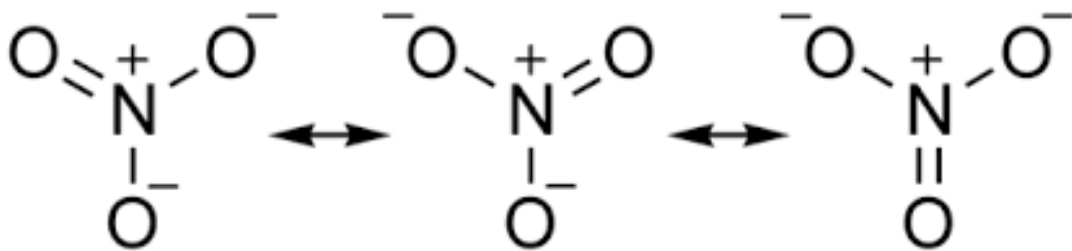


Salat, Spinat, Nitrat- eine experimentelle Untersuchung von Gemüse



Verfasser:	Pauline Luker
Seminarfach:	Forschungen zu Stickstoffbelastungen
Seminarfachlehrkraft:	Frau Bunjes
Schuljahr:	2019/2020
Abiturjahrgang:	Abi 2021

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	2
Abbildungsverzeichnis	4
Tabellenverzeichnis	5
<i>Einleitung</i>	<i>1</i>
<i>Theoretischer Teil</i>	<i>1</i>
Nitrat	1
Was ist Nitrat?.....	1
Nitrat in Gemüse	1
Vorkommen des Nitrats im Boden.....	1
Eintrittswege und Bedeutung von Nitrat in der Pflanze.....	2
Nitratgehalt in den unterschiedlichen Gemüsearten.....	2
Einflüsse auf den Nitratgehalt in Gemüse.....	3
Bedeutung von Nitrat für den Menschen	4
Nitrataufnahme und Grenzwerte	4
Die Bedeutung von Nitrat im menschlichen Körper	4
Nitrit	5
Was ist Nitrit?.....	5
Wie entsteht Nitrit?	5
Die endogene Bildung von Nitrit	5
Die Entstehung von Nitrit in Lebensmitteln	5
Einflüsse auf den Nitritgehalt in pflanzlichen Lebensmitteln	5
Die Bedeutung von Nitrit für den Menschen	6
Negative Auswirkungen auf den Menschen.....	6
Positive Auswirkungen auf den Menschen	7
Nitrosamine	7
Was sind Nitrosamine?.....	7
Wie entstehen Nitrosamine?.....	7
Die endogene Bildung von Nitrosaminen	7
Die Bedeutung von Nitrosaminen für den Menschen	7

<i>Praktischer Teil</i>	8
Versuch 1: Nitrit und Nitrat im Spinat	8
Versuchsabsicht.....	8
Versuchsmaterial und Versuchsdurchführung	9
Versuchsaufbau	9
Versuch 2: Untersuchung der Nitratgehalte von Gemüse und Obst	9
Versuchsabsicht.....	9
Versuchsmaterial und Versuchsdurchführung	10
Versuchsaufbau	11
Versuch 3: Nitrat vs. Mensch	11
Versuchsabsicht.....	11
Versuchsmaterial und Versuchsdurchführung	11
.....	11
Versuchsaufbau	11
<i>Schluss</i>teil	12
Versuchsbeobachtung, Ergebnisse und Diskussion	12
Versuch 1: Nitrit und Nitrat im Spinat	12
Versuch 2: Untersuchung des Nitratgehalts von Gemüse und Obst	13
Versuch 3: Nitrat vs. Mensch.....	14
Ausblick	15
Literaturverzeichnis	16

Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1: Strukturformel des Nitrat-Ions, Quelle:*
<https://deacademic.com/dic.nsf/dewiki/1017376> _____ 1
- Abbildung 2: geschätzte tägliche Nitrataufnahme aus verschiedenen Lebensmitteln in Deutschland, Quelle: Heck, 2009, S. 30 _____ 19*
- Abbildung 3: Reduktion des Nitrats zu Nitrit durch das Enzym Nitratreduktase, Quelle: Heck, 2009, S. 13 _____ 21*
- Abbildung 4: Bildung von Nitrosaminen aus Nitrit und sekundären Aminen, Quelle: <https://flexikon.doccheck.com/de/Nitrosamin> _____ 21*
- Abbildung 5: Beobachtung: Versuch 3: Nitrat vs. Mensch, Quelle: Eigene Darstellung _____ 23*
- Abbildung 6: Von Nitrat zum Nitrosamin, Quelle: Greim, Modlinger, 1991, S. 169 __ 23*

Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1: Unterschiede im Nitratgehalt von Obst und Gemüse, Quelle: https://www.lgl.bayern.de/lebensmittel/warengruppen/wc_25_frischgemuese/et_nitrat_frischgemuese.htm</i>	19
<i>Tabelle 2: Höchstgehalt für Nitrat in pflanzlichen Lebensmitteln, Quelle: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/de/TXT/?uri=CELEX:32011R1258</i>	20
<i>Tabelle 3: Nitratgehalt des Spinats direkt nach dem Kochprozess, Quelle: Eigene Darstellung</i>	21
<i>Tabelle 4: Nitratgehalt des Spinats nach der Lagerung, Quelle: Eigene Darstellung</i>	21
<i>Tabelle 5: Nitratgehalte in Gemüse und Obst aus Versuch 2, Quelle: Eigene Darstellung</i>	21

