN	27
4.1 MATERIALIEN	27
4.1.1 Geräte	27
4.1.2 Reagenzien	27
4.1.3 Proben	28
4.2 METHODEN	31
4.2.1 Probenvorbereitung.....	31
4.2.1.1 Keimvorgang der Getreidekörner	31
4.2.1.2 Extraktionen von Quinoa, Weizen und Buchweizen.....	31
5 RP-HPLC	32
5.1 UNTERSUCHUNGSPARAMETER.....	32
5.1.2 Untersuchungsparameter des Riboflavins	32
5.1.3 Untersuchungsparameter des Pyridoxamins, Pyridoxals und Pyridoxins	32
5.2 ERSTELLUNG DER STANDARD-KALIBRATIONSGERADEN UND DER JEWEILIGEN CHROMATOGRAMME	33
5.2.1 Riboflavin Standard-Kalibrationsgerade und das dazugehörige Chromatogramm für die rohen Quinoa Extraktionen.....	33
5.2.2 Riboflavin Standard-Kalibrationsgerade und das dazugehörige Chromatogramm für die vitaminisierten Quinoa Extraktionen	34
5.2.3 Vitamin B6-Standard-Kalibrationsgeraden und das dazugehörige Chromatogramm	35
6 ERGEBNISSE UND DISKUSSION.....	40
6.1 RESULTATE DES RIBOFLAVINS	40
6.1.1 Die dreifach Extraktion aus der rohen Quinoa	40
6.1.2 Die erste Quinoa Extraktion	40

6.1.3 Die zweite Quinoa Extraktion	43
6.1.4 Die dritte Quinoa Extraktion	46
6.1.5 Die Weizen Extraktion	48
6.1.6 Die Buchweizen Extraktion.....	51
6.2 VERGLEICH DER QUINOA RESULTATE ZUR ERMITTLUNG EINES MITTELWERTES	52
6.2.1 Vergleich der drei T0 Extraktionsergebnisse.....	53
6.2.1.1 Extraktionsergebnisse T0 10%.....	53
6.2.1.2 Extraktionsergebnisse T0 1%.....	53
6.2.1.3 Extraktionsergebnisse T0 0,1%.....	54
6.2.2 Vergleich der drei T1 Extraktionsergebnisse.....	54
6.2.2.1 Extraktionsergebnisse T1 10%.....	54
6.2.2.2 Extraktionsergebnisse T1 1%.....	55
6.2.2.3 Extraktionsergebnisse T1 0,1%.....	55
6.2.3 Vergleich der drei T2 Extraktionsergebnisse.....	56
6.2.3.1 Extraktionsergebnisse T2 10%.....	56
6.2.3.2 Extraktionsergebnisse T2 1%.....	56
6.2.3.3 Extraktionsergebnisse T2 0,1%.....	57
6.3 VERGLEICH DER EXTRAHIERTEN RIBOFLAVIN MITTELWERTE	57
6.3.1 Gegenüberstellung der 10%igen Mittelwerte von Quinoa T0, T1 und T2	57
6.3.2 Gegenüberstellung der 1%igen Mittelwerte von Quinoa T0, T1 und T2	58
6.3.3 Gegenüberstellung der 0,1%igen Mittelwerte von Quinoa T0, T1 und T2	58
6.4 ZUSAMMENFASSUNGEN DER MITTELWERTE DER RIBOFLAVIN-KONZENTRATIONEN.....	60
6.5 PYRIDOXAMIN-, PYRIDOXAL- UND PYRIDOXIN-KONZENTRATIONEN IN QUINOA, WEIZEN	60
UND BUCHWEIZEN	60
6.5.1 Erste Quinoa Extraktion	60
6.5.2 Zweite Quinoa Extraktion	72
6.5.3 Dritte Quinoa Extraktion	77
6.5.4 Vergleich der drei Quinoa Extraktionen.....	81
6.5.5 Vergleich der drei Quinoa Roh Extraktionen	83
6.5.6 Weizen Extraktion	85
6.5.7 Buchweizen Extraktion	89
6.6 ZUSAMMENFASSUNG	94
6.6.1 Mittelwert Vergleich der höchsten Extraktions-Konzentrationen aus der Quinoa .	94
6.6.2 Vitamin B ₆ -Konzentrationen in Weizen.....	95
6.6.3 Vitamin B ₆ -Konzentrationen in Buchweizen	95
7 LITERATURVERZEICHNIS.....	97

Zusammenfassung

Quinoa, auch Inkareis genannt, stellt die neue Hoffnung im Kampf gegen Hunger und Armut auf der Welt dar.

Quinoa ist glutenfrei, resistent gegen Kälte und Hitze und findet lebensmitteltechnisch und pharmazeutisch eine breite Verwendung.

Zusätzlich enthält dieses Kraut sehr viele Vitamine und andere Inhaltsstoffe mit deren Hilfe der Nahrungsmangel der ärmeren Länder bekämpft werden kann.

UN-Generalsekretär Ban Ki Moon benannte 2013 zum „Jahr der Quinoa“.

Quinoa, Weizen und Buchweizen wurden in einer Vitaminlösung eingeweicht. Nach dieser Einweichzeit verblieben die Proben 0 bis 96 Stunden in der Vitaminmischung, um während der Keimzeit Thiamin, Riboflavin und Pyridoxin aus der Vitaminlösung aufnehmen zu können.

Die aus dieser Lösung aufgenommenen Vitamine wurden mittels Reversed-Phase-HPLC ermittelt. Es wurde ein Vergleich zwischen den vitaminisierten und unbehandelten Proben erstellt, um die aufgenommene Menge in den Körnern festzustellen.

Die höchste Riboflavin-Konzentration kommt bei Quinoa T2 10% vor und beträgt $238 \pm 0,2$ ng/g und in der unbehandelten Quinoa 0,60 ng/g. In Weizen T2 10% beträgt die Riboflavin-Konzentration 130 ng/g und in Buchweizen T1 10% 230 ng/g.

Die Pyridoxin-Konzentration in Quinoa T2 10% beträgt $283 \pm 9,4$ ng/g, in Weizen T2 10% 105 ng/g und in Buchweizen T1 10% 128 ng/g.

Abstract

Quinoa, also called Inka rice, represents the new hope in the fight against hunger and poverty in the world.

Quinoa is gluten free, resistant to cold and hot weather conditions and is used in the food and pharmaceutical industry.

In addition, this cabbage contains many vitamins and other content substances to work against food shortage in poorer countries.

UN-General Secretary Ban Ki Moon named 2013 to the "year of Quinoa".

Quinoa, wheat and buckwheat were soaked in a vitamin solution. After this soaking time the probes remained in the vitamin mixture 0 to 96 hours for intaking thiamine, riboflavin and pyridoxine out of the vitamin solution.

The vitamins taken out of this solution were analysed with Reversed-Phase-HPLC.

A comparison was made between the vitamin added and untreated probes to determine the intaken amount in the grains.

The highest concentration of riboflavin occurs in quinoa T2 10% and has a value of $238 \pm 0,2$ ng/g and in the untreated quinoa 0,60 ng/g. Wheat T2 10% has a riboflavin concentration of 130 ng/g and buckwheat T1 10% a concentration of 230 ng/g.

The pyridoxine concentration in quinoa T2 10% is $283 \pm 9,4$ ng/g, in wheat T2 10% 105 ng/g and in buckwheat T1 10% 128 ng/g.

1. QUINOA

1.1 Geschichtlicher Hintergrund

Quinoa stammt aus dem Gebiet rund um den Titicacasee in Bolivien und Peru und wurde von der kolumbianischen Vorbevölkerung angebaut. Laut geschichtlichen Fakten fand die Domestizierung von Quinoa zwischen 3000 und 5000 vor Christus statt und wurde sogar in den Grabmälern von Tarapacá, Calama, und Arica in Chile und in unterschiedlichen Gebieten in Peru gefunden.¹

1.2 Taxonomie und Morphologie der Quinoa Pflanze

1.2.1 Taxonomie

Quinoa, auch als *Chenopodium quinoa* bezeichnet, wird in die Familie der *Chenopodien* (Gänsefußgewächse) eingegliedert, zu der auch Beete und Spinat gezählt werden. Die Gattung der *Chenopodien* umfasst 150 Spezies und 16 Sektionen. [Bavec et al., 2007]

1.2.2 Morphologie

Quinoa ist eine gynomonözische Pflanzenart, die je nach Umweltbedingungen eine Größe zwischen 0,7 m und 3 m aufweisen kann. Die Blüten sind weiblich und hermaphrodit, sodass die Pflanze im Stande ist sich mit Hilfe von Inzucht fortzupflanzen. Die Zeitspanne der Kornreifung bewegt sich zwischen fünf und sieben Monaten, wobei eine Aufzucht als Hydrokultur eine Ernte nach drei Monaten ermöglicht. [Belton et al., 2002]

1.3 Aufbau des Korns

Die Kornfrucht hat eine leicht gelbliche Färbung, die durch das Vorhandensein des Betacyans gelegentlich auch einen rötlichen Ton aufweisen kann. Die Aussaat wird von einem zweischichtigen Perikarp umhüllt, das Saponin beinhaltet und dessen äußere Schicht oft papillös ist. Das darunter liegende Episperm (Samenschale) kann transparent, weiß, orange, rot, braun, grau und manchmal auch schwarz sein. 40% der Samen bestehen aus dem nicht-lebenden, dünnwandigen Perisperm, das Stärke eingelagert hat. Der Keimling ist reich an Lipid- und Proteinkörpern und anderen Organellen. Die Quelle des Phosphates, Kaliums und Magnesiums stellt das Proteinkörperchen dar. [Belton et al., 2002]

¹ <http://www.fao.org/quinoa-2013/what-is-quinoa/origin-and-history/en/>

Zuletzt aufgerufen, am 23.4.14

1.3.1 Die Quinoahülle

Das Samenkorn kann weiß, gelb oder rot sein, mit einem Durchmesser zwischen 1 mm und 2,5 mm. [Ribitsch et al., 2001]

Tab. 1: Die Inhaltsstoffe der Quinoahülle [Ribitsch et al., 2001]

Inhaltsstoffe	Einheit [%]
Stärke	32,1
Proteine	23,6
Fasern	22,3
Fette/Öle	8,80
Saponin	7,40
Asche	5,80

1.4 Arten von Quinoa

Die Einteilung der fünf Quinoasorten richtet sich nach deren ökologischen Anpassungszonen:

1. Trockental (Junín) und Feuchttal (Cajamarca) Quinoa:

Wachsen in Peru und in Bolivien.

2. Plateau Quinoa:

Zeigt ein Wachstum rund um den Titicacasee.

Hier herrschen geringere Niederschläge und günstige Temperaturen. Zu den Sorten, welche aus dieser Gruppe stammen, zählen Kcancolla, Blanca de Juli und Tahuaco, Cheweca, Ccoitu, Wariponcho, Chullpi und Witulla.

3. Salzsee Quinoa:

Wächst in Südbolivien und ist an extrem trockene Standorte angepasst.

4. Sea Level Quinoa:

Befindet sich in Chile und bevorzugt feuchte Verhältnisse und regelmäßige Temperaturen.

5. Quinoa der Yunga agrarökologischen Zone und der Subtropen:

Ist eine sehr kleine Gruppe in Bolivien und wächst in einer Höhe von 1.500 m bis 2.000 m über dem Meeresspiegel. Diese Arten sind an höhere Niederschläge und Wärme adaptiert. Nur eine Gattung ist im Stande 3.300 m über dem Meeresspiegel zu wachsen und Trockenperioden von mehr als 200 Tagen zu überstehen.²

² <http://www.fao.org/quinoa-2013/what-is-quinoa/varieties/variety-groups-by-ecological-adaptation-zones/en/> (Zuletzt aufgerufen, am 23.4.14)

1.5 Geographie des Anbaus

Bezüglich der Anbaufläche und Produktion in Argentinien und Chile existieren keine genauen Zahlen. Es ist jedoch bekannt, dass sich der Anbau auf Jujuy in Argentinien und auf dem nördlichen Hochland von Chile zentralisiert, ungeachtet der Entdeckung der Meeresspiegel Varianten im südlichen Zentralchile. Die Ausbreitung ging von den Meeresspiegel Varianten aus.

Mittlerweile findet die Bewirtschaftung in mehr als 70 Ländern statt, darunter auch Frankreich, England, Schweden, Dänemark, Holland und Italien. Vor 12 Jahren dehnte sich die Anbaufläche in der Andenregion auf 80.000 ha aus. Die Hauptproduzenten sind Bolivien, Peru und USA. Im Jahre 2008 bauten Bolivien und Peru 92% der Weltproduktion von Quinoa an, die restlichen 8% teilten sich die USA, Ecuador, Argentinien und Kanada. 2009 wurden in den Anden ca. 70.000 t Quinoa produziert. In Kenia beträgt der Ertrag ca. 4 t/ha, wobei die Erträge in den Himalaja und in Nordindien auch hoch sind.³

1.5.1 Kultivierung in der Steiermark

2009 wurde Quinoa im Rahmen einer Forschungsarbeit in der Steiermark, in Gleisdorf, angebaut. Es handelte sich dabei vorwiegend um die Variante Sea Level Quinoa. Im Vergleich zu den natürlichen Wachstumszonen, war die Ausbeute in der Steiermark gering. In der Andenregion beträgt die Kornausbeute 400 kg bis 800 kg/ha. Im Vergleich dazu konnten in Gleisdorf nur 100 kg bis 390 kg/ha erzielt werden. Aufgrund der Wachstumsbedingungen wird Quinoa in Österreich und Deutschland wirtschaftlich aktuell nicht genutzt. [Ribitsch et al., 2001]

³ <http://www.fao.org/quinoa-2013/what-is-quinoa/distribution-and-production/en/>
Zuletzt aufgerufen, am 23.4.14

1.6 Nährwerttabellen von Quinoa

Tab. 2: Mineralien, Vitamine und Lipide in 100 g Quinoa

Nährstoffe	Wert pro 100 g	
	Quinoa gekocht	Quinoa ungekocht
Wasser	13,28 g	71,61 g
Energie	268 kcal	120 kcal
Protein	14,12 g	4,40 g
Gesamtfett	6,07 g	1,92 g
Kohlenhydrate	64,16 g	21,30 g
Ballaststoffe	7 g	2,8 g
Zucker		0,87 g
Mineralstoffe	(mg)	(mg)
Calcium	47	17
Eisen	4,57	1,49
Magnesium	197	64
Phosphor	457	152
Kalium	563	172
Natrium	5	7
Zink	3,10	1,09
Vitamine		
Thiamin	0,360 mg	0,107 mg
Riboflavin	0,318 mg	0,110 mg
Niacin	1,520 mg	0,412 mg
Vitamin B ₆	0,487 mg	0,123 mg
Folat	184 µg	42,0 µg
Vitamin B ₁₂	-	-
Vitamin A	1 µg	0 µg
Vitamin A	14 IU	5 IU
Vitamin E, (α-tocopherol)	2,44 mg	0,630 mg
Vitamin D (D ₂ + D ₃)	0,00 µg	0,0 µg

Vitamin D	0 IU	0 IU
Vitamin K (Phylloquinon)	0,00 µg	0,0 µg
Lipide		
Gesättigte Fettsäuren	0,706 g	0,231 g
Einfach ungesättigte Fettsäuren	1,613 g	0,528 g
Mehrfach ungesättigte Fettsäuren	3,292 g	1,078 g
Cholesterin	0 mg	-

4

Tab. 3: Essentielle Aminosäuren in Quinoa. [Bavec et al., 2007]

	Modifiziert von Telleria et al. Die Abweichung innerhalb von vier Kultivierungen
Aminosäuren	Einheit (g/100 g Protein)
Histidin	2,1 – 3,2
Isoluecin	2,4 – 4,4
Leucin	5,9 – 7,4
Lysin	5,1 – 6,7
Phenylalanin und Tyrosin	4,8 – 7,3
Threonin	2,9 – 4,1
Tryptophan	2,8 – 1,0
Valin	3,5 – 4,9

⁴<http://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/6383?fg=&man=&facet=&format=&count=&max=25&offset=&sort=&qlookup=quinoa>
Zuletzt aufgerufen, am 22.4.14

1.7 Saponin

1.7.1 Aufbau der Saponine

Bei den Wildtypen, *Chenopodium quinoa*, handelt es sich um komplexe Gemische aus Triterpen-Glycosiden. Die Monosaccharide Arabinose, Glucose und Galactose, gelegentlich auch Glucuronsäure und Xylose, bilden die polaren Bestandteile der Saponine. Zur Bestimmung des Saponingehaltes können HPLC und Dünnschichtchromatographie herangezogen werden. [Ribitsch et al., 2001]

1.7.2 Geschmack

Quinoa wird geschmacklich, je nach Konzentrationsanteil des in den Körnern enthaltenen Saponins, in zwei Kategorien eingeteilt, nämlich süß und bitter. Die süßen Körner enthalten gar kein bis 0,11% Saponin, wohingegen die bitteren über 0,11% beinhalten. Da sich die meisten Saponine in den äußeren Schichten des Korns befinden, werden diese durch ein Schleifen der Schale oder einen Waschvorgang mit Wasser entfernt. Saponine wurden auf ihre Eignung als natürliches Insektizid untersucht, mit dem Ergebnis, dass sie keine negativen Auswirkungen auf höhere Tiere und Menschen zeigen. Saponine weisen neben einer Antibiotikafunktion auch pilzhemmende und pharmakologische Eigenschaften auf. [El Hafid et al., 2005]

1.8 Quinoa Enzyme

Ungekeimte Körner besitzen hydrolytische Enzyme, wie Amylasen, Proteasen, Cellulasen und Hemicellulasen. Durch die mechanische Abreibung bei der Verarbeitung kommt es zu einer Zunahme der α -Amylase- und Protease-Aktivität, woraus die Hypothese resultiert, dass diese Enzyme im Keimling konzentriert sein müssen. Eine andere These besagt, dass die Aktivität der allgemeinen Amylase, Cellulase und Hemicellulase aufgrund der Verarbeitung vermindert wird, sodass die Vermutung aufgestellt wird, dass diese Enzyme im Perikarp konzentriert vorkommen. [Belton, 2002]

1.9 Verwendungsmöglichkeiten

1. Lebensmittelindustrie:

Quinoa hat einen nussig erdigen Geschmack.

Findet Verwendung bei Vollkornprodukten, Mehl in roher oder gerösteter Form, Flocken, Grießpulver oder Instantpulver, Cerealien, Nudeln und Brot. Quinoa eignet sich sehr gut zur Herstellung von glutenfreien Produkten. Durch den hohen Proteingehalt eignen sich die Keimlinge als optimale Zutat für Kindernahrung, oder während einer Schwangerschaft.

2. Tierfutter

Erntereste eignen sich sehr gut als Futtermittel für Rinder, Schafe, Schweine, Pferde und Geflügel.

3. Medizinische Zwecke

Die Blätter, der Stängel und die Körner werden für medizinische Zwecke, wie Wundheilung, Schwellungsabnahme, Schmerzlinderung, Desinfektion der Harnwege, und gegen innere Blutungen verwendet. Außerdem finden sie Verwendung beim Kampf gegen Insekten.

4. Andere industrielle Zwecke

Betreffen die Nebenprodukte, die ihren Platz in der Kosmetik- und Pharmaindustrie gefunden haben.

Aufgrund der geringen Größe des Stärkekorns eröffnen sich viele neue Möglichkeiten in der Herstellung von Aerosolprodukten, Zellstoffen, Nachspeisen und bei Hilfsstoffen in der Kunststoffindustrie.

Saponine werden in der pharmazeutischen Branche als Antibiotika und Bioinsektizide verwendet. Außerdem sind sie in der Lage die Aufnahme von Medikamenten im Darm zu steigern.⁵

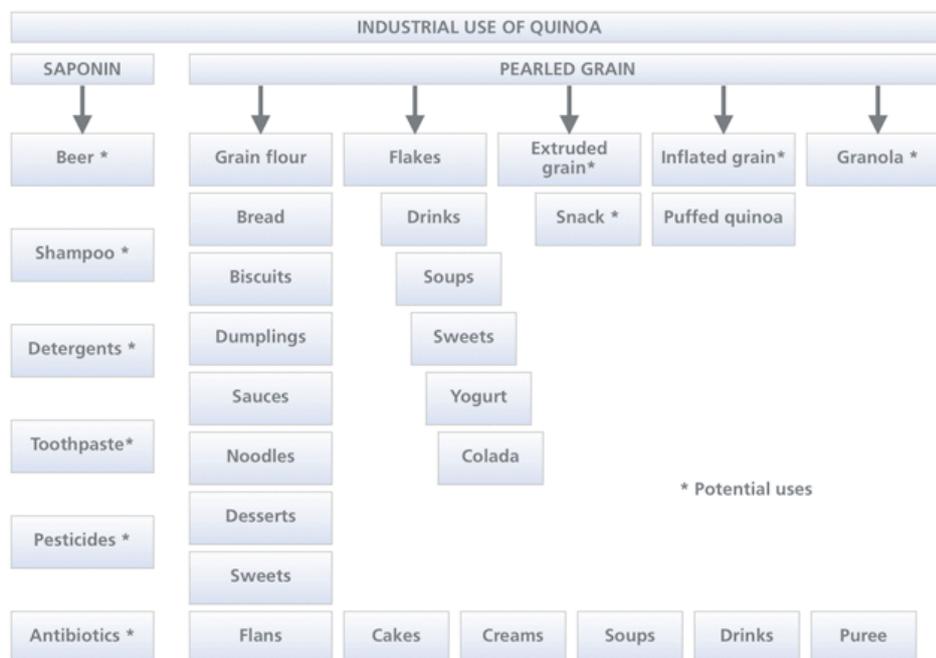


Abb. 1: Industrielle Verwendungsmöglichkeiten von Quinoa⁵

* Potentielle Verwendungen

⁵ <http://www.fao.org/quinoa-2013/what-is-quinoa/use/en/>

Zuletzt aufgerufen, am 23.4.14

2. GETREIDE

Mit der Geburt der menschlichen Kultur wurde auch die Kultivierung des Getreides geboren. Die unterschiedlichen Getreidevarianten decken ungefähr 60% des weltweiten Nahrungskonsums ab und stellen in den Entwicklungsländern die bedeutendste Nahrungsquelle dar. Brot ist das zentrale Produkt der Getreideverarbeitung. [Schlieper, 2010]

Die weltweite Getreideproduktion verteilt sich zu 27-45% auf Weizen, zu ca. 25% auf Reis, 20-27% auf Mais, 9-26% auf Gerste, 6-8% auf Hirseformen, 2,5-5% auf Hafer und zu 1,5-3% auf Roggen. Die Bestandteile von Getreide gliedern sich in Kohlenhydrate (60-80%), Proteine (1,5-6%), Fett (1,5-6%), Ballaststoffe (1,5-14%), Salze (1-7%), Mineralstoffe und Vitamine (primär Thiamin, Riboflavin und Niacin). Der Rest ist Wasser. [Dittmeyer et al., 2005]

2.1 Brot

In Deutschland sind über 200 Brotvarianten auf dem Markt. Schweinefleisch und Brot sind die zentralen Thiaminquellen unserer Ernährung, wobei Brot ca. 20% bis 25% des menschlichen Energiebedarfs abdeckt. Die Eigenschaften eines Brotes werden durch Getreideart/Mehlsorte, Teigherstellung und Teiglockerung, durch den Prozess des Backens und durch die Lagerung beeinflusst. Für die Brotherstellung wird vorwiegend Roggenmehl, Weizenmehl oder eine Mischung zwischen den beiden eingesetzt.

Der Ausmahlungsgrad („Gewichtsmenge Mehl aus 100 Gewichtsanteilen Getreide“) bestimmt, ob es sich um ein Vollkornmehl oder Auszugsmehl handelt. Vollkornmehle weisen ein hohes Maß an Ausmahlungsgrad auf und beinhalten alle Komponenten eines gereinigten Kornes. Hier werden die Außenschichten, welche reich an Mineralien sind, nicht mit vermahlen.

Auszugsmehle weisen einen niedrigen Ausmahlungsgrad auf. Die einzelnen Bestandteile werden in einem unterschiedlichen Ausmaß getrennt. Der vermahlene Mehlcorpus enthält nur sehr geringe Mengen an Mineralstoffen, Vitaminen und Ballaststoffen.

Dunkles Brot ist nicht automatisch Vollkornbrot. Weißbrot wird oft nur durch Zunahme der Backzeit und der Zugabe von Backmalzen dunkel gefärbt.

Richtiges Vollkornmehl, Vollkornschrot, ist dunkel, wird zu 80% bis 100% ausgemahlen, beinhaltet Mineralstoffe, Vitamine, Eiweiß und Ballaststoffe. Vollkornmehl und Vollkornschrot haben einen identischen Nährstoffgehalt, werden aber für unterschiedliche Zwecke verwendet. Während sich Vollkornschrot sehr gut für die Brotherstellung eignet, wird Vollkornmehl vorwiegend für die Herstellung von Kuchen verwendet.

Auszugsmehle sind hell, werden zu 40% bis 80% ausgemahlen und beinhalten mehr Stärke und Energie. [Schlieper, 2010]

Für die Brotherstellung wird *Triticum aestivum* verwendet. [Welch, 1999]

2.2 Weizen

2.2.1 Geschichtlicher Hintergrund

Die Anfänge der Kultivierung haben ihren Ursprung in Mesopotamien (Heute Irak), vor mehr als 10.000 Jahren. Die Vorfahren des modernen Weizens waren Wildemmer, wilde Gerste und Wildeinkorn.⁶

Weizen (*Triticum spp.*) ist die wichtigste Pflanze der humanen Ernährung. Die frühesten Aufzeichnungen der Domestizierung im nahen Osten, Zentralamerika und Südchina gehen 10.000 bis 12.000 Jahre zurück. Kürzliche Erkenntnisse weisen auch auf die Region Euphrat und Tigris, die südöstliche Türkei und Nordsyrien hin. Die jährliche Ernte in mehr als 40 Ländern umfasst über 620 Mt. Das ist mehr als 35% der weltweiten Gesamtproduktion. Schätzungsweise produzieren die USA 55 bis 60 Mt. und reservieren davon 40% für den Export. Weizen ist die wichtigste Proteinquelle der Menschheit. Das Gluten im Samenendosperm ist verantwortlich für die beispiellose Backqualität des Weizenteigs in der Brotproduktion. Nur ein sehr geringer Prozentsatz des Weizens wird als Futtermittel verwendet. [Carver, 2009]

2.2.2 Weizensorten

Abhängig vom Anzahl der Chromosomen (diplo-, tetra-, und hexaploid) existieren mehr als 20 Weizenspezies und einige tausende Varianten. Die für die Wirtschaft wesentlichen Arten sind *Triticum aestivum* sp. *vulgare* (hexaploid) und Hartweizen *T. durum* (tetraploid). Circa 90% der Weizenanbaufläche ist mit *T. aestivum* bestellt. [Grundas, 2003]

Weizen wird in Hartweizen und Weichweizen eingeteilt. Hartweizen wird durch seine klebrige Eigenschaft zur Produktion von Teigwaren und Grieß verwendet. Der stärkereiche Weichweizen dient zur Herstellung von Backwaren. [Schlieper, 2010]

Weizenarten:

1. Dinkel oder Spelz (*Triticum aestivum* subsp. *spelta* (L) Thell.)
2. Einkorn (*Triticum monococcum* L.)
3. Emmer (*Triticum dicoccum* Schübler)
4. Hartweizen (*Triticum durum* Desf.)
5. Kamut (*Triticum turgidum* subsp. *polonicum* (L) Thell.)
6. Weichweizen (*Triticum aestivum* L.)⁷

⁶ <http://agrarinform.ch/herkunft-und-entwicklung-des-weizens/>
Zuletzt aufgerufen, am 24.4.14

⁷ <http://www.lebensmittellexikon.de/w0000300.php>
Zuletzt aufgerufen, am 24.2.14

2.2.3 Das Korn

Der Kornmantel besteht aus der Frucht und dem Samenanlage, der direkt an die Aleuronschicht angeheftet ist. Das Perikarp, auch Fruchtmantel genannt, setzt sich aus mehreren Schichten lichtdurchlässiger Zellen und aus einer Schicht senkrechten Zellen und Tubuluszellen zusammen. Der Samenanlage beinhaltet eine dichte Zell- und Hyalinschicht und einen Pigmentstrang.

Die Aleuronschicht besteht aus Zellen, welche funktionelle Proteine und Nährstoffe beinhalten. Die Aleuronschicht ummantelt das Andosperm, jedoch nicht das Embryo.

