



GEORG-AUGUST-UNIVERSITÄT
GÖTTINGEN

Department für Nutzpflanzenwissenschaften
Abteilung Qualität pflanzlicher Erzeugnisse

Abschlussbericht zum Projekt

„Nitratbestimmung in Kartoffeln und Kartoffelprodukten: Optimierung von Probenahme und Probenvorbereitung als Voraussetzung für einen reproduzierbaren Nachweis“

Elke Pawelzik und Marcel Naumann

(gefördert durch den QS-Wissenschaftsfonds Obst, Gemüse und Kartoffeln)

Göttingen, Dezember 2018

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung.....	4
2.	Probenmaterial, Methodenauswahl sowie Vereinheitlichung der Probenahme und Probenverarbeitung.....	5
2.1.	Probenmaterial	5
2.2.	Methodenauswahl.....	7
2.3.	Vereinheitlichung der Probenahme und Probenverarbeitung	9
2.3.1	Extraktion aus rohen Kartoffeln.....	9
2.3.2	Extraktion aus gekochten Kartoffeln	11
3.	Ergebnisse und Diskussion	12
3.1.	Nitratgehalte im Mark verschiedener Sorten von unterschiedlichen Standorten und zu verschiedenen Lagerzeitpunkten	12
3.2.	Nitratgehalte in der Schale verschiedener Sorten an unterschiedlichen Standorten und zu verschiedenen Lagerzeitpunkten	13
3.3.	Nitratgehalte in der gesamten Knolle verschiedener Sorten an unterschiedlichen Standorten und zu verschiedenen Lagerzeitpunkten.....	14
3.4.	Korrelation zwischen Nitratgehalt in Schale und Mark sowie dem Gesamtnitratgehalt	15
3.5.	Weitere ermittelte Korrelation	16
3.6.	Kochversuch.....	16
4.	Veröffentlichung der Ergebnisse.....	18
5.	Weitere durchgeführte Untersuchungen	19
6.	Zusammenfassung	21
7.	Ausblick	22
8.	Anhang	23
9.	Literaturverzeichnis.....	28

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Verteilung der untersuchten Kartoffeln mit Standorten (Bundesländer) in Deutschland.....	5
Abbildung 2: Zeitlicher Ablaufplan für die durchgeführten Analysen.....	6
Abbildung 3: Chromatogramm von der Messung dreier Nitratstandards mittels HPLC7	
Abbildung 4: Chromatogramm dreier aus Kartoffeln extrahierter Nitratproben mittels HPLC.....	8
Abbildung 5: Bestimmung einer Eichgeraden anhand verschiedener Nitratstandards mittels des Reflectoquant® Systems	8
Abbildung 6: Vergleich der Messung verschiedener Nitratproben mittels HPLC und RQ.....	9
Abbildung 7: Mittelwerte der gemessenen Nitratgehalte im Mark verschiedener Sorten von unterschiedlichen Standorten und Lagerzeitpunkten.....	12
Abbildung 8: Mittelwerte der gemessenen Nitratgehalte in der Schale verschiedener Sorten von unterschiedlichen Standorten und Lagerzeitpunkten.....	13
Abbildung 9: Gesamtnitratgehalt verschiedener Sorten von unterschiedlichen Standorten und Lagerzeitpunkten	14
Abbildung 10: Einfache lineare Regression der Nitratgehalte für Mark und Schale	15
Abbildung 11: Minderung der Nitratgehalte (in %) durch das Kochen von ungeschälten und geschälten Kartoffeln - Ergebnisse Teil 1 von 2	17
Abbildung 12: Minderung der Nitratgehalte (in %) durch das Kochen von ungeschälten und geschälten Kartoffeln - Ergebnisse Teil 2 von 2	17
Abbildung 13: Gesamtnitratgehalt der alten Sorten	19
Abbildung 14: Nitratgehalt im Mark nach dem Kochen ungeschälter Knollen	20

1. Einleitung

Nitrat ist eine in pflanzlichen Produkten in unterschiedlicher Konzentration vorkommende Verbindung, die selbst nur gering toxisch ist, aber deren Reduktions- (Nitrit) bzw. Syntheseprodukte (Nitrosamine, Nitrosamide) in Folgereaktionen zu karzinogenen Verbindungen führen können. Die höchsten Nitratgehalte finden sich in Blattgemüse, während Kartoffelknollen mit Gehalten <200 mg/kg FM zu den nitratarmen Produkten zählen (Santamaria 2006). Die für Gemüse, Lebensmittel aus Getreide und Beikost für Säuglinge sowie Kleinkinder geregelten Höchstgehalte für Nitrat (Verordnung (EG) Nr. 1881/2006) schließen Kartoffeln nicht mit ein. Dies betrifft auch die Anforderungen an Probenahme, -aufbereitung und Analytik. Praktische Erfahrungen zeigen starke Schwankungen bei unterschiedlichen Methoden der Nitratanalytik sowie einen großen Schwankungsbereich innerhalb einer Probe. In aktuellen Stellungnahmen (z.B. Lach and Bruns (2015)) wird empfohlen, eine repräsentative Durchschnittsprobe von mindestens 50 Knollen zu verwenden, um eine maximale Ergebnisunsicherheit von ca. 20 % gewährleisten zu können. Es zeigt sich, dass neben aktuellen Erfahrungen aus der Praxis nur wenige und nicht sehr umfangreiche Literaturbefunde älteren Datums vorhanden sind, auf die sich aktuelle Stellungnahmen ebenfalls beziehen. Dies betrifft Aussagen zur Verteilung von Nitrat in der Knolle (verbal beschrieben bei Kolbe and Müller (1986) und Kolbe (1996)) und zum Einfluss des Reifegrades (Putz 1991). Neuere Arbeiten beschreiben Einflussfaktoren auf den Nitratgehalt, wie Sorte, Standort, Jahreswitterung, Anbausystem (konventionell versus ökologisch) sowie Verarbeitung (u.a. Poberežny et al. (2015); Bártová et al. (2013); Rytel (2012)). Dabei werden unterschiedliche Methoden in der Probenahme, -vorbereitung und Analytik verwendet, wobei deren Reproduzierbarkeit nicht Gegenstand der Untersuchungen ist. Analysen an gegenwärtig verwendeten Sorten sind nicht beschrieben. Es ist zu klären, ob die o.g. Schwankungen in den nachgewiesenen Nitratgehalten auf die Untersuchung einer zu geringen Knollenanzahl, uneinheitlicher Knollengrößen und/oder auf nicht ausreichende Homogenisierung bei der Probenvorbereitung zurückzuführen sind. Insbesondere beim Vermahlen der Proben treten häufig unerwünschte Effekte, wie lokale Überhitzungen bzw. Degradierungen auf, welche zum Verlust bestimmter Substanzen führen können (Romanik et al. 2007). Deshalb sollte das Hauptaugenmerk bei der Extraktion auf eine einheitliche Verarbeitung der Proben gelegt werden, um so Schwankungen in der späteren Nitratanalyse zu reduzieren.

Das Ziel des im Rahmen von Mai 2017 bis Juni 2018 vom QS-Wissenschaftsfonds geförderten Projektes war die Entwicklung einer reproduzierbaren Nachweismethode von Nitrat in Kartoffeln und Kartoffelprodukten mit dem Schwerpunkt auf Optimierung der Probenahme und Probenaufbereitung. Die genaue Vorgehensweise und Methodik sowie das zu diesem Zweck verwendete Untersuchungsmaterial werden in den folgenden Kapiteln Probenmaterial, Methodenauswahl sowie Vereinheitlichung der Probenahme und Probenverarbeitung beschrieben. Im sich daran anschließenden Abschnitt Ergebnisse und Diskussion wird eine Vielzahl an Ergebnissen präsentiert, welche durch die Vereinheitlichung der Probenahme und Probenvorbereitung ermittelt werden konnten.

2. Probenmaterial, Methodenauswahl sowie Vereinheitlichung der Probenahme und Probenverarbeitung

2.1. Probenmaterial

Als Untersuchungsmaterial wurden 10 repräsentative Speisesorten, im Folgenden bezeichnet als Sorten A bis L, unterschiedlicher Reifegruppen und Kocheigenschaften für die Analysen ausgewählt.

Durch die sehr gute Zusammenarbeit mit der „Union der Deutschen Kartoffelwirtschaft e.V.“ (UNIKA) war es möglich, von 10 verschiedenen Kartoffelsorten Probenmaterial von jeweils mindestens drei verschiedenen Standorten zu erhalten. Letztendlich lag von 32 verschiedenen Standorten Kartoffelmaterial vor, deren Verteilung in Deutschland in Abbildung 1 zu sehen ist. Häufig ist eine genauere Lokalisierung und Zuordnung der Standorte zu bestimmten Regionen in Deutschland möglich. Jedoch werden auf Wunsch der Erzeuger und in Absprache mit der UNIKA die Standorte im Folgenden ebenfalls anonymisiert als nachgestellte Zahl (1 bis 4) hinter der dazugehörigen Sortenbezeichnung (A-L) wiedergegeben.

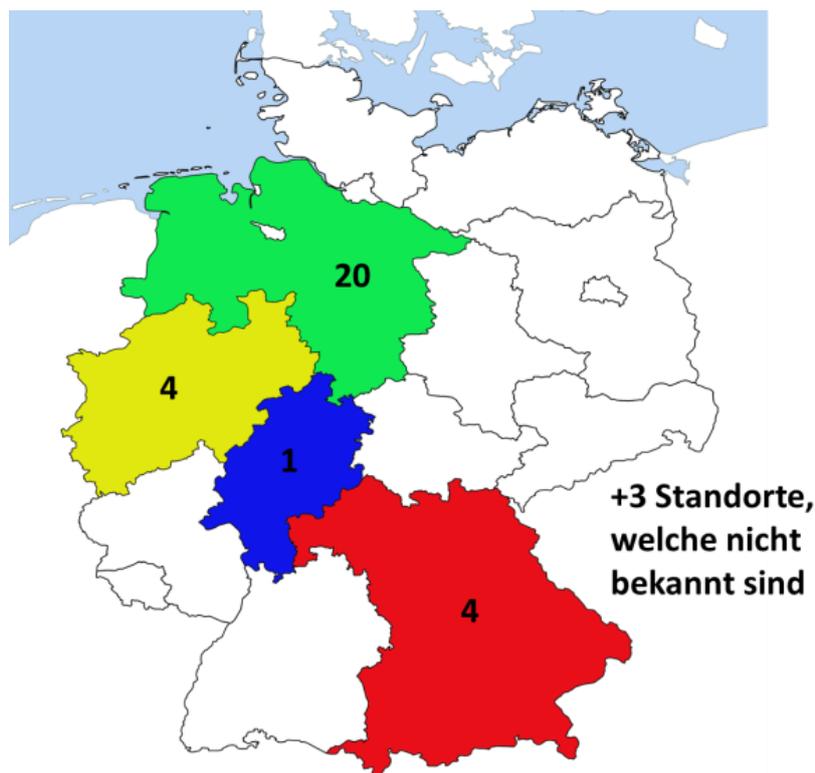


Abbildung 1: Verteilung der untersuchten Kartoffeln mit Standorten (Bundesländer) in Deutschland; insgesamt Probenmaterial von 32 verschiedenen Standorten in vier Bundesländern - Niedersachsen - 20; Nordrhein Westfalen - 4; Bayern - 4, Hessen - 1; 3 unbekannte Standorte, d.h. hier liegen keine genaueren Informationen vor; <https://pixabay.com/de/deutschland-karte-alle-bundeslaender-2431250/> (verändert)

Von jedem Standort wurden uns im Zeitraum vom 24.08.2017 bis 26.10.2017 etwa 80 kg Kartoffeln für die Analysen bereitgestellt, sodass zu Beginn der Arbeiten ~2,5 t Kartoffeln vorlagen. Die 80 kg Kartoffeln von jeder Sorte wurden in vier Kisten mit jeweils etwa 20 kg Probenmaterial für die verschiedenen Analysen aufgeteilt. Das Probenmaterial der ersten Kiste wurde für die Untersuchung des Nitratgehaltes in Kartoffeln „ohne Lagerung“ (Abbildung 2) verwendet, das Probenmaterial der zweiten Kiste für die Untersuchungen der „3-monatigen Lagerung“ und das Probenmaterial der dritten Kiste für die Bestimmung des Nitratgehaltes der „6-monatigen Lagerung“. Das restliche Probenmaterial wurde entweder für die Kochversuche verwendet oder zur Aufstockung des Probenmaterials für die zuvor genannten Analysen, was häufig insbesondere bei größeren Knollen notwendig wurde.

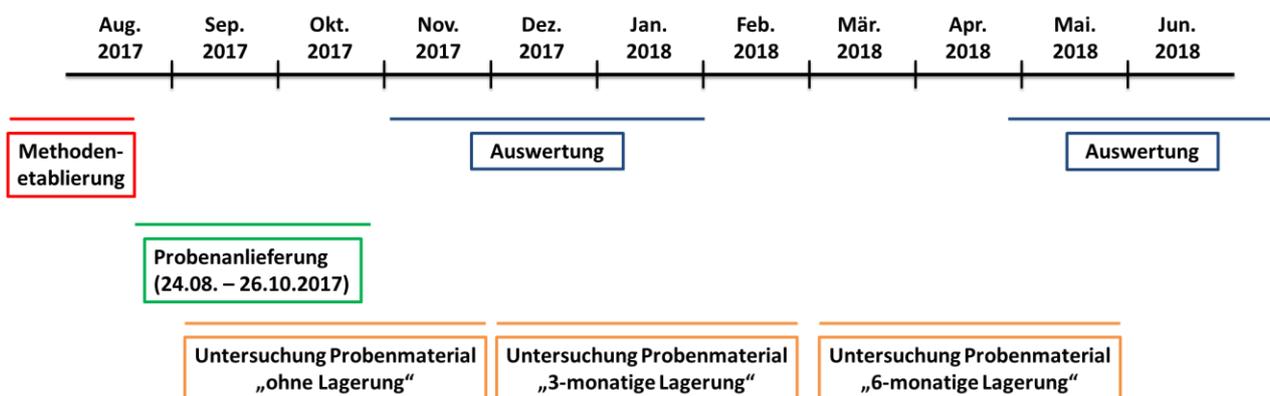


Abbildung 2: Zeitlicher Ablaufplan für die durchgeführten Analysen

Die Lagerung der Kartoffeln erfolgte in den Kühlräumen der Abteilung „Qualität Pflanzlicher Erzeugnisse“ bei einer Temperatur von 4°C mit einer Luftfeuchtigkeit >70 % über den gesamten Lagerzeitraum.