Einleitung

Jährlich werden pro Kopf in Deutschland ungefähr 100 kg Gemüse verzehrt (Lenfers, 2019). Gemüse und Obst nehmen zunehmend einen größeren Anteil in unserer Ernährung ein, jedoch wissen wir oft gar nicht welche Auswirkungen unsere Essgewohnheiten auf unseren Körper haben. Nitrat ist ein wesentlicher und natürlicher Bestandteil in pflanzlichen Lebensmitteln, welchen wir zunehmend in unseren Körper aufnehmen. An Relevanz gewann das Thema „Nitrat in Gemüse“ erstmals im Laufe der 1960er und 1970er Jahren im Zusammenhang mit der steigenden Anzahl an Säuglingen, die an Methämoglobinämie erkrankten (Greim, Kerschbaum & Mayr, 1987, S. 217). Mittlerweile gibt es jedoch schon neue Erkenntnisse darüber, in welchem Maße sich Nitrat auf den menschlichen Körper auswirkt. Um das Vorkommen von Nitrat und dessen Auswirkungen besser einschätzen zu können, ist es meiner Meinung nach sinnvoll sich mit diesem Thema auseinanderzusetzen. Daraus ergeben sich folgende Leitfragen, auf die ich im Verlauf dieser Arbeit Bezug nehmen werde: Wie hoch ist der Nitratgehalt in verschiedenen Gemüsearten? Wie gelangt das Nitrat in das Gemüse? Auf welcher Weise kann der Nitratgehalt beeinflusst werden? Gibt es Unterschiede des Nitratgehalts bezüglich der Lagerung und Umweltfaktoren? Wie verhält sich das aufgenommene Nitrat im menschlichen Körper und welche Auswirkungen hat es auf den Menschen?

Mithilfe von theoretischen Grundlagen und in Form von drei Experimenten werde ich die genannten Leitfragen im Folgenden diskutieren und klären.

Theoretischer Teil

Nitrat

Was ist Nitrat?

Nitrate sind Salze der Salpetersäure (Scheffer, 2014), welche sich aus negativ geladenen Nitrat-Ionen (NO_3^-) und positiv geladenen Kationen zusammensetzen. Ein Nitrat-Ion besteht aus drei Sauerstoffatomen (O) und einem Stickstoffatom (N) (vgl. S. 1 Abb. 1). Eine bedeutende Eigenschaft der Nitrate ist die gute Löslichkeit in Wasser. Zudem wirken sie als Oxidationsmittel brandfördernd (Brockhage et al., 2019, S. 6/8).

Nitrat in Gemüse

Vorkommen des Nitrats im Boden

Aufgrund des Stickstoffkreislaufes werden im Boden bereits vorhandene Stickstoffverbindungen von Mikroorganismen zu u. a. Nitrat abgebaut

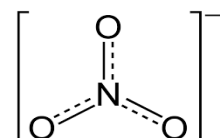


Abbildung 1: Strukturformel des Nitrat-Ions, Quelle: <https://deacademic.com/dic.nsf/dewiki/1017376>

(Banspach, 2012). Im Rahmen der Nitrifikation werden Ammonium-Ionen (NH_4^+) von aeroben Bakterien zu Nitrat-Ionen (NO_3^-) oxidiert (Bohlen et al., o. J., S. 109f.; Altmayer, 2012, S. 208 f.). Der Nitratgehalt im Boden wird zum einen durch die Intensität und Art der landwirtschaftlichen Düngung und zum anderen durch die zusätzlich vorhandenen Nährstoffe im Umgebungsmedium, welche den Abbau von Nitrat ermöglichen oder hemmen beeinflusst (Wodsak, 1965, S. 95). Sowohl die Verwendung von nitrathaltigen Düngemitteln, als auch der verstärkte Einsatz von Jauche zum Düngen erhöhen den Nitratgehalt im Boden und in der Pflanze (Boek & Schuphan, 1959, S. 200).

Eintrittswege und Bedeutung von Nitrat in der Pflanze

Die Nitrat-Ionen werden im Rahmen der Stickstoff-Assimilation über die Wurzeln in die Pflanze aufgenommen (Deutsche Umwelthilfe e. V. (Hrsg.), 2018). Diese Nitrat-Ionen werden durch die Einwirkung von Licht in verschiedenen Prozessen zu Aminosäuren und weiteren organischen Verbindungen umgewandelt. Somit ist der in dem Nitrat enthaltene Stickstoff sehr wichtig für den Stoffwechsel der Pflanzen (Boek & Schuphan, 1959, S. 200).

Nitratgehalt in den unterschiedlichen Gemüsearten

Der in die Pflanze aufgenommene Nitratgehalt wird jedoch nicht nur für die Synthese körpereigener Stickstoffverbindungen verwendet. Ein Teil des Nitrats wird in der Pflanze gespeichert, wobei die gespeicherte Menge je nach Pflanzenart variiert (Boek & Schuphan, o. J., S. 200). Man unterscheidet zwischen nitratspeichernden Pflanzen, welche übermäßig viel Nitrat speichern können (ca. 1000-4000 mg/kg Nitrat) und den nitratarmen Pflanzen, welche eine mittelmäßige bis geringe Menge Nitrat speichern (mittel: 1000-500 mg/kg Nitrat, gering: unter 500 mg/kg Nitrat) (vgl. S. 19 Tabelle 1) (Banspach, 2012). Die Ursache der unterschiedlichen Nitratspeicherung ist das verschieden stark ausgeprägte Reduktionsvermögen der einzelnen Pflanzen. Je höher die Reduktionstätigkeit ist, desto weniger Nitrat wird gespeichert (Dittrich, 1930, S. 112). Sehr viele Blattgemüse-, Kohlgemüse- und Wurzelgemüsearten wie z. B. Feldsalat, Spinat, Weißkohl, Grünkohl, Rote Beete und Radieschen gehören zu den nitratspeichernden Pflanzen. Karotten, Blumenkohl, Rosenkohl, Zwiebeln und einige Fruchtgemüsearten wie z.B. Auberginen, Gurken, Tomaten und Paprika haben hingegen einen relativ geringen Nitratgehalt (vgl. S. 20 Tabelle 1) (Banspach, 2012). Ein wesentlicher Unterschied liegt in der Verteilung des Nitrats in den Organen der Pflanze. Die größte Nitratanreicherung ist in dem Stängel vorzufinden, denn von ihm werden die durch die Wurzeln aufgenommenen

Nährstoffe zu den Blättern transportiert. Zudem liegt in dem Alter der Pflanzen bzw. der Pflanzenorgane ein weiterer Unterschied. Je jünger die Pflanze ist, desto weniger Nitrat ist in ihr vorzufinden (Dittrich, 1930, S. 117).