Die Zellen des Endosperms bestehen zum überwiegenden Teil aus Stärke und Proteinen. Die Subaleuronschicht des Endosperms enthält die höchste Menge des Proteins. Der Proteingehalt zeigt zum Zentrum des Korns hin eine Abnahme. [Grundas, 2003]

Abb. 2: Die Struktur des Korns

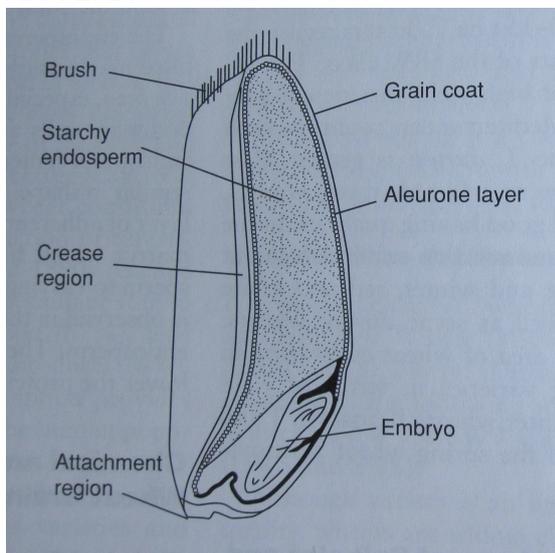


Abb. 3: Die Kornstruktur [Grundas., 2003]

2.2.4 Nährstoffgehalt

Tab. 4: Nährstoffverteilung in den Bestandteilen des Weizenkorns [Schlieper, 2010]

Bestandteile des Weizenkorns		Nährstoffe	
	Fruchtschale, Samenschale	6%	Ballaststoffe, Mineralstoffe, Vitamine
Kleie 17%	Aleuronschicht	9%	Eiweiß, Mineralstoffe, Vitamine
	Keimling	2%	Fett, Eiweiß, Mineralstoffe, Vitamine
Mehl 83%	Mehlkörper	83%	Stärke, Eiweiß (Kleber)

Der Hauptbestandteil der Weizenkörner ist Stärke. Obwohl der Gehalt an Stärke in den Körnern variiert, kann man ihn auf 60% bis 70% des Körnergewichts festlegen. Stärke setzt sich aus Amylose und Amylopektin zusammen. [Grundas, 2003]

Tab. 5: Hauptkomponenten in Weizen [Grundas, 2003]

Chemische Komponenten	Ganzer Korn (% Trockengewicht)
Proteine	10 – 17
Kohlenhydrate:	
Stärke	60 – 70
Zucker	3,0 – 6,0
Pentosen	6,0 – 9,5
Cellulosen	2,5 – 3,3
Fette	2,0 – 2,5
Mineralien	1,4 – 2,3

Ein Indikator für das Wachstum einer botanischen Zelle ist die Zunahme der Trockensubstanz, oder zumindest der Frischsubstanz und des Zellvolumens. Das durch Wasseraufnahme resultierenden Zellwachstum, wird als „Zellstreckungswachstum“ bezeichnet.

Findet das Wachstum durch den Anstieg an Trockensubstanz statt, kann dies aufgrund unterschiedlicher Bestandteile der Zelle zustande kommen. Analytisch betrachtet kann der Anstieg der Trockensubstanz auf drei Arten stattfinden.

Die erste Möglichkeit umfasst die Zunahme der Substanzen durch die Bildung und Ansammlung von Stoffwechselprodukten im Zellinneren. Die zweite Art beinhaltet die Vermehrung der Protoplasma-, Organellensubstanz und der Kernsubstanz. Die letzte Möglichkeit erfolgt aufgrund der Nährstoffabsorption aus dem umgebenden Medium in das Zellinnere, wodurch die Zelle neue Produkte synthetisieren kann. [Linser et al., 1968]

2.2.5 Die Proteine des Weizens

Bereits im Jahre 1975 artikuliert Beccardi, dass Weizenproteine im Stande sind Kleber zu bilden.

Diese Eigenschaft des Weizens basiert auf der Wechselbeziehung der hydrophoben Proteingruppen und den Glutelinen beziehungsweise Gluteninen, in Anwesenheit von Wasser bei mechanischer Belastung. Zu den wasserunlöslichen Proteinen zählen Prolamine und Gliadine. [Klingler, 1995]

2.2.5.1 Gliadin

Gliadine (ω , α , γ -Gliadine), gehören in die Gruppe der Prolamine und setzen sich aus unterschiedlichen Polypeptidketten zusammen, welche über intramolekulare Disulfidbrücken und Wasserstoffbrücken miteinander verbunden werden. Gliadine haben einen hohen Anteil an Glutamin und Prolin, allerdings nur wenig freistehende Carboxylgruppen. Dies verursacht ihr hydrophobes Verhalten im Wasser. Die hydrophoben Interaktionen haben einen großen Einfluss auf die Formation von Komplexen zwischen den Proteinen und Lipiden.

[Klingler,1995]

2.2.5.2 Glutenin

Die Glutenine setzen sich aus Polypeptideinheiten zusammen, die über intermolekulare Disulfidbrücken miteinander in Beziehung stehen. Glutenine enthalten weniger Glutamin und Prolin als Gliadine und gehören zu den Glutelinen. [Klingler,1995]

2.2.5.3 Globulin

Der Unterschied zwischen Globulinen und den restlichen Proteinen des Weizens zeichnet sich durch eine große Anzahl von Thiol(SH)-Gruppen und Disulfidbrücken aus.

[Klingler,1995]

2.2.5.4 Albumine

Albumine haben einen geringeren Anteil an Aminostickstoff und einen höheren Anteil an Tryptophan als die restlichen Weizenproteine. Mit der Zunahme an Eiweiß steigen auch lösliche Proteine, aber der Anteil zeigt eine Abnahme.

Kräftige Kleber besitzen einen größeren Anteil an Disulfidbrücken als schwache und eine größere Disulfid/Thiol-Beziehung. Aufgrund der größeren SS/SH-Beziehung verringert sich die Dehnbarkeit der Teige und der Dehnwiderstand nimmt zu. [Klingler,1995]

Tab. 6: Aminosäurezusammensetzung von Weizenproteinen [Klingler, 1995]

Aminosäure	Kleber	Gliadin	Glutamin
	[mmol/100 g]	[mmol/100 g]	[mmol/100 g]
Glutamin	290	317	278
Prolin	137	148	114
Lysin	9	5	13
Cystin	14	10	10
Methionin	12	12	12
Tryptophan	6	6	8
Glycin	47	25	34
Leucin	59	62	67

2.2.6. Optimale Wachstumsbedingungen für Weizen

Die optimale Wachstumstemperatur bewegt sich in etwa bei der 25 °C Marke, mit einem minimalen und maximalen Toleranzbereich von 3 bis 4°C und 30 bis 32°C.⁸

2.2.7 Produzenten

Zu den größten Weizenproduzenten in Westeuropa gehören Frankreich, Deutschland, das vereinigte Königreich, Italien, Spanien und Portugal.

Weitere Produzenten sind Belgien/Luxemburg, die Niederlande und Dänemark, wobei Westeuropa die höchsten Erträge der Welt aufweist.

Die Wachstumsperiode zieht sich von Oktober oder November bis August oder September.

Krankheiten wie „Schorf, Gelbrost, Septoria tritici Fleckenkrankheit, Septoria nodorum Fleckenkrankheit und verschiedenen Wurzelfäule“ führen zu Ertrageinbußen.⁸

Die Ernte in den gemäßigten Zonen erfolgt in der nördlichen Hemisphäre zwischen April und September und in der südlichen zwischen Oktober und Jänner. [Percival, 1921]

⁸ <http://www.fao.org/docrep/006/y4011e/y4011e04.htm>

Zuletzt aufgerufen, am 23.4.14

2.2.8 Der Markt für Weizen

Auf dem Markt sind fünf verschiedenen Weizenvarianten:

1. Harter und weicher roter Winterweizen (HRW und SRW)
2. Harter roter Frühlingsweizen (HRS)
3. Hartweizen (Durum)
4. Weißweizen, der in Hart- und Weichwinterweizen (HWW und SWS) und Hartsommer- und
5. Weichsommerweizen (HWS und SWS) unterteilt wird. [Grundas, 2003]

2.3 Zöliakie

Der Begriff Zöliakie wird aus dem Wort „koilia“ abgeleitet und bedeutet „bauchige Krankheit“. Samuel Gee beschrieb die Krankheit das erste Mal im Jahre 1888. Er nannte es „coeliac affection“. Dies war eine Verdauungsstörung, die vor allem bei Kleinkindern im Alter von 1 bis 5 Jahren auftrat.

Die darauf beruhenden Symptome zeigen sich bei den Kindern durch einen aufgeblähten Bauch, dünne Extremitäten und helle, nicht feste, „massige“ Stuhlgänge.

Die Definition der Zöliakie:

Aktive Zöliakie

Die immunologische Erkrankung des Dünndarms, welche durch gliadinreiche Lebensmittel eine histologische Modifikation des Dünndarms nach sich zieht, wird als Zöliakie, oder als „glutensensitive Enteropathie“ oder „einheimische Sprue“ bezeichnet. Durch eine fortlaufende glutenfreie Diät stellt sich eine „Normalisierung“ der Krankheitsmerkmale ein. [Keller, 2003]

Epidemiologie der Zöliakie

In den westlichen Ländern ist diese Erkrankung die „häufigste Malabsorptionserkrankung“ und weist in Europa eine Häufigkeit von 1:1300 und 1:6500, je nach Region, auf. Südschweden, Nordirland, Finnland und Italien haben die höchste Rate an Neuerkrankungen, wobei erwähnt werden muss, dass in Schweden eine Relation zwischen gliadinhaltiger Säuglingsnahrung und des Anstiegs der Häufigkeit beobachtet wurde.

Die Entstehung der Erkrankung beruht auf „exogenen, genetischen und immunologischen Faktoren“. Dabei handelt es sich um ein immunologisches Leiden des Gastrointestinaltraktes, das aufgrund von Gladin aus Weizen, Roggen, Hafer...zustande kommt. [Zimmer, 1999]

Die häufigsten Symptome sind:

Diarrhoe, Erbrechen, Müdigkeit, Gewichtsverlust, Appetitlosigkeit, Bauchschmerzen und Luftwegsinfekte. [Zimmer, 1999]

Gliadinfreie Nahrungsmittel sind zum Beispiel Quinoa, Buchweizen, Mais, Reis, Kakao, Tee
[Zimmer, 1999]

Verbotene Lebensmittel:

Produkte, welche Weizen, Roggen, Gerste, Dinkel, Grünkern und Kamut enthalten.

Problematische Produkte sind Backpulver, Bier und Fertigprodukte etc. [Vogelsang, 2008]

3. BUCHWEIZEN

3.1 Geschichtlicher Hintergrund

Buchweizen stammt aus China. [Zeller, 2004]

Die ältesten Funde von Buchweizenfrüchten sind in der ehemaligen Sowjetunion gemacht worden, der heutigen Ukraine. In Polen wurden Früchte aus dem 6./10. Jahrhundert und in der Tschechoslowakei und in Ungarn ab dem 10. Jahrhundert gefunden.

Die Entdeckungen in Deutschland beschränken sich nur auf das Rheinland, die aus dem 9. bis 16. Jahrhundert stammen.

Lehman berichtete von einem Anbau des Buchweizens in England im Jahre 1597. Auf diesem Wege fand die Verbreitung während dem 15. und 16. Jahrhundert in Europa statt.

Die Kultivierung des Buchweizens erreichte nach dem ersten Weltkrieg ihren Tiefpunkt und erhielt erst wieder in den 30er Jahren etwas Aufschwung. [Körber-Grohne, 1987]

Am Ende des 16. Jahrhunderts schaffte der Buchweizen den Sprung nach Nordamerika und Kanada. [Opperer, 1985]

3.2 Buchweizenarten

1) *Fagopyrum esculum* Moench:

Diese Pflanze kann eine Größe von bis zu 1 m erreichen und trägt auch die Bezeichnung „allgemeiner Buchweizen“.

2) *Fagopyrum tataricum* (L.) Gaertn.:

Dieses Gewächs kann gleichfalls eine Größe von bis zu 1 m erreichen und wird überwiegend in Asien angebaut. [Campbell, 1997]

Der echte Buchweizen wird in die Familie der *Polygonaceae* (Knöterichgewächse) zugeordnet. Das Gewächs ist einjährig, zeigt ein rasches Wachstum und erreicht eine Länge von bis zu 1,5 m. Bereits vor 4500 Jahren kam es in China zu einer Verbreitung der verschiedenen *Fagopyrum* Varianten. [Zeller., 2001]

Der Vorfahre des allgemeinen Buchweizens ist *F. esculentum* ssp. *ancestralis*. Heute sind ca. zehn *Fagopyrum* Spezies bekannt. Zwei davon gehören zu den kultivierten Varianten. [Ohnishi, 1998]

3.3 Botanik

Das Gewächs des gewöhnlichen Buchweizens (*Fagopyrum esculentum* Moench = *F. sagittatum* Gilib.) ist einjährig, hat eine Größe von 30 bis 50 cm und besitzt weiße oder rosarote Blüten.

Ebenso einjährig ist auch der Tatarische Buchweizen (*F. tataricum* [L.] Gaertn.) Die Blüten sind grünlich. Die Pflanze zeigt ein zeitlich irreguläres Wachstum. Für den humanen Verzehr muss zuerst die Schale entfernt werden. [Körber-Grohne, 1987]

Der Keimvorgang kann auch unter den trockensten Bedingungen stattfinden. Die Blühzeit des Gewächses erstreckt sich, in Abhängigkeit des Anbauzeitpunktes, von Juni bis September. Die Pflanze ist sensitiv gegenüber Frost. Sie benötigt während der Reifezeit mäßige Feuchtigkeit und Wärme, erduldet aber auch raue Wetterbedingungen. [Lembacher et al., 2009]

Zwischen Buchweizen und Weizen besteht keine Verwandtschaft. [Zeller, 2001]

Quinoa und Buchweizen gehören nicht zum Getreide. Sie können aber wie Getreide verarbeitet werden. Sie sind Pseudocerealien mit stärkereichen Samen und hochwertigem Protein. Sie besitzen einen hohen Anteil an essentiellen Aminosäuren und essentiellen Fettsäuren, weisen einen hohen Aschegehalt auf und sind aufgrund dessen für die Produktion von „vollwertigen Nahrungsmitteln“ bestens geeignet. Außerdem enthalten sie kein Gluten. [Schönlechner et al., 2006]

3.4 Wirtschaftliche Aspekte

Im Jahre 2005 wurden weltweit 2.620000 t Buchweizen produziert. Davon fielen 1.000 t auf China, wobei sich die Erträge zwischen 2,7 und 0,4 t/h bewegten. [Lieberei et al., 2007]

3.5 Nährstoffe

3.5.1. Proteine

In Abhängigkeit von der Sorte und Umweltbedingungen variiert der Proteinanteil zwischen 7% und 21%.

Globuline machen beinahe die Hälfte der Proteine aus. Die andere Hälfte teilen sich Albumine und Prolamine.

Die Proteine beinhalten große Mengen an Lysin, wenig Glutaminsäure und Prolin. Verglichen mit den Getreideproteinen enthält Buchweizen mehr Arginin, Asparaginsäure und Tryptophan. Aufgrund des hohen Lysinanteils ist der biologische Wert der Buchweizenproteine höher als die der Getreide, wie zum Beispiel Weizen, Reis oder Mais. Glutaminsäure und Asparaginsäure liegen fast zu 56% als Amide vor. [Campbell, 1997]

Tab. 7: Essentielle Aminosäuren des Buchweizens [Campbell, 1997]

Korn	Lysin [%]	Methionin [%]	Tryptophan [%]	Leucin [%]
Buchweizen	5,9	3,7	1,4	5,8
Weizen	2,6	3,5	1,2	6,3
Reis	3,8	3,0	1,0	8,2
Mais	1,9	3,2	0,6	13
FAO/WHO Empfehlung	5,5	3,5	1,0	7,0

Tab. 8: Vitamin- und Mineralwerte [Campbell, 1997]

Vitamine	mg/1000 g	Minerale	mg/100 g
Thiamin	3,30	Kalzium	110
Riboflavin	10,6	Eisen	4,00
Pantothensäure	11,0	Magnesium	390
Niacin	18,0	Phosphor	330
Pyridoxin	1,50	Kalium	450
Tocopherol	40,0	Kupfer	0,95
		Mangan	3,37
		Zink	0,87

3.6 Verwendung und Produkte

Mit Buchweizen und Quinoa können glutenfreie Biere hergestellt werden. [Narziss et al., 2009]

In Japan wird Buchweizen vorwiegend für die Herstellung von Nudeln verwendet. In China wird mit Buchweizen vor allem Essig hergestellt.

In Nordamerika und Europa werden durch einen Buchweizen-Weizen-Mehlmix Kekse, Nudeln, Pfannkuchen und Cerealien hergestellt. Außerdem wird Buchweizen für alkoholische Getränke verwendet. Tartarischer Buchweizen wird für die Schnapsherstellung herangezogen.

In einigen Ländern wird allgemeiner Buchweizen auch als Honigzusatz verwendet.

Einige Tiere wie Hirsche, Wildtruthähne, Wasservögel nutzen Buchweizen als Futter.

Buchweizen fördert die Elastizität der Blutgefäße und beugt somit Arterienverhärtungen vor. Die Blätter des Tartarischen Buchweizens werden als Medikament in der traditionellen chinesischen Medizin verwendet. [Campbell, 1997]

4. MATERIALIEN UND METHODEN

4.1 Materialien

4.1.1 Geräte

Die Während der Durchführung der Diplomarbeit verwendeten Geräte sind inklusive deren Hersteller aus der Tabelle 9 zu entnehmen.

Tab. 9: Geräte und die dazugehörigen Hersteller

Gerätschaften	Hersteller
Heizblock	Heidolph MR Hei-Standard
Analysewaage	Mettler Toledo AG135&AG245
Mixer	IKA A11 Basic
Tischzentrifuge	Heraeus Instruments, Biofuge pico
Ultraschallbad	Elma, Transonic 460
HPLC Anlage	Hewlett Packard Series 1100

4.1.2 Reagenzien

Die verwendeten Vitamine sind in der Tabelle 10 aufgelistet.

Tab. 10: Als Standard verwendete Vitamine

Vitamine	Hersteller
Riboflavin	Sigma Aldrich
Pyridoxamin Dihydrochlorid	Sigma Aldrich
Pyridoxal Hydrochlorid	Sigma Aldrich
Pyridoxin Hydrochlorid	Sigma Aldrich

Tab. 11: Chemikalien für die Laufmittelherstellung und deren Hersteller

Chemikalien	Hersteller
Chlorwasserstoff, min. 37%	Sigma Aldrich
Schwefelsäure, min. 96%	Merck KGaA
Methanol, 100%	J.T Baker

Tab. 12: Für die HPLC verwendete Laufmittel

Laufmittel	Konzentration
Methanol	100%
Schwefelsäure	40 mM

4.1.3 Proben

Die im Laufe der Arbeit verwendeten Proben sind in Tabelle 13 aufgelistet.

Bei den analysierten Probearten handelte es sich um Quinoa, Weizen und Buchweizen. Die Exemplare wurden in T0, T1 und T2 untergliedert. Buchweizen bildete eine Ausnahme.

Die Abkürzungen T0, T1 und T2 wurden für die Keimdauer eingeführt.

T0 steht für die Keimsstunde Null. Diese Zeit bezieht sich auf den Keimstart, also die Zeit nach der Weiche.

Der Keimprozess von 48 Stunden wurde als T1 und von 96 Stunden als T2 bezeichnet.

Zur Ermittlung der optimalen Vitaminaufnahme wurde das Keimverfahren mit 10%, 1% und 0,1% der Vitamin-Mixtur zu den Zeitpunkten T0, T1 und T2 realisiert.

Die Proben wurden im Juli 2013 hergestellt. Dies wird in den folgenden Daten jeweils mit der Zahl 7 angegeben.

Tab. 13: Auflistung der Proben

Proben	Keimdauer	Konzentration der Vitamin-Lösung [%]
Quinoa		
KV-Q-7/1	T0	10
KV-Q-7/2	T0	1
KV-Q-7/3	T0	0,1
KV-Q-7/1	T1	10
KV-Q-7/2	T1	1
KV-Q-7/3	T1	0,1
KV-Q-7/1	T2	10
KV-Q-7/2	T2	1
KV-Q-7/3	T2	0,1

Weizen

KV-W-7/1	T0	10
KV-W-7/2	T0	1
KV-W-7/3	T0	0,1
KV-W-7/1	T1	10
KV-W-7/2	T1	1
KV-W-7/3	T1	0,1
KV-W-7/1	T2	10
KV-W-7/2	T2	1
KV-W-7/3	T2	0,1

Buchweizen

KV-BW-7/1	T0	10
KV-BW-7/2	T0	1
KV-BW-7/3	T0	0,1
KV-BW-7/1	T1	10
KV-BW-7/2	T1	1
KV-BW-7/3	T1	0,1

Fotos der extrahierten Proben



Abb. 4: Quinoa Roh

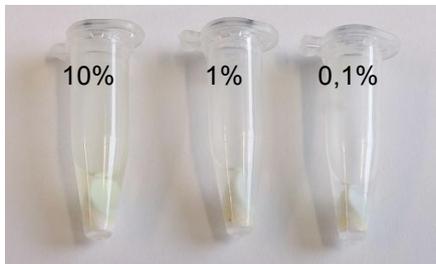


Abb. 5: Quinoa T0

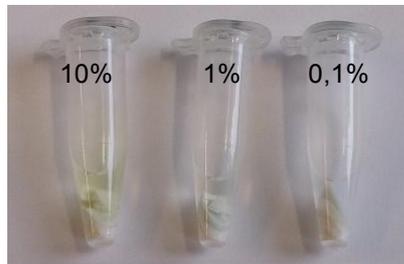


Abb. 6: Quinoa T1

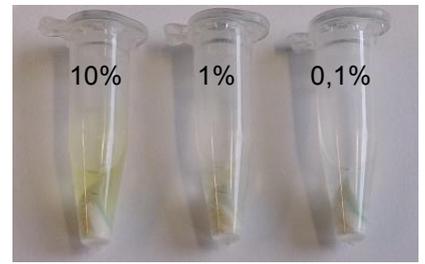


Abb. 7: Quinoa T2

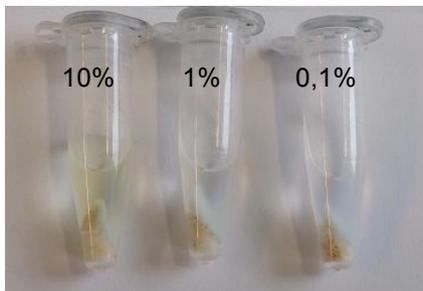


Abb. 8: Weizen T0

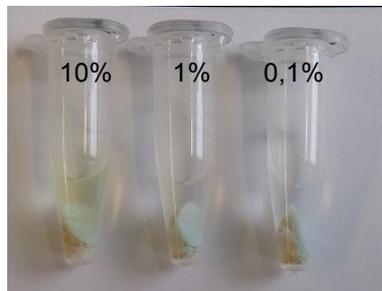


Abb. 9: Weizen T1

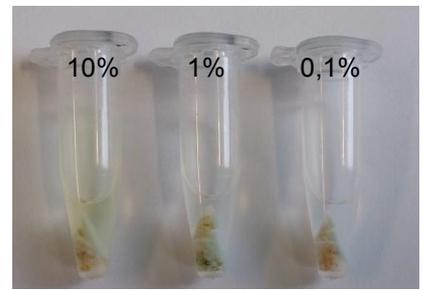


Abb. 10: Weizen T2

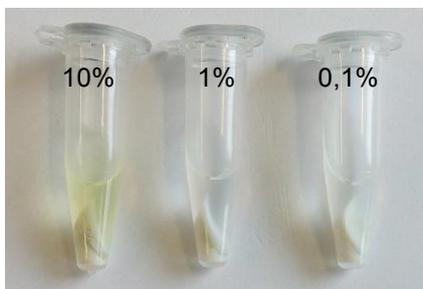


Abb. 11: Buchweizen T0

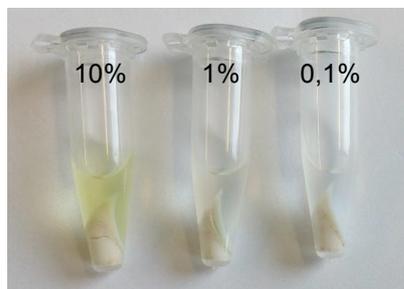


Abb. 12: Buchweizen T1



Abb. 13: Weizen Überstände

Vials 1–3: T0 10%, 1% und 0,1%

4–6: T1 10%, 1% und 0,1%

7–9: T2 10%, 1% und 0,1%

10: Vitaminlösung

4.2 Methoden

4.2.1 Probenvorbereitung

4.2.1.1 Keimvorgang der Getreidekörner

Um die Vitaminaufnahme der Körner zu gewährleisten, wurden diese zuerst unterschiedlich lange in unterschiedlich konzentrierten Vitaminlösungen eingeweicht. Nach dieser Einweichzeit waren die Proben in der Lage Vitamine aus der Vitaminlösung, durch Diffusion, aufzunehmen.

Dabei enthielt die Vitamin-Mixtur ca. 7,2% Thiamin, 9,7% Riboflavin und 6,8% Pyridoxin.

Wie bereits erwähnt, verblieben die Körner 0 (T0), 48 (T1) oder 96 (T2) Stunden nach der Einweichphase im Vitamin-Mix.

4.2.1.2 Extraktionen von Quinoa, Weizen und Buchweizen

Die jeweiligen Proben [mg] wurden mit 1 ml 0,1 M Salzsäure 30 min lang im Ultraschallbad behandelt. Nach einer fünf-minütigen Zentrifugation wurden 30 µl Carrez1 und 30 µl Carrez2 beigemischt, um die Trübung im Überstand zu entfernen. Anschließend wurde für 20 min zentrifugiert. Die gesuchten Vitamine befanden sich im Überstand, während sich die Körner als Pellet absetzten.

Bei dieser Extraktion konnten lediglich die nicht gebundenen Vitamine erfasst werden. Um die Vitamine im Zellinneren analysieren zu können, müssten die Zellen der Proben aufgeschlossen werden. Um auch die gebundenen Vitamine in die Untersuchung miteinschließen zu können, müsste eine Derivatisierung der jeweiligen Vitamine erfolgen.

Die Quinoa-Extraktion wurde dreimal durchgeführt, um die Reproduzierbarkeit der beiden HPLC-Methoden, für Riboflavin und die B₆ Vitamine, zu überprüfen.

5. RP-HPLC

5.1 Untersuchungsparameter

5.1.1 Untersuchungsparameter des Riboflavins

Tabelle 14 gibt Auskunft über die Geräteparameter und die dazugehörigen Laufmittel.

Tab. 14: RP-HPLC und deren Bestandteile

Gerätesysteme	RP-HPLC, Agilent Series 1100
Säule (Stationäre Phase)	YMC–Triart C18; 150×2,1 mm
Säulen-Temperatur	25 °C
Fluss	1 ml/min
Injektionsvolumen	10 µl

Tab. 15: RP-HPLC Elutionsmethode des Riboflavins

Elutionszeit [16 min]	Laufmittelzusammensetzung	
	Methanol [%]	(40 mM) H ₂ SO ₄ [%]
Startpunkt [0 min]	10	90
15 min	95	5

Tab. 16: Fluoreszenz-Detektor

	λ_{ex} [nm]	λ_{em} [nm]	Verstärkung
FLD	358	550	14

5.1.2 Untersuchungsparameter des Pyridoxamins, Pyridoxals und Pyridoxins

Tab. 17: RP-HPLC und deren Bestandteile

Gerätesysteme	RP-HPLC, Agilent Series 1100
Säule (Stationäre Phase)	YMC–Triart C18; 150×2,1 mm
Säulen-Temperatur	25 °C
Fluss	1 ml/min
Injektionsvolumen	5 µl

Tab. 18: RP-HPLC-Elutionsmethode des Pyridoxamins, Pyridoxals und Pyridoxins

Elutionszeit [20 min]	Laufmittelzusammensetzung	
	Methanol [%]	(40 mM) H ₂ SO ₄ [%]
Startpunkt [0 min]	0	100
8 min	10	90
14 min	50	50
16 min	100	0

Tab. 19: Fluoreszenz-Detektor:

	λ_{ex} [nm]	λ_{em} [nm]	Verstärkung
FLD	285	400	14

5.2 Erstellung der Standard-Kalibrationsgeraden und der jeweiligen Chromatogramme

5.2.1 Die Riboflavin-Standard-Kalibrationsgerade und das dazugehörige Chromatogramm für die rohen Quinoa Extraktionen

Als Standard-Stock des Riboflavins wurde 1,79 mg Riboflavin in 50 ml Wasser aufgelöst. Er hatte somit eine Konzentration von 35,8 µg/ml. Von diesem Standard-Stock wurden 30 µl erneut mit 2970 µl Wasser zu einer Ausgangslösung, mit einer Konzentration von 0,358 µg/ml verdünnt.