Jeder Landwirt/Erzeuger war gebeten worden, freiwillig weitere Angaben zum Kartoffelanbau zu machen. Dies wurde in Form eines Fragebogens (Anhang 5) abgefragt. Alternativ konnten die Landwirte/Erzeuger auch eine Kopie der angefertigten Schlagkartei bei der Anlieferung beilegen. Der Rücklauf vollständig ausgefüllter Fragebögen lag bei weniger als 50 %, was die nachfolgenden Auswertungen in Hinblick auf das Aufzeigen möglicher Einflussfaktoren auf veränderte Nitratgehalte in den Kartoffelknollen zu einer größeren Herausforderung machte. Dennoch konnten mit den Angaben aus den Fragebögen zum Gehalt von N_{\min} , Phosphor, Magnesium und Kalium im Boden sowie der ausgebrachten Düngungsmenge/-form geeignete Auswertungen durchgeführt werden. Die erfragten Parameter zu Fruchtfolge, Niederschlägen, Pflanzenschutz und Sikkation wurde in die weiteren Auswertungen nicht mit einbezogen. Für Folgeprojekte wäre es sinnvoll, die Wetterbedingungen (Niederschlagsmengen, Temperaturen, Sonnenscheindauer, Luftfeuchtigkeit etc.) durch eine Erweiterung des aktuell vorliegenden Fragebogens oder durch Sensoren vor Ort in einem breiteren Umfang zu erfassen. Nicht repräsentative Auswertungen, und deshalb auch nicht im Endbericht enthalten, in Bezug zum Nitratgehalt in der Kartoffelknolle und den Niederschlagsmengen (inklusive Berechnungsmengen) deuten auf eine Abhängigkeit zwischen dem Nitratgehalt und der Niederschlagsmenge hin. Zu einem ähnlichen Ergebnis kommt Kolbe (1996), welcher den Einfluss der Niederschlagsmenge auf den Nitratgehalt in der Kartoffelknolle mit 15-20 % angibt.

2.2. Methodenauswahl

Für die Bestimmung des Nitratgehaltes in den Kartoffelproben standen drei verschiedene Methoden zur Auswahl:

- I. Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC)
- II. Ionenchromatographie (IC)
- III. Photometrische Bestimmung des Nitratgehaltes mittels Reflectoquant® Systems (Merck, Darmstadt)

Zum Start des Projektes war eine IC in der Abteilung „Qualität Pflanzlicher Erzeugnisse“ noch nicht verfügbar, weshalb zunächst ein Vergleich der HPLC und des Reflectoquant® Systems durchgeführt wurde. Die ersten Probemessungen eines Nitratstandards mit der HPLC waren vielversprechend (Abbildung 3).

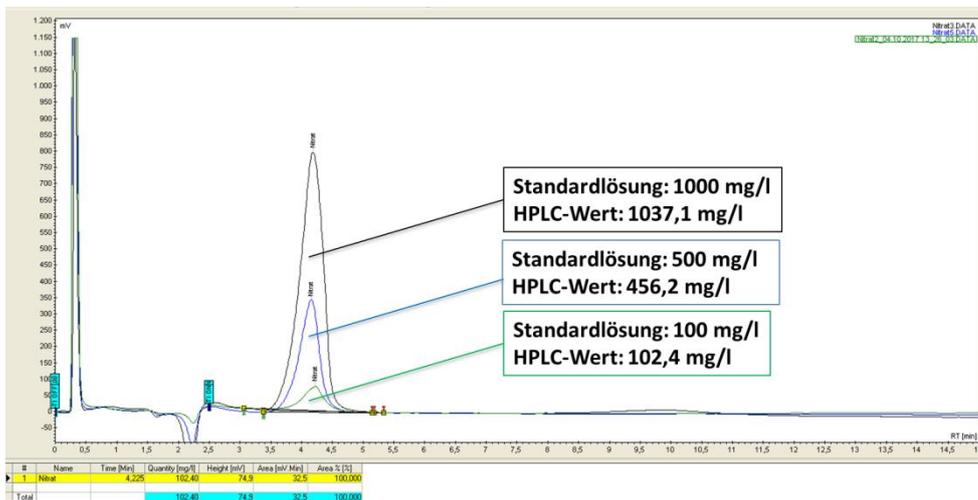


Abbildung 3: Chromatogramm von der Messung dreier Nitratstandards mittels HPLC; angesetzt wurden Nitratstandards mit den Konzentrationen von 100, 500 und 1000 mg Nitrat/l - der dazugehörige gemessene HPLC ist direkt unter der Standardlösung angegeben

Mit den vermessenen Nitratstandards konnte eine gute Kalibrationskurve erstellt werden, welche eine Messungsgenauigkeit von <5 % für die HPLC-Methodik aufwies. Anschließend wurden die aus den Kartoffeln gewonnenen Extrakte mittels der HPLC vermessen. Beispielhaft für eine Vielzahl der erzielten Ergebnisse ist die Abbildung 4. Eine große Anzahl an Störpeaks, insbesondere am Anfang und Ende des Laufes (grün markiert), beeinträchtigt die exakte Messung des Nitratgehaltes (blaue Markierung). Die Bestimmung der Nitratkonzentrationen in den Kartoffeln ist dennoch ohne Einschränkung möglich, für eine routinemäßige Anwendung müsste diese Methodik allerdings noch weiter optimiert werden.

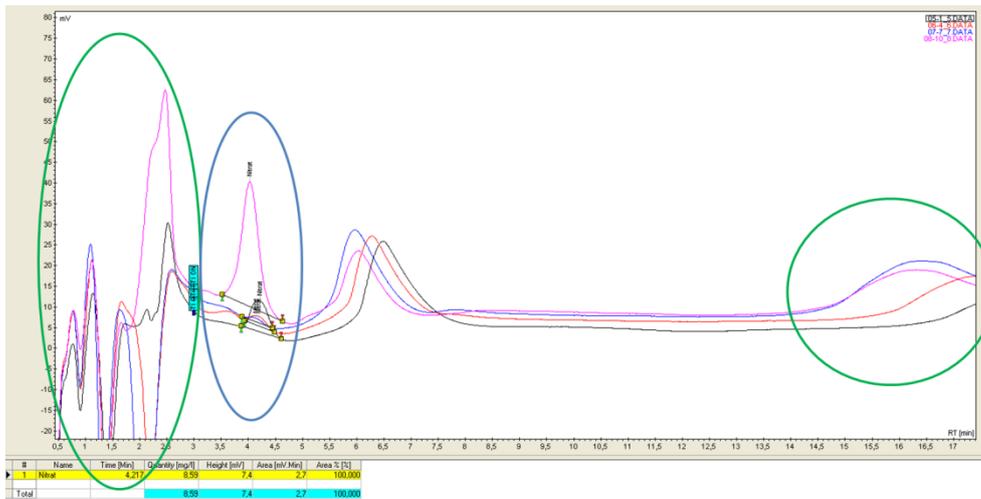


Abbildung 4: Chromatogramm dreier aus Kartoffeln extrahierter Nitratproben mittels HPLC; grün markiert sind die aufgetretenen Störpeaks am Anfang und Ende des Laufes; blau markiert sind die bestimmten Nitratpeaks

Im Folgenden wurden verschiedene Standardlösungen von Nitrat mittels des Reflectoquant® Systems vermessen (Abbildung 5). Der ausgegebene Reflectoquant®-Wert (RQ-Wert) stimmt sehr gut mit dem dazugehörigen Nitratwert in den untersuchten Standardlösungen überein.

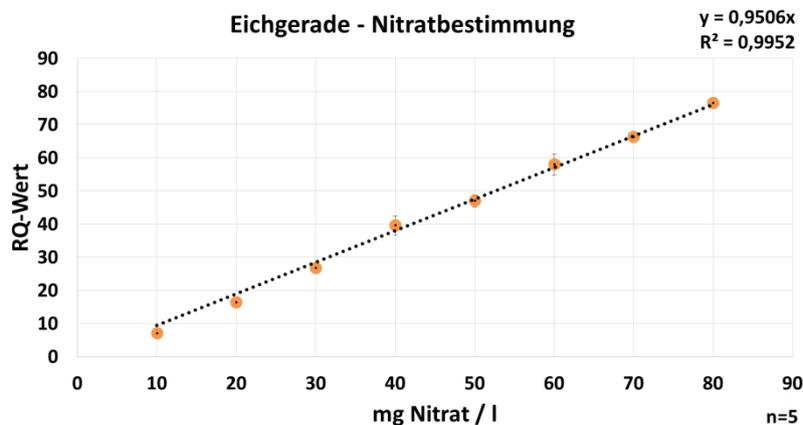


Abbildung 5: Bestimmung einer Eichgeraden anhand verschiedener Nitratstandards mittels des Reflectoquant® Systems; der RQ (Reflectoquant®)-Wert stimmt sehr gut mit dem in der Standardlösungen eingesetzten Nitratkonzentrationen überein

Durch weitere Analysen mit entsprechenden Nitratstandards und Kartoffelextrakten konnte eine Messungenaugigkeit für das RQ-Systems im Messbereich von 10 - 80 mg Nitrat/l von ~10 % ermittelt werden. Über 80 % des untersuchten Probenmaterials befindet sich aber in einem Messbereich von 30 - 80 mg Nitrat/l, in dem die Messungenaugigkeit des RQ-System auf ~5 % absinkt. Einschränkungen, welche auch später diskutiert werden, gibt es für die Messung mit dem RQ-System lediglich bei sehr geringen Nitratgehalten (<3 mg Nitrat/l). Bei Konzentrationen >80 mg Nitrat/l konnten die Proben ohne größeren Mehraufwand entsprechend verdünnt und neu vermessen werden. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Vorteile für die Messung mittels des RQ-Systems im Vergleich zur Messung mittels HPLC überwiegen, was in der nachfolgenden Abbildung 6 als Gegenüberstellung der Vor- und Nachteile auch noch einmal verdeutlicht wird.

HPLC	Parameter	RQ
>30.000 €	Gerätekosten	1.000 €
>20 min pro Probe (ohne Standard bzw. Waschschrte)	Messdauer	~1 min pro Probe (Standard + Kalibrierung nicht notwendig)
<5% Messungenauigkeiten	Präzision	~5% Messungenauigkeiten (im Bereich 30 – 80 mg Nitrat / l)
~5 € pro Probe	Kosten (Messung)	~0,5 € pro Probe
Zentrifuge, Falcons, Pipetten + weitere Verbrauchsmittel	zusätzliche Ausstattung	eventuell Pipetten, falls eine Verdünnung notwendig ist
Ja, ist notwendig	Filtration	Nein, ist nicht notwendig
Fachpersonal ist notwendig	Praktikabilität	Nach Einweisung auch von Hiwis/Bsc- /Msc-Studierenden umsetzbar

Abbildung 6: Vergleich der Messung verschiedener Nitratproben mittels HPLC und RQ; die Parameter Gerätekosten, Messdauer, Präzision, Kosten, zusätzliche Ausstattung, Filtration und Praktikabilität wurden für beide Methoden miteinander verglichen

Die in Abbildung 6 im Vergleich dargestellten Parameter zeigen, dass die höheren Messungenauigkeiten für das RQ-System im Vergleich zur HPLC insbesondere durch die Positionen Messdauer und Kosten aufgehoben werden, weshalb für alle folgenden Nitratanalysen die Messung mit dem RQ-System erfolgte.

2.3. Vereinheitlichung der Probenahme und Probenverarbeitung

2.3.1 Extraktion aus rohen Kartoffeln

Zu jedem der drei Lagerzeitpunkte wurden für jede Probe (Sorte, Standort) fünf biologische Wiederholungen durchgeführt.

Anmerkung: Dies ist notwendig, um eine mögliche Schwankung des Nitratgehaltes in den untersuchten Kartoffeln zu minimieren.

Für eine Wiederholung wurden 30 Knollen ausgewählt. Sehr kleine (<30 mm), beschädigte und faule Knollen wurden aussortiert.

Anmerkung: Die Verwendung von sehr kleinen Knollen (<30 mm) sollte unbedingt vermieden werden, weil diese die Ergebnisse der Nitratmessung beeinflussen. Der Schalenanteil in diesen Knollen ist im Vergleich zum Mark deutlich höher, weshalb auch der gemessene Nitratgehalt höher ist. Außerdem kann es sich um unreife Knollen handeln, weshalb die anschließende Ermittlung des Nitratgehaltes nicht repräsentativ für die untersuchte Stichprobenmenge wäre. Faule und beschädigte Knollen sollten generell nie für die Nitratmessungen herangezogen werden, weil sich hier der Metabolismus geändert hat bzw. ein Teil des Nitrates z.B. durch Pilz- oder Bakterienbefall bereits verlorengegangen sein könnte.

Von den restlichen Knollen wurden Knollen verschiedener Größen ausgewählt. Die Knollen wurden vor der Verarbeitung von Hand mit destilliertem Wasser gewaschen, um Verletzungen der Schale so weit wie möglich zu vermeiden und die anhaftende Erde zu entfernen.

Anmerkung: Die Erde könnte die Extraktionslösung verdunkeln und damit auch das Messergebnis beeinflussen, weil die Messung des Nitratgehaltes photometrisch mit einem Messstreifen im RQ-System durchgeführt wird und demzufolge auf einem Farbumschlag in der Extraktionslösung beruht. Verunreinigungen in der Extraktionslösung könnten direkt zu einem unnatürlich höheren Nitratgehalt führen. Des Weiteren sollte bei dem Abwaschen der Erdreste unbedingt der Einsatz einer Bürste o.ä. vermieden (Verletzungen der Knolle könnten entstehen, wodurch sich Nitrat aus dem Randbereich herauslösen könnte) und destilliertes Wasser benutzt werden, weil im normalen Trinkwasser sehr unterschiedliche Nitratgehalte (im Bereich von weniger als 3 mg Nitrat/l bis hin zu >40 mg Nitrat/l z.B. im Raum Göttingen) enthalten sein können. Dies hätte somit auch wieder einen direkten Einfluss auf die anschließende Nitratmessung.