Einflüsse auf den Nitratgehalt in Gemüse

Der variierende Nitratgehalt in den verschiedenen Gemüsearten ist nicht nur auf das unterschiedliche Reduktionsvermögen der Pflanzen zurückzuführen.

Wesentliche Einflussfaktoren sind der Nitratgehalt und die Stickstoffversorgung im Boden, welche wiederum von der Art und Intensität der Düngung und von den Nährstoffen im Umgebungsmedium abhängig sind. Besonders die Salpeter- und Jauchedüngung führen zu einer Erhöhung des Nitratgehaltes im Boden und somit in der Pflanze. Je höher der Stickstoffanteil des Düngers ist, desto höher ist der Nitratgehalt in der Pflanze und schließlich im Gemüse (Boek & Schuphan, 1959, S. 206). Während eine Kalidüngung eine Erhöhung des Nitratgehalts verursacht, bewirkt das Vorkommen von Phosphorsäure und Chlor-Ionen ein Absenken des Nitratspiegels (Boek & Schuphan, 1959, S. 202).

Darüber hinaus kann ein übermäßig hoher Herbizideinsatz, welcher eine Hemmung der Proteinbiosynthese in der Pflanze bewirkt, die Nitratspeicherung begünstigen (Greim, Kerschbaum & Mayr, 1987, S. 220/221).

Zusätzlich sind die klimatischen Verhältnisse und Witterungen für den Nitratgehalt von großer Bedeutung. Unter niederschlagsreichen Bedingungen werden Nährstoffe ausgewaschen und gelangen somit in die unteren Bodenschichten, welche für die Wurzeln der Pflanzen oftmals nicht erreichbar sind. Aufgrund dessen verringert sich das Nitratangebot für viele Gemüsepflanzen und es kann weniger Nitrat aufgenommen werden (Bernhold, 2003, S. 37). Des Weiteren sind die Lichtverhältnisse und die damit zusammenhängende Temperatur wesentliche Einflussfaktoren. Hinsichtlich der auf photochemischen Prozessen beruhenden Nitratreduktion wird Nitrat unter weniger lichtintensiven Verhältnissen unvollständiger zu Eiweißen und weiteren organischen Stickstoffverbindungen abgebaut. Demzufolge gilt: Je höher die Lichtintensität und je höher die Temperatur, desto niedriger ist der Nitratgehalt im Gemüse (Rauter & Wolkerstorfer, 1981, S.122).

Damit einhergehend kann durch Lagerungs- und Transportbedingungen sowie Bakterieneinwirkung der Nitratgehalt im Gemüse beeinflusst werden. Wenn nitrathaltiges Gemüse bei ungünstigen Verhältnissen gelagert bzw. transportiert wird, wie z. B. über einen längeren Zeitraum bei wärmeren Temperaturen, wird aufgrund der hohen Aktivität des Enzyms der Nitratreduktase zunehmend Nitrat in Nitrit umgewandelt (Schuphan & Schlottmann, 1965, S. 75).

Bedeutung von Nitrat für den Menschen

Nitrataufnahme und Grenzwerte

Einerseits kann Nitrat über die Aufnahme von Gemüse, andererseits über das Trinkwasser und über die Aufnahme von Fleischprodukten in den Körper gelangen (Greim, Kerschbaum & Mayr, 1987, S. 218). Der Großteil der täglich aufgenommenen Nitratmenge stammt in Deutschland mit ungefähr 62% aus dem Gemüse (vgl. S. 19 Abb. 2) (Heck, 2009, S. 30). In Europa entspricht die täglich aufgenommene Menge durchschnittlich 52 bis 156 mg Nitrat. Jedoch ist der aufgenommene Nitratgehalt stark abhängig von der Ernährungsweise des Einzelnen und daher nicht direkt festlegbar. Vegetarier nehmen aufgrund des höheren Gemüseverzehrs durchschnittlich 185 bis 195 mg Nitrat pro Tag auf (Weiß, 2008, S. 237).

Eine Menge von 0 bis 3,65 mg Nitrat kann laut der Weltgesundheitsorganisation (WHO) pro Kilogramm Körpergewicht ein Leben lang täglich aufgenommen werden, ohne dass von gesundheitlichen Risiken ausgegangen werden muss. Dabei wird eine gelegentliche Überschreitung des Wertes nicht als bedeutend angesehen und zudem von einer langfristigen Überschreitung nicht ausgegangen (Bundesinstitut für Risikobewertung (Hrsg.), 2009, S. 1). Des Weiteren wurden Grenzwerte für den Höchstgehalt an Nitrat in pflanzlichen Lebensmitteln festgelegt, wobei die klimatischen Bedingungen und Anbauformen berücksichtigt wurden (vgl. S. 20 Tabelle 2) (EUR-Lex (Hrsg.), 2011).

Die Bedeutung von Nitrat im menschlichen Körper

Zunächst geht von dem aufgenommenen Nitrat an sich keine gesundheitliche Gefahr für den Menschen aus. Erst ab einer Menge von 15g kann Nitrat sehr toxisch bis tödlich wirken (Weiß, 2008, S. 238). Das Nitrat gelangt über verschiedene Wege in die Blut- oder Lymphbahn. Zwischen 60 und 70% des aufgenommenen Nitratgehalts wird bereits in den oberen Darmabschnitten resorbiert und über die Nieren im Harn ausgeschieden (Weiß, 2008, S. 237). Dennoch kann Nitrat geringe Auswirkungen auf die Schleimhaut und auf die Schilddrüse haben, indem es die Aufnahme von Jod in die Schilddrüse hemmt (Greim, Kerschbaum & Mayr, 1987, S. 218). Eine dauerhafte gesundheitliche Einschränkung ist trotz allem nur sehr selten zu beobachten (Weiß, 2008, S. 238).