Tab. 20: Standard-Kalibrationsgerade des Riboflavins und Peak-Areas

Ausgangslösung	Wasser	Peak-Area
[µl]	[µl]	[mV*s]
500	500	2149,1
250	750	1173,9
100	900	453,4
25	975	108,0
10	990	4,300
5	995	2,500

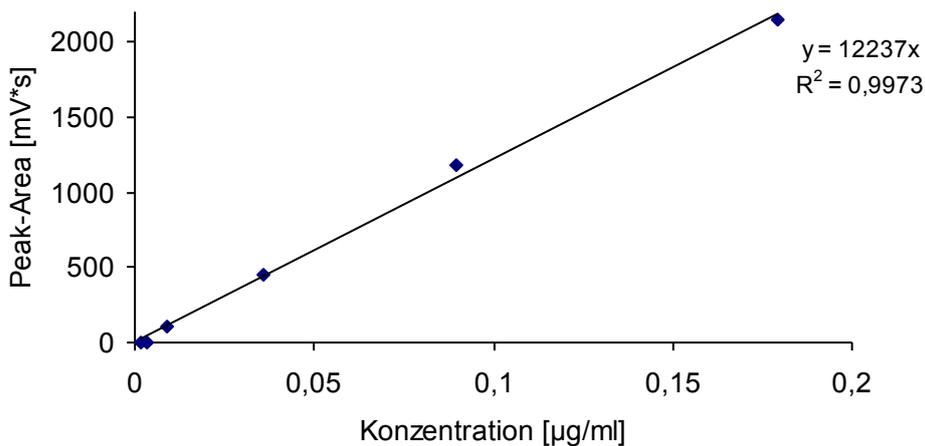


Abb. 14: Standard-Kalibrationsgerade Riboflavin

Die ermittelten Peak-Areas wurden gegen die jeweiligen Konzentrationen aufgetragen.

5.2.2 Riboflavin Standard-Kalibrationsgerade und das dazugehörige Chromatogramm für die vitaminisierten Quinoa Extraktionen

Als Standard-Stock des Riboflavins wurde 1,79 mg Riboflavin in 50 ml Wasser aufgelöst. Er hatte somit eine Konzentration von 35,8 µg/ml.

Von diesem Standard-Stock wurden 1,2 ml erneut mit 1,8 ml H₂O zu einer Ausgangslösung, mit einer Konzentration von 14,32 µg/ml verdünnt. Ausgehend von dieser Lösung wurde eine Verdünnungsreihe erstellt. Siehe Tabelle 21.

Tab. 21: Standard-Kalibrationsgerade des Riboflavins und die Peak-Flächen

Ausgangslösung [µl]	Wasser [µl]	Peak-Area [mV*s]
1000	0	6011
750	250	4505,1
500	500	2986,5
250	750	1396,4
100	900	548,9
25	975	137,9
1	999	5,4

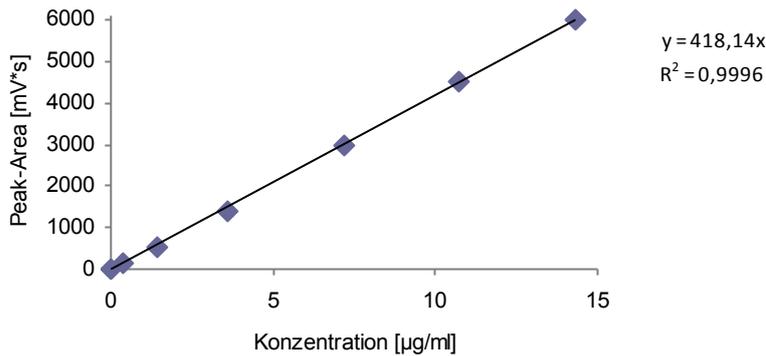


Abb. 15: Standard-Kalibrationsgerade Riboflavin

Die ermittelten Peak-Flächen wurden gegen die jeweiligen Konzentrationen aufgetragen.

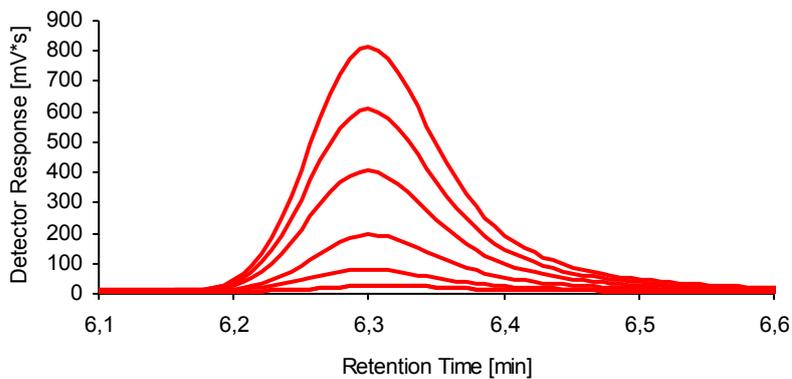


Abb. 16: Chromatogramm der Riboflavin Verdünnungsreihe

Die jeweiligen Konzentrationen sind in der Tabelle 21 aufgelistet.

5.2.3 Vitamin B₆-Standard-Kalibrationsgeraden und das dazugehörige Chromatogramm

Als Standard-Stock des B₆ Vitamins wurden 31,2 mg Pyridoxamin und Pyridoxal und 34,3 mg Pyridoxin in 100 ml Wasser aufgelöst. Dieser Stock hatte eine Pyridoxamin- und Pyridoxal-Konzentration von 312 µg/ml und eine Pyridoxin-Konzentration von 343 µg/ml. Von diesem Standard-Stock wurden 0,060 ml erneut mit 2,940 ml H₂O zu einer Ausgangslösung, mit einer Pyridoxamin- und Pyridoxal-Konzentration von 6,24 µg/ml und Pyridoxin-Konzentration von 6,84 µg/ml verdünnt. Ausgehend von dieser Lösung wurde eine Verdünnungsreihe erstellt. Siehe Tabelle 22.

Tab. 22: Standard-Kalibrationsgerade des Pyridoxamins und die Peak-Areas

Ausgangslösung [µl]	Wasser [µl]	Peak-Area [mV*s]
1000	0	3416,3
750	250	2545,1
500	500	1689
250	750	844,6
125	875	412
50	950	160,8
25	975	80,2
5	995	16,2
1	999	4

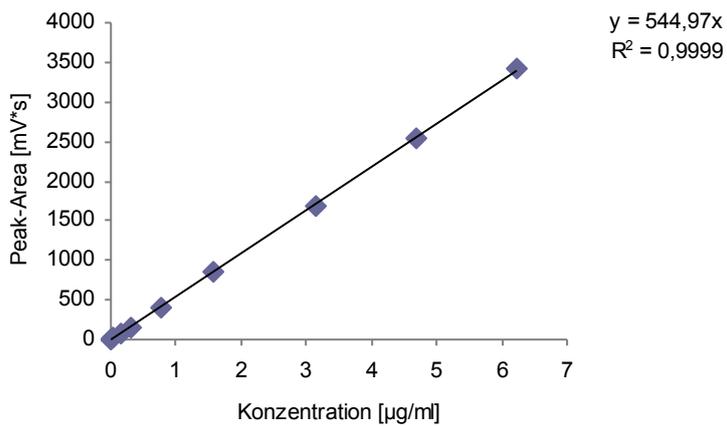


Abb. 17: Standard-Kalibrationsgerade Pyridoxamin

Die ermittelten Peak-Flächen wurden gegen die jeweiligen Konzentrationen aufgetragen

Tab. 23: Standard-Kalibrationsgerade des Pyridoxals und die Peak-Flächen

Ausgangslösung [μl]	Wasser [μl]	Peak-Area [$\text{mV}\cdot\text{s}$]
1000	0	2482,7
750	250	1860
500	500	1232,5
250	750	616,2
125	875	304,3
50	950	118,9
25	975	58,7
5	995	12,1
1	999	2,9

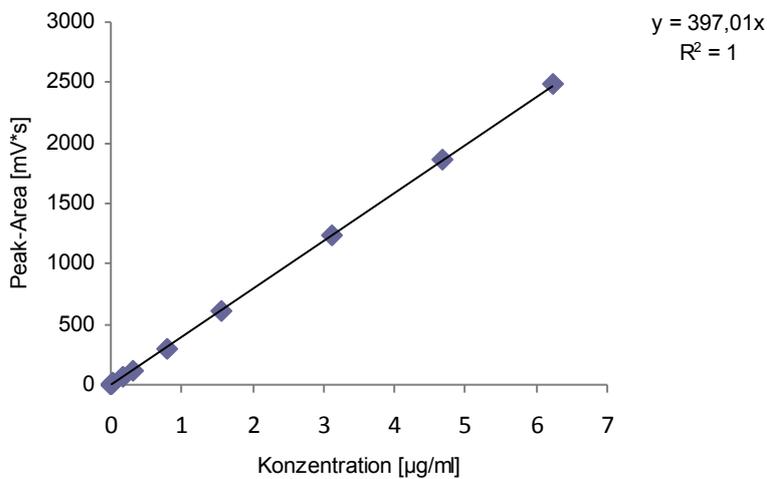


Abb. 18: Standard-Kalibrationsgerade Pyridoxal

Die ermittelten Peak-Flächen wurden gegen die jeweiligen Konzentrationen aufgetragen.

Tab. 24: Standard-Kalibrationsgerade des Pyridoxins und die Peak-Flächen

Ausgangslösung [μl]	Wasser [μl]	Peak-Area [mV*s]
1000	0	3605,9
750	250	2695,7
500	500	1779
250	750	887,7
125	875	439,1
50	950	170,4
25	975	84,20
5	995	17,40
1	999	4,60

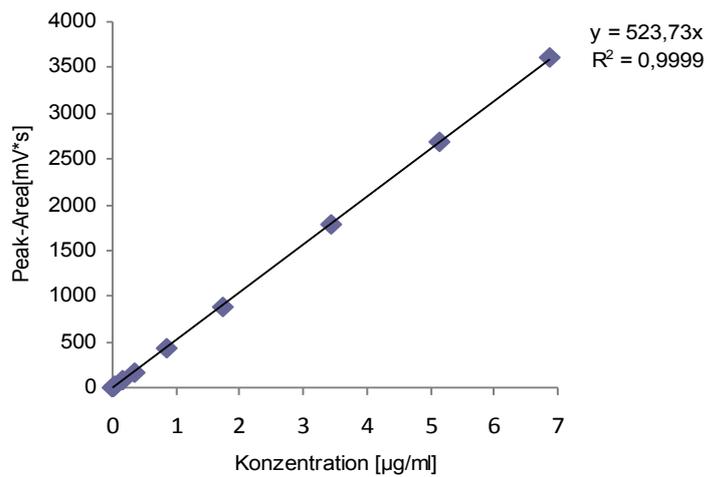


Abb. 19: Standard-Kalibrationsgerade Pyridoxin

Die ermittelten Peak-Flächen wurden gegen die jeweiligen Konzentrationen aufgetragen.

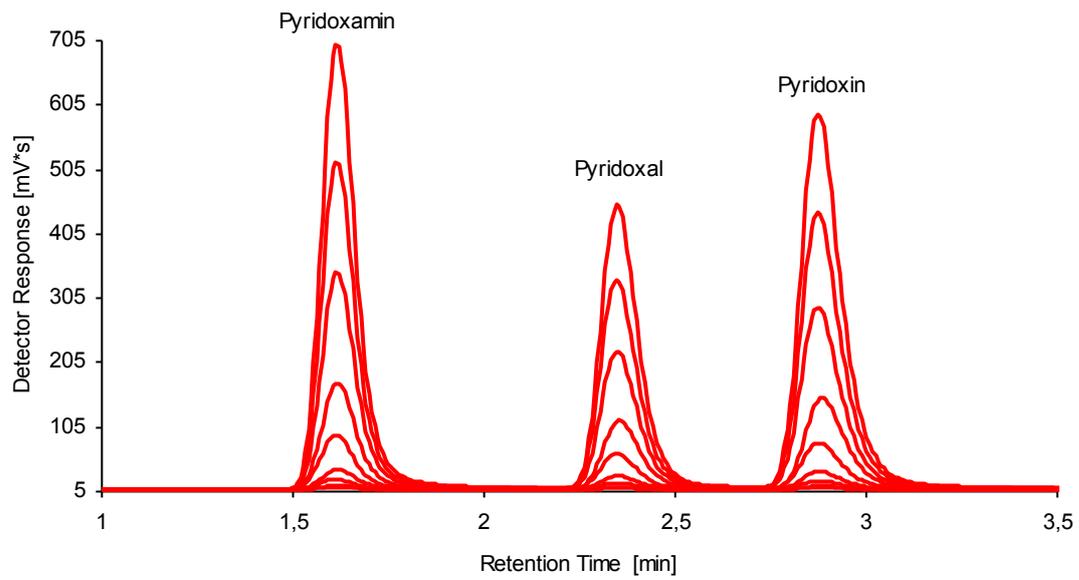


Abb. 20: Chromatogramm der drei B₆ Vitamine

Die jeweiligen Konzentrationen sind in den Tabellen 22, 23 und 24 aufgelistet.

6 ERGEBNISSE UND DISKUSSION

6.1 Resultate des Riboflavins

6.1.1 Die dreifach Extraktion aus der rohen Quinoa

In der Tabelle 25 sind die Ergebnisse der dreifachen Quinoa Roh Extraktion aufgelistet. Für die eingewogenen Versuchsexemplare, angegeben in mg, konnten mit Hilfe der RP-HPLC bestimmte Flächen integriert werden, wodurch die Vitamin-Konzentrationen berechnet werden konnten.

Tab. 25: Riboflavin-Konzentration der ersten Quinoa Roh Extraktion

Quinoa Roh	Einwaage [mg]	Peak-Area [mV*s]	Konzentration [ng/g]	Konzentration [pg/g]
1. Extraktion	104,26	8,1	0,00670	6,7
2. Extraktion	100,76	7,1	0,00610	6,1
3. Extraktion	104,05	7,4	0,00620	6,2

6.1.2 Die erste Quinoa Extraktion

Mit dem 10%igen Vitamin-Mix behandelte Warenproben bergen die Konzentrations-Maxima. Den Höchststand an Vitamin B₂-Konzentration zeigt T2 10% mit 238 ng/g Quinoa. Die Konzentration in 1 g roher Quinoa beträgt 0,60 ng/g. Damit ist die Konzentrationsdifferenz zwischen Quinoa T2 10% und roher Quinoa 1:371. Parallel dazu wurde auch die Vitaminlösung analysiert und die Riboflavin-Konzentration belief sich insgesamt auf 24,51 µg/g Quinoa.

Tab. 26: Riboflavin Konzentration der ersten Quinoa Extraktion

Quinoa	Einwaage [mg]	Peak-Area [mV*s]	Konzentration [ng/g]
T0 10%	49,23	2215	114
T0 1%	51,19	244,6	12,1
T0 0,1%	51,35	42,4	2,10
T1 10%	50,94	2973,3	148
T1 1%	51,47	452,8	22,3
T1 0,1%	50,70	77,20	3,90
T2 10%	50,00	4686,6	238
T2 1%	50,69	458,7	22,9
T2 0,1%	50,01	81,30	4,10
Q roh	50,96	12,90	0,60
Vitamin-Mix	10,50	1076,1	24510

Die Riboflavin-Konzentration wurde gegen die Keimzeit, beziehungsweise gegen die Konzentration der Vitamin-Lösung aufgetragen. Es wird ersichtlich, dass Quinoa T2 10% die maximale Aufnahmekapazität aufweist.

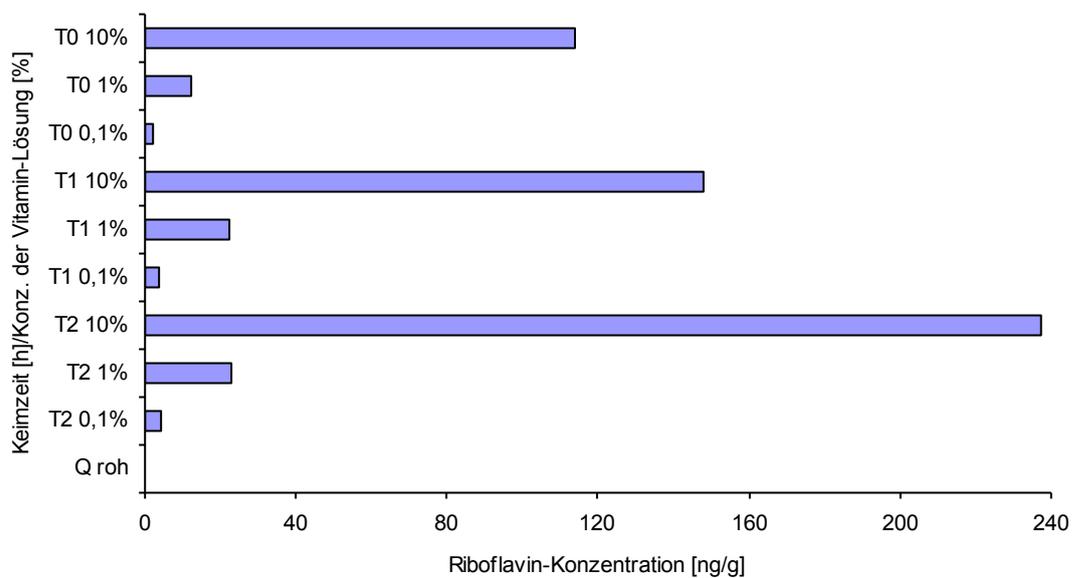


Abb. 21: Riboflavin in Quinoa (Erste Quinoa Extraktion)

Die Retentionszeit wurde gegen die Signalintensität aufgetragen. Die Identifizierung des gesuchten Riboflavin-Peaks wurde anhand des Standards ermöglicht. Die Abnahme der jeweiligen Peakhöhen bestätigt die Auswirkungen der unterschiedlich konzentrierten Vitamin-Mixturen.

T0 10% dokumentiert den höchsten Peak.

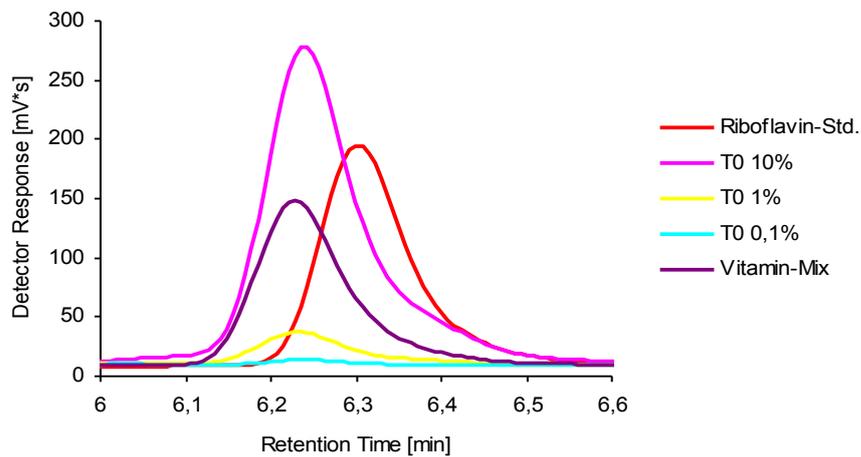


Abb. 22: Chromatogramm von Riboflavin aus Quinoa (Erste Riboflavin Extraktion aus Quinoa T0)

Wie erwartet, zeigt T1 10% die beste Aufnahmekapazität.

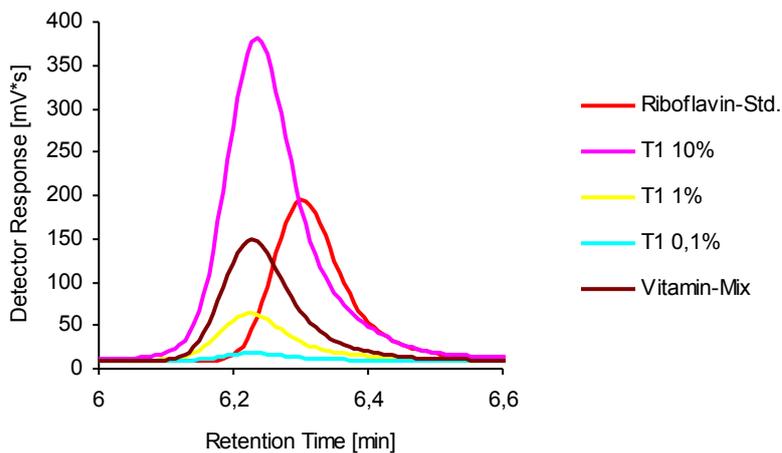


Abb. 23: Chromatogramm von Riboflavin aus Quinoa (Erste Riboflavin Extraktion aus Quinoa T1)

Wie erwartet, zeigt auch hier die mit 10%iger Vitamin-Lösung behandelte Quinoa den höchsten Peak.

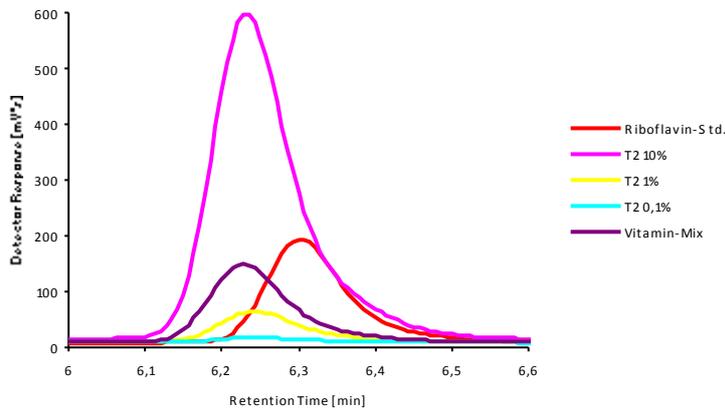


Abb. 24: Chromatogramm von Riboflavin aus Quinoa (Erste Riboflavin Extraktion aus Quinoa T2)

6.1.3 Die zweite Quinoa Extraktion

Die Konzentration der rohen Quinoa konnte nicht ermittelt werden, da die Fläche nicht innerhalb der Kalibrationsgerade lag. Daher wurde die Extraktion aus der rohen Quinoa in einem separaten Schritt wiederholt. Auch bei dieser zweiten Extraktion zeigt T2 10% die höchste Konzentration an isolierbarem Riboflavin, nämlich 237 ng/g Quinoa.

Tab. 27: Riboflavin-Konzentration der zweiten Quinoa Extraktion

Quinoa	Einwaage [mg]	Peak-Area [mV*s]	Konzentration [ng/g]
T0 10%	50,15	2187,20	111
T0 1%	51,08	255,90	12,7
T0 0,1%	50,33	45,00	2,30
T1 10%	49,36	2650,1	136
T1 1%	50,51	421,70	21,2
T1 0,1%	51,12	77,20	3,80
T2 10%	49,52	4619,1	237
T2 1%	51,11	475	23,6
T2 0,1%	50,21	82,30	4,20
Q roh	48,52	-	-
Vitamin-Mix	10,50	1054,2	24011

Das Balkendiagramm verdeutlicht, dass T2 10% die maximale Riboflavin-Konzentration beinhaltet.

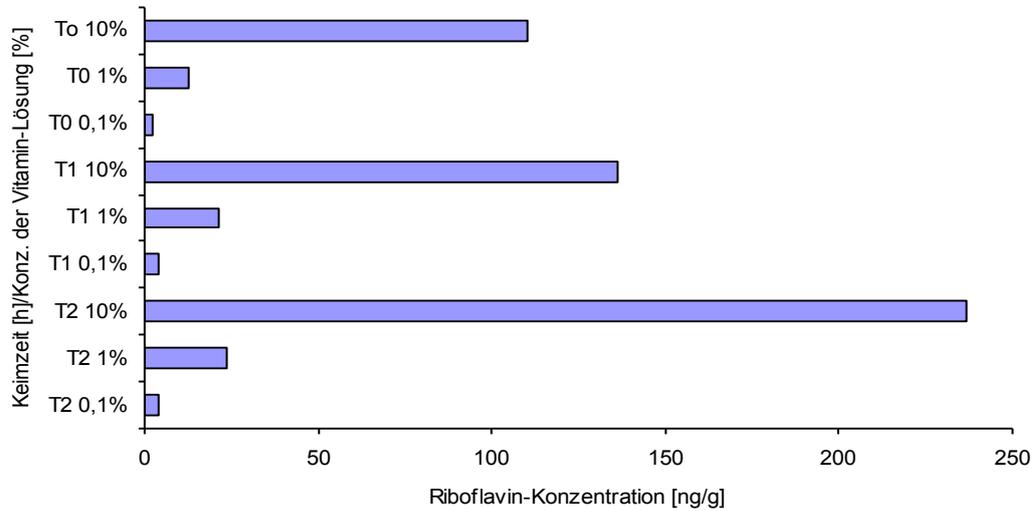


Abb. 25: Riboflavin in Quinoa (Zweite Quinoa Extraktion)

Sowohl dieses, als auch die späteren Chromatogramme zeigen: Der 10% Vitamin-Mix liefert die beste Vitamin B₂ Aufnahmekapazität.

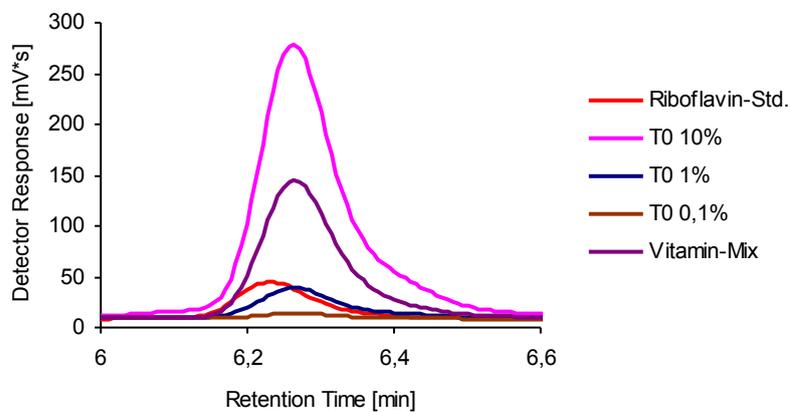


Abb. 26: Chromatogramm von Riboflavin aus Quinoa (Zweite Riboflavin Extraktion aus Quinoa T0)

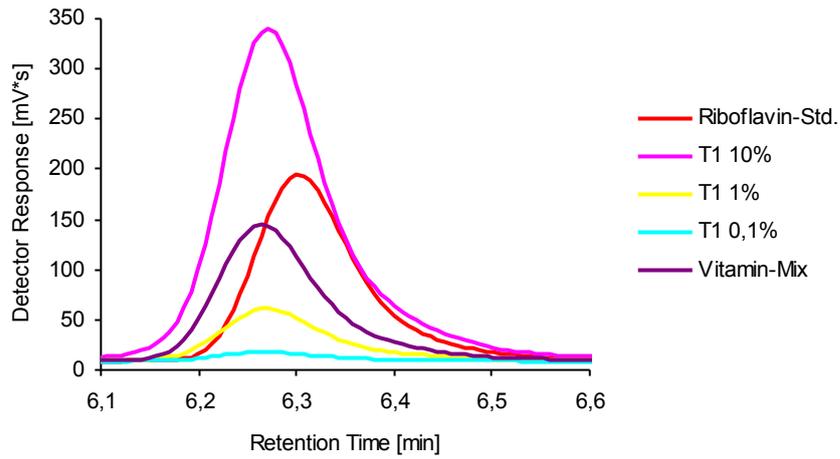


Abb. 27: Chromatogramm von Riboflavin aus Quinoa (Zweite Riboflavin Extraktion aus Quinoa T1)

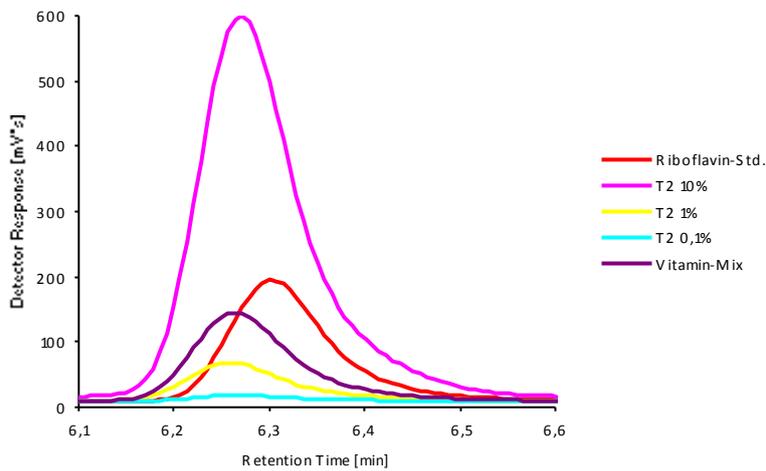


Abb. 28: Chromatogramm von Riboflavin aus Quinoa (Zweite Riboflavin Extraktion aus Quinoa T2)

6.1.4 Die dritte Quinoa Extraktion

Quinoa T2 10% liefert eine Konzentration von 240 ng/g.