Anschließend wurden die Knollen zum Trocknen auf Küchenpapier gelegt und maximal einen halben Tag bei 20 ° C gelagert. Alle Knollen wurden zusammen gewogen und das Gewicht notiert. Im Anschluss wurde die Kartoffelschale mit einem haushaltsüblichen Sparschäler in ungefähr 2 - 3 mm dicken Scheiben entfernt. Das Gewicht von Mark und Schale wurde getrennt ermittelt. Dunkle und grüne Stellen wurden rausgeschnitten und verworfen.

Anmerkung: Das Ermitteln des Gewichtes für Mark und Schale ist notwendig, um anschließend den Gesamtnitratgehalt in der Kartoffelknolle berechnen zu können.

Die Schalen wurden mit einer Küchenmaschine (Braun, Type 4243, 400 W) für ~30 Sekunden auf Stufe zwei bearbeitet, bis die Probe aus gleichmäßigen, kleinen Stücken bestand. Zur Vorbereitung auf die Verdünnung wurden 100 g der zerkleinerten Schalen und 400 ml destilliertes Wasser eingewogen. Das Wasser wurde auf den Mixer und eine Spritzflasche aufgeteilt. Die eingewogenen Schalen wurden mit der Hälfte des eingewogenen Wassers mit einem Standmixer (Kemar, KSB-200, 1500 W, max. 30.000 U/min) für 30 Sekunden auf Stufe fünf (von zehn möglichen) zerkleinert. Mit dem Wasser aus der Spritzflasche wurden die Reste von der Wand des Mixers abgespült und das gesamte Wasser mit den Schalen nochmal für zehn Sekunden auf Stufe fünf gemischt.

Anmerkung: Das Verhältnis von 100 g Schale vermischt mit 400 ml destilliertes Wasser hat sich für den überwiegenden Teil der analysierten Proben für die anschließende Vermessung mittels des RQ-Systems als das geeignetste Mischverhältnis herausgestellt. Bei sehr hohen Nitratgehalten in der Schale sollten die Proben ein zweites Mal verdünnt werden.

Nachdem der Schaum zurückgegangen war, konnte die Flüssigkeit filtriert werden. Die gesamte Flüssigkeit aus dem Mixer wurde mit einem Faltenfilter 615 ¼ (Macherey-Nagel, Düren) in einen Erlenmeyerkolben filtriert.

Anmerkung: Dieser Schritt ist essentiell, um mögliche Reste von Verunreinigen an der Schale oder nicht zerkleinerte Kartoffelfragmente zu entfernen. Da sich das Nitrat sehr gut in Wasser löst und den oben erwähnten Filter problemlos passieren kann, stellt die Filtration für die anschließende Nitratvermessung kein Problem dar.

Von der filtrierten Flüssigkeit wurden 20 ml in ein Szintillationsgefäß (ratiolab, Dreieich) gefüllt, das mit der entsprechenden Probennummer beschriftet war. Die Szintillationsgefäße wurden bei einer Temperatur von -20 ° C bis zur Messung eingefroren.

Anmerkung: Auch dieser Schritt ist essentiell, da ohne das Einfrieren die Nitratgehalte im Durchschnitt 10 % niedriger sind im Vergleich zu direkt vermessenen Proben. Über die Gründe kann an dieser Stelle nur spekuliert werden, aber sehr wahrscheinlich führt ein Aufplatzen während des Einfrierens von durch das Mixen nicht zerstörter Zellen zum Austritt von weiterem Nitrat, was sich im Wasser löst, wodurch der Nitratgehalt um den benannten Faktor ansteigt.

Die geschälten Kartoffeln wurden bei großen Knollen in vier Teile und bei kleineren Knollen halbiert. Die Hälfte oder drei Viertel wurden jeweils verworfen. Die Kartoffelteile wurden in kleine Würfel geschnitten und mit der Küchenmaschine (Braun, Type 4243, 400 W) auf Stufe zwei zerkleinert bis die Probe aus gleichmäßig kleinen Stücken bestand (circa 30 Sekunden). Nach dem Zerkleinern wurde das Material nochmal gemischt. Das Mark wurde mit 300 ml destilliertem Wasser verdünnt.

Anmerkung: Das angepasste Verhältnis von 100 g Mark vermischt mit 300 ml destilliertem Wasser im Vergleich zur Messung des Nitratgehaltes in der Schale sollte beachtet werden.

Die Extraktion der Markprobe war ansonsten identisch mit der Extraktion der Schalenprobe.

2.3.2 Extraktion aus gekochten Kartoffeln

Für die Kochversuche wurden zweimal je 20 Kartoffeln verschiedener Größen (>30 mm) ausgewählt. Eine Hälfte wurde ungeschält und die andere Hälfte geschält gekocht. Alle Kartoffeln für die Kochversuche wurden mit destilliertem Wasser von Hand gewaschen und nach dem Waschen maximal für einen halben Tag bei 20 ° C zum Trocknen gelagert.

Vor Beginn der Extraktion der ungeschälten Kartoffeln wurde das Gewicht ermittelt. Die Kartoffeln wurden in einen haushaltsüblichen Kochtopf gegeben und der Topf wurde mit destilliertem Wasser aufgefüllt, bis die Kartoffeln fast bedeckt waren.

Anmerkung: Die Verwendung von destilliertem Wasser ist hier notwendig, weil ansonsten bei der Verwendung von Trinkwasser als Kochwasser schon Nitratgehalte von bis zu 40 mg Nitrat/l (Angaben beziehen sich auf Messungen hier vor Ort in Göttingen) enthalten sein könnten. Dies würde die anschließende Vermessung des Nitratgehaltes beeinflussen. Alternativ müsste vorab der Nitratgehalt im Trinkwasser bestimmt werden und dieser dann von den gemessenen Nitratgehalten nach dem Kochen abgezogen werden. Letztgenannte Vorgehensweise wird aber nicht empfohlen, weil dadurch unnötige Messfehler entstehen können.

Die zugegebene Wassermenge wurde ebenfalls notiert. Die Kartoffeln wurden solange gekocht, bis sie weichgekocht waren; dies wurde mit einem Messer durch eine Einstechprobe überprüft. Die Herdplatte wurde so eingestellt, dass möglichst wenig Wasser verdampfen konnte. Nach dem Kochen wurde das restliche Kochwasser in einen Messbecher gegossen und die Menge ermittelt. 20 ml des Kochwassers wurden in ein Szintillationsgefäß (ratiolab, Dreieich) gefüllt und bei -20 ° C eingefroren.

Die gekochten Kartoffeln wurden von Hand geschält und die Schale verworfen. Das Mark wurde gestampft und gemischt. Von dem gestampften Kartoffelmark wurden 100 g und von dem destilliertem Wasser 300 ml eingewogen. Das Wasser wurde zu gleichen Teilen auf den Mixer und eine Spritzflasche aufgeteilt. Das Mark wurde mit der Hälfte des Wassers im Standmixer (Kemar) für 30 Sekunden mit Geschwindigkeit fünf zerkleinert. Die Reste an der Wand des Mixers wurden mit dem Wasser aus der Spritzflasche runtergespült. Das Mark wurde mit dem gesamten Wasser für weitere zehn Sekunden mit Geschwindigkeit fünf gemischt. Nachdem der Schaum im Mixer sich zurückgebildet hatte, wurden 50 ml in ein Falcon gefüllt. Das Falcon wurde mit einer Zentrifuge (Eppendorf, 5804 R, Rotor: F 34-6-38) für 20 Minuten bei 10.000 U/min (10.640 x g) zentrifugiert.

Anmerkung: Dieser Zentrifugationsschritt ist notwendig, weil sich der ‚Kartoffelbrei‘ nicht filtrieren lässt. Da aber eine möglichst klare Flüssigkeit für die Vermessung mittels RQ-Systems notwendig ist, muss dieser Schritt anstelle der Filtration für die gekochten Proben durchgeführt werden.

Von der klaren Flüssigkeit im Falcon wurden 20 ml in ein Szintillationsgefäß gefüllt und bis zur Messung bei -20 ° C eingefroren.

Die Kartoffeln für die Analyse ohne Schale wurden als ganze Knolle gewogen und das Gewicht notiert. Das Schälen der Kartoffeln wurde mit einem haushaltsüblichen Sparschäler vorgenommen und die Schale (Dicke von 2 - 3 mm) verworfen. Das Gewicht des Marks wurde ermittelt. Die Extraktion der Proben der Kartoffeln, die ohne Schale gekocht wurden, ist identisch mit der Extraktion der geschälten Kartoffeln.

3. Ergebnisse und Diskussion

3.1. Nitratgehalte im Mark verschiedener Sorten von unterschiedlichen Standorten und zu verschiedenen Lagerzeitpunkten

In Abbildung 7 sind die Nitratmittelwerte im Mark für die Sorten H, D, B, E und A der einzelnen Standorte (#1, #2, #3 oder #4) zu verschiedenen Lagerzeitpunkten dargestellt. Am höchsten sind die Nitratgehalte im Mark bei der Sorte A über alle drei untersuchten Standorte. Am niedrigsten sind die Nitratgehalte im Mark bei Sorte H (über alle drei untersuchten Standorte) und bei Sorte E (Ausnahme Standort 1). Es ist außerdem ersichtlich, dass die Nitratgehalte bei allen untersuchten Sorten ohne Lagerung am höchsten sind, gefolgt von der 3-monatigen Lagerung und der 6-monatigen Lagerung. Dieser Unterschied ist zwischen dem Zeitpunkt ohne Lagerung und 6-monatiger Lagerung signifikant. Dies bestätigt, dass die Kartoffel während ihrer Lagerung physiologisch aktiv ist und einen Teil des Nitrates nutzt, um z.B. Aminosäuren oder andere stickstoffhaltige Verbindungen zu synthetisieren.

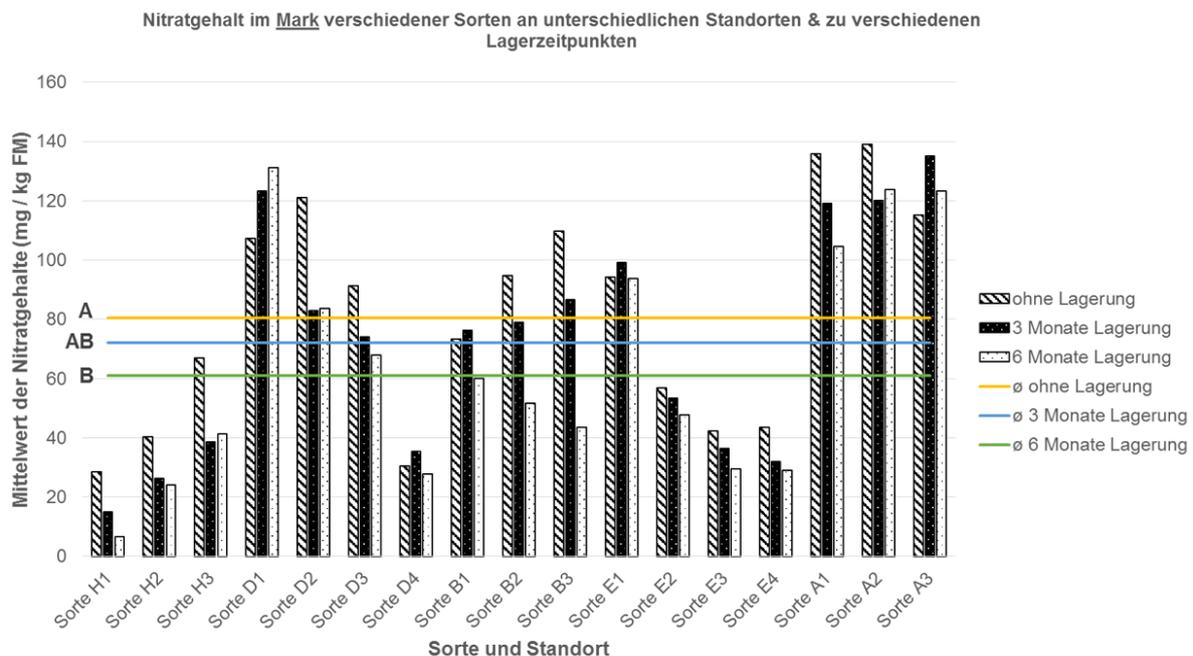


Abbildung 7: Mittelwerte der gemessenen Nitratgehalte im Mark verschiedener Sorten von unterschiedlichen Standorten und Lagerzeitpunkten; dargestellt sind die Nitratgehalte für alle untersuchten Standorte (1, 2, 3 bzw. optional 4 hinter dem Sortennamen) von fünf Kartoffelsorten (Sorte H, Sorte D, Sorte B, Sorte E und Sorte A) jeweils zu den Zeitpunkten ohne Lagerung (direkt nach der Ernte), 3 Monate Lagerung und 6 Monate Lagerung; gelbe Linie: Nitratmittelwert aller Sorten ohne Lagerung; blaue Linie: markiert ist der Nitratmittelwert aller Sorten nach 3 Monate Lagerung; grüne Linie: Nitratmittelwert aller Sorten nach 6 Monate Lagerung; n = 5; statistische Auswertung der Nitratmittelwerte über Tukey Test ($p \leq 0.05$)

Die restlichen Ergebnisse für die Sorten C, F, K, L und G sind aufgrund der besseren Übersicht im Anhang 1 dargestellt. Bei diesen Ergebnissen ist auffällig, dass die Nitratgehalte für die Sorte C vom Standort 3 durchweg deutlich erhöht sind. Erwähnenswert sind außerdem die besonders geringen Werte für die Sorte K von allen untersuchten Standorten, welche insbesondere nach einer 6-monatigen Lagerung kaum noch Nitrat im Mark enthält.

3.2. Nitratgehalte in der Schale verschiedener Sorten an unterschiedlichen Standorten und zu verschiedenen Lagerzeitpunkten

In der Abbildung 8 sind die mittleren Nitratgehalte für die Schale der Sorten H, D, B, E und A von verschiedenen Standorten und Lagerzeitpunkten dargestellt. Insgesamt sind die Werte in der Schale im Vergleich zum Mark (Abbildung 7) im Durchschnitt um etwa das 6,5-fache höher. Des Weiteren ist auffällig, dass die Nitratgehalte in der Schale nach einer 3-monatigen Lagerung im Vergleich zum Zeitpunkt ohne Lagerung im Durchschnitt leicht ansteigen. Dies könnte auf einer Verlagerung des Nitrates zur Schale hindeuten, um bestimmte metabolische Prozesse vorzubereiten, welche z.B. für das Auskeimen notwendig sind. Nach der 6-monatigen Lagerung nimmt der Nitratgehalt, auch im Vergleich zum Zeitpunkt ohne Lagerung, wieder ab. Der hohe Nitratgehalt im Schalenbereich einer rohen Kartoffel im Vergleich zum Mark zeigt die Möglichkeit einer deutlichen Reduktion des Gesamtnitratgehaltes, indem die Kartoffeln geschält und gekocht werden. Auf diesen Sachverhalt wird im späteren Verlauf des Berichtes genauer eingegangen.