Darüber hinaus kann 25% des aufgenommenen Nitrats durch bestimmte bakterielle Prozesse zu Nitrit umgewandelt werden und somit in Form einer Sekundär- und Tertiärwirkung erhebliche Folgen auf den Menschen haben (Greim, Kerschbaum & Mayr, 1987, S. 219).

Nitrit

Was ist Nitrit?

Das Nitrit-Ion (NO_2^-) ist eine Stickstoffverbindung, welche aus zwei Sauerstoffatomen (O) und einem Stickstoffatom (N) besteht. Sowohl bei dem Abbau von Nitrat im menschlichen Körper, als auch bei der Nitrifikation und Denitrifikation tritt Nitrit durch das Wirken von aeroben und anaeroben Bakterien als Zwischenprodukt auf. Im menschlichen Körper wirkt es toxisch und kann zu Nitrosaminen umgewandelt werden (Bohlen et al., o. J., S. 109f.; Altmayer et al., 2012, S. 208f.).

Wie entsteht Nitrit?

Die endogene Bildung von Nitrit

Die endogene Bildung von Nitrit erfolgt durch eine Nitratreduktion mithilfe von Enzymen und Bakterien (vgl. S. 21 Abb. 3). Das durch u. a. aus pflanzlichen Lebensmitteln aufgenommene Nitrat gelangt in den entero-oralen Kreislauf (Darm-Speichel-Kreislauf) (vgl. S. 23 Abb. 6). Nachdem ein Großteil des Nitrats unverändert ausgeschieden wird, reduzieren Bakterien in der Mundhöhle, sowie im Magen-Darm-Trakt Nitrat zu Nitrit (Martin, o. J., S. 247).

Die Entstehung von Nitrit in Lebensmitteln

Nitrit kann unter bestimmten Umständen auch in Lebensmitteln entstehen. Ähnlich der endogenen Bildung kann in Form einer bakterielle Reduktion Nitrit synthetisiert werden (Weiß, 2008, S. 239).

Einflüsse auf den Nitritgehalt in pflanzlichen Lebensmitteln

Durch bestimmte Faktoren kann der Nitritgehalt in den Lebensmitteln erhöht werden. Die wichtigste Grundlage für die Nitritbildung ist die Anwesenheit von größeren Mengen an Nitrat.

Wesentliche Einflussfaktoren sind die Art und Dauer des Transports und der Lagerung. Je länger die Lebensmittel bei höheren Temperaturen transportiert bzw. gelagert werden, desto mehr Nitrit wird gebildet (Schuphan & Schlottmann, 1965, S. 74).

Des Weiteren sind die Anzahl der Mikroorganismen und Bakterien, sowie der pH-Wert und der Sauerstoffgehalt der Lebensmittel von großer Bedeutung. Mit zunehmender Anzahl an Mikroorganismen steigt die Umwandlung von Nitrat zu Nitrit (Weiß, 2008, S. 239). Demzufolge kann auch bei tiefgekühlten pflanzlichen Lebensmitteln nach dem Auftauen der Nitritgehalt stark ansteigen (Schuphan & Schlottmann, 1965, S. 74).

Wie stark die einzelnen Faktoren den Nitritgehalt beeinflussen, ist von der Gemüseart und deren Nitratreduktasenaktivität abhängig. Generell gilt: Je niedriger die Temperatur, desto inaktiver ist die Nitratreduktase (Heck, 2009, S. 50).

Die Bedeutung von Nitrit für den Menschen

Nitrit kann auf den Menschen ganz unterschiedliche Auswirkungen haben. Je nach Lebensalter und Vorerkrankungen kann Nitrit unbedenklich bis tödlich wirken (Greim, Kerschbaum & Mayr, 1987, S. 219). Der Nitritgehalt in pflanzlichen Lebensmitteln ist sehr gering und für die Gesundheit des Menschen nicht bedenklich (Boek & Schuphan, 1959, S. 199). Dennoch nimmt der Europäer täglich durchschnittlich 0,7 bis 4,2 mg Nitrit auf.

Negative Auswirkungen auf den Menschen

Nitrit ist in der Lage sich an das Hämoglobin zu binden und es zu Methämoglobin (Hämiglobin) umzuwandeln. Dadurch kann das Hämoglobin nicht mehr seiner Funktion des Sauerstoff- und Kohlenstoffdioxidtransports nachgehen. Um den Körper weiterhin mit Sauerstoff versorgen zu können, wird das Methämoglobin mithilfe eines Enzyms, der Methämoglobinreduktase (Diaphorase), wieder zu Hämoglobin verändert. Allerdings besteht eine akute Gefahr, wenn der Anteil des Methämoglobins im Blut zu hoch ist (ca. 50%), sodass die Methämoglobinreduktase nicht genügend Methämoglobin umsetzen kann. Eine Menge von 4g Nitrit kann je nach Alter tödlich sein und zu einer inneren Erstickung führen (Weiß, 2008, S. 239-240).

Besonders bei Säuglingen unter dem 3. Lebensmonat besteht die Gefahr der sogenannten Methämoglobinämie (Blausucht), welche sich durch das Blauanlaufen von Haut und Lippen äußert. Zum einen neigen Säuglinge eher dazu an Beschwerden im Magen-Darm-Trakt zu erkranken, wodurch die Nitritentstehung begünstigt wird und zum anderen kann das nicht vollständig entwickelte Hämoglobin leichter oxidiert werden. Zudem wird aufgrund der Unreife des Enzymsystems innerhalb eines längeren Zeitraums weniger Methämoglobin zu dem funktionsfähigen Hämoglobin reduziert.