Anhand der Ergebnisse lässt sich die Funktionstüchtigkeit dieser HPLC Elutions-Methode bestätigen.

Tab. 28: Riboflavin-Konzentration der dritten Quinoa Extraktion

Quinoa	Einwaage	Peak-Area	Konzentration
	[mg]	[mV*s]	[ng/g]
T0 10%	49,51	2166,5	111
T0 1%	51,46	270,1	13,3
T0 0,1%	51,57	44,50	2,20
T1 10%	49,88	2722,6	138
T1 1%	50,40	431,80	21,7
T1 0,1%	49,89	83,10	4,20
T2 10%	50,20	4757,7	240
T2 1%	50,83	476,1	23,7
T2 0,1%	51,05	85,70	4,30
Q roh	50,60	-	-
Vitamin-Mix	10,50	1029	2527

Quinoa T2 10 % beinhaltet die maximale Riboflavin-Konzentration. Die Aufnahmekapazität zeigt einen großen Sprung von T1 auf T2, wohingegen der Unterschied zwischen T0 und T1 nicht sehr markant ist.

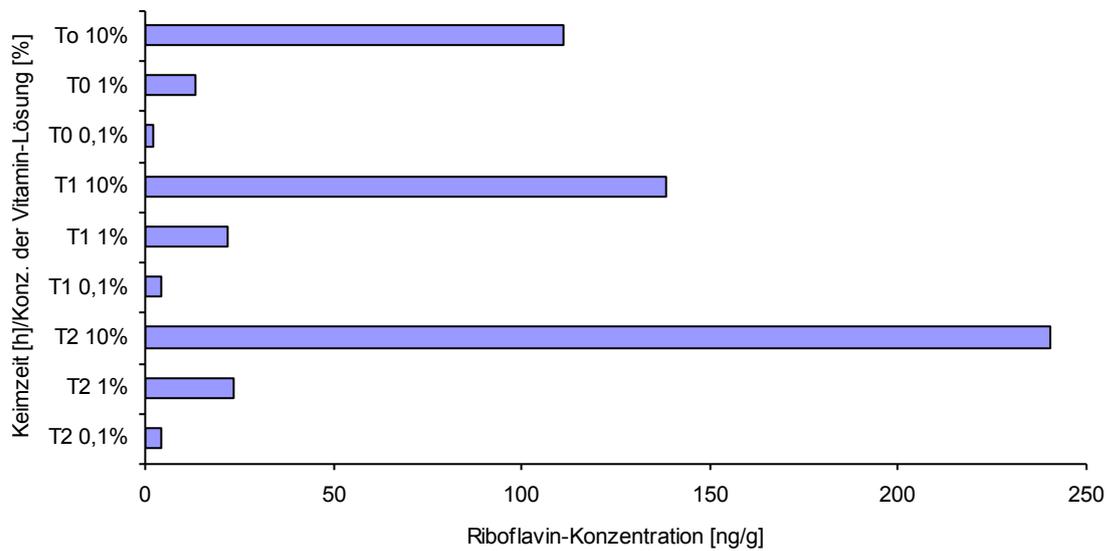


Abb. 28: Riboflavin in Quinoa (Dritte Quinoa Extraktion)

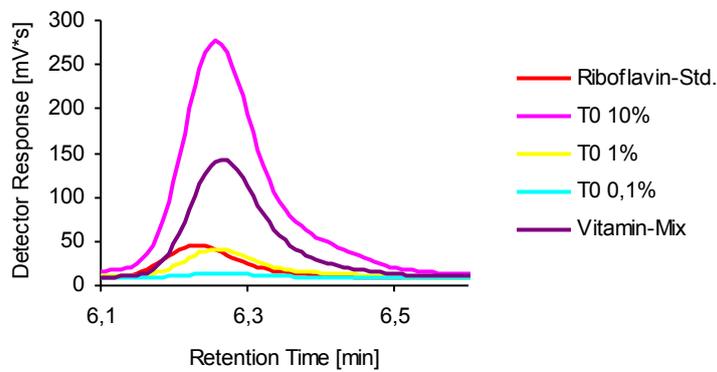


Abb. 29: Chromatogramm von Riboflavin aus Quinoa (Dritte Riboflavin Extraktion aus Quinoa T0)

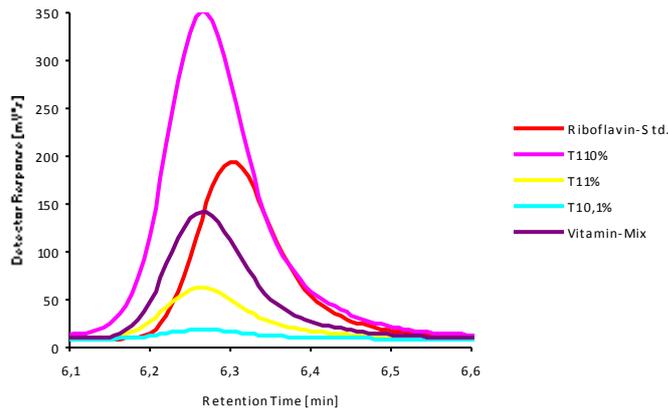


Abb. 30: Chromatogramm von Riboflavin aus Quinoa (Dritte Riboflavin Extraktion aus Quinoa T1)

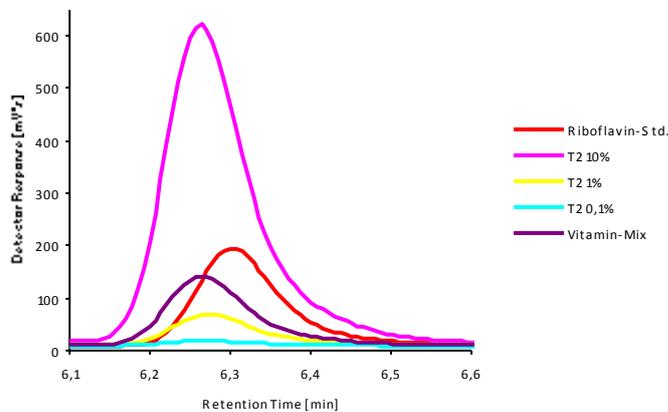


Abb. 31: Chromatogramm von Riboflavin aus Quinoa (Dritte Riboflavin Extraktion aus Quinoa T2)

6.1.5 Die Weizenextraktion

Tabelle 29 stellt die Informationen der Riboflavin Extraktionserfolge zur Verfügung. Identisch zu Quinoa weist auch Weizen T2 10% die höchste Konzentration an Vitamin B₂ auf. Diese beläuft sich auf 130 ng/g. Aufgrund des nicht vorhandenen rohen Weizens, konnte keine Gegenüberstellung der rohen und vitaminisierten Proben erfolgen.

Da auch bei Weizen mit zunehmender Keimzeit und Vitamin-Mix-Konzentration die extrahierte Riboflavin-Konzentration einen Anstieg zeigt, kann eine Parallele zu den Quinoa Ergebnissen gezogen werden. Die Schlussfolgerung, dass roher Weizen eine niedrigere Konzentration als der vitaminisierte Weizen aufweist, wird durch die Parallele zur Quinoa und durch die erzielten Resultate bestätigt.

Tab. 29: Riboflavin-Konzentration der Weizen Extraktion

Weizen	Einwaage [mg]	Peak-Area [mV*s]	Konzentration [ng/g]
T0 10%	50,42	2091,4	105
T0 1%	51,08	338,1	16,8
T0 0,1%	51,10	32,1	1,60
T1 10%	50,67	2278,8	114
T1 1%	51,43	326,1	16,1
T1 0,1%	51,57	37,4	1,80
T2 10%	50,93	2604,7	130
T2 1%	50,78	373,9	18,7
T2 0,1%	51,20	46,9	2,30
Vitamin-Mix	10,50	1004,6	22881

Die Differenz zwischen T0, T1 und T2 ist weniger ausgeprägt als bei Quinoa.

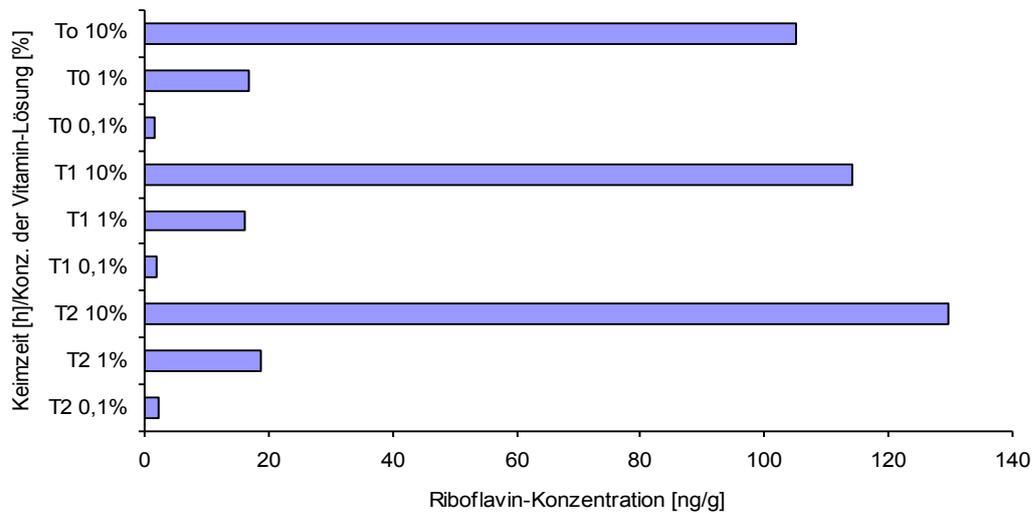


Abb. 32: Riboflavin in Weizen (Weizen Extraktion)

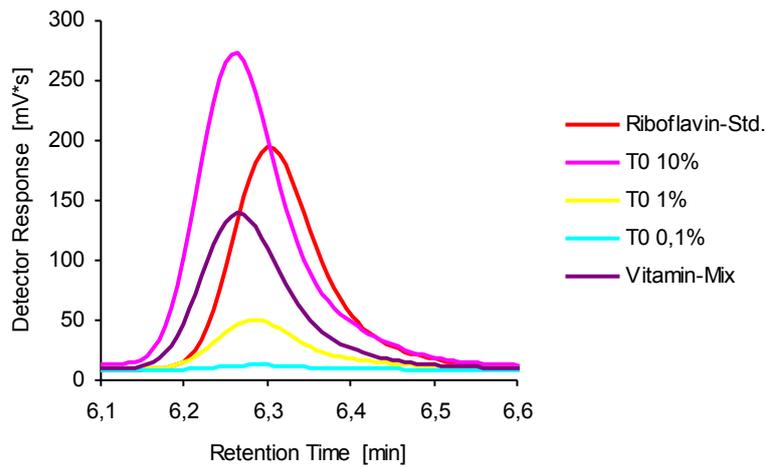


Abb. 33: Chromatogramm von Riboflavin aus Weizen (Riboflavin Extraktion aus Weizen T0)

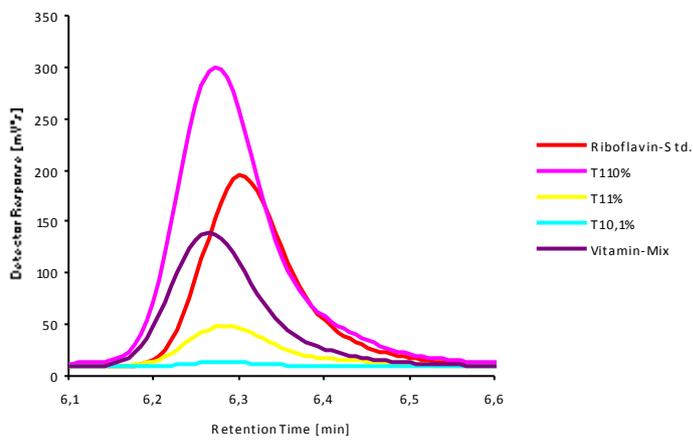


Abb. 34: Chromatogramm von Riboflavin aus Weizen (Riboflavin Extraktion aus Weizen T1)

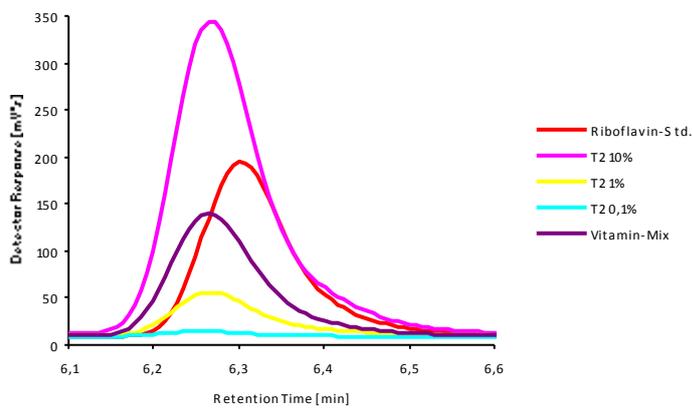


Abb. 35: Chromatogramm von Riboflavin aus Weizen (Riboflavin Extraktion aus Weizen T2)

6.1.6 Die Buchweizen Extraktion

Zur Analyse der Vitamin B₂-Konzentration konnten nur T0 und T1 herangezogen werden. Da bei der Probe T2, die lange Lagerung in der Vitamin-Lösung eine Verschimmelung zur Folge hatte. Auch hier stand keine rohe Probenvariante zur Verfügung, wodurch der Vergleich zwischen der rohen und der vitaminisierten Probe nicht aufgestellt werden konnte. Das Maximum der extrahierten Vitamin B₂-Konzentration beträgt 230 ng/g Buchweizen T2 10%. Die Schlussfolgerung, dass roher Buchweizen eine niedrigere Konzentration als der vitaminisierte Buchweizen aufweisen würde, hat auch hier ihre Gültigkeit.

Tab. 30: Riboflavin-Konzentration der Buchweizen Extraktion

Buchweizen	Einwaage [mg]	Peak-Area [mV*s]	Konzentration [ng/g]
T0 10%	49,95	3426,5	174
T0 1%	51,05	424,8	21,1
T0 0,1%	50,47	51,20	2,60
T1 10%	50,70	4607,3	230
T1 1%	51,54	568,5	27,1
T1 0,1%	51,20	65,30	3,20
Vitamin-Mix	10,50	781,9	17809

Verglichen mit Quinoa und Weizen ist der Sprung der Vitaminaufnahme zwischen T0 und T1 bei Buchweizen am signifikantesten

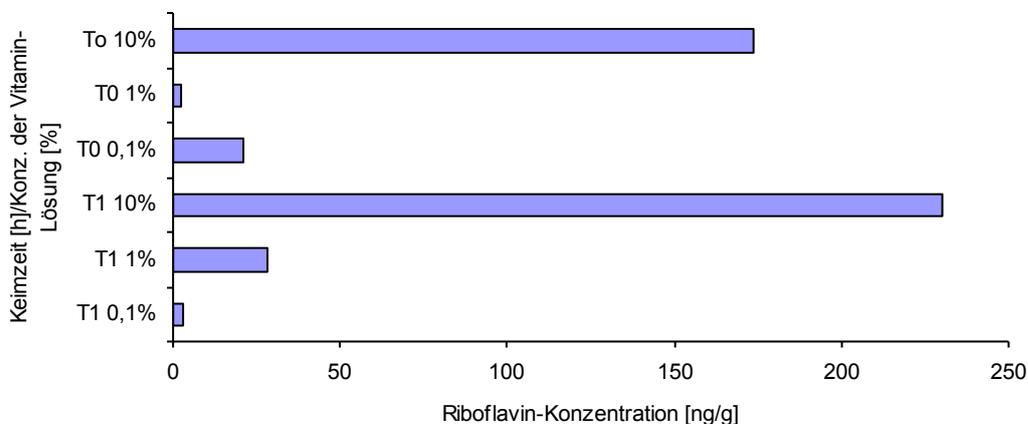


Abb. 36: Riboflavin in Buchweizen (Buchweizen Extraktion)

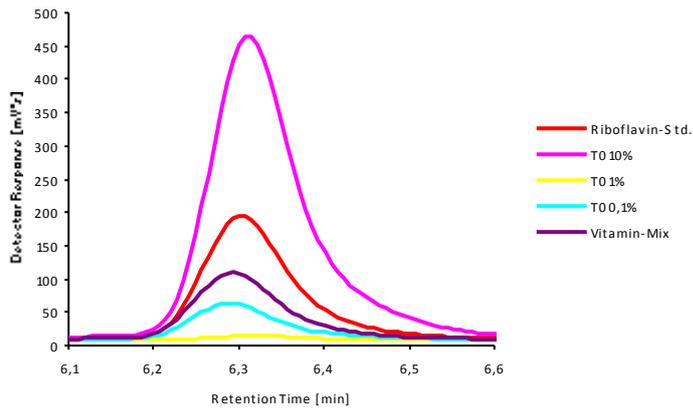


Abb. 37: Chromatogramm von Riboflavin aus Buchweizen (Riboflavin Extraktion aus Buchweizen T0)

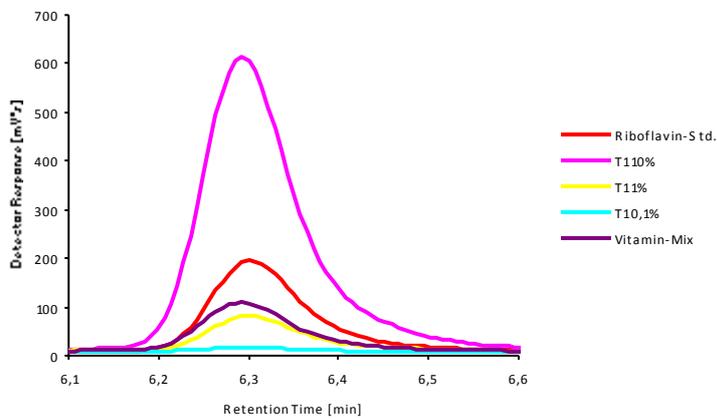


Abb. 38: Chromatogramm von Riboflavin aus Buchweizen (Riboflavin Extraktion aus Buchweizen T1)

6.2 Vergleich der Quinoa Resultate zur Ermittlung eines Mittelwertes

Um die Differenz der Resultate stärker zu betonen und hervorzuheben wurde ein direkter Vergleich der drei durchgeführten Extraktionen, bezogen auf den Keimvorgang und die prozentuellen Unterschiede der Vitamin-Lösungen, aufgestellt. Dieser Vergleich wird durch die errechneten Mittelwerte, Standardabweichungen und der relativen Standardabweichungen erstellt.

6.2.1 Vergleich der drei T0 Extraktionsergebnisse

6.2.1.1 Extraktionsergebnisse T0 10%

Der Mittelwert der extrahierten Riboflavin-Konzentration von Quinoa T0 10% beträgt $112 \pm 1,9$ ng/g.

Rel. SD: 1,7%

Tab. 31: Bestimmung von Riboflavin in Quinoa T0 10%

Probe	Einwaage	Peak-Area	Konzentration
	[mg]	[mV*s]	[ng/g]
1. Extraktion	49,23	2215	114
2. Extraktion	50,15	2187,2	111
3. Extraktion	49,51	2166,5	111
Mittelwert	49,63	2189,57	112
SD [ng/g]	0,470	-	1,9
Rel. SD [%]	0,950	-	1,7

6.2.1.2 Extraktionsergebnisse T0 1%

Der Mittelwert der extrahierten Riboflavin-Konzentration von Quinoa T0 1% beträgt $12,7 \pm 0,60$ ng/g.

Rel. SD: 4,70%

Tab. 32: Bestimmung von Riboflavin in Quinoa T0 1%

Probe	Einwaage	Peak-Area	Konzentration
	[mg]	[mV*s]	[ng/g]
1. Extraktion	51,19	244,6	12,1
2. Extraktion	51,08	255,9	12,7
3. Extraktion	51,56	270,1	13,3
Mittelwert	51,28	256,87	12,7
SD [ng/g]	0,250	-	0,60
Rel. SD [%]	0,490	-	4,70

6.2.1.3 Extraktionsergebnisse T0 0,1%

Der Mittelwert der extrahierten Riboflavin-Konzentration von Quinoa T0 0,1% beträgt $2,2 \pm 0,1$ ng/g.

Rel. SD: 4,1%

Tab. 33: Bestimmung von Riboflavin in Quinoa T0 0,1%

Probe	Einwaage	Peak-Area	Konzentration
	[mg]	[mV*s]	[ng/g]
1. Extraktion	51,35	42,4	2,1
2. Extraktion	50,33	45	2,3
3. Extraktion	51,57	44,5	2,2
Mittelwert	51,08	43,97	2,2
SD [ng/g]	0,660	-	0,1
Rel. SD [%]	1,300	-	4,1

6.2.2 Vergleich der drei T1 Extraktionsergebnisse

6.2.2.1 Extraktionsergebnisse T1 10%

Der Mittelwert der extrahierten Riboflavin-Konzentration von Quinoa T1 10% beträgt $141 \pm 6,30$ ng/g.

Rel. SD: 4,50%

Tab. 34: Bestimmung von Riboflavin in Quinoa T1 10%

Probe	Einwaage	Peak-Area	Konzentration
	[mg]	[mV*s]	[ng/g]
1. Extraktion	50,94	2973,3	148
2. Extraktion	49,36	2650,1	136
3. Extraktion	49,88	2722,6	138
Mittelwert	50,06	2782	141
SD [ng/g]	0,810	-	6,30
Rel. SD [%]	1,610	-	4,50

6.2.2.2 Extraktionsergebnisse T1 1%

Der Mittelwert der extrahierten Riboflavin-Konzentration von Quinoa T1 1% beträgt $22 \pm 0,6$ ng/g.

Rel. SD: 2,6%

Tab. 35: Bestimmung von Riboflavin in Quinoa T1 1%

Probe	Einwaage	Peak-Area	Konzentration
	[mg]	[mV*s]	[ng/g]
1. Extraktion	51,47	452,8	22
2. Extraktion	50,51	421,7	21
3. Extraktion	50,40	431,8	22
Mittelwert	50,79	435,43	22
SD [ng/g]	0,590	-	0,6
Rel. SD [%]	1,160	-	2,6

6.2.2.3 Extraktionsergebnisse T1 0,1%

Der Mittelwert der extrahierten Riboflavin-Konzentration von Quinoa T1 0,1% beträgt $4,0 \pm 0,2$ ng/g.

Rel. SD: 5,5%

Tab. 36: Bestimmung von Riboflavin in Quinoa T1 0,1 %

Probe	Einwaage	Peak-Area	Konzentration
	[mg]	[mV*s]	[ng/g]
1. Extraktion	50,70	77,2	3,9
2. Extraktion	51,12	77,2	3,8
3. Extraktion	49,89	83,1	4,2
Mittelwert	50,57	79,17	4,0
SD [ng/g]	0,630	-	0,2
Rel. SD [%]	1,240	-	5,5

6.2.3 Vergleich der drei T2 Extraktionsergebnisse

6.2.3.1 Extraktionsergebnisse T2 10%

Der Mittelwert der extrahierten Riboflavin-Konzentration von Quinoa T2 10% beträgt $238 \pm 2,00$ ng/g.

Rel. SD: 0,80%

Tab. 37: Bestimmung von Riboflavin in Quinoa T2 10%

Probe	Einwaage [mg]	Peak-Area [mV*s]	Konzentration [ng/g]
1. Extraktion	50,00	4686,6	238
2. Extraktion	49,52	4619,1	237
3. Extraktion	50,20	4757,7	240
Mittelwert	49,91	4687,8	238
SD [ng/g]	0,350	-	2,00
Rel. SD [%]	0,700	-	0,80

6.2.3.2 Extraktionsergebnisse T2 1%

Der Mittelwert der extrahierten Riboflavin-Konzentration von Quinoa T2 1% beträgt $23 \pm 0,4$ ng/g.

Rel. SD: 1,8%

Tab. 38: Bestimmung von Riboflavin in Quinoa T2 1%

Probe	Einwaage [mg]	Peak-Area [mV*s]	Konzentration [ng/g]
1. Extraktion	50,69	458,7	23
2. Extraktion	51,11	475	24
3. Extraktion	50,83	476,1	24
Mittelwert	50,88	469,93	23
SD [ng/g]	0,210	-	0,4
Rel. SD [%]	0,420	-	1,8

6.2.3.3 Extraktionsergebnisse T2 0,1%

Der Mittelwert der extrahierten Riboflavin-Konzentration von Quinoa T2 0,1% beträgt $4,2 \pm 0,1$ ng/g.

Rel. SD: 1,7%

Tab. 39: Bestimmung von Riboflavin in Quinoa T2 0,1%

Probe	Einwaage	Peak-Area	Konzentration
	[mg]	[mV*s]	[ng/g]
1. Extraktion	50,01	81,3	4,1
2. Extraktion	50,21	82,3	4,2
3. Extraktion	51,05	85,7	4,3
Mittelwert	50,42	83,1	4,2
SD [ng/g]	0,550	-	0,1
Rel. SD [%]	1,090	-	1,7

6.3 Vergleich der extrahierten Riboflavin Mittelwerte

6.3.1 Gegenüberstellung der 10%igen Mittelwerte von Quinoa T0, T1 und T2

Je länger Quinoa in der 10%igen Vitamin-Lösung verweilt, desto bessere B₂-Konzentrationen werden erzielt. Aus diesem Grund zeigt Quinoa T2 10% die höchste Konzentration an Riboflavin mit $238 \pm 2,0$ ng/g.

Tab. 40: Vergleich der 10%igen Quinoa Mittelwerte von T0, T1 und T2

Probe	Einwaage	Peak-Area	Konzentration	Rel. SD
	[mg]	[mV*s]	[ng/g]	[%]
T0 10%	49,63	2189,57	$112 \pm 1,9$	1,7
T1 10%	50,06	2782,00	$141 \pm 6,3$	4,5
T2 10%	49,91	4687,80	$238 \pm 2,0$	0,8

6.3.2 Gegenüberstellung der 1%igen Mittelwerte von Quinoa T0, T1 und T2

Den höchsten Mittelwert liefert T2 mit $23 \pm 0,4$ ng Vitamin B₂ /g Quinoa.

Tab. 41: Vergleich der 1%igen Quinoa Mittelwerte von T0, T1 und T2

Probe	Einwaage [mg]	Peak- Area [mV*s]	Konzentration [ng/g]	Rel. SD [%]
T0 1%	51,28	256,87	$13 \pm 0,6$	4,7
T1 1%	50,79	435,43	$22 \pm 0,6$	2,6
T2 1%	50,88	469,93	$23 \pm 0,4$	1,8

6.3.3 Gegenüberstellung der 0,1%igen Mittelwerte von Quinoa T0, T1 und T2

Wie erwartet liefert auch hier T2 das beste Ergebnis mit $4,2 \pm 0,1$ ng/g.