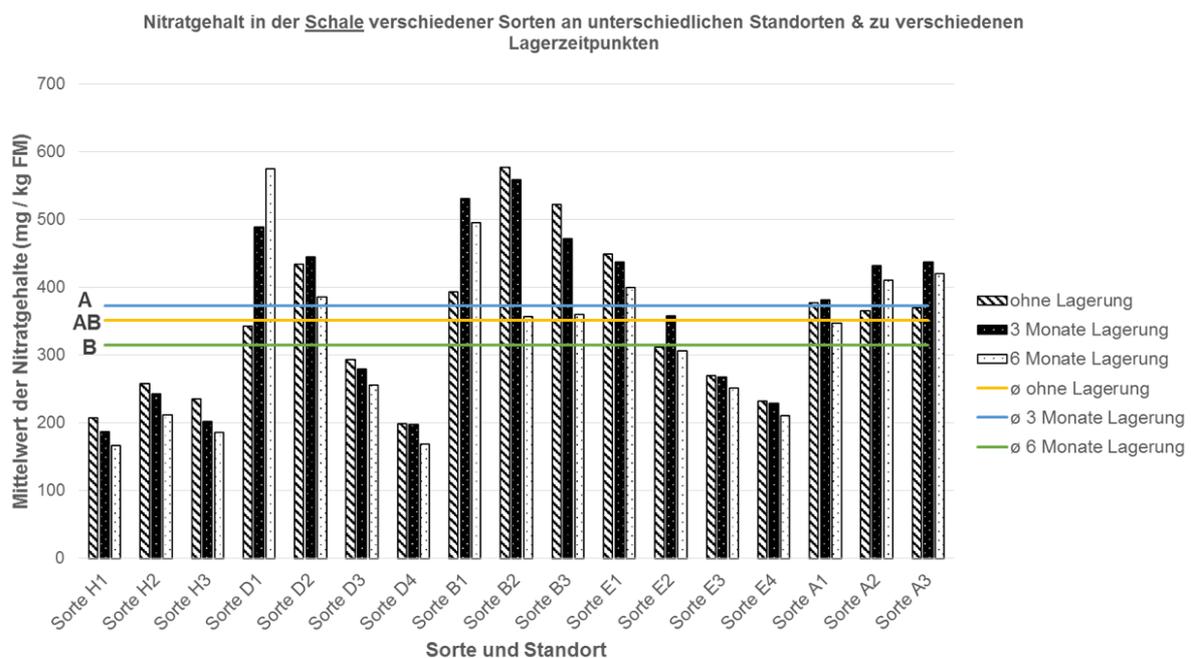


Abbildung 8: Mittelwerte der gemessenen Nitratgehalte in der Schale verschiedener Sorten von unterschiedlichen Standorten und Lagerzeitpunkten; dargestellt sind die Nitratgehalte für alle untersuchten Standorte (1, 2, und 3 bzw. optional 4 hinter dem Sortennamen) von fünf Kartoffelsorten (Sorte H, Sorte D, Sorte B, Sorte E und Sorte A) jeweils zu den Zeitpunkten ohne Lagerung (direkt nach der Ernte), 3 Monate Lagerung und 6 Monate Lagerung; gelbe Linie: Nitratmittelwert aller Sorten ohne Lagerung; blaue Linie: Nitratmittelwert aller Sorten nach 3 Monate Lagerung; grüne Linie: Nitratmittelwert aller Sorten nach 6 Monate Lagerung; n = 5; statistische Auswertung der Nitratmittelwerte über Tukey Test (p≤0.05)

Zusätzlich zu den hier dargestellten Ergebnissen sind in Anhang 2 die Nitratgehalte in der Schale für die Sorten C, F, K, L und G dargestellt. Ähnlich zu den vorherigen Ergebnissen des Nitratgehaltes im Mark (Anhang 1), ist auch bei Sorte C des Standortes 3 der Gehalt in der Schale im Vergleich zu allen anderen Sorten deutlich erhöht. Die geringsten Werte weist erneut die Sorte K über alle drei untersuchten Standorte und Lagerzeitpunkte auf.

3.3. Nitratgehalte in der gesamten Knolle verschiedener Sorten an unterschiedlichen Standorten und zu verschiedenen Lagerzeitpunkten

Der Gesamtnitratgehalt der Sorten H, D, B, E und A über die verschiedenen Standorte und Lagerzeitpunkte ist in Abbildung 9 dargestellt. Diese Werte wurden aus den Nitratgehalten von Mark und Schale berechnet, wobei die Gewichte von Schale und Mark mit in die Berechnung einbezogen wurden. Im Durchschnitt über alle Kartoffeln wurde ermittelt, dass die Schale knapp 20 % des Gesamtgewichtes einer Kartoffel ausgemacht hat und der Markanteil ca. 80 % beträgt. Diese Werte sind jedoch von der Größe der Kartoffel abhängig, kleinere Knollen haben prozentual einen höheren Schalenanteil, größere hingegen mehr Markanteil. Die dargestellten Resultate in Abbildung 9 zeigen, dass keiner der dort dargestellten Gesamtnitratgehalte über 200 mg/kg FM liegt. Werden wieder die Mittelwerte über alle drei Lagerungszeitpunkte gebildet, so ist kein Unterschied im Gesamtnitratgehalt in den Knollen nach einer 3-monatigen Lagerung im Vergleich zu den Kartoffeln ohne Lagerung statistisch feststellbar. Bei der 6-monatigen Lagerung konnte ein Abfall des Gesamtnitratgehaltes von ~15 % festgestellt werden im Vergleich zum Zeitpunkt ohne Lagerung und zur 3-monatigen Lagerung. Letztendlich zeigen die Analysen, dass es nach einer 3-monatigen Lagerung primär zu einer Verschiebung/einem Transport des Nitrates vom Mark hin zur Schale kommt und der eigentliche Einbau/Verbrauch des Nitrates erst nach 6 Monaten Lagerung feststellbar ist.

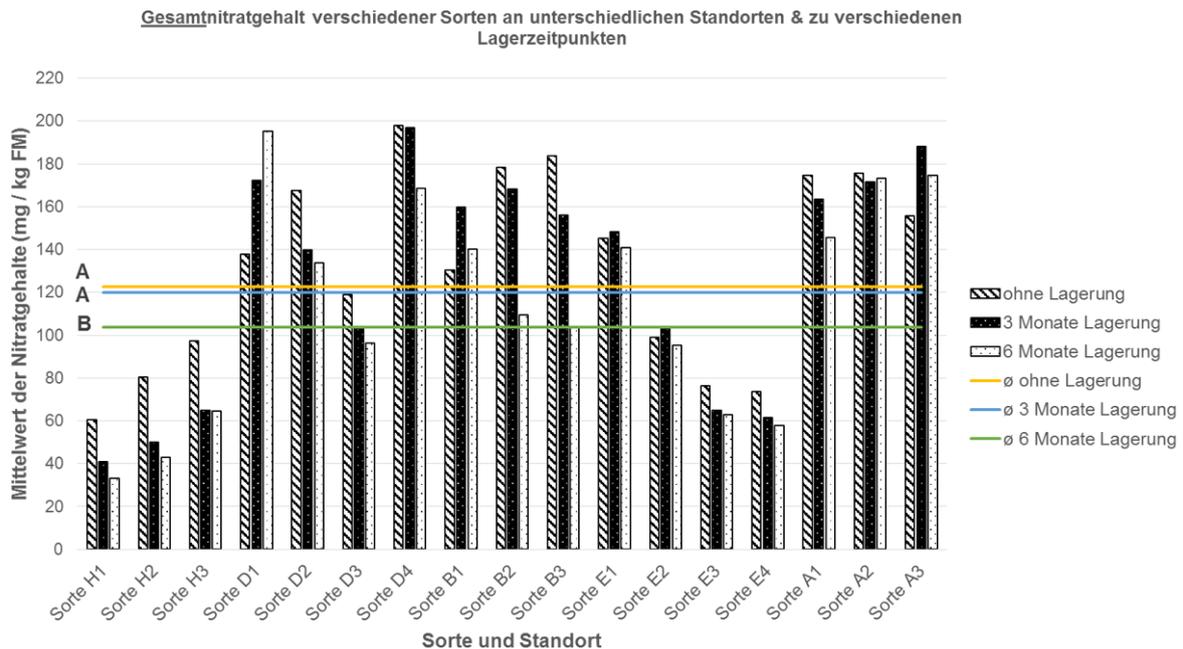


Abbildung 9: Gesamtnitratgehalt verschiedener Sorten von unterschiedlichen Standorten und Lagerzeitpunkten; dargestellt sind die Nitratgehalte für alle untersuchten Standorte (1, 2, und 3 bzw. optional 4 hinter dem Sortennamen) von fünf Kartoffelsorten (Sorte H, Sorte D, Sorte B, Sorte E und Sorte A) jeweils zu den Zeitpunkten ohne Lagerung (direkt nach der Ernte), 3 Monate Lagerung und 6 Monate Lagerung; gelbe Linie: Nitratmittelwert aller Sorten ohne Lagerung; blaue Linie: Nitratmittelwert aller Sorten nach 3 Monate Lagerung; grüne Linie: Nitratmittelwert aller Sorten nach 6 Monate Lagerung; n = 5; statistische Auswertung der Nitratmittelwerte über Tukey Test ($p \leq 0.05$)

Zusätzlich zu den Ergebnissen aus Abbildung 9 sind im Anhang 3 die Gesamtnitratgehalte fünf weiterer Kartoffelsorten (Sorte C, Sorte F, Sorte K, Sorte L und Sorte G) dargestellt. Außer für Sorte C vom Standort 3 liegen auch hier die Gesamtnitratgehalte aller weiteren Sorten der verschiedenen Standorte unter 200 mg/kg FM.

3.4. Korrelation zwischen Nitratgehalt in Schale und Mark sowie dem Gesamtnitratgehalt

In Abbildung 10 sind die Mittelwerte aller Nitratgehalte für Mark und Schale über alle Sorten und Standorte sowie aller untersuchten Lagerzeitpunkte, insgesamt 96 Datenpunkte, aufgetragen. Es ist ersichtlich, dass ein steigender Nitratgehalt im Mark mit einem Anstieg des Nitratgehalts in der Schale einhergeht. Rot markiert in Abbildung 10 sind die Werte für Schale und Mark der Sorte C vom Standort 3, welche über alle Lagerungszeitpunkte im gesamten Projekt die höchsten Nitratgehalte aufweisen. Werden diese drei Werte aus der Darstellung für die einfache lineare Regression entfernt (rot markiert), sinkt das Bestimmtheitsmaß R^2 auf 0,543 und die dann dazugehörige Geradengleichung würde $y = 0,2138x - 3,1574$ lauten.

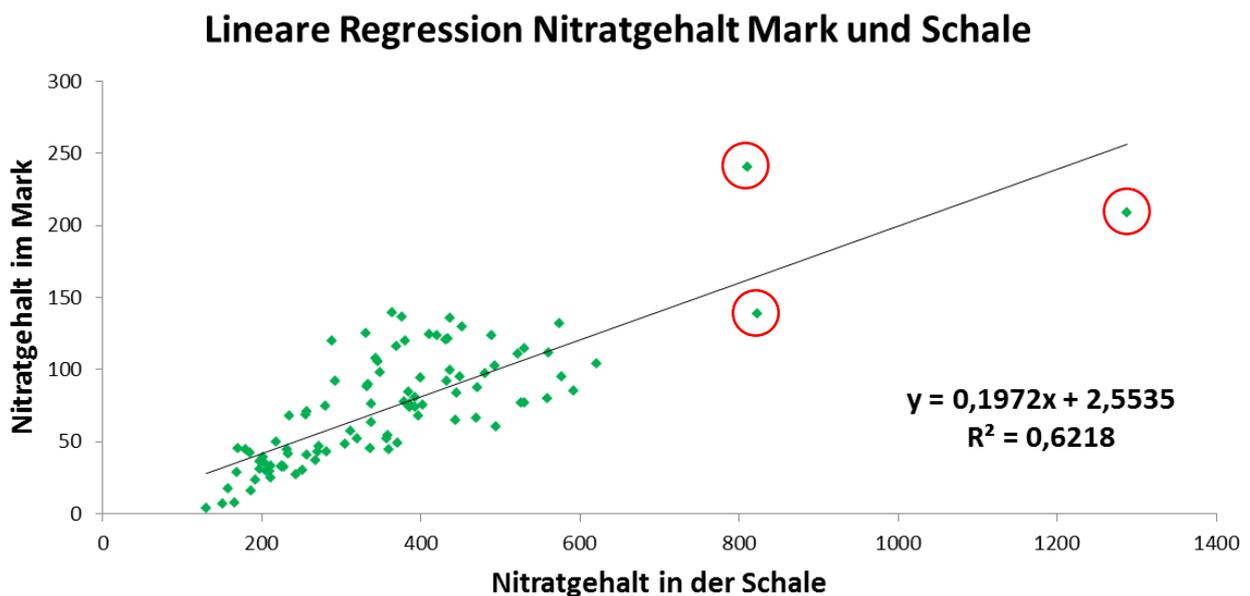


Abbildung 10: Einfache lineare Regression der Nitratgehalte für Mark und Schale; rot markiert sind die drei Ausreißer einer Kartoffelsorte von einem Standort; $n = 5$

Außerdem wurde eine Korrelation nach Pearson (zweiseitig) durchgeführt, bei welcher ein positiver signifikanter Zusammenhang zwischen dem mittleren Nitratgehalt in der Schale und im Mark ($r = 0,946$, $p = 0,00$, $n = 96$) ermittelt werden konnte. Des Weiteren konnte ein positiv signifikanter Zusammenhang für den mittleren Gesamtnitratgehalt und den Nitratgehalt in der Schale ($r = 0,948$, $p = 0,00$, $n = 96$) sowie zwischen dem mittleren Gesamtnitratgehalt und dem Nitratgehalt im Mark ($r = 0,919$, $p = 0,00$, $n = 96$) ermittelt werden. Für zukünftige Messungen bedeutet dies, dass die Bestimmung des Nitratgehaltes im Mark oder der Schale ausreichend ist, um anschließend eine Aussage über die Nitratgehalte in den nicht bestimmten Kompartiment machen zu können. Dieser direkte Zusammenhang für den Nitratgehalt in Kartoffeln wurde erstmalig im Rahmen dieses Projektes ermittelt.