Mit zunehmendem Alter nimmt die Anzahl der Methämoglobinämie-Erkrankten jedoch stark ab (Kübler, 1959, S. 298- 299). Aufgrund der besseren Hygienezustände ist die Wahrscheinlichkeit durch die Aufnahme von nitrathaltigem Gemüse heutzutage an Methämoglobinämie zu erkranken sehr gering.

Eine weitere wichtige Wirkung des Nitrats ist die Reaktion mit Aminen zu Nitrosaminen, auf die ich im Folgenden näher eingehen werde.

Positive Auswirkungen auf den Menschen

Innerhalb des Magens können aus Nitrit weitere Stickstoffverbindungen entstehen, wie z.B. Stickstoffmonoxid, welche eine antibakterielle Wirkung haben und somit den Magen schützen (Weiß, 2008, S. 240).

Des Weiteren kann Nitrit einen blutdrucksenkenden Einfluss haben, indem es auf die Darmmuskulatur erschlaffend wirkt. Jedoch kann dadurch die Motorik des Darms erheblich beeinträchtigt werden (Kübler, 1959, S. 298).

Nitrosamine

Was sind Nitrosamine?

Nitrosamine sind kanzergene Schadstoffe, die in flüchtige und nicht flüchtige Nitrosamine eingeteilt werden können. Darüber hinaus sind sie relativ stabile Verbindungen, welche aufgrund von Umwandlungs- und Abbauprozessen im Körper (Metabolisierung) ihre krebserregende Wirkform erreichen (Greim & Modlinger, 1991, S. 165, S. 171). Nitrosamine kommen sowohl in Lebensmitteln als auch in Kosmetikartikeln und in Tabakprodukten vor (Weiß, 2008, S. 304).

Wie entstehen Nitrosamine?

Die endogene Bildung von Nitrosaminen

Im Magen kann Nitrit zusammen mit sekundären Aminen zu Nitrosaminen reagieren (vgl. S. 21 Abb. 4). Allerdings ist die bei dieser Nitrosierung entstehende Menge kaum bzw. nur schwer abschätzbar, da viele Faktoren diesen Prozess beeinflussen können. Als Katalysatoren gelten insbesondere: Thiocyanat (ein Bestandteil des Magensaftes und des Speichels), eine hohe Nitrit- und Stickstoffmonoxidkonzentration, ein pH-Wert zwischen 3 und 4, Magenerkrankungen und eine übermäßig hohe Anzahl an Bakterien. Ebenso kann die Reaktion von Nitrit mit Aminen durch Ascorbinsäure, Vitamin E und durch bestimmte Pflanzenstoffe, wie z. B. Polyphenole, gehemmt werden (Weiß, 2008, S. 304).

Die Bedeutung von Nitrosaminen für den Menschen

Die Auswirkungen der Nitrosamine auf den menschlichen Körper hängen von der Lebensweise der einzelnen Personen ab. Nitrosamine können nicht nur über den Magen-Darm-Trakt aufgenommen werden, sondern auch über die Haut und die Lunge. Dabei spielt der Anteil der durch die Aufnahme von nitrathaltigem Gemüse entstehenden Nitrosamine eine geringe Rolle (Greim & Modlinger, 1991, S. 166).

Aufgrund der Tatsache, dass Nitrosamine relativ stabile Verbindungen sind, führt erst eine Metabolisierung zur Aktivierung der kanzerogenen Wirkform (Greim & Modlinger, 1991, S. 171).

In dem oberen Teil des Dünndarms werden die Nitrosamine zunächst resorbiert und ein geringer Teil wird im Harn ausgeschieden. Besonders starke Auswirkungen haben die Nitrosamine in der Leber, Nekrose und eine Verfettung der Leber sind häufig die Folge (Weiß, 2008, S. 306).

Besonders auffällig ist die Organspezifität bei der toxischen Wirkung von Nitrosaminen. Je nach Struktur, Dosierung und Enzymsystem in den einzelnen Organen werden die Nitrosamine über den Blutkreislauf im gesamten Körper verteilt. Dieses hat zur Folge, dass möglichst viele Bestandteile des Organismus betroffen sein können. Häufig betroffene Organe sind dabei Leber, Lunge, Speiseröhre, Vormagen, Magen und Nieren (Greim & Modlinger, 1991, S. 171).

Aufgrund vieler Tierversuche konnte beobachtet werden, dass Nitrosamine bereits in geringen Dosen krebserregend wirken und Tumore an den oben genannten Zielorganen erzeugen. Diese Ergebnisse können nicht unmittelbar auf den menschlichen Organismus übertragen werden, da sehr viele Einflussfaktoren eine wichtige Rolle spielen. Die endgültige Bedeutung von Nitrosaminen auf den Menschen ist bis heute noch umstritten, aber dennoch wird das gesundheitliche Risiko (bezogen auf die pflanzlichen Nahrungsmittel) sehr gering eingeschätzt (Weiß, 2008, S. 306/307).