Tab. 42: Vergleich der 0,1%igen Quinoa Mittelwerte von T0, T1 und T2

Probe	Einwaage [mg]	Peak-Area [mV*s]	Konzentration [ng/g]	Rel. SD [%]
T0 0,1%	51,08	43,97	$2,2 \pm 0,1$	4,1
T1 0,1%	50,57	79,19	$4,0 \pm 0,2$	5,5
T2 0,1%	50,42	83,1	$4,2 \pm 0,1$	1,7

6.3.4 Erstellung des Mittelwertes von roher Quinoa aus der dreifachen Extraktion

Mittels einer Gegenüberstellung der Extraktions-Resultate aus roher Quinoa wurde der Konzentrations-Mittelwert mit $6,3 \pm 0,4$ pg/g errechnet.

Re. SD.: 5,5%

Tab. 43: Quinoa Roh Mittelwert

Quinoa Roh	Einwaage [mg]	Peak-Area [mV*s]	Konzentration [pg/g]
1. Extraktion	104,26	8,1	6,7
2. Extraktion	100,76	7,1	6,1
3. Extraktion	104,05	7,4	6,2
Mittelwert	103,02	7,53	6,3
SD [ng/g]	1,960	-	0,4
Rel. SD [%]	1,910	-	5,5

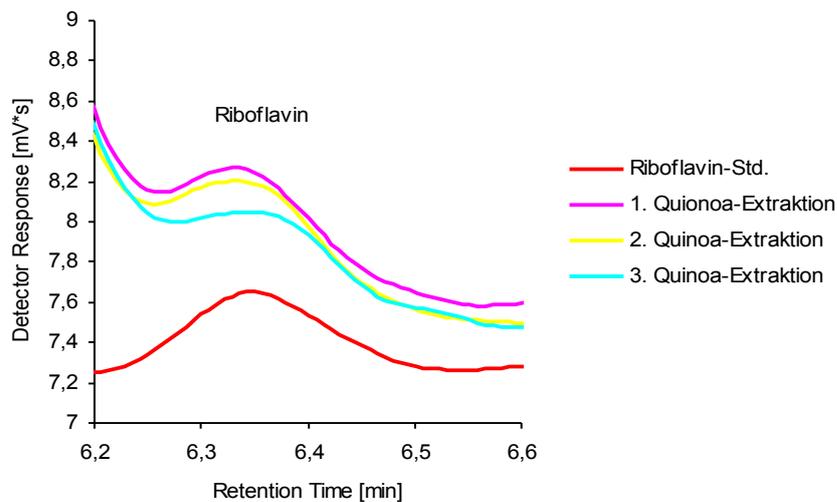


Abb. 39: Chromatogramm von Riboflavin aus Quinoa (Erste, zweite und dritte Riboflavin Extraktion aus roher Quinoa)

6.4 Zusammenfassungen der Mittelwerte der Riboflavin-Konzentrationen

Die Riboflavin Extraktionen aus der rohen Quinoa zeigen keine Übereinstimmung.

Bei der ersten Quinoa Extraktion lieferte Quinoa Roh eine Vitamin B₂-Konzentration von 0,60 ng/g.

Die dreifache Extraktion zeigt hingegen eine Konzentration von $0,00630 \pm 0,0004$ ng/g.

Die unterschiedlichen Quinoa Roh Werte sind auf die unterschiedlichen Kalibrationsgeraden zurückzuführen. Bei der Dreifachbestimmung wies die Standard-Kalibrationsgerade sehr niedrige Konzentrationen auf. Es ist im Bereich des möglichen, dass diese Konzentrationen unterhalb der HPLC Nachweisgrenze waren. Daraus resultierten schließlich die niedrigeren Riboflavin-Konzentrationen aus der Dreifachbestimmung der rohen Quinoa.

Tab. 44: Riboflavin Ergebnisse

Proben	[ng/g]	Verhältnis
Mittelwert: Quinoa T2 10%	$238 \pm 0,2$	396
Quinoa roh aus der ersten Quinoa Extraktion	0,60	1
Mittelwert: Quinoa roh	$0,00630 \pm 0,0004$	1:38000
Weizen T2 10%	130	81
Weizen T0 0,1%	1,6	1
Buchweizen T1 10%	230	88
Buchweizen T0 0,1%	2,6	1

6.5 Pyridoxamin-, Pyridoxal- und Pyridoxin-Konzentrationen in Quinoa, Weizen und Buchweizen

6.5.1 Erste Quinoa Extraktion

Die Quinoa Extraktion wurde dreimal durchgeführt, um die Reproduzierbarkeit der Methode zu überprüfen.

In der verwendeten Vitamin-Lösung ist von den unten bestimmten Vitaminen lediglich Pyridoxin vorhanden. Dennoch findet man in jeder Probe Konzentrationen an Pyridoxamin und Pyridoxal. Pyridoxin wird von den pflanzlichen Zellen zu Pyridoxamin und Pyridoxal verstoffwechselt, wodurch deren Konzentration mit zunehmendem Prozentsatz der Vitaminlösung steigt. Quinoa T2 10% beinhaltet die höchste Pyridoxamin-Konzentration.

Tab. 45: Pyridoxamin-Konzentration der ersten Quinoa Extraktion

Quinoa	Einwaage [mg]	Peak-Area [mV*s]	Konzentration [ng/g]
T0 10%	30,96	37,5	2,4
T0 1%	30,96	33,7	2,1
T0 0,1%	30,98	35,6	2,2
T1 10%	30,74	65,1	4,1
T1 1%	30,69	41,2	2,6
T1 0,1%	30,85	36,5	2,3
T2 10%	30,77	155	9,8
T2 1%	31,00	48,3	3,0
T2 0,1%	30,69	36,4	2,3
Roh	30,83	59,3	3,7

Dieses Diagramm verdeutlicht die Ergebnisse der Tabelle 45. Es ist ersichtlich, dass T2 10% die maximale Vitamin B₆-Konzentration der Proben aufweist.

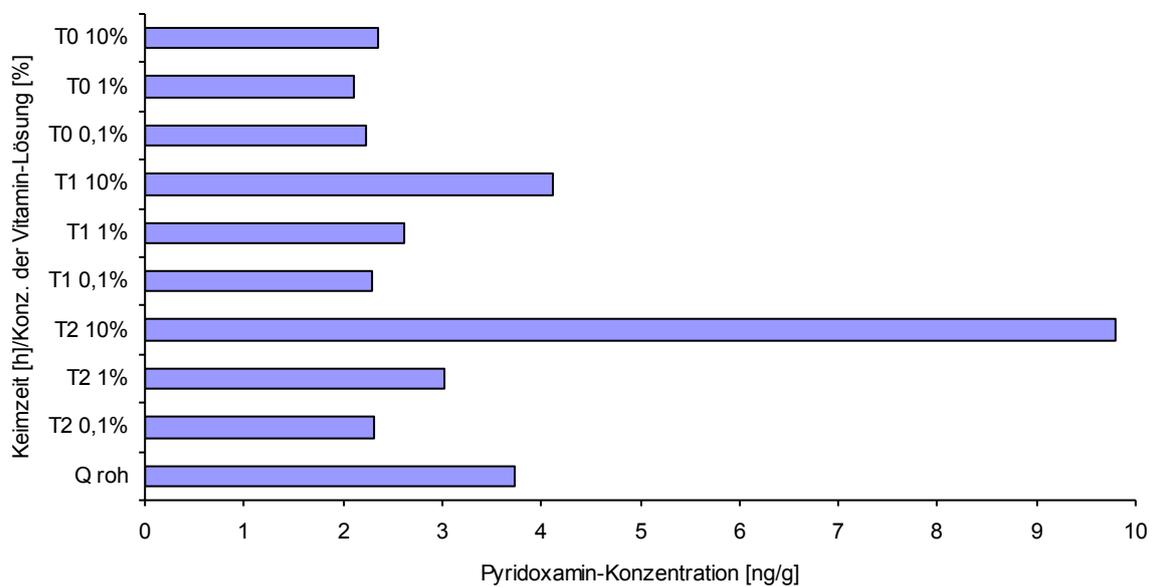


Abb. 40: Pyridoxamin in Quinoa (Erste Quinoa Extraktion)

Da Quinoa T2 10% die höchste Pyridoxamin-Aufnahmekapazität aufweist, wurde ein Vergleich zwischen Quinoa T2 10% und Quinoa Roh erstellt. Quinoa T2 10% enthält im Vergleich zur rohen Quinoa ca. das 2,6-fache an Pyridoxamin.

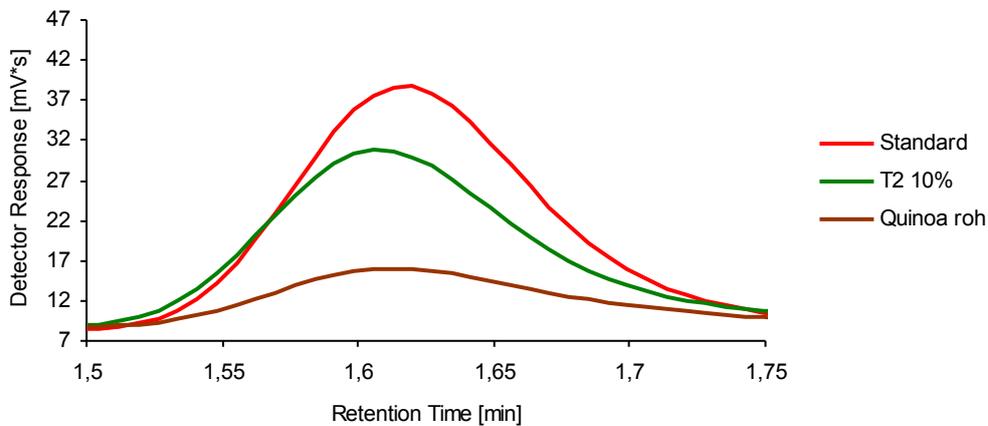


Abb. 41: Chromatogramm von Pyridoxamin aus Quinoa (Erste Pyridoxamin Extraktion aus Quinoa T2 10%)

Der Höchstwert an Pyridoxal wurde bei Quinoa T2 10% gemessen.

Tab. 46: Pyridoxal-Konzentration der ersten Quinoa Extraktion

Quinoa	Einwaage [mg]	Peak-Area [mV*s]	Konzentration [ng/g]
T0 10%	30,96	83	7,2
T0 1%	30,96	70,2	6,1
T0 0,1%	30,98	72,1	6,2
T1 10%	30,74	45,9	4,0
T1 1%	30,69	56,4	4,9
T1 0,1%	30,85	61,9	5,4
T2 10%	30,77	109,7	9,5
T2 1%	31,00	84,8	7,3
T2 0,1%	30,69	61	5,3
Roh	30,83	65,2	5,7

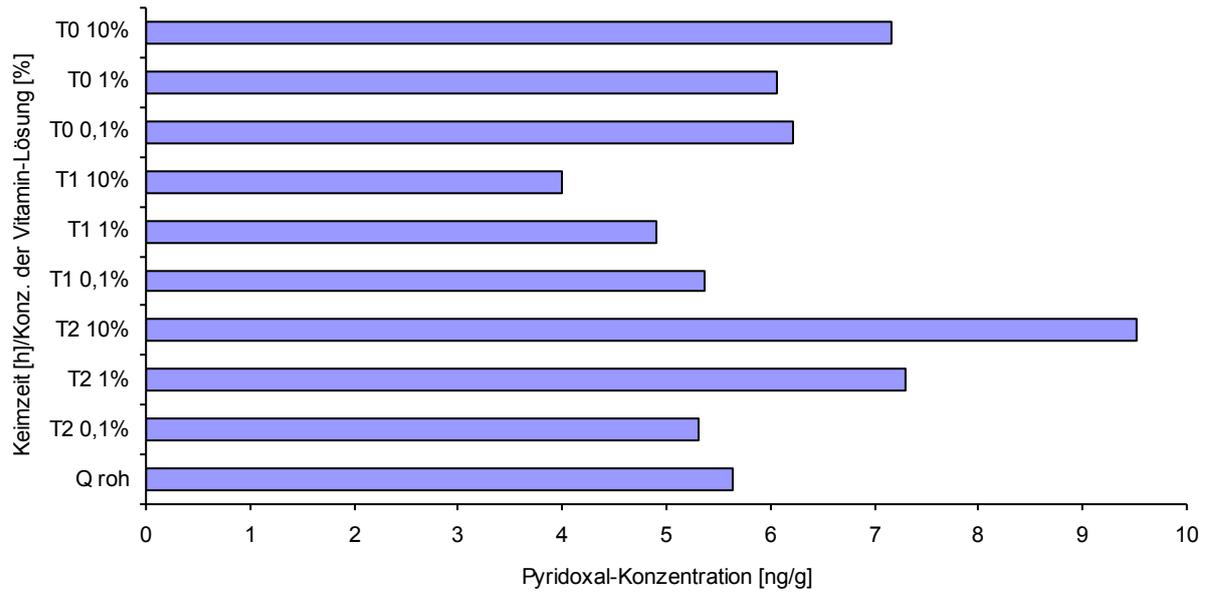


Abb. 42: Pyridoxal in Quinoa (Erste Quinoa Extraktion)

Quinoa T2 10% enthält im Vergleich zur rohen Quinoa ca. das 1,7 fache an Pyridoxal.

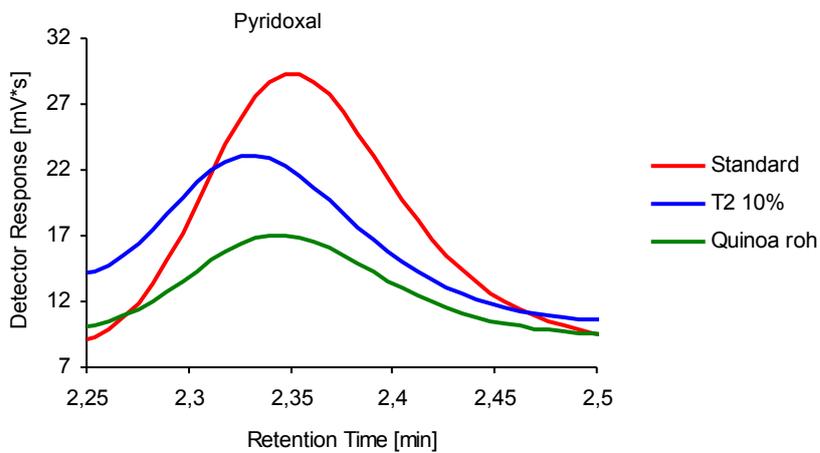


Abb. 43: Chromatogramm von Pyridoxal aus Quinoa (Erste Pyridoxal Extraktion aus roher Quinoa und Quinoa T2 10%)

Quinoa T2 10% nimmt ca. 5,6% der in der Vitamin-Lösung vorhandenen Pyridoxin-Menge auf und liefert die höchste Pyridoxin-Konzentration mit 292 ng/g Quinoa, welche das 117-fache der Quinoa Roh Konzentration darstellt.

Tab. 47: Pyridoxin-Konzentration der ersten Quinoa Extraktion

Quinoa	Einwaage [mg]	Peak-Area [mV*s]	Konzentration [ng/g]
T0 10%	30,96	3534,9	231
T0 1%	30,96	389,4	25,5
T0 0,1%	30,98	76,7	5,0
T1 10%	30,74	3293,8	217
T1 1%	30,69	370,5	24,4
T1 0,1%	30,85	56,3	3,7
T2 10%	30,77	4433,7	292
T2 1%	31,00	423	27,6
T2 0,1%	30,69	53,8	3,5
Roh	30,83	38,1	2,5
Vitamin- Mix	10,5	287,1	5220

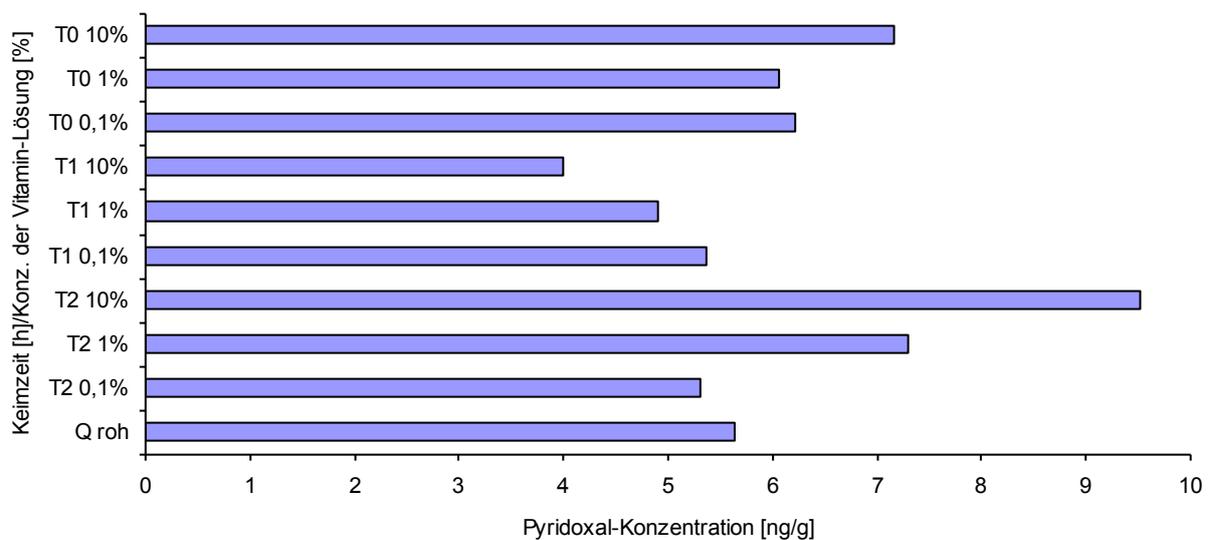


Abb. 44: Pyridoxin in Quinoa (Erste Quinoa Extraktion)

Quinoa T2 10% enthält ca. das 117-fache an Pyridoxin. (Vergleich: Quinoa Roh)

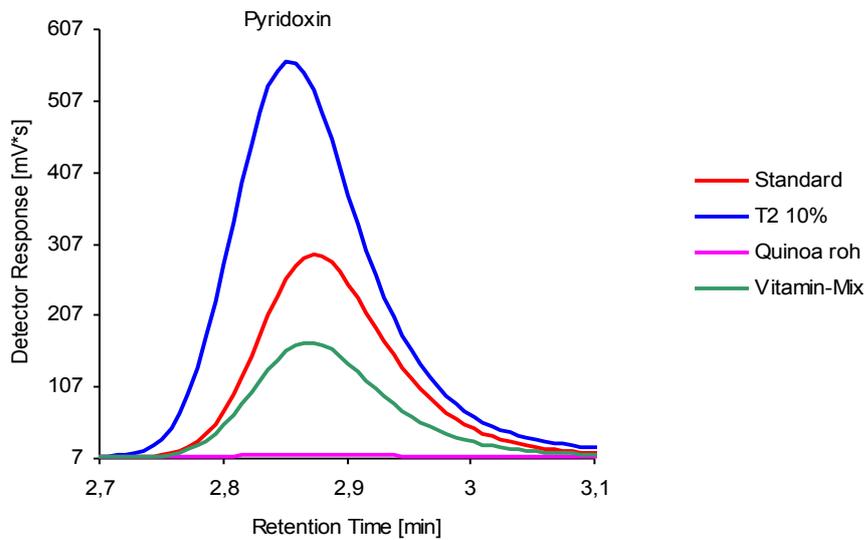


Abb. 45: Chromatogramm von Pyridoxin aus Quinoa (Erste Pyridoxin Extraktion aus roher Quinoa und Quinoa T2 10%)

Alle unbekanntes Peaks wurden nach den jeweiligen Retentionszeiten [min] benannt.

Folgende Peaks kommen in allen untersuchten Quinoaproben vor:

2,11 min

4,28 min

4,80 min

10,82 min

11,16 min

11,75 min

Dabei zeigten sie kein erkennbares Muster an Konzentrationszu-, oder -abnahme.

Die Peaks mit 7,2, 7,4 und 9,6 min sind lediglich bei Quinoa Roh vorhanden.

Tab. 48: Fläche der wichtigsten unbekanntesten Peaks bei der Analyse von Vitamin B₆ in den Quinoaproben (Erste Extraktion)

Quinoa	Retentionszeiten der unbekanntesten Peaks [min]						
	2,11	3,45	3,51	4,28	4,8	5,63	7,2
Peak-Areas der unbekanntesten Peaks [mV*s]							
T0 10%	69,5	113,3	74,8	922,8	43,5	-	-
T0 1%	74,6	13,1	38,2	996	35,6	17,8	-
T0 0,1%	71	29,7	-	1036,2	26,7	14,2	-
T1 10%	331,8	192,5	45,4	1489,4	51	22,1	-
T1 1%	372,5	25,1	14,8	1344,9	72,9	-	-
T1 0,1%	417,6	-	-	1350	78,4	-	-
T2 10%	300,4	103,3	-	416,5	17,6	-	-
T2 1%	268,4	37,3	-	307,9	17,9	-	-
T2 0,1%	284,4	6,6	-	306,7	15	-	-
Roh	31,4	-	22	143,0	6,3	-	17

Tab. 49: Fläche der wichtigsten unbekanntesten Peaks bei der Analyse von Vitamin B₆ in den Quinoaproben (Erste Extraktion)

Quinoa	Retentionszeiten der unbekanntesten Peaks [min]						
	7,4	8,19	8,63	9,6	10,82	11,16	11,75
Peak-Areas der unbekanntesten Peaks [mV*s]							
T0 10%	-	-	183,5	-	162,5	383,2	104,3
T0 1%	-	-	179,2	-	157,3	367,8	102,9
T0 0,1%	-	-	210,1	-	166,1	102,3	99,0
T1 10%	-	-	-	-	76,7	731,9	92,4
T1 1%	-	-	-	-	94,2	778,5	125,87
T1 0,1%	-	-	-	-	97,5	850,3	120,1
T2 10%	-	-	-	-	98,6	892,7	89,7
T2 1%	-	-	2,80	-	115	921,2	204,7
T2 0,1%	-	11,17	-	-	97,5	965,4	120,3
Roh	39,30	-	386,7	23,60	218,3	312,2	108,3

Alle drei Quinoaproben von T0 zeigen ungefähr die gleichen Werte bei den unbekanntesten Peak-Flächen.

Bei T1 nimmt die Fläche mit abnehmender Konzentration der Vitamin-Lösung zu. Die Maximal-Fläche bei T2 zeigt sich bei der 10%igen Probe.

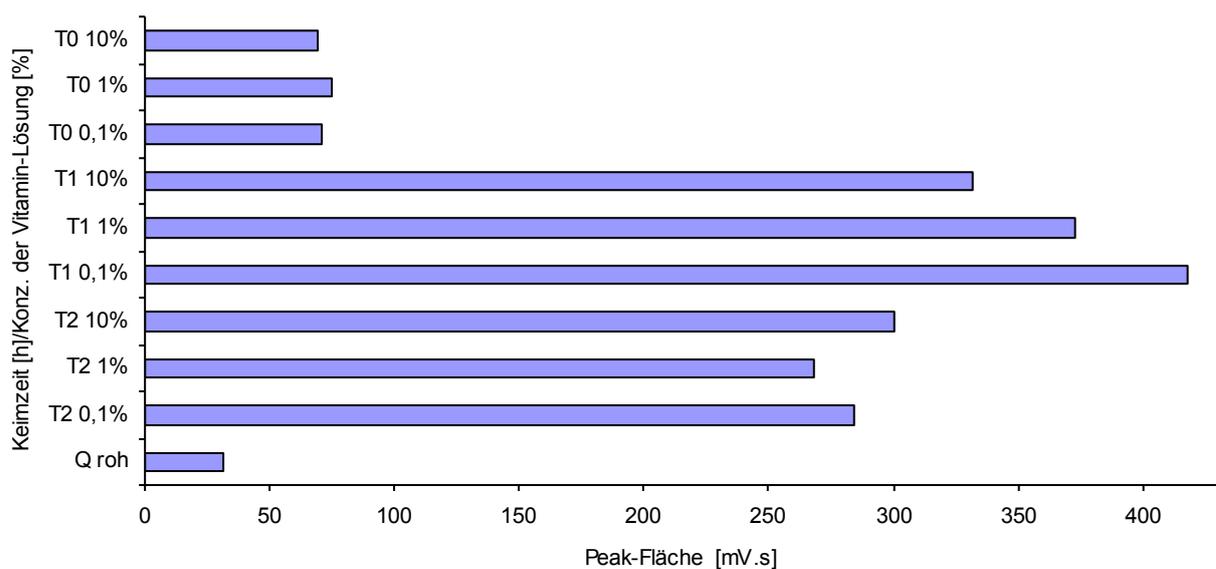


Abb. 46: Peak 2,11 min

Dieser Peak ist in T1 0,1% und in der Quinoa Roh nicht vorhanden. Die 10%igen Proben weisen die höchsten Areas auf.

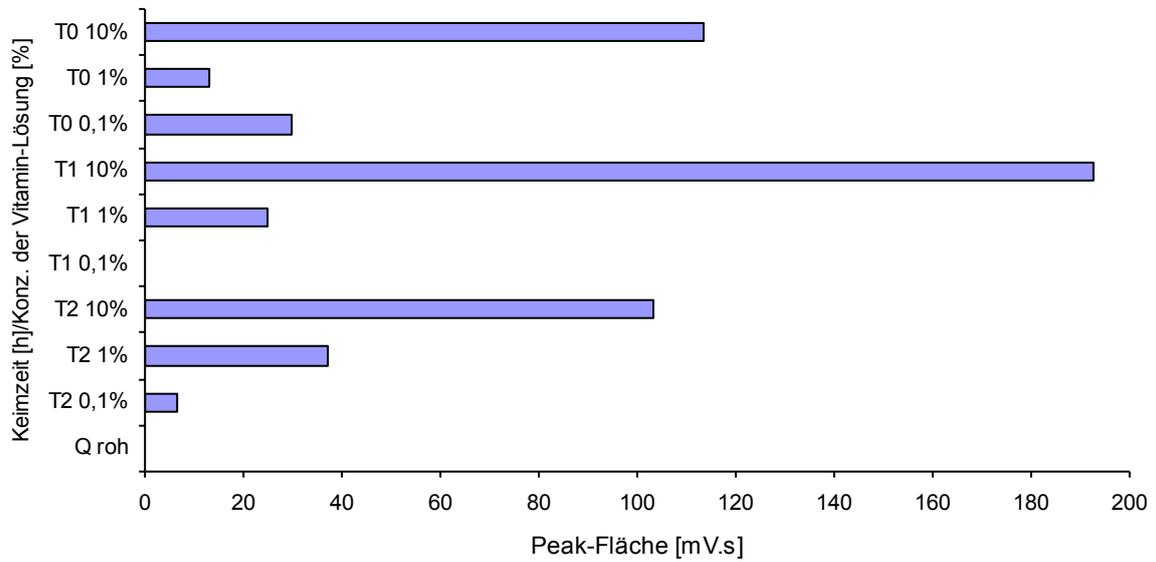


Abb.47 : Peak 3,45 min

Obwohl Quinoa Roh diesen Peak enthält, zeigen ihn nicht alle vitaminisierten Proben.

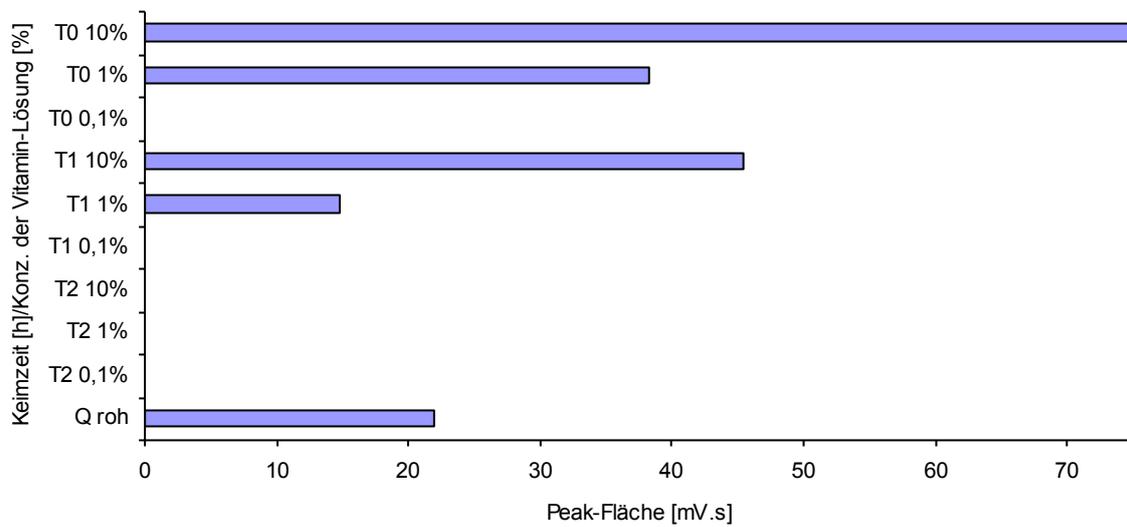


Abb. 48: Peak 3,51 min

Dieser Peak kommt in allen Proben vor. Die Peak-Flächen sind bei T1 10% am höchsten.