3.5. Weitere ermittelte Korrelation

Zusätzlich zu den ermittelten Korrelationen in Abschnitt 3.4. *Korrelation zwischen Nitratgehalt in Schale und Mark sowie dem Gesamtnitratgehalt* konnten weitere Zusammenhänge (Anhang 4) zwischen den ermittelten Nitratgehalten und den im Fragebogen (Anhang 5) erfassten Parametern festgestellt werden. So ist im Anhang 4 ersichtlich, dass ein tendenziell negativer Zusammenhang zwischen der Phosphor- und Magnesiumdüngung und den ermittelten Nitratgehalten in der Kartoffel (Schale, Mark, Gesamt) erkennbar ist. Für die im Fragebogen erfasste Stickstoffversorgung (N_{\min} -Gehalt) konnte tendenziell ein positiver Zusammenhang mit steigenden Nitratgehalten im Mark, der Schale und dem Gesamtnitratgehalt festgestellt werden. Diese Werte sind jedoch nicht signifikant, weshalb bei dem untersuchten Probenmaterial ($n = 87$) kein direkter Zusammenhang zwischen der Stickstoffgabe und einem damit verbundenen Anstieg des Nitratgehaltes zu beobachten war. Dies widerspricht Ergebnissen von Kolbe (1996), welcher in seinen Analysen einen solchen Zusammenhang festgestellt hat.

Überraschenderweise gibt es für die im Boden gemessenen Magnesium- und Phosphorgehalte einen signifikant positiven Zusammenhang zu den gemessenen Nitratgehalten in der Kartoffel (Anhang 4). Dies bedeutet, dass hohe Gehalte von Magnesium- und Phosphor im Boden, erfragt durch den Fragebogen, einen hohen Nitratgehalt in der Kartoffelknolle verursachen können. Dieser Zusammenhang sollte durch weitere, idealerweise durch einen kontrollierten Kartoffelanbau mit vorheriger Bestimmung der Bodengehaltsklassen, Experimente verifiziert werden.

3.6. Kochversuch

In Abbildung 11 und Abbildung 12 sind die Ergebnisse des Kochversuches der ungeschälten und geschälten Kartoffeln dargestellt. Auffällig ist, dass der Schwankungsbereich der Nitrat-Abnahme für die ungeschälten Kartoffeln (mit Ausnahme von Sorte K des Standortes 1 und 2) gering ist und im Mittel bei 7 % liegt. Dies stimmt mit Ergebnissen von Bergthaller and Ocker (1985) überein, welche ebenfalls eine geringe Abnahmen des Nitratgehaltes von 0-12 % in ähnlich durchgeführten Experimenten feststellen konnten. Die hohe Minderung des Nitratgehaltes für den Standort 1 und 2 der Sorte K lassen sich mit einer sehr geringen Menge von Nitrat im Ausgangsmaterial vor dem Kochen der Kartoffeln erklären. Um die Abnahme des Nitratgehaltes zu bestimmen, wurde der Gehalt nach dem Kochen im Kochwasser ermittelt. Die gemessenen Nitratmengen im Kochwasser von Sorte K waren unterhalb der Detektionsgrenze und wurden vom Reflectoquant[®] mit <3 mg Nitrat/l angegeben. Da die Nitratgehalte in den rohen Kartoffeln der Sorte K bereits sehr geringe Ausgangswerte von <6 mg Nitrat/kg FW aufwiesen (Anhang 1; Nitratgehalte für 6-monatige Lagerung bei Sorte K1 und Sorte K2), entspricht ein Messwert von <3 mg Nitrat mit dem Reflectoquant[®] mathematisch bereits einer Abnahme von 50 %, was die hohen prozentualen Minderungen bei der Sorte K erklärt. Demzufolge ist der Reflectoquant[®] bei sehr geringen Nitratgehalten in den Kartoffelproben bzw. im Kochwasser nur eingeschränkt nutzbar. Hier müsste dann auf die HPLC oder IC zurückgegriffen werden. Da aber weniger als 2 % der analysierten Kartoffelproben in diesem sehr geringen Bereich für den Nitratgehalt lagen und beide Methoden deutlich teurer und zeitintensiver sind im Vergleich zum Einsatz des Reflectoquant[®], wurde bei den Analysen weitestgehend auf diese beiden Analysemethoden verzichtet.

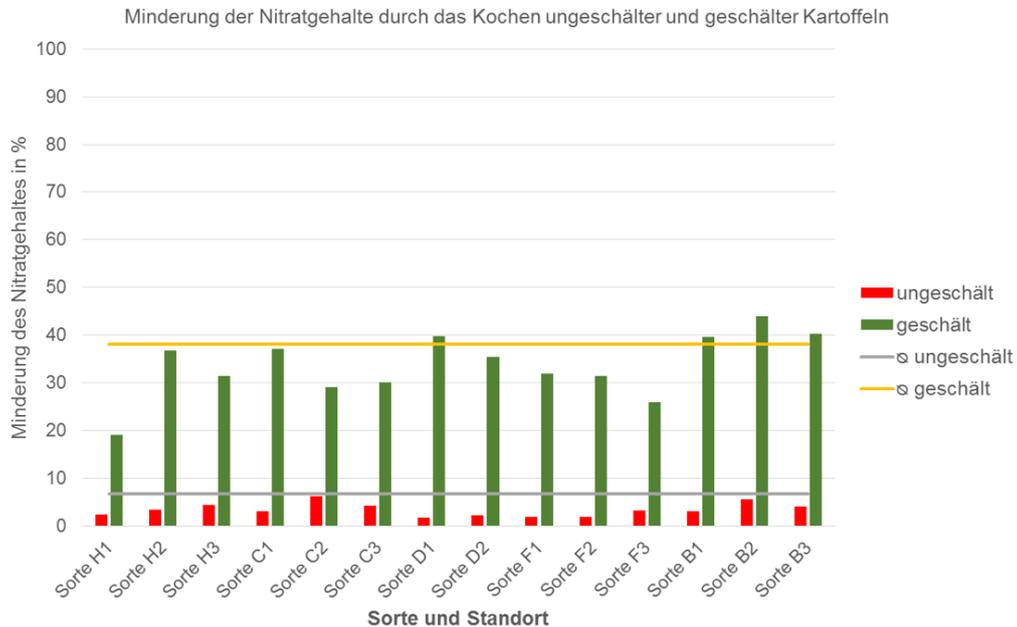


Abbildung 11: Minderung der Nitratgehalte (in %) durch das Kochen von ungeschälten und geschälten Kartoffeln - Ergebnisse Teil 1 von 2; dargestellt sind die Nitratgehalte für alle untersuchten Standorte (1, 2, und 3 hinter dem Sortennamen) von fünf Kartoffelsorten (Sorte H, Sorte C, Sorte D, Sorte F und Sorte B); gelbe Linie: Nitratmittelwert aller geschälten Sorten nach dem Kochen; graue Linie: Nitratmittelwert aller ungeschälten Sorten nach dem Kochen

Die drei sehr hohen Minderungen im Nitratgehalt für Sorte K2, Sorte K3 und Sorte E4 (Abbildung 12) für die geschälten Kartoffeln können ebenfalls auf niedrige Ausgangswerte im Markt bei der Rohware zurückgeführt werden, wo der Reflectoquant[®] an seine Bestimmungsgrenze kommt. Für die geschälten Kartoffeln ist eine Nitrat-Abnahme von 38 % ermittelt worden. Auch diese Ergebnisse stimmen mit Ergebnissen von Bergthaller and Ocker (1985) überein, welche eine Abnahme bei geschälten Kartoffeln von 34-43 % festgestellt haben.

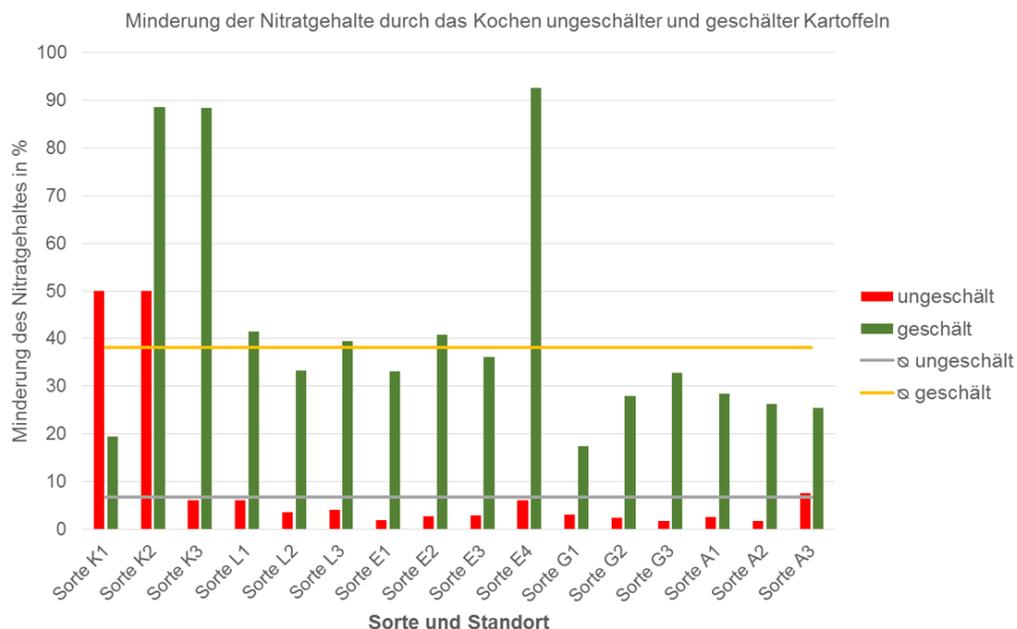


Abbildung 12: Minderung der Nitratgehalte (in %) durch das Kochen von ungeschälten und geschälten Kartoffeln - Ergebnisse Teil 2 von 2; dargestellt sind die Nitratgehalte für alle untersuchten Standorte (1, 2, und 3 hinter dem Sortennamen) von fünf Kartoffelsorten (Sorte K, Sorte L, Sorte E, Sorte G und Sorte A); gelbe Linie: Nitratmittelwert aller geschälten Sorten nach dem Kochen; graue Linie: Nitratmittelwert aller ungeschälten Sorten nach dem Kochen

Letztendlich lässt sich festhalten, dass durch das Kochen der ungeschälten Kartoffeln ein Rückgang des Nitratgehaltes von 7 % und bei geschälten Kartoffeln eine Reduktion von 38 % ermittelt werden konnte. Dies sollte bei der Bewertung und Beurteilung der in der rohen Kartoffel, unabhängig ob im Mark oder der Schale, ermittelten Nitratgehalte hinsichtlich ihres Gefährdungspotenziales für die menschliche Ernährung berücksichtigt werden, denn Kartoffeln werden nahezu nie roh verzehrt. Da aber die Messung des Nitratgehaltes an der rohen Kartoffel deutlich einfacher und schneller durchführbar ist, wird diese Methodik auch zukünftig für Nitratbestimmungen angewandt werden. Dennoch sollte überlegt werden, ob ein Faktor für eine Reduktion des Nitratwertes, je nach anschließender Verarbeitungsart (z.B. Kochen, Schälen, Frittieren etc.), in zukünftigen Projektarbeiten ermittelt werden sollte, der nach der Bestimmung des Nitratgehaltes in rohen Kartoffeln diesen um den Faktor X korrigiert. Dieser errechnete Nitratgehalt wäre somit idealerweise äquivalent mit der Nitrataufnahme durch den Verzehr von Kartoffelprodukten.

4. Veröffentlichung der Ergebnisse

Ein Teil der Ergebnisse wurde im Rahmen eines Vortrages zur Sitzung der „UNIKA-Fachkommission Qualitätssicherung und Handelsfragen und des DKHV-Ausschusses Versand, Empfang und Makler“ am 19.06.2018 in Hannover vorgestellt. Des Weiteren gab es eine Voranfrage der Fachzeitschrift KARTOFFELBAU für eine Veröffentlichung der in dem Projekt erzielten Ergebnisse. Hier ist von unserer Seite noch keine endgültige Entscheidung getroffen, in welchem wissenschaftlichen Fachjournal wir die Ergebnisse letztendlich veröffentlichen werden.

5. Weitere durchgeführte Untersuchungen

Im oben erwähnten Förderzeitraum wurden ebenfalls die folgenden zusätzlichen Fragestellungen bearbeitet, wobei auf die Ergebnisse nachfolgend kurz eingegangen wird:

1.) Eine kleine Menge „alter Kartoffelsorten“ wurde hinsichtlich ihres Nitratgehaltes untersucht

In Abbildung 13 sind die ermittelten Gesamtnitratgehalte der fünf untersuchten „alten Kartoffelsorten“ aufgezeigt. Das Bamberger Hörnchen hat hier den geringsten Nitratgehalt mit 100 mg Nitrat/kg Frischmasse, wohingegen die Blaue Ungarin den höchsten Nitratgehalt mit 183 mg Nitrat/kg Frischmasse aufweist. Über die Anbaubedingungen zu diesen Kartoffeln ist nichts bekannt. Sie wurden bei Kartoffel-Müller (<https://www.kartoffel-mueller.de/>) Ende April 2018 bestellt und stammen aus dem Anbaujahr 2017. Auffällig ist, dass der Mittelwert des Nitratgehaltes der „alten Kartoffelsorten“ um etwa 34 % erhöht ist im Vergleich zum Mittelwert der 10 untersuchten Sorten, welche ebenfalls konventionell angebaut wurden, nach einer Lagerung von 6 Monaten. Somit ist hier eine Tendenz erkennbar, dass die „alten Kartoffelsorten“ womöglich mehr Nitrat enthalten als neuere Sorten, welche ebenfalls unter konventionellen Bedingungen angebaut wurden.