Praktischer Teil

Versuch 1: Nitrit und Nitrat im Spinat

Versuchsabsicht

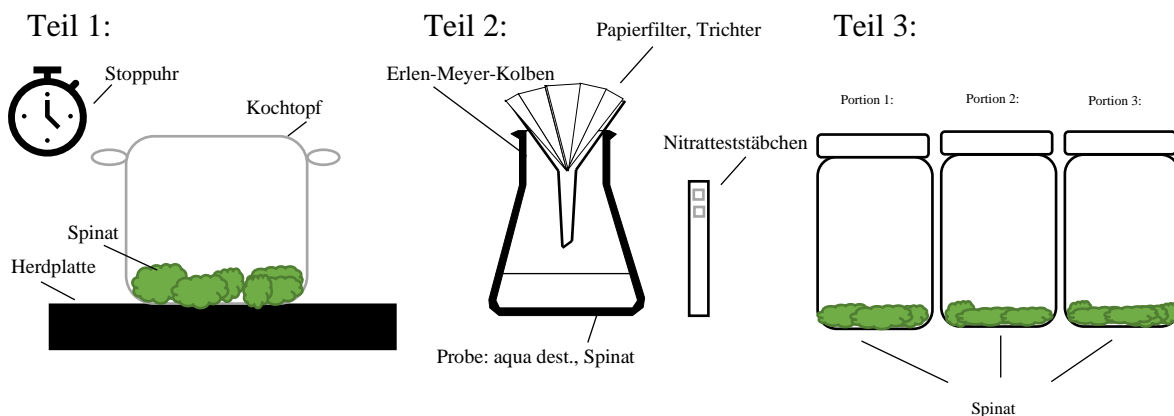
In dem ersten Versuch soll der Frage nachgegangen werden, welchen Einfluss verschiedene Lagerungsbedingungen über einen längeren Zeitraum auf den Nitrat- und Nitritgehalt im Gemüse haben. Im Rahmen dieses Experiments wird überprüft, ob es zutrifft, dass wenn Gemüse über einen längeren Zeitraum gekühlt aufbewahrt wird, dann der Nitrat- und Nitritgehalt unverändert bleibt. Weitere Hypothesen sind, zum einen, dass wenn Gemüse in einem geschlossenen Behälter über einen längeren Zeitraum bei Raumtemperatur aufbewahrt wird, dann sowohl der Nitrit und Nitratgehalt steigt und zum anderen, dass wenn Gemüse in einem halboffenen Gefäß über einen längeren Zeitraum bei Raumtemperatur aufbewahrt wird, dann der Nitrat- und der Nitritgehalt nicht so stark ansteigt, wie in einem geschlossenem Gefäß.

Versuchsmaterial und Versuchsdurchführung

Der wesentliche Bestandteil des Versuchs besteht aus ca. 200 g Tiefkühl-Spinat und Nitratteststäbchen. Des Weiteren werden ein Kochtopf, ein Herd, drei luftdicht verschließbare Behälter, ein Löffel, Papiertücher und eine Stoppuhr benötigt. Zusätzlich sind eine Waage, ein Messbecher, destilliertes Wasser und ein Papierfilter für das Messen des Nitratgehalts notwendig.

Zunächst werden ungefähr 200 g des Tiefkühl-Spinats in einem Kochtopf unter Rühren etwa 10 Minuten lang gekocht, um die Versuchsergebnisse durch das Auftauen nicht zu beeinflussen. Nach dem Abkühlen wird mithilfe der Nitratteststäbchen der Nitrit- und Nitratgehalt in dem Spinat gemessen und dokumentiert. Aufgrund der starken Verfärbung der Probe wird zunächst 10 g des gekochten Spinats abgewogen und anschließend mit destilliertem Wasser auf 50 g aufgefüllt. Die Probe wird anschließend verrührt und mithilfe eines Papierfilters gefiltert. Anschließend wird das Nitratteststäbchen für eine Sekunde mit beiden Reaktionsfeldern in die Probe gehalten und die Stoppuhr gestartet. Nach einer Minute kann der Nitratgehalt mithilfe des Vergleichsfeldes auf der Verpackung der Teststäbchen abgelesen und dokumentiert werden. In einem nächsten Schritt wird der Spinat in drei gleichgroße Portionen eingeteilt und unter unterschiedlichen Umständen wie folgt gelagert: Portion 1 wird in einem geschlossenen Behälter im Kühlschrank aufbewahrt, Portion 2 wird in einem halboffenen Behälter bei Raumtemperatur gelagert, Portion 3 wird in einem geschlossenen Behälter bei Raumtemperatur aufbewahrt. Nach zwei Tagen wird jeweils der Nitrat- und Nitritgehalt des Spinats bestimmt.

Versuchsaufbau



Versuch 2: Untersuchung der Nitratgehalte von Gemüse und Obst

Versuchsabsicht

Mit diesem Versuch wird der Nitratgehalt in verschiedenen Gemüse- und Obstsorten untersucht und darüber hinaus der Nitratgehalt in den einzelnen Pflanzenorganen. Dabei

wird auch überprüft, ob es zutreffend ist, dass das Fruchtgemüse einen geringeren Nitratgehalt hat als Blattgemüse.

Versuchsmaterial und Versuchsdurchführung

Es werden verschiedene Gemüse- und Obstarten benötigt, zudem sind destilliertes Wasser, ein scharfes Messer, eine Waage, Papierfilter, eine Stoppuhr, Nitratteststäbchen und Messbecher notwendig. Um den Nitratgehalt von stark gefärbten Proben messen zu können werden zusätzlich Aktivkohle, ein Thermometer und eine Heizplatte benötigt. Je nachdem, welche pflanzlichen Lebensmittel untersucht werden sollen können eine Knoblauchpresse, eine Reibe, ein Schraubstock und Gefrierbeutel hilfreich sein.

Um den Nitratgehalt messen zu können müssen zunächst Proben vorbereitet werden. Es werden 10 g Gemüse abgewogen und mithilfe eines Messers oder anderer Küchenhilfen zerkleinert. In einem Messbecher wird das zerkleinerte Gemüse auf 50 g mit destilliertem Wasser aufgefüllt. Daraufhin wird die Probe verrührt und mithilfe der Papierfilter gefiltert. Je nachdem wie stark die Lösung verfärbt ist, kann die Probe erneut verdünnt werden. Hierfür wird die gefilterte Lösung mit destilliertem Wasser auf 100 g aufgefüllt. Wenn die Probe nach dem zweiten Verdünnungsschritt immer noch stark verfärbt ist wird ein Löffel Aktivkohle zu der Probe hinzugegeben, verrührt, auf 80 °C erhitzt, heruntergekühlt und mit einem Papierfilter gefiltert. In einem letzten Schritt kann der Nitratgehalt mithilfe der Teststäbchen analog zu dem Versuch 1 gemessen werden. Bei der Dokumentation muss jedoch darauf geachtet werden, dass der abgelesene Wert mit dem Verdünnungsfaktor 5 und bei einem weiteren Verdünnungsschritt der Wert mit dem Faktor 10 multipliziert werden muss.