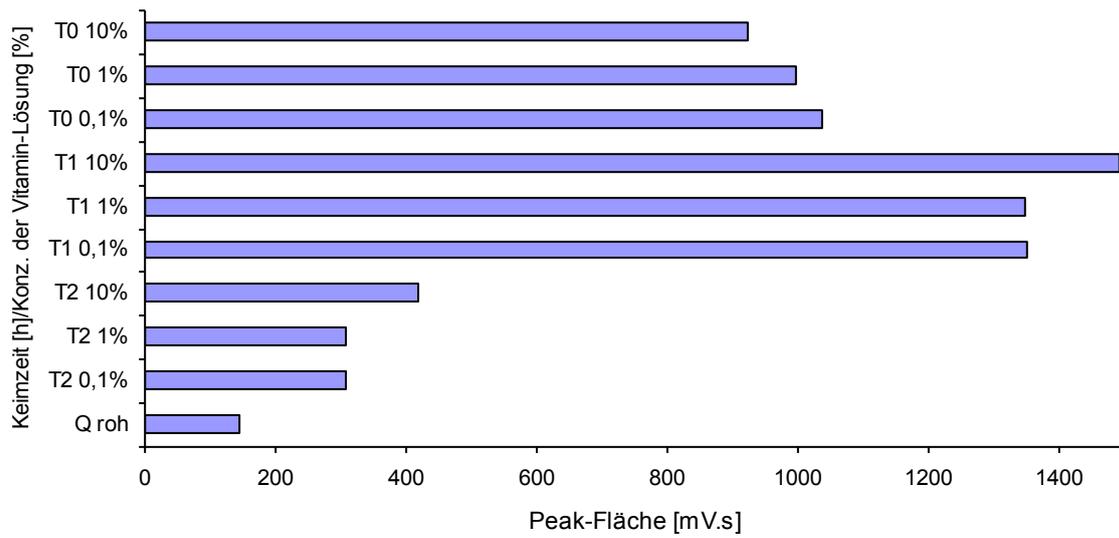


Abb. 49: Peak 4,28 min

Auch dieser Peak ist in allen Proben nachweisbar. Die Maximal-Flächen sind bei T1 ersichtlich.

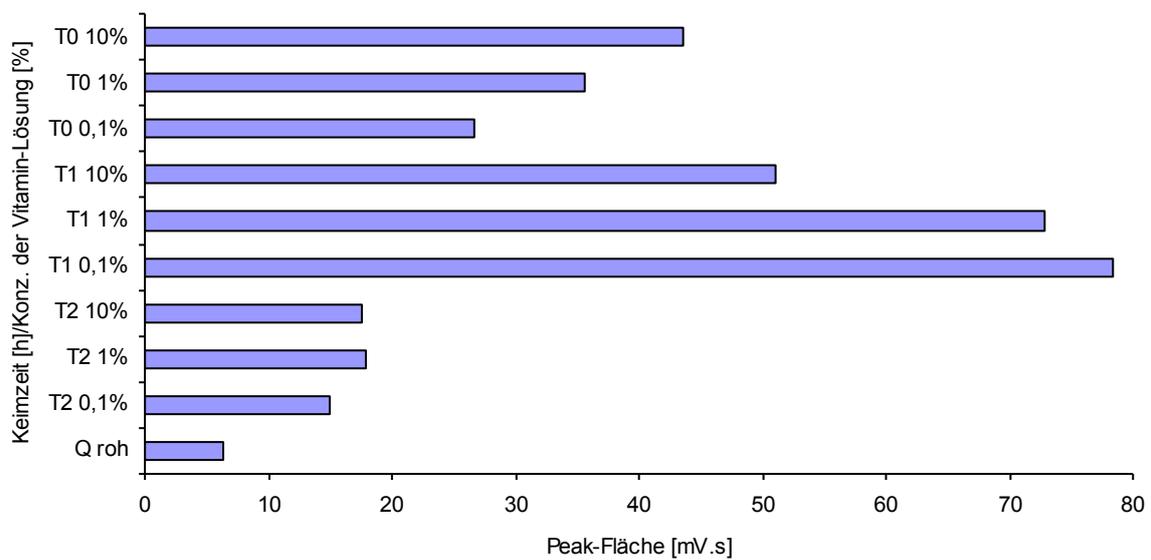


Abb. 50: Peak 4,8 min

Lediglich 3 der 10 analysierten Proben zeigen diesen Peak.

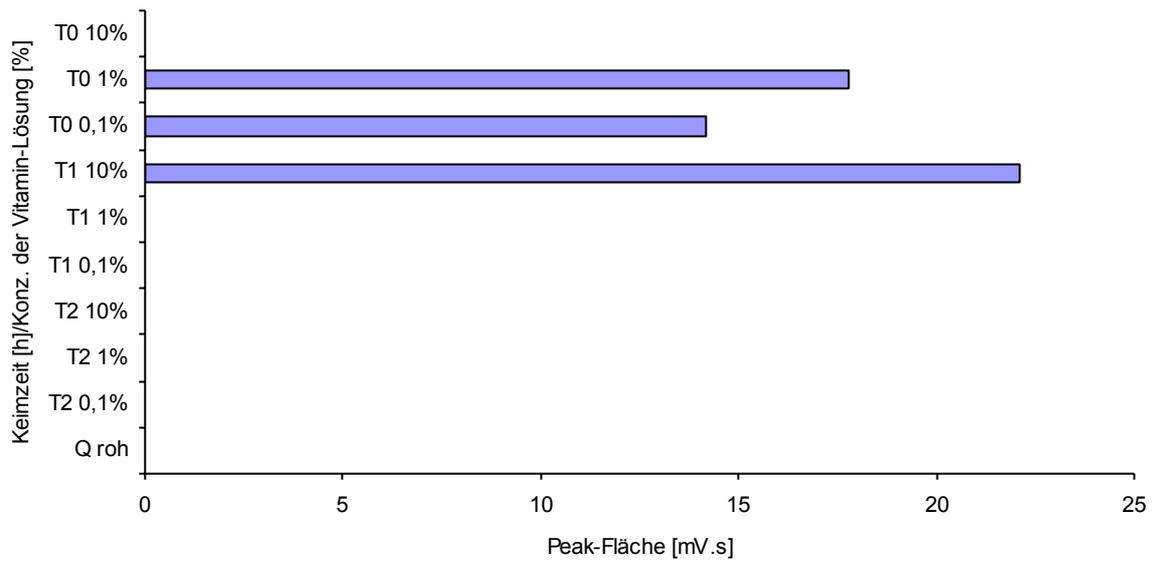


Abb. 51: Peak 5,63 min

Quinoa Roh zeigt die höchste Peak-Fläche.

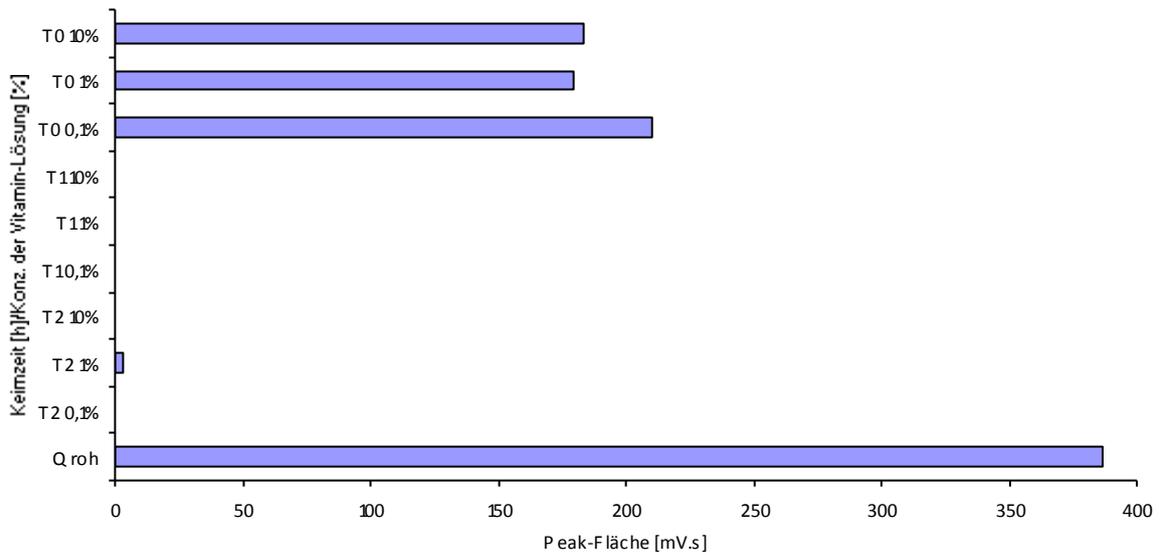


Abb. 52: Peak 8,63 min

Auch hier beinhaltet die rohe Quinoa die maximale Konzentration des unbekanntes Peaks.

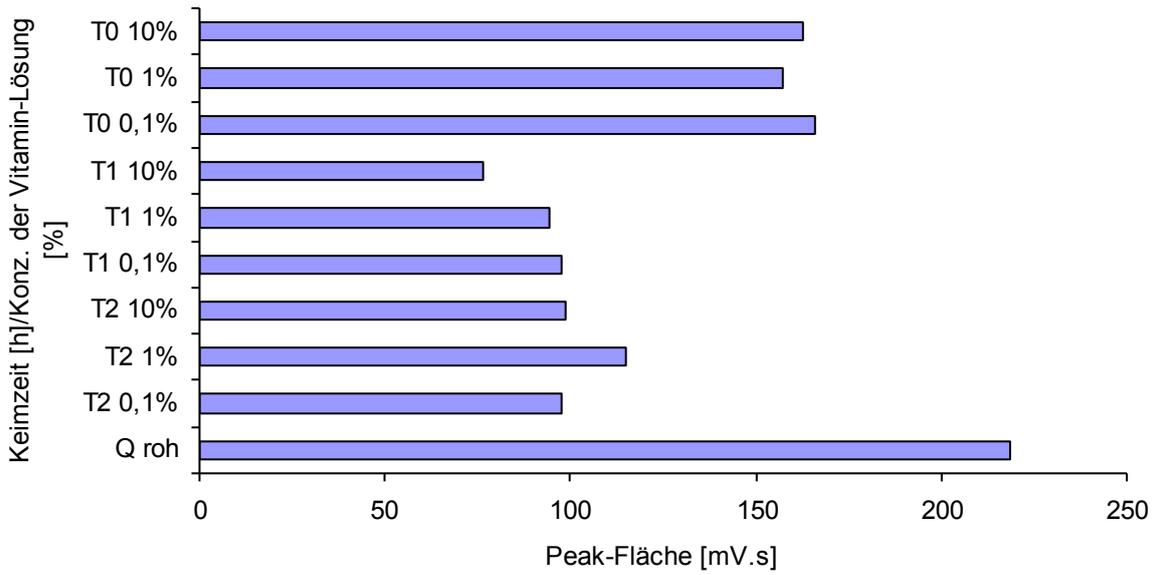


Abb. 53: Peak 10,82 min

Die Konzentration des Peaks nimmt von T1 zu T2 zu.

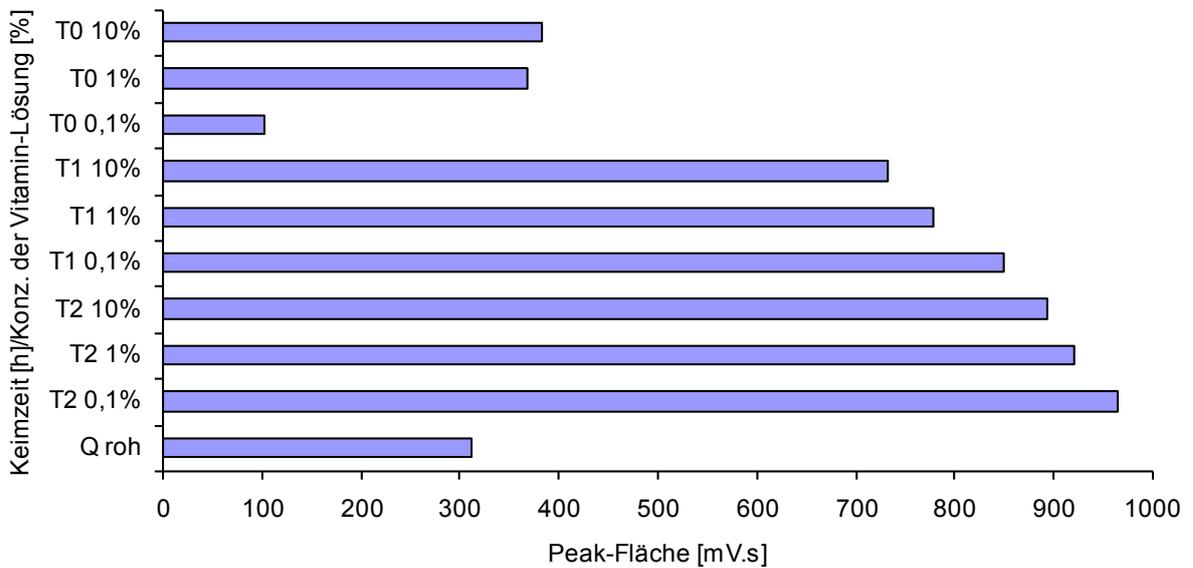


Abb. 54: Peak 11,16 min

T0 Peaks bewegen sich ungefähr im selben Bereich und sind kleiner als in Quinoa Roh.
Die Probe T2 1% zeigt die größte Peak-Area.

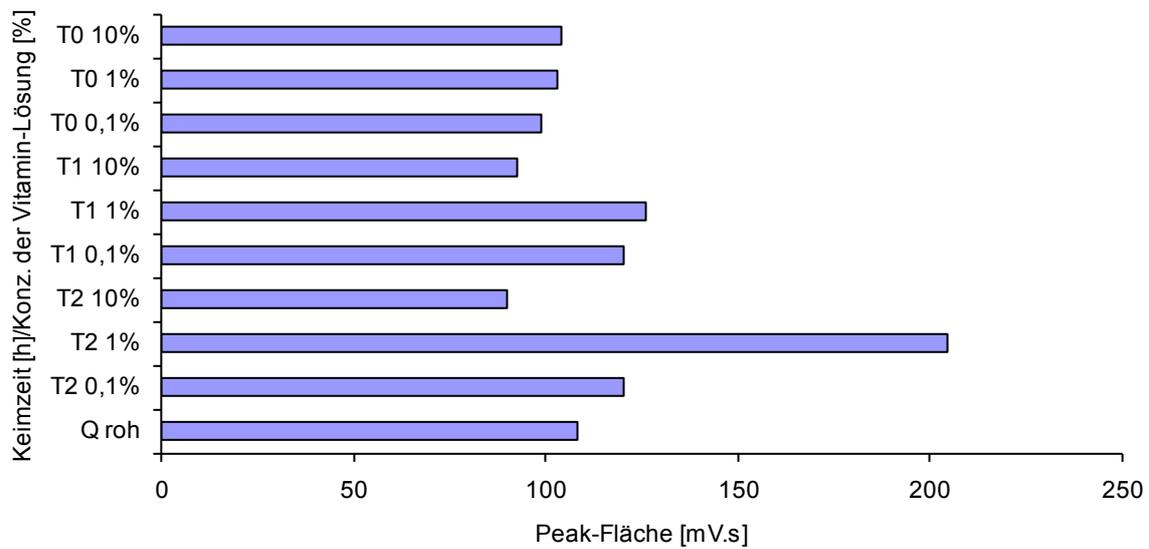


Abb. 55: Peak 11,75 min

6.5.2 Zweite Quinoa Extraktion

Tab. 50: Pyridoxamin-Konzentration der zweiten Quinoa Extraktion

Quinoa	Einwaage [mg]	Peak-Area [mV*s]	Konzentration [ng/g]
T0 10%	30,9	40,8	2,6
T0 1%	30,9	31,8	2,0
T0 0,1%	30,9	34,8	2,2
T1 10%	30,9	65,5	4,1
T1 1%	30,9	41,5	2,6
T1 0,1%	30,9	36,9	2,3
T2 10%	30,9	82,1	5,2
T2 1%	30,9	43,6	2,7
T2 0,1%	30,93	36,5	2,3
Roh	30,9	50,6	3,2

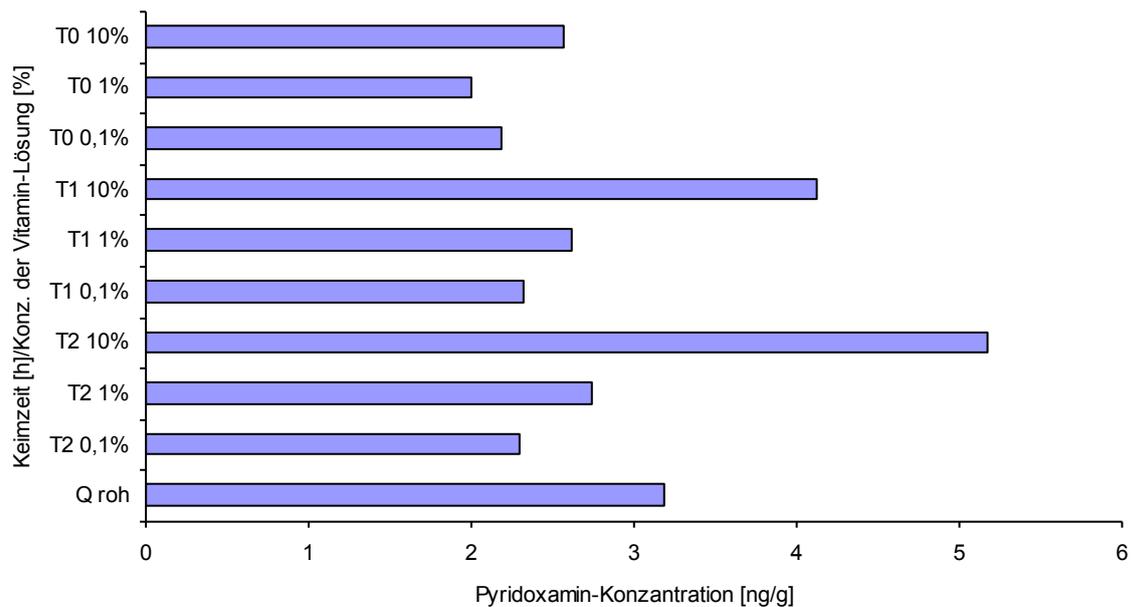


Abb. 56: Pyridoxamin in Quinoa (Zweite Quinoa Extraktion)

Tab. 51: Pyridoxal-Konzentration der zweiten Quinoa Extraktion

Quinoa	Einwaage [mg]	Peak-Area [mV*s]	Konzentration [ng/g]
T0 10%	30,9	86,5	7,5
T0 1%	30,9	63,3	5,5
T0 0,1%	30,9	63,8	5,5
T1 10%	30,9	45,3	3,9
T1 1%	30,9	63,6	5,5
T1 0,1%	30,9	56,9	4,9
T2 10%	30,9	106,4	9,2
T2 1%	30,9	78,3	6,7
T2 0,1%	30,93	65,3	5,6
Roh	30,9	61,1	5,3

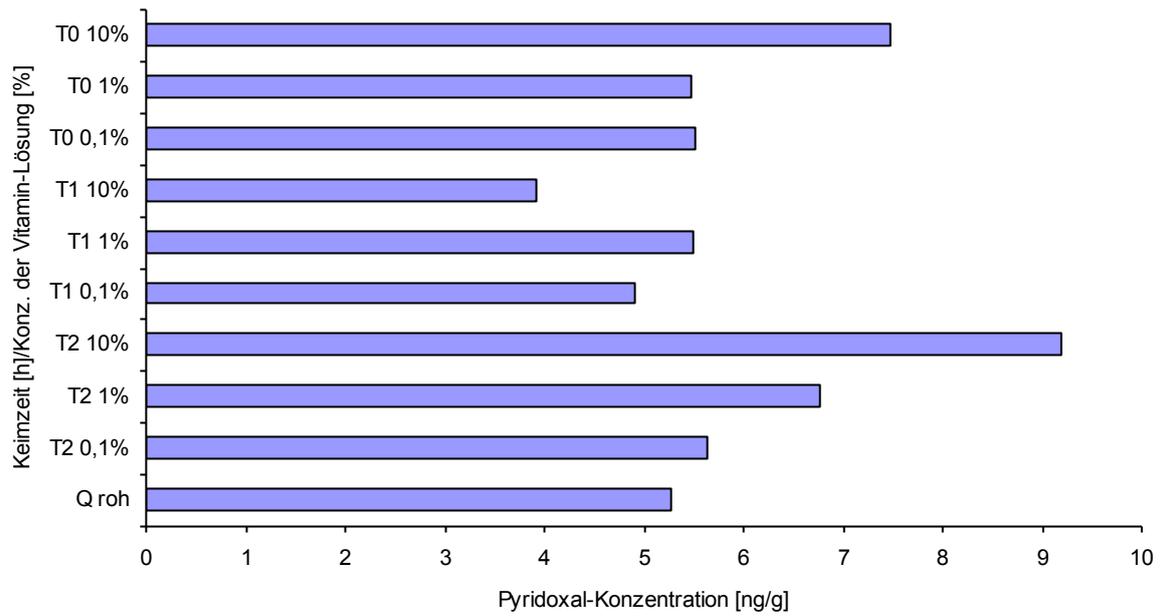


Abb. 57: Pyridoxal in Quinoa (Zweite Quinoa Extraktion)

Tab. 52: Pyridoxin-Konzentration der zweiten Quinoa Extraktion

Quinoa	Einwaage [mg]	Peak-Area [mV*s]	Konzentration [ng/g]
T0 10%	30,9	3717	244
T0 1%	30,9	391,6	25,7
T0 0,1%	30,9	57,9	3,80
T1 10%	30,9	3422	224
T1 1%	30,9	385,1	25,2
T1 0,1%	30,9	59,8	3,90
T2 10%	30,9	4167,4	273
T2 1%	30,9	392,1	25,7
T2 0,1%	30,93	60,4	4,00
Roh	30,9	30,4	2,00
Vit-Mix	10,5	542,1	9857

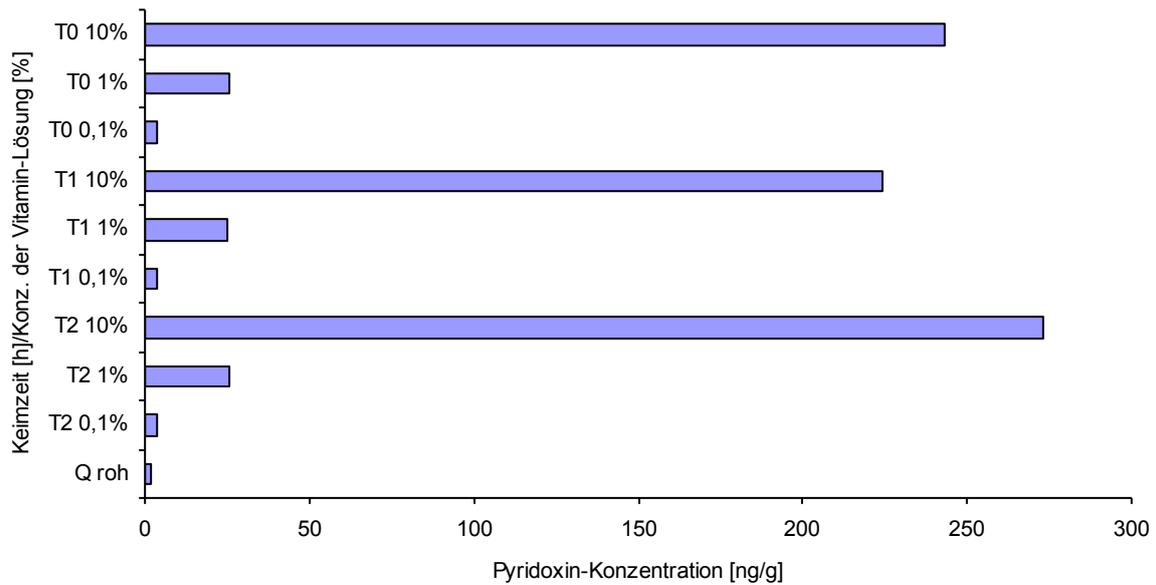


Abb. 58: Pyridoxin in Quinoa (Zweite Quinoa Extraktion)

Tab. 53: Fläche der wichtigsten unbekannt Peaks bei der Analyse von Vitamin B₆ in den Quinoaproben (zweite Extraktion).

Quinoa	Retentionszeiten der unbekannt Peaks [min]					
	2,14	3,32	3,51	4,33	4,84	8,19
	74,5	107,6	79,2	956,5	42,6	-
T0 10%	71	15,3	34,6	948,9	31,3	-
T0 1%	74	-	23,4	1059,7	28,4	-
T0 0,1%	331,2	193,6	51,5	1551	46,6	-
T1 10%	379,3	20,5	17,5	136,6	62,4	-
T1 1%	403,2	6,1	7	1321,6	65,5	-
T1 0,1%	266	68	33,1	422,7	15,9	-
T2 10%	260,8	33,3	4,3	290,7	16,9	8,7
T2 1%	290	26	10,2	318,1	15,7	-
T2 0,1%	29,4	3,4	20,9	135,9	6,6	-
Roh						

Tab. 54: Fläche der wichtigsten unbekanntesten Peaks bei der Analyse von Vitamin B₆ in den Quinoa Proben (zweite Extraktion)

Quinoa	Retentionszeiten der unbekanntesten Peaks [min]				
	8,6	8,93	10,79	11,12	11,76
	Peak-Areas der unbekanntesten Peaks [mV*s]				
T0 10%	200,2	-	175,3	403,3	78,8
T0 1%	180,8	-	159,6	351,8	79,8
T0 0,1%	194,6	-	166,6	388,8	66,9
T1 10%	9,1	-	85,6	780	72,5
T1 1%	14,9	-	104,3	842,4	104,4
T1 0,1%	10,7	-	97,4	434,3	80,6
T2 10%	56	-	101,8	895,4	72,2
T2 1%	-	74,6	109	888,4	148,8
T2 0,1%	-	51,5	101	992,6	84,8
Roh	392,2	-	208,7	529,9	68,6

Standard: Pyridoxamin, Pyridoxal, Pyridoxin (von links nach rechts). Durch die drei Standards wurden Pyridoxamin, Pyridoxal und Pyridoxin in der Probe identifiziert. Zusätzlich sind einige nicht identifizierte Peaks ersichtlich, welche unterschiedliche Konzentrationen in der vitaminisierten Probe und in roher Quinoa aufweisen. Die genauen Beschreibungen der unbekanntesten Peaks sind aus den Tabellen 53 und 54 zu entnehmen.