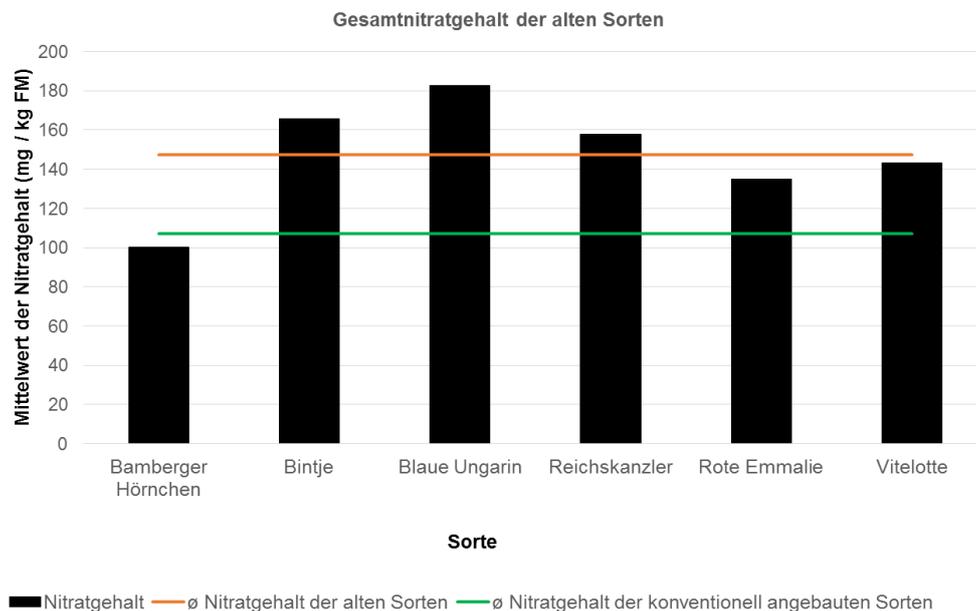


Abbildung 13: Gesamtnitratgehalt der alten Sorten; Der Nitratgehalt der alten Sorten wurde nicht für Schale und Mark getrennt ermittelt. Der Mittelwert der Nitratgehalte der konventionell angebauten Kartoffeln bezieht sich nur auf die Nitratgehalte, die nach sechs Monaten Lagerung gemessen wurden. Die Mittelwerte der Nitratgehalte der konventionell angebauten Kartoffeln wurden für Mark und Schale getrennt ermittelt und sind hier als Gesamtnitratgehalt dargestellt; n = 5

Die hier dargestellten Ergebnisse für die „alten Kartoffelsorten“ sind nicht repräsentativ und sollen lediglich als Orientierung für den Nitratgehalt dienen. Es ist durchaus auch möglich, dass der Anbau außerhalb von Deutschland stattgefunden hat, weshalb ein direkter Vergleich mit in Deutschland angebauten Kartoffelsorten nur eingeschränkt möglich ist.

2.) Vergleich konventionell und ökologisch angebaute Kartoffeln hinsichtlich des Nitratgehaltes nach dem Kochen

Zusätzlich zu den zehn untersuchten Kartoffelsorten wurden auch konventionell und ökologisch angebaute Kartoffelsorten hinsichtlich ihres Nitratgehaltes untersucht. In Abbildung 14 sind die Nitratgehalte für diese Sorten nach dem Kochen der ungeschälten Knollen dargestellt. Es ist ersichtlich, dass alle fünf getesteten und konventionell angebauten Kartoffelsorten nach dem Kochen einen höheren Nitratgehalt aufweisen als die ökologisch angebauten Kartoffeln. Dies ist auch in den Mittelwerten über die beiden Anbausysteme erkennbar. Bei den fünf konventionell angebauten und untersuchten Kartoffelsorten liegt der Mittelwert bei 107 mg Nitrat/kg Frischmasse, wohingegen bei ökologisch angebauten Sorten der Mittelwert bei 67 mg Nitrat/kg Frischmasse liegt. Der Nitratgehalt in diesen untersuchten Kartoffelsorten liegt bei den ökologisch angebauten Sorten demzufolge 38 % unter dem von konventionell angebauten.

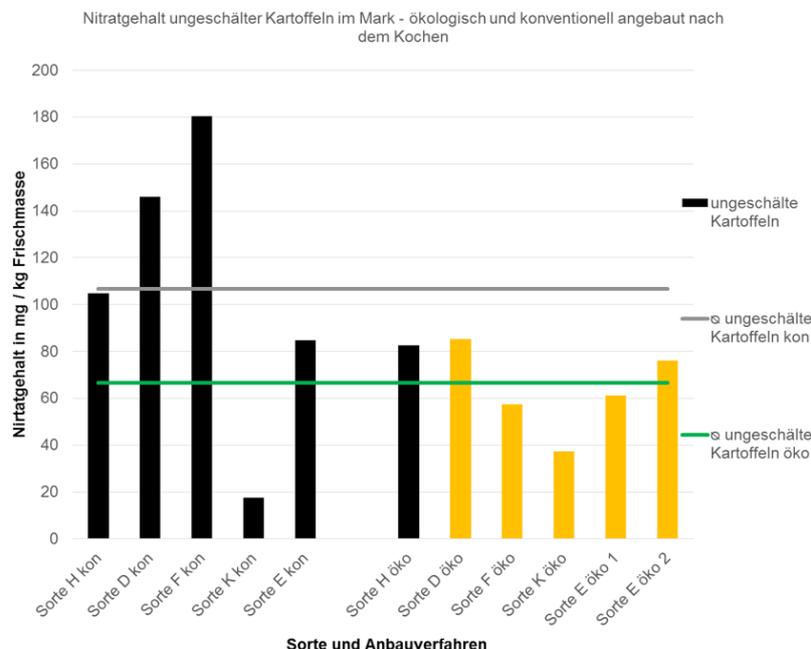


Abbildung 14: Nitratgehalt im Mark nach dem Kochen ungeschälter Knollen; kon - konventioneller Anbau; öko - ökologischer Anbau; der Mittelwert des Nitratgehaltes bezieht sich die Sorten aus dem jeweiligen Anbausystem; bei der Sorte Sorte L aus dem ökologischen Anbau wurden Proben von zwei unterschiedlichen Standorten untersucht; n = 5

Auch bei diesen Ergebnissen sollte erwähnt werden, dass es sich lediglich um eine Stichprobe handelt und dieser Trend nicht verallgemeinert werden kann. Dennoch finden sich in der Literatur (Tauscher et al. 2003) ähnliche Ergebnisse, welche häufig auf die deutlich reduzierten Düngungsmengen im ökologischen Kartoffelanbau zurückgeführt werden. Auch ein direkter Zusammenhang mit einer hohen Stickstoffmenge und einen dadurch höheren Nitratgehalt wird in einigen Publikationen erwähnt (Kolbe 1996).

Diese zusätzlichen Arbeitsschritte wurden im Rahmen einer Bachelorarbeit durchgeführt. Die Intension war, den Einfluss weiterer Anbauparameter (ökologisch vs. konventionell) und Kartoffelsorten (Stichwort „alte Kartoffelsorten“) hinsichtlich des Nitratgehaltes zu untersuchen, um einen möglichst umfassenden Überblick über das Kartoffelanbaujahr 2017 zu erhalten.

6. Zusammenfassung

- für die Analyse von rohen Kartoffeln bzw. verarbeiteten Kartoffelprodukten konnte ein detailliertes Protokoll zur Probenahme- und Probenvorbereitung ausgearbeitet werden
- bei einer Anwendung dieses Protokolls ist bei zukünftigen Bestimmungen des Nitratgehaltes bei Kartoffeln bzw. Kartoffelprodukten eine Vergleichbarkeit der ermittelten Ergebnisse untereinander möglich
- bei der Anwendung des Nitratschnelltests (Reflectoquant® System) wurde eine Messungengenauigkeit von <10 % festgestellt, welche im Vergleich zur deutlich teureren und aufwendigeren HPLC-Analyse vertretbar erscheint
- eine umfangreiche Analyse, welche überhaupt erst durch die Probenlieferung von ~2,5 t Kartoffeln möglich war, von 10 verschiedenen Kartoffelsorten von jeweils mindestens drei verschiedenen Anbaustandorten ermöglicht einen umfassenden Überblick über den Nitratgehalt bei Kartoffeln und Kartoffelprodukten im Anbaujahr 2017
- mit Ausnahme der Sorte C vom Standort 3 weist keine der analysierten Kartoffeln, bezogen auf den Gesamtnitratgehalt in der Knolle, einen höheren Gehalt als 200 mg Nitrat/kg Frischmasse auf
- durchschnittlich befindet sich im Schalenbereich 6,5x mehr Nitrat im Vergleich zum Mark, bezogen auf alle analysierten Proben – demzufolge kann der Anteil des Nitrates in der Kartoffel durch das Schälen deutlich reduziert werden
- erstmalig wurde eine direkte Korrelation des Nitratgehaltes im Mark und der Schale bei Kartoffeln festgestellt
- das Kochen ungeschälter Kartoffeln führte zu einer Reduktion des Nitratgehaltes von 7 % und das Kochen geschälter Knollen ergab eine Reduktion des Nitratgehaltes von 38 %
- in der durchgeführten Studie konnte kein Zusammenhang zwischen dem Nitratgehalt in der Knolle und der im Anbaujahr gedüngten Stickstoffmenge festgestellt werden
- es wurde eine positive Korrelation zwischen dem Nitratgehalt in der Knolle und den Magnesium- und Phosphorgehalten im Boden ermittelt

7. Ausblick

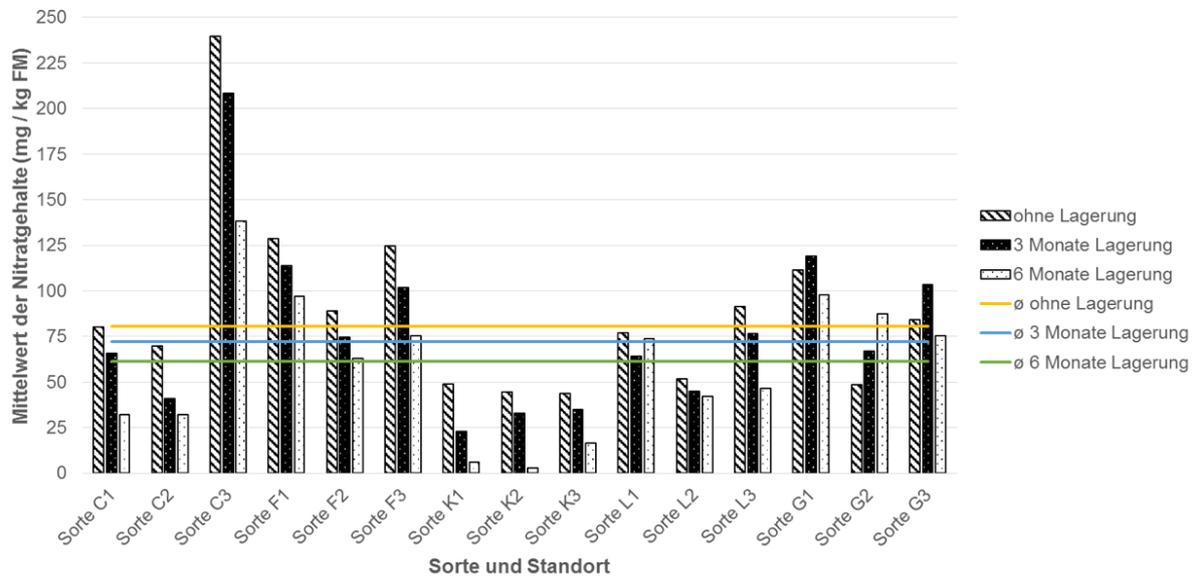
Die Gehalte bestimmter Inhaltsstoffe (z.B. Nitrat) in der Kartoffel sind Jahr für Jahr natürlichen Schwankungen ausgesetzt, welche häufig auch mit den Witterungsbedingungen des jeweiligen Standorts zusammenhängen. Dies gilt im besonderen Maße für Nitrat, welches in regenreichen Anbaujahren (2017) etwas weniger in der Knolle angereichert wird, wohingegen in regenarmen Anbaujahren (2018) größere Mengen in die Knolle eingelagert werden (siehe dazu u.a. Kolbe (1996)). Demzufolge wäre es für Folgeexperimente wünschenswert, wenn zu dem analysierenden Probenmaterial auch ein vollständiger Wetterdatensatz (Regenmengen, Temperatur, Sonnenscheindauer, Luft- und Bodenfeuchte) vorliegen würde, um einen möglichen Einfluss dieser Parameter auf den Nitratgehalt in der Knolle ebenfalls berücksichtigen zu können. Ausgewählte Wetterdaten sollten auch über den erstellten Fragebogen erfasst werden, aber das Spektrum der Abfrage sollte zukünftig deutlich erweitert werden. Durch den Einsatz des Fragebogens wurden ebenfalls Parameter wie ausgebrachte Düngungsmengen und -form oder die Verfügbarkeit von bestimmten Mineralstoffen im Boden abgefragt. Diese Angaben erfolgten freiwillig, weshalb der Rücklauf vollständig ausgefüllter Fragebögen unter 50 % lag. Bei einer Fortsetzung des Projektvorhabens wäre zu überprüfen, ob beim Anbau auf die Expertise der Landwirtschaftskammern zurückgegriffen werden kann. Eine Möglichkeit wäre, bei ohnehin stattfindenden Sortenversuchen die Kartoffeln auch hinsichtlich des Nitratgehaltes zu untersuchen. Boden- und Wetterdaten müssten dann nur einmalig abgefragt werden und ein Vergleich der untersuchten Kartoffelproben wäre aufgrund identischer Anbaubedingungen auch viel besser möglich.

Die Bestimmung des Nitratgehaltes mit dem Reflectoquant® System ist kostengünstig, wenig zeitintensiv und mit einer Messgenauigkeit von <10 % in einem tolerierbaren Bereich. Dennoch wäre es wünschenswert, wenn, neben der Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC)-Methode, die Ionenchromatographie (IC) hinsichtlich ihrer Einsatzfähigkeit zur Bestimmung des Nitratgehaltes in Kartoffeln in zukünftigen Studien geprüft werden könnte. Für die Nutzung der IC, im Vergleich zum Einsatz der HPLC, spricht, dass diese Methodik geringere Messzeiten und Kosten für die Extraktion pro Probe in Anspruch nimmt. Eine angepasste und optimierte Extraktion könnte bei Verwendung der IC zu einer ähnlichen Messgenauigkeit, wie bei der HPLC-Methode führen. Vorteile gegenüber dem Reflectoquant® System wären, dass nach einer Extraktion eine automatische Messung, auch über Nacht, möglich wäre und das die Messgenauigkeit noch einmal deutlich ansteigen würde. Eine anschließende Kosten/Nutzen-Analyse aller drei genannten Methoden könnte Aufschluss darüber geben, ob ein routinemäßiger Laboreinsatz der IC zur Bestimmung des Nitratgehaltes in Kartoffeln sinnvoll und praktikabel erscheint.