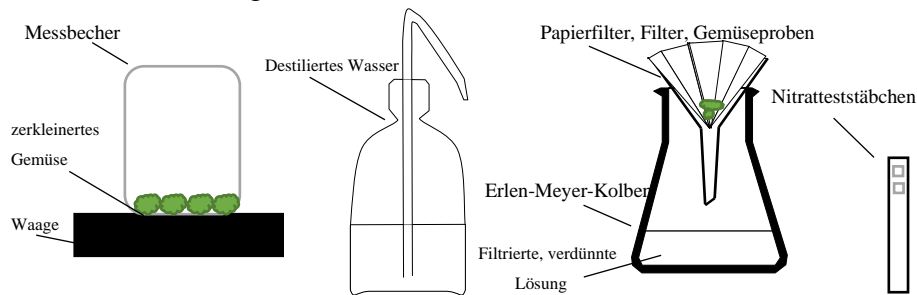
Des Weiteren gibt es zwei Varianten, wie der Nitratgehalt des Gemüses ermittelt werden kann. Bei der ersten Variante kann mithilfe eines scharfen Messers, Papiertüchern, einer Stoppuhr, verschiedener Obst- und Gemüsearten und mit Nitratteststäbchen der Nitratgehalt direkt an der Pflanze gemessen werden. Hierfür wird das Obst/ Gemüse mit einem Messer durchgeschnitten und der Nitratgehalt direkt an der feuchten Schnittfläche gemessen. Zu erwähnen ist, dass diese Methode nicht bei allen Gemüse- und Obstarten funktioniert.

Mit der zweiten Variante wird der Nitratgehalt im Pflanzensaft gemessen. Es werden eine Haushaltspresse oder ein Pürierstab, ein Behälter (200-500 ml), Papiertücher, eine Stoppuhr, Nitratteststäbchen, verschiedene Gemüse-/ Obstarten und ggf. eine Kunststoffpipette und ggf. Leitungswasser benötigt. Das zu untersuchende pflanzliche Lebensmittel wird mithilfe der Presse oder des Pürierstabs zerkleinert. In dem daraus entstehenden Saft kann

nun der Nitratgehalt gemessen werden. Wenn der Nitratgehalt außerhalb des messbaren Bereichs liegt, wird 1 ml des Pflanzensaftes in ein separates Gefäß pipettiert und mit einer definierten Menge an destilliertem Wasser verdünnt. Hierbei muss bei der Auswertung darauf geachtet werden, dass der abgelesene Nitratwert mit dem Verdünnungsfaktor multipliziert werden muss.

Versuchsaufbau

Probenvorbereitung:



Versuch 3: Nitrat vs. Mensch

Versuchsabsicht

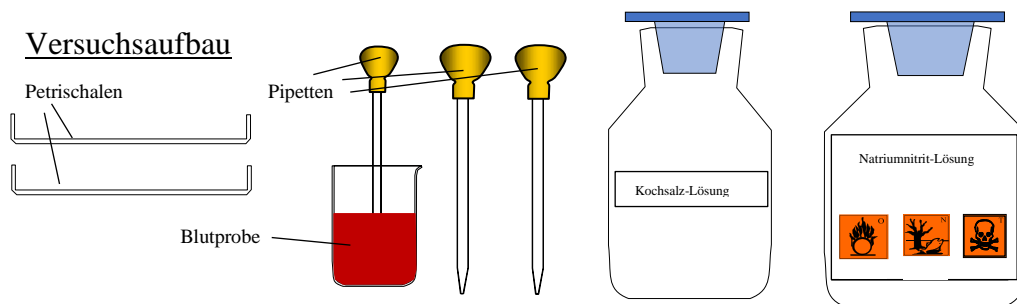
In diesem Versuch soll untersucht werden welche Auswirkungen Nitrat auf den Menschen hat. Zudem sollen folgende Hypothesen überprüft werden:

1. Wenn Natriumnitrit zu dem Blut dazugegeben wird, dann verfärbt sich das Blut dunkel.
2. Je mehr Nitrat dem Blut zugeführt wird, desto weniger Sauerstoff kann transportiert werden.

Versuchsmaterial und Versuchsdurchführung

Für diesen Versuch werden zwei Petrischalen, drei Pipetten, Schweine- bzw. Lamblut, eine Natriumnitrit- Lösung (0,3 mol/L), eine Kochsalzlösung (isotonisch, 9g/L) benötigt. In die erste Petrischale werden mithilfe der Pipette 2ml Natriumnitrit-Lösung und in die zweite Petrischale als Vergleichsversuch 2ml Kochsalzlösung gegeben. In einem nächsten Schritt werden jeder Lösung je drei Tropfen der Blutprobe hinzugefügt und verrührt.

Versuchsaufbau



Schlussteil

Versuchsbeobachtung, Ergebnisse und Diskussion

Versuch 1: Nitrit und Nitrat im Spinat

Direkt nach dem Kochprozess ist ein Nitratgehalt von 1000-2500 mg/L messbar (vgl. S. 21 Tabelle 3). Dieses Ergebnis ist darauf zurück zu führen, dass der Spinat aufgrund seiner u. a. geringen Reduktionsaktivität sehr viel Nitrat speichert. Des Weiteren ist der Nitritgehalt von 0 mg/L nicht auffällig (vgl. S. 21 Tabelle 3). In den meisten pflanzlichen Lebensmitteln ist kein bzw. kaum Nitrit vorhanden und zudem wurde für diesen Versuch tiefgefrorener Spinat verwendet. Beim Einfrieren wird das Enzym Nitratreduktase inaktiviert, weshalb auch nach längerer Aufbewahrung kein Nitrit gebildet werden kann. Durch das Kochen des Spinats wurde das Vermehren von Mikroorganismen verhindert und zudem die Enzyme denaturiert, sodass eine Nitratreduktion auf der Grundlage des Enzyms im Spinat nicht hätte stattfinden können (vgl. S. 21 Abb. 3).