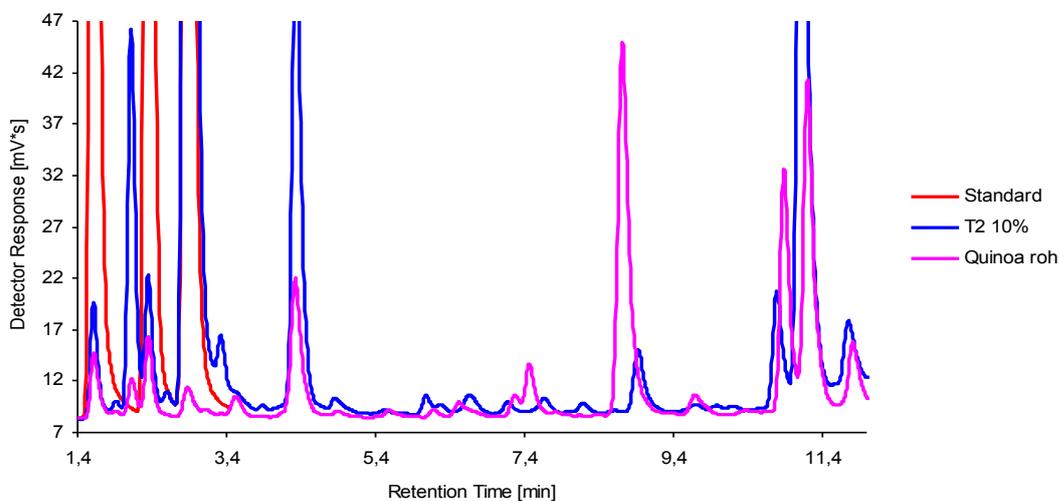


Abb. 59: Chromatogramm des zweiten Quinoa Extraktes (T2 10%)

6.5.3 Dritte Quinoa Extraktion

Tab. 55: Pyridoxamin-Konzentration der dritten Quinoa Extraktion

Quinoa	Einwaage [mg]	Peak-Area [mV*s]	Konzentration [ng/g]
T0 10%	31,01	38,8	2,4
T0 1%	30,58	35,4	2,3
T0 0,1%	30,9	33,1	2,1
T1 10%	30,64	66	4,2
T1 1%	29,85	38,8	2,5
T1 0,1%	30	38	2,5
T2 10%	30,98	97,4	6,1
T2 1%	31,21	46,2	2,9
T2 0,1%	30,46	33,9	2,1
Roh	30,94	51,4	3,2

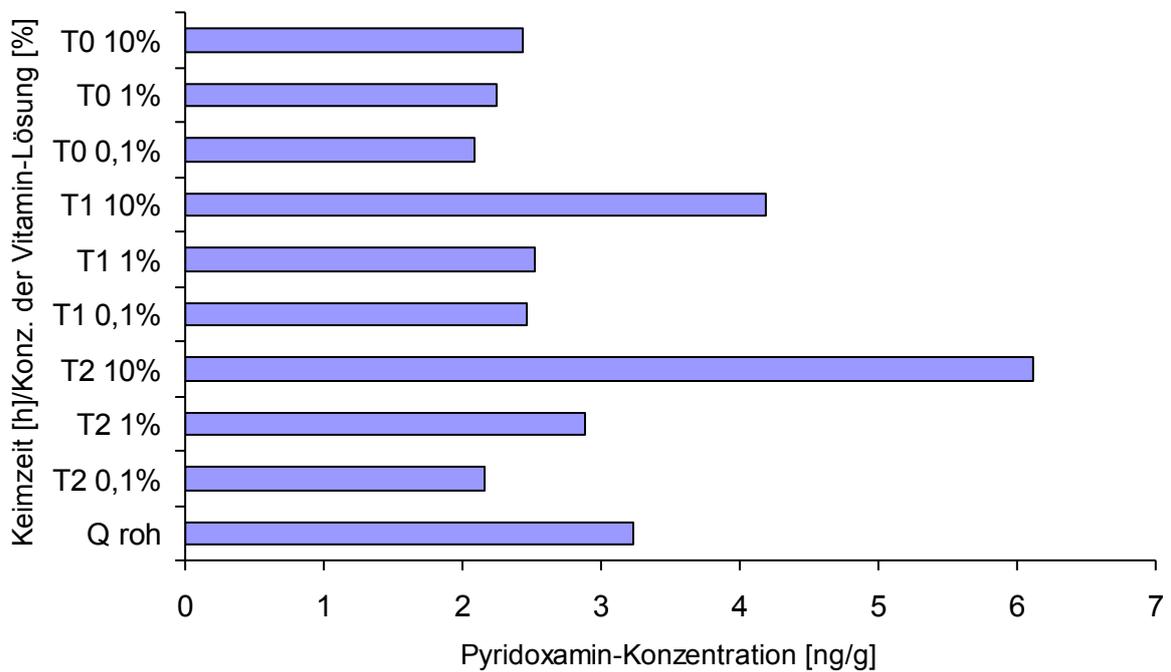


Abb. 60: Pyridoxamin in Quinoa (Dritte Quinoa Extraktion)

Tab. 56: Pyridoxal-Konzentration der dritten Quinoa Extraktion

Quinoa	Einwaage [mg]	Peak-Area [mV*s]	Konzentration [ng/g]
T0 10%	31,01	87,1	7,5
T0 1%	30,58	69,2	6,0
T0 0,1%	30,9	67,4	5,8
T1 10%	30,64	44,2	3,9
T1 1%	29,85	57,4	5,1
T1 0,1%	30	56,6	5,0
T2 10%	30,98	103,1	8,9
T2 1%	31,21	81,2	6,7
T2 0,1%	30,46	59,8	5,2
Roh	30,94	56,6	4,9

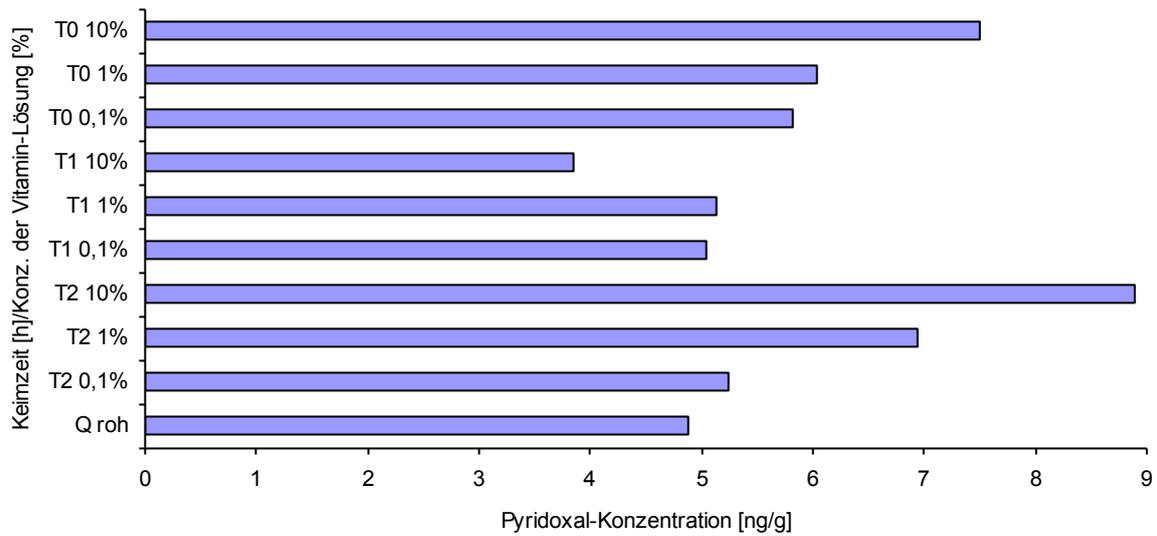


Abb. 61: Pyridoxal in Quinoa (Dritte Quinoa Extraktion)

Tab. 57: Pyridoxin-Konzentration der dritten Quinoa Extraktion

Quinoa	Einwaage [mg]	Peak-Area [mV*s]	Konzentration [ng/g]
T0 10%	31,01	3759,1	245
T0 1%	30,58	403,1	26,7
T0 0,1%	30,9	69,5	4,6
T1 10%	30,64	3380,8	223
T1 1%	29,85	367	24,9
T1 0,1%	30	59,6	4,0
T2 10%	30,98	4364,7	285
T2 1%	31,21	391,4	25,4
T2 0,1%	30,46	52,3	3,5
Roh	30,94	27,9	1,8
Vit-Mix	31,01	528,7	9614

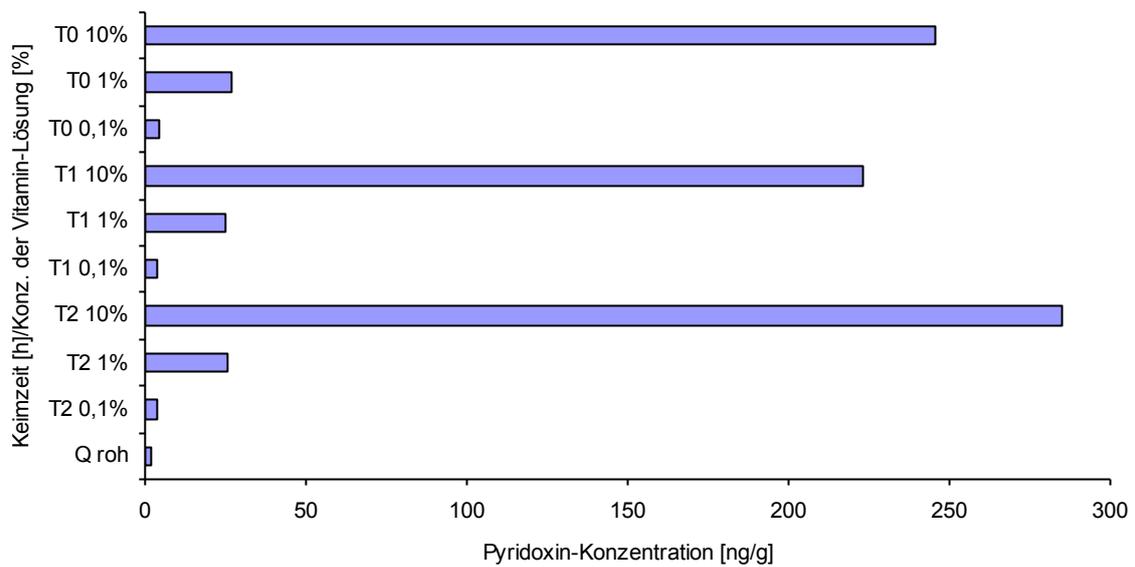


Abb. 62: Pyridoxin in Quinoa (Dritte Quinoa Extraktion)

Tab. 58: Peak-Flächen der wichtigsten unbekanntesten Peaks bei der Analyse von Vitamin B₆ in den Quinoaproben (Dritte Extraktion)

Quinoa	Retentionszeiten der unbekanntesten Peaks [min]					
	2,15	3,34	3,54	4,37	4,9	7,3
Peak-Area der unbekanntesten Peaks [mV*s]						
T0 10%	68	92,1	82,6	959,5	35,1	-
T0 1%	74,8	12,2	40,2	1031,4	25,7	-
T0 0,1%	67,7	-	29,4	1056	18,7	-
T1 10%	332,7	184,4	47,5	1554,1	36,3	-
T1 1%	361,8	23,2	13,2	1383	59,6	-
T1 0,1%	410,6	7,10	5,80	1375,9	58,6	-
T2 10%	276,2	68,4	-	439,3	-	-
T2 1%	269,5	36,0	-	342,3	19,1	-
T2 0,1%	288,5	21,1	-	329	13,31	-
Roh	32,5	-	18,4	153,1	12,3	17,4

Tab. 59: Peak-Flächen der wichtigsten unbekanntesten Peaks bei der Analyse von Vitamin B₆ in den Quinoaproben (Dritte Extraktion)

Quinoa	Retentionszeiten der unbekanntesten Peaks [min]						
	7,5	8,74	9	9,7	10,9	11,22	11,8
Peak-Area der unbekanntesten Peaks [mV*s]							
T0 10%	-	214,7	-	-	174	412,5	90,1
T0 1%	-	198,4	20,2	-	167,5	394,5	84,8
T0 0,1%	-	193,5	18,2	-	171,8	414	79,3
T1 10%	-	-	-	-	84,5	781,3	86,6
T1 1%	-	-	-	-	102,6	824,6	113
T1 0,1%	-	-	-	-	99,5	858,6	108
T2 10%	-	-	-	-	105,7	941,1	85,1
T2 1%	-	-	80,9	-	117	947,9	174
T2 0,1%	-	-	47,8	-	103,5	995,6	91,8
Roh	29,4	391,4	-	20,5	210,1	335,6	72,6

6.5.4 Vergleich der drei Quinoa Extraktionen

Der Mittelwert der extrahierten Pyridoxamin-Konzentration von Quinoa T2 10% beträgt $7,0 \pm 2,4$ ng/g.

Rel. SD.: 35%.

Tab. 60: Bestimmung von Pyridoxamin in Quinoa T2 10%

Probe	Einwaage	Peak-Area	Konzentration
	[mg]	[mV*s]	[ng/g]
1. Extraktion	30,77	155	9,8
2. Extraktion	30,90	82,1	5,2
3. Extraktion	30,98	97,4	6,1
Mittelwert	30,88	111,5	7,0
SD [ng/g]	0,1	-	2,4
Rel. SD [%]	0,3	-	35

Der Mittelwert der extrahierten Pyridoxal-Konzentration von Quinoa T2 10% beträgt $9,2 \pm 0,3$ ng/g.

Rel. SD.: 3,3%.

Tab. 61: Bestimmung von Pyridoxal in Quinoa T2 10%

Probe	Einwaage	Peak-Area	Konzentration
	[mg]	[mV*s]	[ng/g]
1. Extraktion	30,77	109,7	9,5
2. Extraktion	30,90	106,4	9,2
3. Extraktion	30,98	103,1	8,9
Mittelwert	30,88	106,4	9,2
SD [ng/g]	0,1	-	0,3
Rel. SD [%]	0,3	-	3,3

Der Mittelwert der extrahierten Pyridoxin-Konzentration von Quinoa T2 10% beträgt $283 \pm 9,4$ ng/g.
 Rel. SD.: 3,3%.

Tab. 62: Bestimmung von Pyridoxin in Quinoa T2 10%

Probe	Einwaage [mg]	Peak-Area [mV*s]	Konzentration [ng/g]
1. Extraktion	30,77	4433,7	292
2. Extraktion	30,90	4167,4	273
3. Extraktion	30,98	4364,7	285
Mittelwert	30,88	4321,9	283
SD [ng/g]	0,1	-	9,4
Rel. SD [%]	0,3	-	3,3

Tab. 63: Mittelwerte der Dreifachbestimmung von Pyridoxamin, Pyridoxal und Pyridoxin in Quinoa T2 10%

Probe	Konzentration [ng/g]
Pyridoxamin	$7,0 \pm 2,4$
Pyridoxal	$9,2 \pm 0,3$
Pyridoxin	$283 \pm 9,4$

6.5.5 Vergleich der drei Quinoa Roh Extraktionen

Der Mittelwert der extrahierten Pyridoxamin-Konzentration von Quinoa Roh beträgt

$3,4 \pm 0,3$ ng/g.

Rel. SD.: 9,1%.

Tab. 64: Pyridoxamin-Konzentration der drei Quinoa Roh Extraktionen

Probe	Einwaage	Konzentration
	[mg]	[ng/g]
1. Extraktion	30,83	3,7
2. Extraktion	30,60	3,2
3. Extraktion	30,94	3,2
Mittelwert	30,79	3,4
SD [ng/g]	-	0,3
Rel. SD [%]	-	9,1

Der Mittelwert der extrahierten Pyridoxal-Konzentration von Quinoa Roh beträgt

$5,3 \pm 0,4$ ng/g.

Rel. SD.: 7,3%.

Tab. 65: Pyridoxal-Konzentration der drei Quinoa Roh Extraktionen

Probe	Einwaage	Konzentration
	[mg]	[ng/g]
1. Extraktion	30,83	5,7
2. Extraktion	30,60	5,3
3. Extraktion	30,94	4,9
Mittelwert	30,79	5,3
SD [ng/g]	-	0,4
Rel. SD [%]	-	7,3

Der Mittelwert der extrahierten Pyridoxin-Konzentration von Quinoa Roh beträgt $2,1 \pm 0,4$ ng/g.
 Rel. SD.: 17%.

Tab. 66: Pyridoxin-Konzentration der drei Quinoa Roh Extraktionen

Probe	Einwaage [mg]	Konzentration [ng/g]
1. Extraktion	30,83	2,5
2. Extraktion	30,60	2,0
3. Extraktion	30,94	1,8
Mittelwert	30,79	2,1
SD [ng/g]	-	0,4
Rel. SD [%]	-	17

Von den drei B₆ Vitaminen ist die Pyridoxal-Konzentration in der rohen Quinoa am höchsten. Diese Ergebnisse stellen erneut den Beweis für die Pyridoxin Aufnahme aus der Vitamin-Lösung dar. Denn in Quinoa T2 10% liegt das Maximum der drei B₆ Vitamine bei Pyridoxin.

Tab. 67: Konzentrationen von Pyridoxamin, Pyridoxal und Pyridoxin in Quinoa Roh bei einer Einfachbestimmung und die Bestimmung der Wiederholbarkeit (n = 3).

Probe	1. Extraktion [ng/g]	Dreifachbestimmung [ng/g]
Pyridoxamin	3,7	$3,4 \pm 0,3$
Pyridoxal	5,7	$5,3 \pm 0,4$
Pyridoxin	2,5	$2,1 \pm 0,4$

6.5.6 Weizen Extraktion

Die Bestimmungen von Weizen und Buchweizen wurden einmalig durchgeführt.

Im Gegensatz zur Quinoa weist nicht T2 10% die höchste Pyridoxamin-Konzentration auf, sondern T2 1%.

Tab. 68: Pyridoxamin-Konzentration der Weizen Extraktion

Weizen	Einwaage [mg]	Peak-Area [mV*s]	Konzentration [ng/g]
T0 10%	50,42	30,9	1,2
T0 1%	51,08	27,1	1,0
T0 0,1%	51,10	23,3	0,9
T1 10%	50,67	39,3	1,5
T1 1%	51,43	38,8	1,5
T1 0,1%	51,57	40,8	1,5
T2 10%	50,93	47,8	1,8
T2 1%	50,78	55,3	2,1
T2 0,1%	51,20	49,8	1,9

T2 1% zeigt die höchste Pyridoxamin-Konzentration mit 2,1 ng/g.

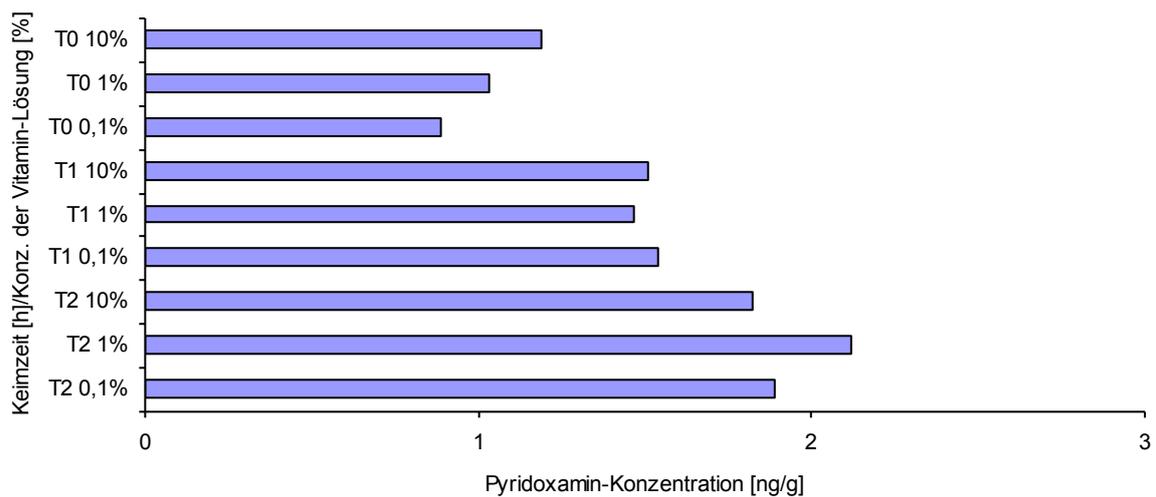


Abb. 63: Pyridoxamin in Weizen (Weizen Extraktion)

Die höchste Konzentration an Pyridoxal wurde bei Weizen T0 10% und T1 10% gefunden.

Tab. 69: Pyridoxal-Konzentration der Weizen Extraktion

Weizen	Einwaage [mg]	Peak-Area [mV*s]	Konzentration [ng/g]
T0 10%	50,42	127,8	6,8
T0 1%	51,08	24,6	1,3
T0 0,1%	51,10	10,4	0,5
T1 10%	50,67	128,5	6,8
T1 1%	51,43	24	1,3
T1 0,1%	51,57	17,1	0,9
T2 10%	50,93	47,8	2,5
T2 1%	50,78	18,9	1
T2 0,1%	51,20	13	0,7

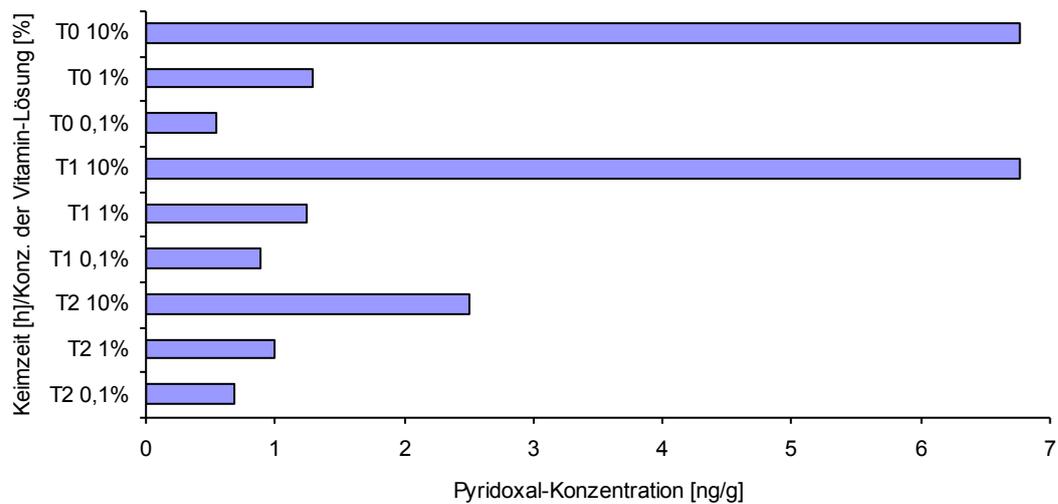


Abb. 64: Pyridoxal in Weizen (Weizen Extraktion)

Aufgrund der Pyridoxinaufnahme aus der Vitamin-Lösung steigt die Pyridoxin-Konzentration auf ein Maximum von 105 ng/g.

Tab. 70: Pyridoxin-Konzentration der Weizen Extraktion

Weizen	Einwaage [mg]	Peak-Area [mV*s]	Konzentration [ng/g]
T0 10%	50,42	2393,2	96
T0 1%	51,08	259,6	10
T0 0,1%	51,10	53,8	2,1
T1 10%	50,67	2453,5	98
T1 1%	51,43	136,1	5,4
T1 0,1%	51,57	60,3	2,4
T2 10%	50,93	2643,7	105
T2 1%	50,78	141,2	5,6
T2 0,1%	51,20	43	1,7
Vit-Mix	10,5	548,7	9978

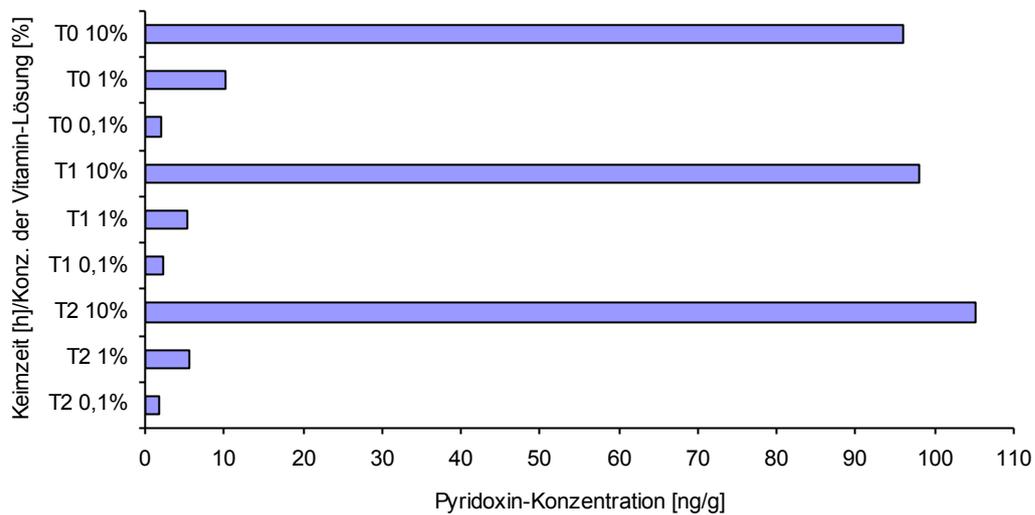


Abb. 65: Pyridoxin in Weizen (Weizen Extraktion)

Auch bei Weizen kristallisiert sich kein Konzentrationsmuster der unbekannt Peaks heraus. Bis auf den Peak 2,6 min sind die unbekannt Peaks in allen Proben nachweisbar.

Tab. 71: Peak-Flächen der wichtigsten unbekannt Peaks bei der Analyse von Vitamin B₆ in den Weizenproben

Weizen	Retentionszeiten der unbekannt Peaks [min]							
	2,15	2,6	3,37	3,6	4,4	5,1	8,2	11,28
Peak-Area der unbekannt Peaks [mV*s]								
T0 10%	23,7	39,4	48,3	78,8	99,7	11,5	89,6	1230,8
T0 1%	24,5	11,5	20,6	69,5	89,4	11,8	126,2	1254
T0 0,1%	22,5	8,4	13,9	47,7	82	9,8	105,2	1136,3
T1 10%	45,4	41,5	121,1	240,1	148,7	15,5	54	1569,3
T1 1%	13,3	11,1	78,8	177,7	49,4	15,9	103,6	1434,3
T1 0,1%	17	9,6	36,6	91,4	68	11,3	86,8	1864,3
T2 10%	55,8	20,8	125,8	196,2	178	32,9	16,9	1483,2
T2 1%	16,8	9,8	85,3	207,4	74,9	19,2	81,1	1639,6
T2 0,1%	17,4	-	31,1	109,8	115,9	13	71,5	1671,3

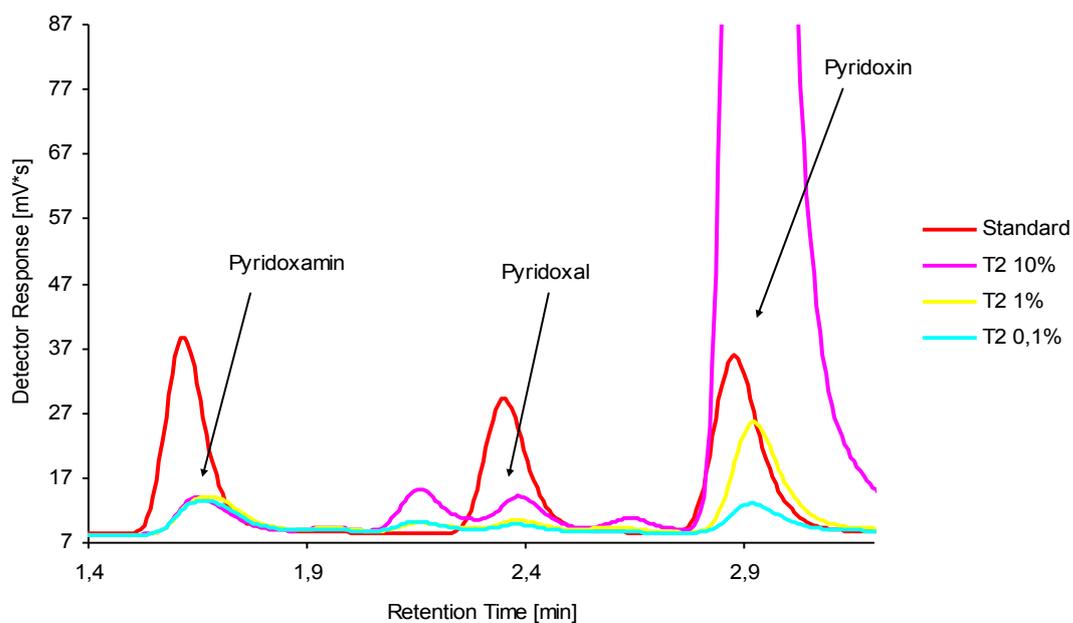


Abb. 66: Bestimmung von Vitamin B₆ in Weizen

Auch hier kommen viele unbekannte Peaks vor. Da kein roher Weizen zur Verfügung stand, kann kein Vergleich zwischen der vitaminisierten und der rohen Probe erstellt werden.