Weiterer Forschungsbedarf besteht ebenfalls hinsichtlich der Aufnahmemechanismen für stickstoffhaltige Verbindungen aus dem Boden, im speziellen für Nitrat, und dessen anschließende Einlagerung in die Knolle. In der aktuell zur Verfügung stehenden Literatur finden sich hierzu nur Erklärungsansätze. Wenn die Mechanismen zur Nitrataufnahme bei Kartoffeln in zukünftigen Projekten detaillierter aufgeklärt werden könnten, wäre anschließend auch eine bessere bzw. modifizierte Düngungsempfehlung (u.a. für Düngungsform, Düngungsmenge und Düngungszeitpunkt) hinsichtlich der Stickstoffgabe bei Kartoffeln möglich.

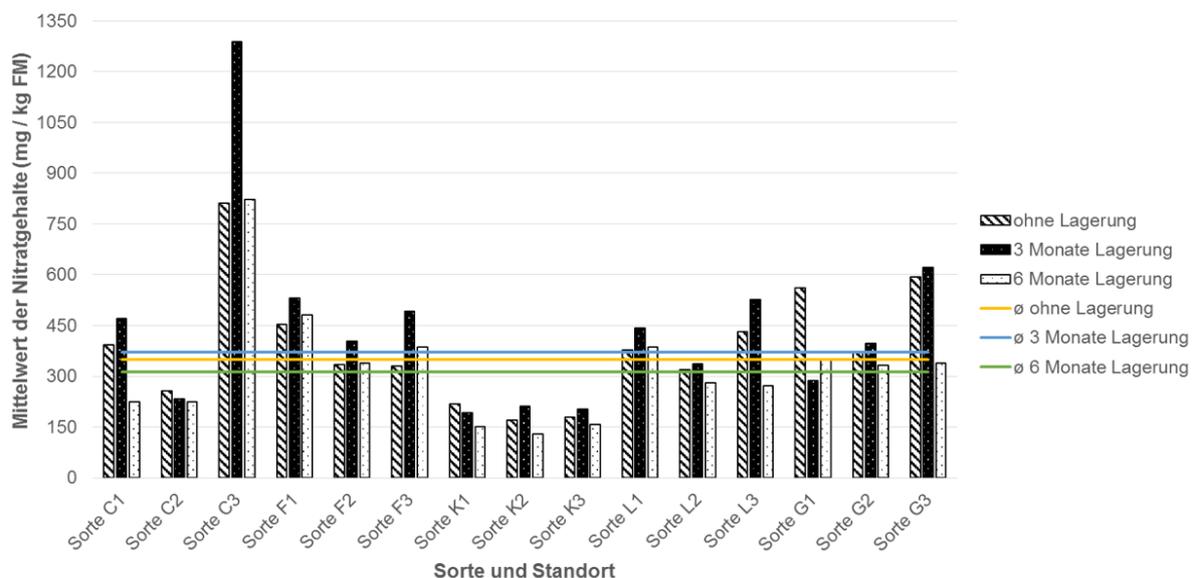
8. Anhang

Nitratgehalt im Mark verschiedener Sorten an unterschiedlichen Standorten & zu verschiedenen Lagerzeitpunkten

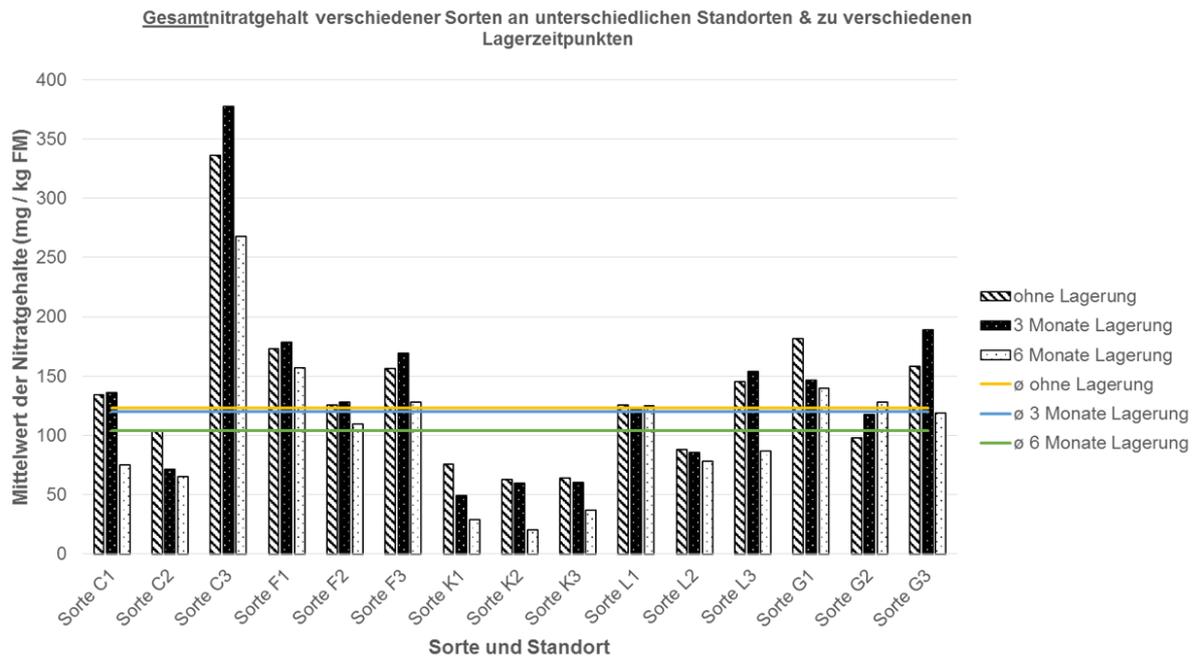


Anhang 1: Mittelwerte der gemessenen Nitratgehalte im Mark verschiedener Sorten von unterschiedlichen Standorten und Lagerzeitpunkten; dargestellt sind die Nitratgehalte für alle untersuchten Standorte (1, 2, 3 bzw. optional 4 hinter dem Sortennamen) von fünf Kartoffelsorten (Sorte C, Sorte F, Sorte K, Sorte L und Sorte G) jeweils zu den Zeitpunkten ohne Lagerung (direkt nach der Ernte), 3 Monate Lagerung und 6 Monate Lagerung; gelbe Linie: Nitratmittelwert aller Sorten ohne Lagerung; blaue Linie: markiert ist der Nitratmittelwert aller Sorten nach 3 Monate Lagerung; grüne Linie: Nitratmittelwert aller Sorten nach 6 Monate Lagerung; n = 5

Nitratgehalt in der Schale verschiedener Sorten an unterschiedlichen Standorten & zu verschiedenen Lagerzeitpunkten



Anhang 2: Mittelwerte der gemessenen Nitratgehalte in der Schale verschiedener Sorten von unterschiedlichen Standorten und Lagerzeitpunkten; dargestellt sind die Nitratgehalte für alle untersuchten Standorte (1, 2, und 3 bzw. optional 4 hinter dem Sortennamen) von fünf Kartoffelsorten (Sorte C, Sorte F, Sorte K, Sorte L und Sorte G) jeweils zu den Zeitpunkten ohne Lagerung (direkt nach der Ernte), 3 Monate Lagerung und 6 Monate Lagerung; gelbe Linie: Nitratmittelwert aller Sorten ohne Lagerung; blaue Linie: Nitratmittelwert aller Sorten nach 3 Monate Lagerung; grüne Linie: Nitratmittelwert aller Sorten nach 6 Monate Lagerung; n = 5



Anhang 3: Gesamtnitratgehalt verschiedener Sorten von unterschiedlichen Standorten und Lagerzeitpunkten; dargestellt sind die Nitratgehalte für alle untersuchten Standorte (1, 2, und 3 bzw. optional 4 hinter dem Sortennamen) von fünf Kartoffelsorten (Sorte C, Sorte F, Sorte K, Sorte L und Sorte G) jeweils zu den Zeitpunkten ohne Lagerung (direkt nach der Ernte), 3 Monate Lagerung und 6 Monate Lagerung; gelbe Linie: Nitratmittelwert aller Sorten ohne Lagerung; blaue Linie: Nitratmittelwert aller Sorten nach 3 Monate Lagerung; grüne Linie: Nitratmittelwert aller Sorten nach 6 Monate Lagerung; n = 5

Anhang 4: Korrelation nach Pearson (zweiseitig) für verschiedene Faktoren; NO3Mark = Nitratgehalt im Mark; NO3Schale = Nitratgehalt in der Schale; NO3Gesamt = Gesamtnitratgehalt; Stickstoffversorgung = erfasste Stickstoff-Düngung über den Fragebogen; Düngung_P = erfasste Phosphor-Düngung über den Fragebogen; Düngung_K = erfasste Kalium-Düngung über den Fragebogen; Düngung_Mg = erfasste Mg-Düngung über den Fragebogen; Gehalt_P = erfasster Phosphorgehalt im Boden über den Fragebogen; Gehalt_K = erfasster Kalium-Gehalt im Boden über den Fragebogen; Gehalt_Mg = erfasster Magnesium-Gehalt im Boden über den Fragebogen; N = Anzahl der biologischen Wiederholungen;

Korrelationen nach Pearson (zweiseitig) SPSS über alle Messungen															
		NO3Mark	NO3Schale	NO3Gesamt	Stickstoffversorgung	Düngung_P	Düngung_K	Düngung_Mg	Gehalt_p	Gehalt_K	Gehalt_Mg				
NO3Mark	Korrelation nach Pearson	1	,946**	,919**	,011	-,044	-,057	-,103	,373**	,103	,254*	Ermittelte Nitratgehalte im Projekt			
	Signifikanz (2-seitig)		,000	,000	,917	,698	,609	,358	,003	,434	,050				
	N	96	96	96	87	81	84	81	60	60	60				
NO3Schale	Korrelation nach Pearson	,946**	1	,948**	,066	-,062	-,111	-,130	,434**	,123	,287*		Ermittelte Nitratgehalte im Projekt		
	Signifikanz (2-seitig)	,000		,000	,546	,585	,315	,247	,001	,348	,026				
	N	96	96	96	87	81	84	81	60	60	60				
NO3Gesamt	Korrelation nach Pearson	,919**	,948**	1	,139	-,027	-,056	-,077	,346**	,045	,277*			Ermittelte Nitratgehalte im Projekt	
	Signifikanz (2-seitig)	,000	,000		,200	,812	,611	,494	,007	,730	,032				
	N	96	96	96	87	81	84	81	60	60	60				
Stickstoffversorgung	Korrelation nach Pearson	,011	,066	,139	1	-,266*	-,415**	-,181	,116	-,222	-,026				Düngungsmengen laut Fragebogen
	Signifikanz (2-seitig)	,917	,546	,200		,016	,000	,105	,376	,088	,846				
	N	87	87	87	87	81	84	81	60	60	60				
Düngung_P	Korrelation nach Pearson	-,044	-,062	-,027	-,266*	1	,395**	,553**	-,048	,091	,107	Düngungsmengen laut Fragebogen			
	Signifikanz (2-seitig)	,698	,585	,812	,016		,000	,000	,732	,511	,442				
	N	81	81	81	81	81	81	81	54	54	54				
Düngung_K	Korrelation nach Pearson	-,057	-,111	-,056	-,415**	,395**	1	,121	,076	,318*	,441**		Düngungsmengen laut Fragebogen		
	Signifikanz (2-seitig)	,609	,315	,611	,000	,000		,280	,577	,016	,001				
	N	84	84	84	84	81	84	81	57	57	57				
Düngung_Mg	Korrelation nach Pearson	-,103	-,130	-,077	-,181	,553**	,121	1	-,082	-,074	,246			Dünger im Boden laut Fragebogen	
	Signifikanz (2-seitig)	,358	,247	,494	,105	,000	,280		,558	,595	,073				
	N	81	81	81	81	81	81	81	54	54	54				
Gehalt_P	Korrelation nach Pearson	,373**	,434**	,346**	,116	-,048	,076	-,082	1	,303	,600**				Dünger im Boden laut Fragebogen
	Signifikanz (2-seitig)	,003	,001	,007	,376	,732	,577	,558		,018	,000				
	N	60	60	60	60	54	57	54	60	60	60				
Gehalt_K	Korrelation nach Pearson	,103	,123	,045	-,222	,091	,318*	-,074	,303	1	,381**	Dünger im Boden laut Fragebogen			
	Signifikanz (2-seitig)	,434	,348	,730	,088	,511	,016	,595	,018		,003				
	N	60	60	60	60	54	57	54	60	60	60				
Gehalt_Mg	Korrelation nach Pearson	,254*	,287*	,277*	-,026	,107	,441**	,246	,600**	,381**	1		Dünger im Boden laut Fragebogen		
	Signifikanz (2-seitig)	,050	,026	,032	,846	,442	,001	,073	,000	,003					
	N	60	60	60	60	54	57	54	60	60	60				

** . Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

* . Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.



Anhang 5: : Fragebogen (2-seitig) zur Erfassung verschiedener Anbauparameter

Fragebogen für Kartoffelanbauer für Nitratprojekt UNI GÖTTINGEN

(bei Rückfragen gerne per E-Mail marcel.naumann@agr.uni-goettingen oder Festnetz 0551 – 39 5565) **ideal**
wäre die Beifügung einer Kopie der Schlagkartei

Pflanzgut/Ertrag

Anbau am Standort / Schlag <i>(Ort/Gemeinde oder ähnliches)</i>	
Sorte	
Pflanztermin der Kartoffeln	____.____.2017
Erntetermin der Kartoffeln	____.____.2017
Ertrag (dt/ha)	

Boden

Bodenuntersuchung vorhanden? <i>(wenn möglich beifügen oder Angabe in Zeile drei)</i>	Ja/Nein
Falls vorhanden, wann wurde diese ermittelt	
Falls vorhanden, Gehalte für N_{min} , P, K, Mg <i>(bitte die dazugehörigen Einheiten z.B. mg/100 g Boden angeben)</i> <i>Angabe der Gehaltsklassen (GK) kann zusätzlich erfolgen.</i>	$N_{min} =$ ____ $P =$ ____ $K =$ ____ $Mg =$ ____
Auf welcher Bodenart erfolgte der Anbau <i>S = Sand, IS = lehmiger Sand, sU = sandiger Schluff,</i> <i>ssl = stark sandiger Lehm, IU = lehmiger Schluff, sL = sandiger Lehm, uL =</i> <i>schluffiger Lehm, L = Lehm, utL = schluffig toniger Lehm,</i> <i>tL = toniger Lehm, T = Ton</i>	
Welche Ackerzahl (AZ) oder Bodenpunkte (BP) liegen vor	

Fruchtfolge

Vorfrucht 2016	
Vorfrucht 2015	
Vorfrucht 2014	
Welche vorbereitende Bodenbearbeitung	

Niederschlag

Menge an Niederschlag	
Verteilung des Niederschlages <i>(gleichmäßig oder ungleichmäßig</i> <i>z.B. durch hohe Regenmengen zu bestimmten Zeitpunkten?)</i>	
Wurde beregnet?	Ja/Nein
Falls beregnet, welche Gesamtmenge?	

-Bitte wenden bzw. Seite 2 beachten



Düngung

Welche N-Düngerform wurde verwendet	
Welche Mengen (Gesamt N /ha)	
Zeitpunkt der N-Gaben <i>(falls nicht zur Hand - Anzahl der Gaben)</i>	
K-Düngungsform und Menge (Gesamt /ha)	
P-Düngungsform und Menge (Gesamt /ha)	
Mg-Düngungsform und Menge (Gesamt /ha)	

Pflanzenschutz

Welcher Krankheitsbefall trat während des Wachstums auf <i>(Krautfäule, Alternaria solani etc.)</i>	
Einsatz welcher Pflanzenschutzmittel erfolgte <i>(Aufwandmenge /ha und Zeitpunkt der Gaben)</i>	

Krautabtötung

Erfolgte die Krautabtötung mittels Pflanzenschutzmittel	Ja/Nein
Welche Mittel wurden verwendet <i>(Aufwandmenge /ha)</i>	
Zeitraum zwischen Krautabtötung und Ernte	____.____.2017 bis ____.____.2017

Vielen Dank für Ihre Teilnahme

9. Literaturverzeichnis

- Bártová V, Diviš J, Bárta J, Brabcová A, Švajnerová M (2013) Variation of nitrogenous components in potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers produced under organic and conventional crop management. *European Journal of Agronomy* 49:20-31.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.02.009>
- Bergthaller W, Ocker HD (1985) Einfluß der Verarbeitung und der küchentechnischen Zubereitung auf den Nitratgehalt von Kartoffelerzeugnissen. Kongressband 1984 : Vorträge gehalten auf dem 96 VDLUFA-Kongreß in Karlsruhe Sonderheft 41:288-297
- Kolbe H (1996) Einflussfaktoren auf Ertrag und Inhaltsstoffe der Kartoffel - IV. Nitrat. *Kartoffelbau* 7:259-264
- Kolbe H, Müller K (1986) Vergleichende Untersuchungen über semiquantitative und quantitative Methoden zur Bestimmung von Nitrat in Kartoffelknollen. *Potato Res* 29 (3):333-346
- Lach, Bruns (2015) Nitrat: Laboranalytische Meßmethode und deren Anwendung in der Routine. Schriftliche Stellungnahme v. 08.06.2015.
- Poberežny J, Wszelaczyńska E, Wichrowska D, Jaskulski D (2015) Content of nitrates in potato tubers depending on the organic matter, soil fertilizer, cultivation simplifications applied and storage. *Chilean journal of agricultural research* 75 (1):42-49
- Putz B (1991) Nitrat in Kartoffeln. *Agribiological Research* 44:30–36
- Romanik G, Gilgenast E, Przyjazny A, Kamiński M (2007) Techniques of preparing plant material for chromatographic separation and analysis. *Journal of Biochemical and Biophysical Methods* 70 (2):253-261. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jbbm.2006.09.012>
- Rytel E (2012) Changes in glycoalkaloid and nitrate content in potatoes during dehydrated dice processing. *Food Control* 25 (1):349-354.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2011.10.053>
- Santamaria P (2006) Nitrate in vegetables: toxicity, content, intake and EC regulation. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 86 (1):10-17. doi:doi:10.1002/jsfa.2351
- Tauscher B, Brack G, Flachowsky G, Henning M, Köpke U, Meier-Ploeger A, Münzing K, Niggli U, Rahmann G, Willhöft C (2003) Bewertung von Lebensmitteln verschiedener Produktionsverfahren-Statusbericht 2003.

Protokoll zur Bestimmung des Nitratgehaltes in rohen Kartoffeln

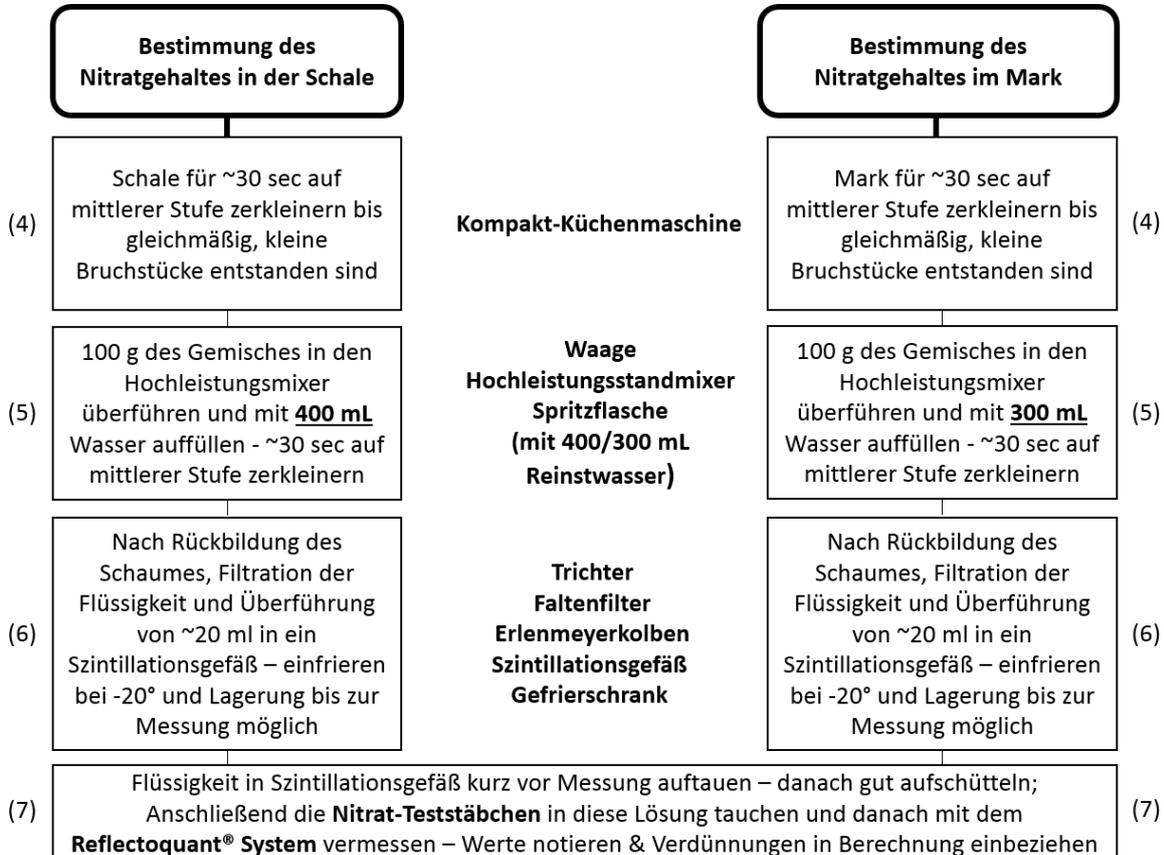
Benötigte(r) Geräte/Laborbedarf:

- **Reinstwasser** (entmineralisiert, demineralisiert oder destilliert)
- Handelsüblicher Gemüse- oder **Sparschäler** (2-3 mm Schäldicke), **Brettchen** und **Messer**
- **Kompakt-Küchenmaschine** (≥ 400 Watt; Fassungsvermögen $\geq 1,5$ L)
- **Hochleistungsstandmixer** (≥ 1.500 Watt; ≥ 25.000 U/min; Fassungsvermögen $\geq 1,5$ L)
- **Faltenfilter** (Typ MN 615 $\frac{1}{4}$)
- **Trichter**
- Küchen-, Tisch- oder **Laborwaage** (Wägebereich bis 5 kg; Ziffernschritt 1 g)
- **Erlenmeyerkolben** bzw. Auffanggefäß (Fassungsvermögen ~ 100 mL)
- **Szintillationsgefäß** (20 mL) oder Zentrifugenröhrchen (15 mL oder 50 mL)
- **Gefrierschrank** (Temperaturen $\leq -18^\circ\text{C}$ sollten erreicht werden)
- **Reflectoquant® System** (Merck) oder vergleichbare Messgeräte
- Reflectoquant® **Nitrat-Teststäbchen** (Messbereich 3-90 mg/L Nitrat bzw. 5-225 mg/L Nitrat)

Vorbereitungen und benötigtes Probenmaterial (Arbeitsschritte 1 - 7):

- (1) **30 möglichst gleichmäßig große Kartoffeln**, ohne sichtbare äußere Beschädigungen (keine Miniknollen mit einem $\varnothing \leq 3$ cm verwenden), bilden die Grundlage für eine biologische Wiederholung
 - um ein repräsentatives Ergebnis einer Probenpartie zu bekommen, sollten mindestens fünf biologische Wiederholungen (± 150 Kartoffeln) untersucht werden
- (2) alle Kartoffeln mit Reinstwasser **von anhaftenden Erdpartikeln befreien** und über Nacht bei Raumtemperatur auf einem Papiertuch o.ä. trocknen lassen
- (3) am Folgetag das **Gesamtgewicht** aller Kartoffeln ermitteln und anschließend mit dem Sparschäler die Schale der Kartoffeln entfernen – die Schale und das Mark in separaten Gefäßen sammeln und das **jeweilige Gewicht bestimmen** und notieren

Nachfolgend ist der Ablauf für die weiteren Extraktionen getrennt für die **Schale und das Mark graphisch dargestellt:**



Weitere Anmerkungen und Ergänzungen zu den Arbeitsschritten 1 - 7:

- (1) *Die Verwendung von sehr kleinen Knollen (<30 mm) sollte unbedingt vermieden werden, weil diese die Ergebnisse der Nitratmessung beeinflussen. Der Schalenanteil in diesen Knollen ist im Vergleich zum Mark deutlich höher, weshalb auch der gemessene Nitratgehalt höher ist. Außerdem kann es sich um unreife Knollen handeln, weshalb die anschließende Ermittlung des Nitratgehaltes nicht repräsentativ für die untersuchte Stichprobenmenge wäre. Faule und beschädigte Knollen sollten generell nie für die Nitratmessungen herangezogen werden, weil sich hier der Metabolismus geändert hat bzw. ein Teil des Nitrates z.B. durch Pilz- oder Bakterienbefall bereits verlorengegangen sein könnte.*
- (2) *Die Erde könnte die Extraktionslösung verdunkeln und damit auch das Messergebnis beeinflussen, weil die Messung des Nitratgehaltes photometrisch mit einem Messstreifen im RQ-System durchgeführt wird und demzufolge auf einem Farbumschlag in der Extraktionslösung beruht. Verunreinigungen in der Extraktionslösung könnten direkt zu einem unnatürlich höheren Nitratgehalt führen. Des Weiteren sollte bei dem Abwaschen der Erdreste unbedingt der Einsatz einer Bürste o.ä. vermieden (Verletzungen der Knolle könnten entstehen, wodurch sich Nitrat aus dem Randbereich herauslösen könnte) und Reinstwasser benutzt werden, weil im normalen Trinkwasser sehr unterschiedliche Nitratgehalte (im Bereich von weniger als 3 mg Nitrat/l bis hin zu >40 mg Nitrat/l z.B. im Raum Göttingen) enthalten sein können. Dies hätte somit auch wieder einen direkten Einfluss auf die anschließende Nitratmessung.*
- (3) *Das Ermitteln des Gewichtes für Mark und Schale ist notwendig, um anschließend den Gesamtnitratgehalt in der Kartoffelknolle berechnen zu können.*
- (4) *Eine Überhitzung des Probenmaterials sollte hier unbedingt vermieden werden. Falls eine längere (>30 sec) Zerkleinerung des Probenmaterials notwendig ist, sollte eine kurze Pause zur Kühlung der Probe gemacht werden.*
- (5) *Das Verhältnis von 100 g Schale vermischt mit 400 ml Reinstwasser (bzw. 100 g Mark vermischt mit 300 ml Reinstwasser) hat sich für den überwiegenden Teil der analysierten Proben für die anschließende Vermessung mittels des RQ-Systems als das geeignetste Mischverhältnis herausgestellt. Bei sehr hohen Nitratgehalten in der Schale sollten die Proben ein zweites Mal verdünnt werden.*
- (6) *Dieser Schritt ist essentiell, um mögliche Reste von Verunreinigen an der Schale oder nicht zerkleinerte Kartoffelfragmente zu entfernen. Da sich das Nitrat sehr gut in Wasser löst und den oben erwähnten Filter problemlos passieren kann, stellt die Filtration für die anschließende Nitratvermessung kein Problem dar. Ebenso ist das Einfrieren essentiell, da ohne das Einfrieren die Nitratgehalte im Durchschnitt 10 % niedriger sind im Vergleich zu direkt vermessenen Proben. Über die Gründe kann an dieser Stelle nur spekuliert werden, aber sehr wahrscheinlich führt ein Aufplatzen während des Einfrierens von durch das Mixen nicht zerstörter Zellen zum Austritt von weiterem Nitrat, was sich im Wasser löst, wodurch der Nitratgehalt um den benannten Faktor ansteigt.*
- (7) *Ggf. muss das Mischverhältnis nach der ersten Vermessung angepasst werden. Eine Verdünnung sollte mit Reinstwasser durchgeführt werden. Ist eine Aufkonzentrierung notwendig, sollte das Mischverhältnis von Probe (g) und Reinstwasser (mL) in Schritt (5) angepasst werden.*