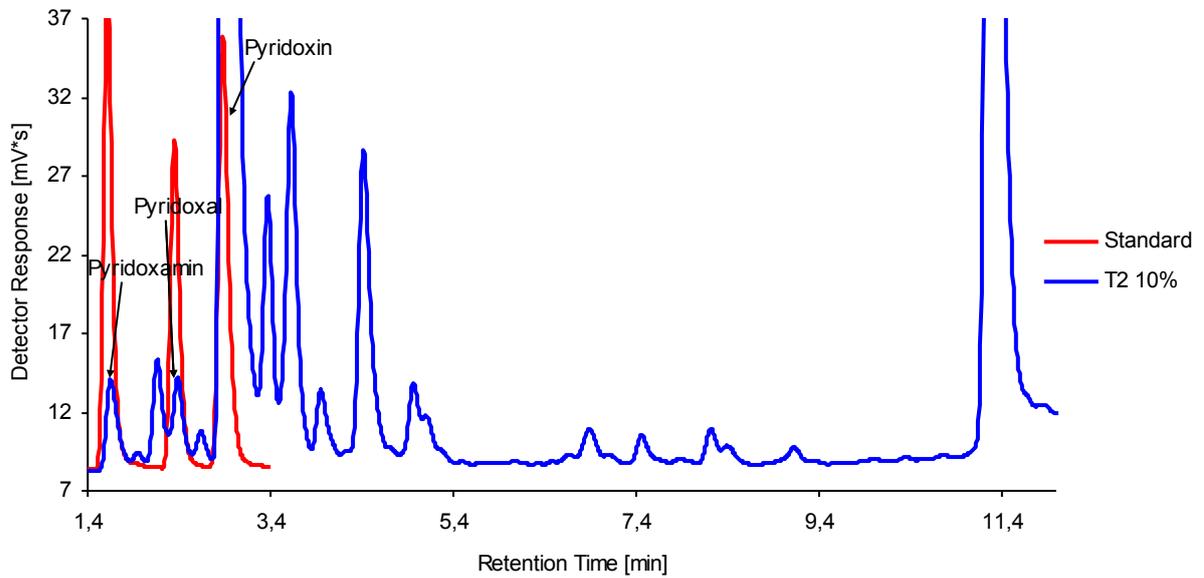


Abb. 67: Chromatogramm der Vitamin B₆-Bestimmung in Weizen

6.5.7 Buchweizen Extraktion

Tab. 72: Pyridoxamin-Konzentration der Buchweizen Extraktion

Buchweizen	Einwaage [mg]	Peak-Area [mV*s]	Konzentration [ng/g]
T0 10%	50,67	32,3	1,2
T0 1%	50,52	25,3	1,0
T0 0,1%	51,12	24,2	0,9
T1 10%	51,13	61,3	2,3
T1 1%	51,25	48,9	1,9
T1 0,1%	51,24	42,0	1,6

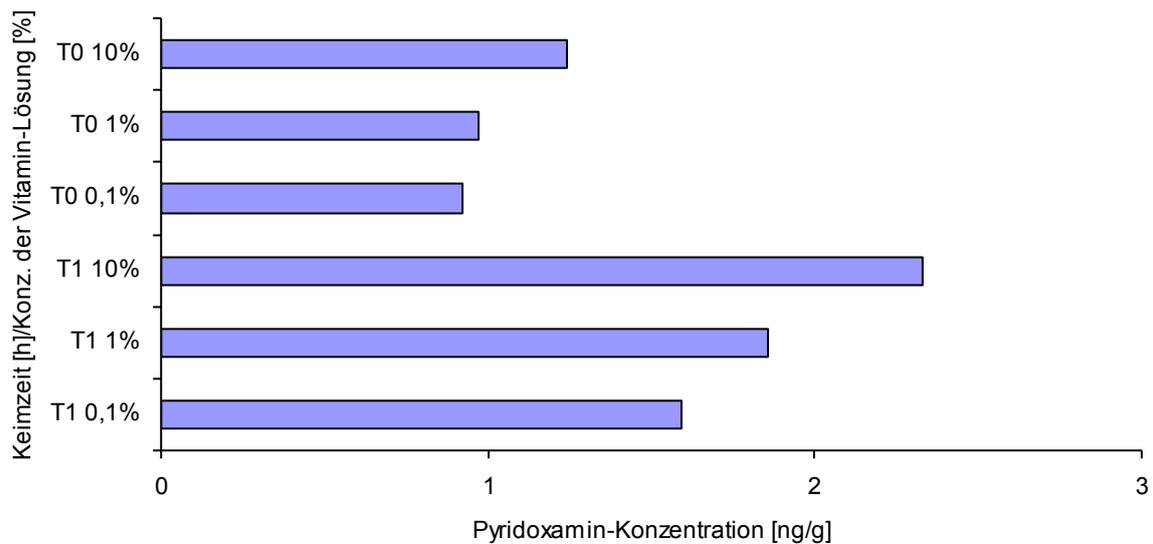


Abb. 68: Pyridoxamin in Buchweizen (Buchweizen Extraktion)

Tab. 73: Pyridoxal-Konzentration der Buchweizen Extraktion

Buchweizen	Einwaage [mg]	Peak-Area [mV*s]	Konzentration [ng/g]
T0 10%	50,67	45,7	2,4
T0 1%	50,52	10,8	0,6
T0 0,1%	51,12	13,6	0,7
T1 10%	51,13	26,1	1,4
T1 1%	51,25	17,4	0,9
T1 0,1%	51,24	14,5	0,8

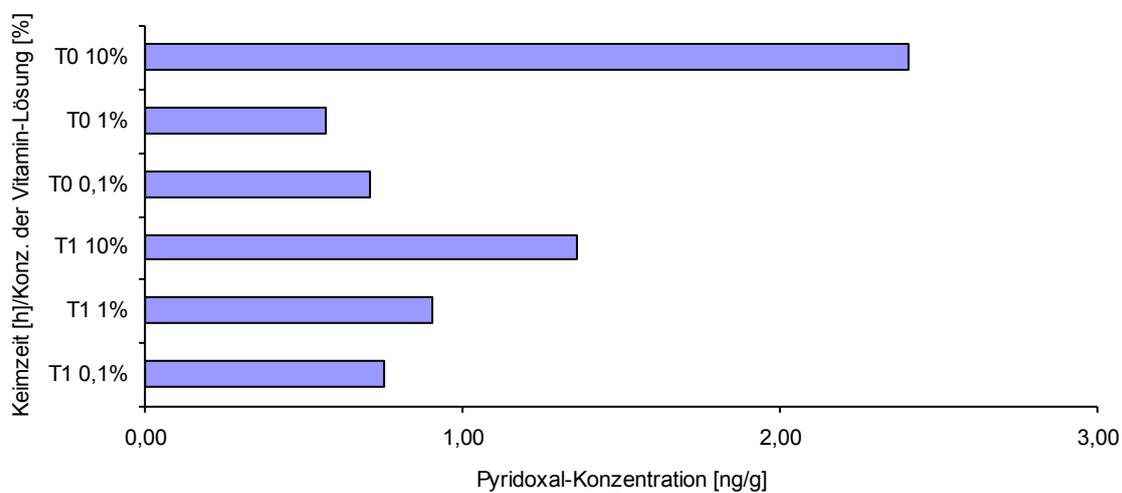


Abb. 69: Pyridoxal in Buchweizen (Buchweizen Extraktion)

Tab. 74: Pyridoxin-Konzentration der Buchweizen Extraktion

Buchweizen	Einwaage	Peak-Area	Konzentration
	[mg]	[mV*s]	[ng/g]
T0 10%	50,67	49,39	2,0
T0 1%	50,52	67,00	2,7
T0 0,1%	51,12	456,8	18
T1 10%	51,13	3235,7	128
T1 1%	51,25	226,7	9,0
T1 0,1%	51,24	57,10	2,3

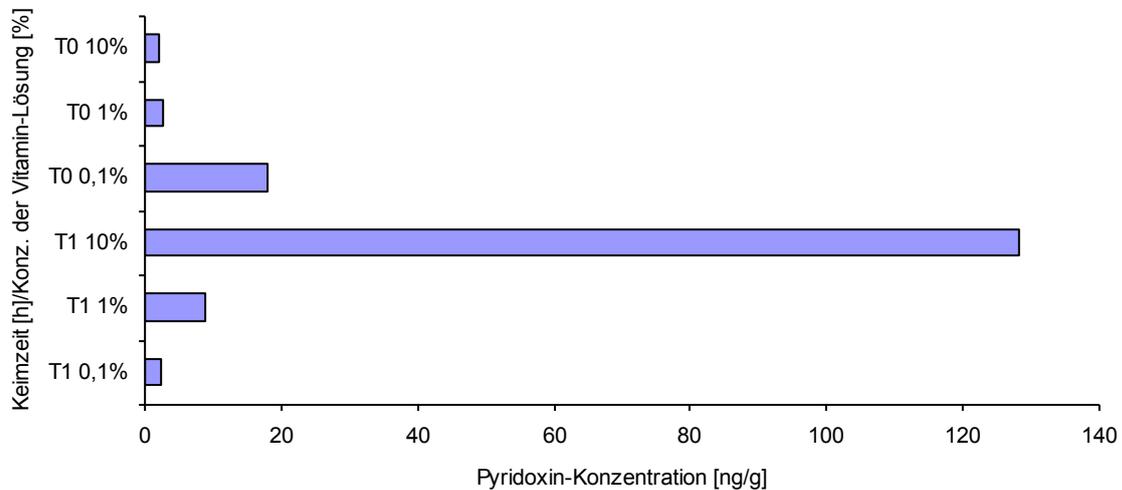


Abb. 70: Pyridoxin in Buchweizen (Buchweizen Extraktion)

Tab. 75: Peak-Flächen der wichtigsten unbekannt Peaks bei der Analyse von Vitamin B₆ in den Buchweizenproben

Buchweizen	Retentionszeiten der unbekannt Peaks [min]						
	1,93	2,14	3,32	3,59	4,35	4,7	4,88
	Peak-Area der unbekannt Peaks [mV*s]						
T0 10%	33,5	17,8	-	559,2	187,5	15,6	12
T0 1%	4,8	20,5	-	65,9	233,8	12,1	19,3
T0 0,1%	6,4	18,4	-	163	2006,9	11,2	13,9
T1 10%	145	51	89,3	3514,4	103,6	9,9	20,3
T1 1%	13,5	15,7	7,6	574,5	77,1	7,5	2,7
T1 0,1%	7,1	32,7	6,5	56,7	63,1	6,2	19,3

Tab. 76: Peak-Flächen der wichtigsten unbekanntesten Peaks bei der Analyse von Vitamin B₆ in den Buchweizenproben

Buchweizen	Retentionszeiten der unbekanntesten Peaks [min]						
	5,05	8,7	9,07	10,4	10,88	11,19	11,8
Peak-Area der unbekanntesten Peaks [mV*s]							
T0 10%	14,3	-	-	41,3	-	511,9	70
T0 1%	12,6	9,1	52	28,6	8,7	518,4	61
T0 0,1%	12	11	57,6	29,7	-	-	-
T1 10%	21,8	5,9	83,5	22,8	7,9	667,5	56,9
T1 1%	27,8	8,6	47,4	22,7	7,9	475,5	59,8
T1 0,1%	34,7	5,7	47,5	16,2	4,4	558,7	56,1

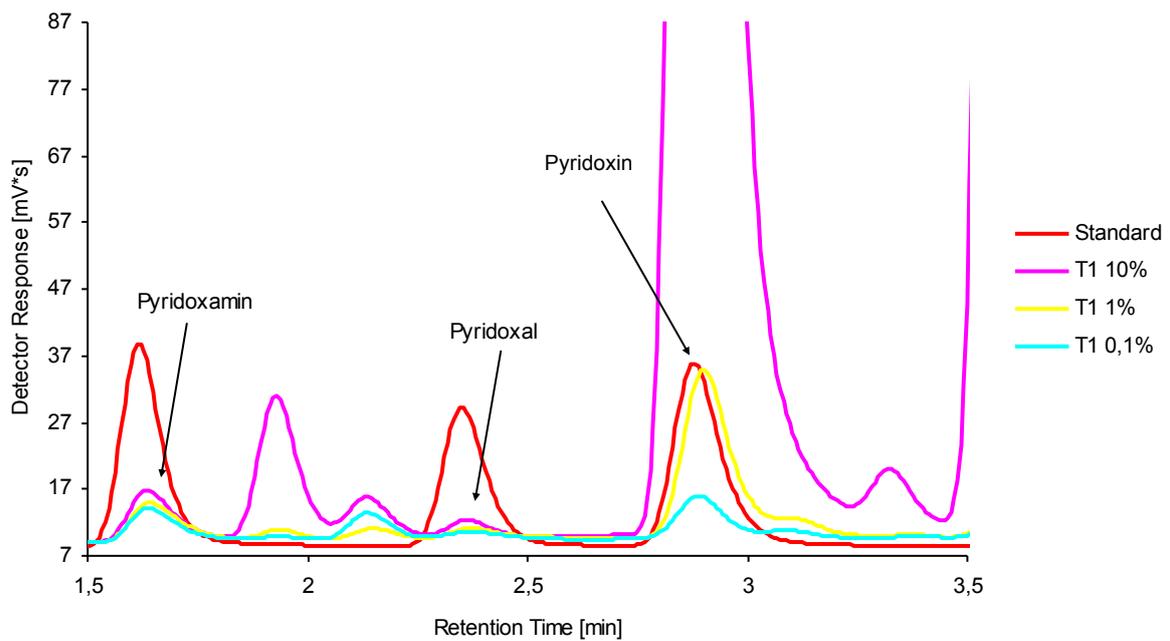


Abb. 71: Pyridoxin Bestimmung in Buchweizen

Auch bei Buchweizen kommen viele unbekannte Peaks vor. Es stand weder Buchweizen T2 noch roher Buchweizen zur Verfügung.

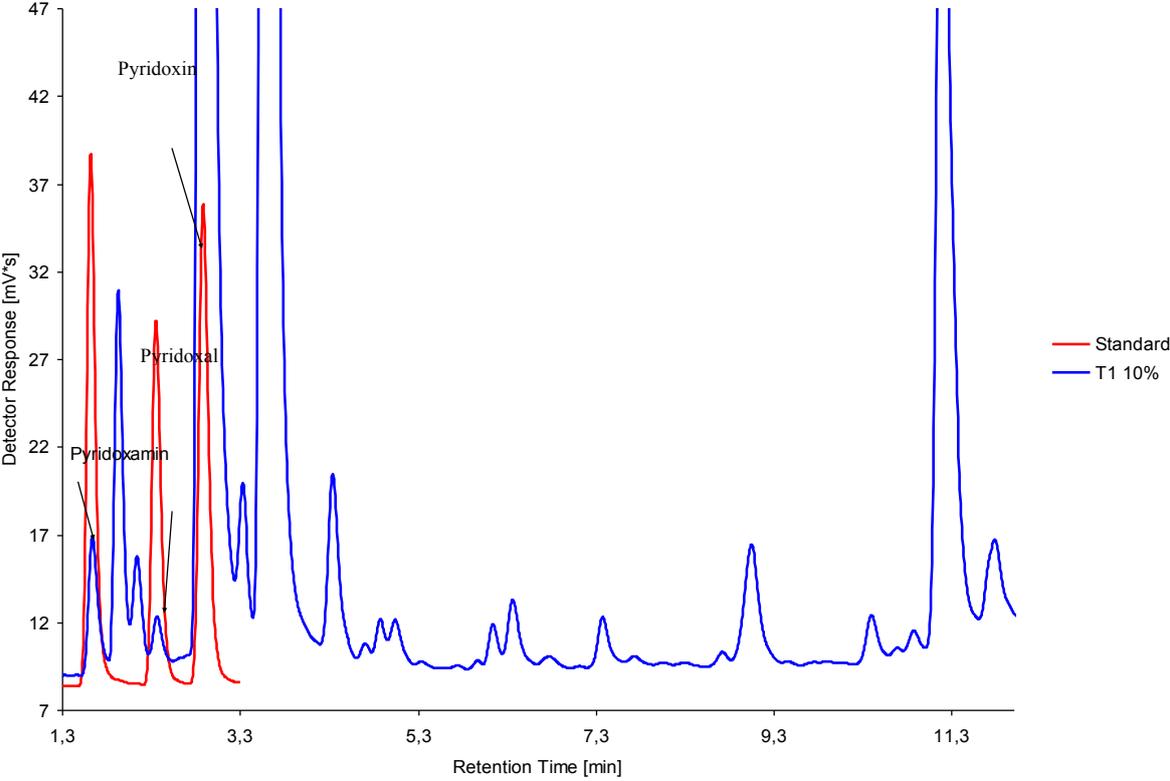


Abb. 72: Chromatogramm der Vitamin B₆-Bestimmung in Buchweizen

6.6 Zusammenfassung

6.6.1 Vergleich der Gehalte an Vitamin B6 in Quinoa bei T2 (10 %)

Der Mittelwert der Pyridoxin-Konzentration aus den drei Quinoa T2 10% Extraktionen beträgt $283 \pm 9,4$ ng/g und aus Quinoa Roh $2,1 \pm 0,4$ ng/g.

Rel. SD. Quinoa T2 10%: 3,3%.

Rel. SD. Quinoa Roh: 17%

Die extrahierte Pyridoxin-Konzentration ist in der vitaminisierten Probe um das 135-fache höher als bei Quinoa Roh. Mit der Zunahme an Pyridoxin geht der Umbau in Pyridoxamin und Pyridoxal einher.

Tab. 77: Die Mittelwerte der Vitamin B₆-Konzentrationen in Quinoa (T2 10%) und roher Quinoa

Quinoa	Konzentration [ng/g]	Rel. SD [%]	Verhältnisse
Pyridoxamin	$7 \pm 2,4$	34	2
Roh: Pyridoxamin	$3,4 \pm 0,3$	9,1	1
Pyridoxal	$9,2 \pm 0,3$	3,3	1,75
Roh: Pyridoxal	$5,3 \pm 0,4$	7,3	1
Pyridoxin	$283 \pm 9,4$	3,3	135
Roh: Pyridoxin	$2,1 \pm 0,4$	17	1

Der Gehalt von den drei B₆ Vitaminen wird in % angegeben. Die Konzentration von Pyridoxin ist in Quinoa T2 10% 137-fach höher als in der rohen Quinoaprobe.

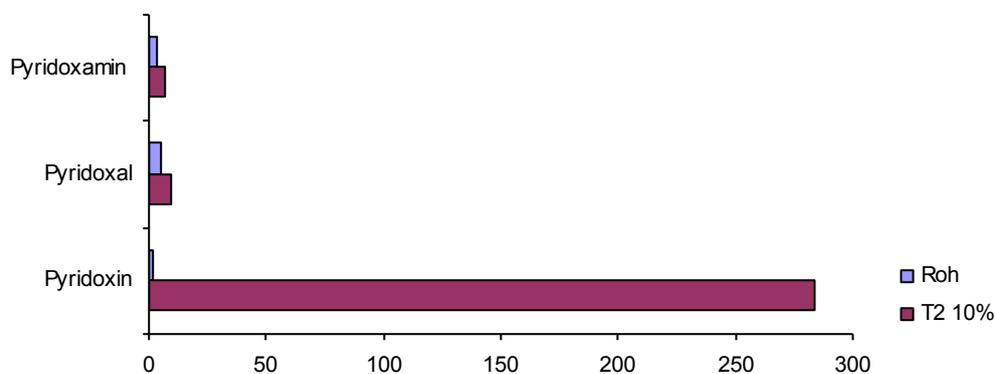


Abb. 73: Gehalt der Vitamere von B₆ in den Quinoaprogen

6.6.2 Vitamin B₆-Konzentrationen in Weizen

Die höchste Pyridoxin-Konzentration in Weizen T2 10% beträgt 105 ng/g. Wie erwähnt, konnte kein Vergleich mit Weizen Roh erstellt werden. Aus diesem Grund wurden die Weizen T2 10% Werte mit den niedrigsten Weizen Werten (T0 0,1%) verglichen. Die Pyridoxin-Konzentration ist in Weizen T2 10% um das 50-fache gestiegen.

Tab. 78: Vitamin B₆-Konzentrationen in Weizen (T0 0,1% und T2 10%)

Weizen	T0 0,1% [ng/g]	T2 10% [ng/g]	Verhältnis
Pyridoxamin	0,9	1,8	1:2
Pyridoxal	0,5	2,5	1:5
Pyridoxin	2,1	105	1:50

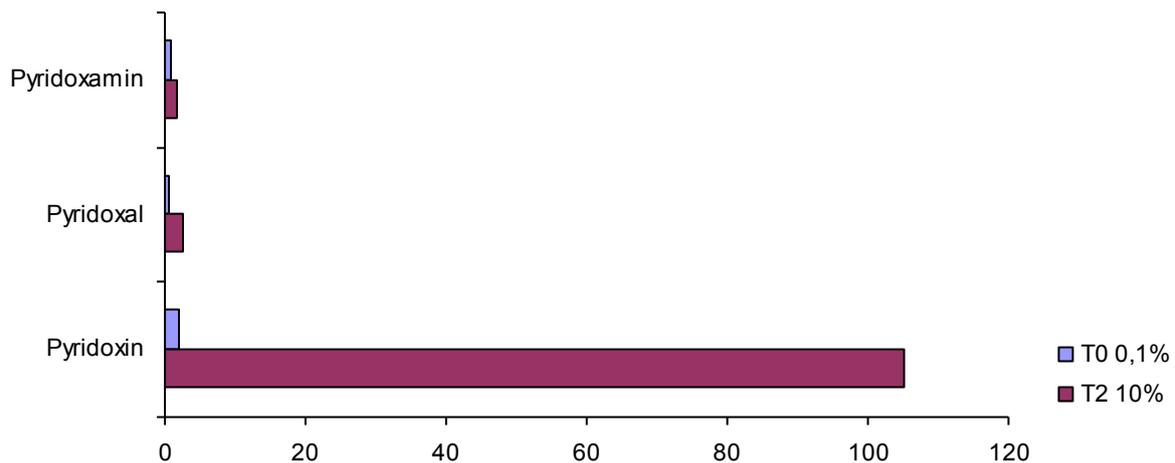


Abb. 74: Gehalt der Vitamere von B₆ in den Weizenproben

6.6.3 Vitamin B₆-Konzentrationen in Buchweizen

Die höchste Pyridoxin-Konzentration ist in den Buchweizenproben T1 10% zu finden und beträgt 128 ng/g. Da aber die Vitamin B₆-Konzentrationen mit zunehmender Keimdauer und Konzentration der Vitamin-Lösung steigen, liegt die Annahme sehr nahe, dass sowohl bei Weizen, als auch bei Buchweizen, die Resultate der rohen Proben deutlich niedriger wären als in den vitaminisierten Proben. Bei der Gegenüberstellung der Pyridoxin-Konzentration in Buchweizen T0 0,1% und T1 10% wird deutlich, dass die Konzentration an Pyridoxin in T1 10% um das 70-fache gestiegen ist.

Tab. 79: Vitamin B₆-Konzentrationen in Buchweizen (T0 0,1% und T1 10%)

Buchweizen	T0 0,1% [ng/g]	T1 10% [ng/g]	Verhältnis
Pyridoxamin	0,9	2,3	1:2,5
Pyridoxal	0,7	1,4	1:2
Pyridoxin	18	128	1:70

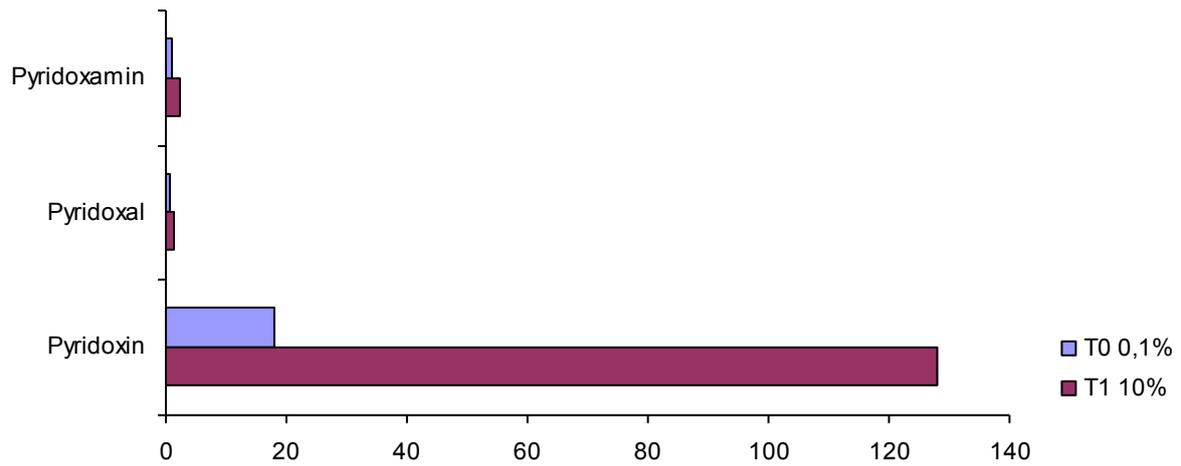


Abb. 75: Gehalt der Vitamere von B₆ in den Buchweizenproben

7 Literaturverzeichnis

Bavec F, Bavec M (2007), Organic Production and use of alternative crops, Taylor & Francis, Broken Sound Parkway N.W, USA, p 79

Belton P, Taylor J (2002) (Eds.), Pseudocereals and less common cereals, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, Chapter: Quinoa-Plant and grain Structure , pp 95-98, 106

Campbell CG (1997), Buckwheat: *Fagopyrum esculentum* Moench, International Plant Genetic Resources Institute, Chapter: Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops 19, pp 12-13, 19-22, 25-26

Carver BF (2009), Wheat: Science and Trade, Wiley-Blackwell, Chapter: Wheat Evolution, Domestication, and Improvement, pp 5-6

Dittmeyer R, Keim W, Kreysa G, Oberholz A (2005), Chemische Technik Prozesse und Produkte, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 5. Auflage, Chapter: Lebensmitteltechnologie und –verfahrenstechnik), p 466

El Hafid R, Aitelmaalem H, Driedger D, Bandara M, Stevenson J (2005), Quinoa...The Next Cinderella Crop for Alberta?, Alberta Agriculture Food and Rural Development

Grundas ST (2003) Wheat: The Crop, in: (eds.) B Caballero, LC Trugo, PM Finglas, Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition, 2. Ed, Elsevier Science, Amsterdam, The Netherlands, pp 6130-6133

Keller KM (2003), Klinische Symptomatik: Zöliakie, ein Eisberg, Springer Verlag

Klingler RW (1995), Grundlagen der Getreidetechnologie, BEHR'S...Verlag, Chapter: Funktionelle Eigenschaften der Getreideinhaltsstoffe, pp 122-125

Körper-Grohne U (1987), Nutzpflanzen in Deutschland Kulturgeschichte und Biologie, Konrad Theiss Verlag GmbH, Stuttgart, Chapter: Hirse-Buchweizen, Mehlfrüchte, Buchweizen, pp 339-344, 346

Lembacher F, Schally H, Wasner J (2009), Buchweizen (*Fagopyrum esculentum*), NÖ. Landes-Landwirtschaftskammer

Lieberei R, Reisdorff C (2007), begründet von W. Franke, Nutzpflanzenkunde, Georg Thieme Verlag KG, 7. Auflage, Chapter: Kohlenhydratfreie Pflanzen , p 88

Linser H, Lach G, Titze L (1968) Systemwachstum und Produktwachstum bei Weizen und Ölrettich Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde, 121198

Narziss L, Back W (2009), Die Bierbrauerei, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 8. überarbeitete und ergänzte Auflage, Chapter: Glutenfrei Malze, p 1

Ohnishi O (1998), Search for the wild ancestor of buckwheat. Description of new Fagopyrum (Polygonaceae) species and their distribution in China and the Himalayan hills, Fagopyrum 15,18-28

Opperer J (1985), Buchweizen in Deutschland, Fagopyrum, 5,16-26

Percival J (1921), The wheat plant. A monograph. E.P. Dutton & Company, New York, USA

Ribitsch V, Pointner B, Reischl M (2001), Gesamtheitliche Nutzung von Quinoa für Feinchemikalien, Diätahrungsmittel und Fasermaterial, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Schlieper CA (2010) Grundfragen der Ernährung, Büchner, Hamburg, BRD, pp 54-55

Schönlechner R, Linsberger G, Kaczyke L, Berghofer E (2006), Production of gluten-free shorts dough biscuits from the pseudocereals amaranth, quinoa and buckwheat with common bean, Ernährung/Nutrition

Vogelsang H (2008), Zöliakie: Tendenz steigend, Journal für Ernährungsmedizin 10, 12-15

Welch RW (1999) Cereal Grains: Dietary Significance and Nutritional Value, in: (eds.) Sadler MJ, Strain JJ, Caballero B ,Encyclopedia of Human Nutrition, 1. Ed, Academic Press, San Diego, USA, p 330

Zeller FJ (2001), Buchweizen (Fagopyrum esculentum Moench): utilization, genetics, breeding

Zimmer KP (1999), Zöliakie, Springer Heidelberg, BRD