Nach der zweitägigen Aufbewahrung des Spinats in einem geschlossenen Behälter im Kühlschrank war ein niedrigerer Nitratgehalt (500-1000 mg/L) als vor der Lagerung zu beobachten und eine gleichbleibender Nitritwert von 0 mg/L (vgl. S. 21 Tabelle 4). Durch das lange Kochen des Nitrats sind wahrscheinlich sämtliche Enzyme im Spinat denaturiert. Zudem bewirken die geringeren Temperaturen ein verlangsamt Bakterienwachstum und damit einhergehend eine geringere Nitratreduktion, da bei niedrigeren Temperaturen auch die in den Bakterien vorhandene Nitratreduktase inaktiv ist. Deshalb beträgt der Nitritgehalt auch 0 mg/L. Dennoch werden das Bakterienwachstum und die Aktivität der Nitratreduktase lediglich verlangsamt und nicht gehemmt, weshalb nach längerer Zeit ein steigender Nitritgehalt und ein sinkender Nitratgehalt zu beobachten wäre. Demnach wären weitere Experimente nötig, um darüber Aussagen treffen zu können. Der geringe gemessene Nitratgehalt könnte darauf zurückzuführen sein, dass aufgrund der Ungenauigkeit der Testmethode mit den Nitratteststäbchen für den gesamten Versuch keine genauen Werte für den Nitrat- und Nitritgehalt ermittelt werden konnten.

Der Nitratgehalt bei dem bei Raumtemperatur in einem halboffenen Gefäß gelagerten Spinat ist gleich dem Nitratgehalt direkt nach dem Kochprozess (ca. 1000 - 2500 mg/L) (vgl. S. 21 Tabelle 4), obwohl durch die erhöhte Temperatur gemäß der Fachliteratur ein Absinken des Nitratgehalts und Steigen des Nitritgehalts zu erwarten war. Die ungenaue Messmethode durch die Messtäbchen ermöglicht es nicht, genauere Werte zu nehmen. Da in diesem Versuch lediglich die Veränderung des Nitratgehalts nach 2 Tagen

untersucht wurde, können keine weiteren Aussagen darüber gemacht werden, ob der Nitratgehalt nach mehreren Tagen mit Messstäbchen messbar absinken würde. Der Nitritgehalt ist jedoch nach zwei Tagen auf 400 mg/L angestiegen (vgl. S. 21 Tabelle 4). Da vermutlich durch das Kochen des Spinats die eigene Nitratreduktase denaturiert wurde, beruht dieser Anstieg auf der hohen Aktivität der Nitratreduktase von Bakterien und Mikroorganismen, welche sich bei erhöhten Temperaturen im Spinat stark ausbreiten. Darüber hinaus bewirkt das halboffene Gefäß, dass weitere Keime und Bakterien zu dem Spinat gelangen und dadurch mehr Nitrat zu Nitrit reduziert wird (vgl. S. 21 Abb. 3).

Bei der Lagerung des Spinats in einem geschlossenen Behälter bei Raumtemperatur wurde nach zwei Tagen ein Nitratgehalt ermittelt, der dem Nitratgehalt vor der Lagerung entspricht (1000-2500 mg/L) (vgl. S. 21 Tabelle 4). Eine genaue Messung mit den Messstäbchen ist auch hier nicht möglich gewesen. Der Nitritgehalt ist hingegen auf 100-200 mg/L angestiegen und somit höher als der Nitritgehalt zu Beginn des Versuches (0 mg/L) und niedriger als der des Spinats in dem halboffenen Behälter (400 mg/L) (vgl. S. 21 Tabelle 4). Durch das Kochen wurde die Nitratreduktase des Spinats denaturiert. Aufgrund des geschlossenen Behälters sind weniger Mikroorganismen und Bakterien vorhanden, weshalb der Nitritgehalt geringer ist, als der von dem Spinat in dem halboffenen Behälter. Die Nitratreduktase der Bakterien ist bei wärmeren Temperaturen aktiver als von den Bakterien im Kühlschrank, weshalb Nitrat zunehmend in Nitrit umgewandelt wird.

Zusammenfassend kann man sagen, dass die Art der Lagerung und besonders die Temperatur eine große Bedeutung für den Nitrat- und Nitritgehalt in Gemüse haben. Es gilt, dass je länger Gemüse aufbewahrt wird, desto mehr Nitrit wird gebildet. Die Reduktion von Nitrat zu Nitrit wurde durch Kühlen und luftdichtes Verschließen verlangsamt. Da dadurch die Besiedlung mit Bakterien und Mikroorganismen verlangsamt wird, die für die Reduktion verantwortlich sind. Somit ist die erste Hypothese bezüglich der Veränderung des Nitrats bei Kühlschranktemperaturen, sowie die zweite, teilweise richtig und die dritte Hypothese widerlegt.

Versuch 2: Untersuchung des Nitratgehalts von Gemüse und Obst

Bei diesem Experiment wurde der Fokus lediglich auf den Nitratgehalt im Gemüse gelegt. Auffällig bei den Werten ist, dass viele der ermittelten Werte viel niedriger als die Literaturwerte sind (vgl. S. 21 Tabelle 5). Die Nitratgehalte der untersuchten Blattgemüsearten, bis auf den des Blattsalats, sowie der untersuchten Kohlarten sind sehr gering (<1000mg/L) (vgl. S. 19 Tabelle 1). Besonders bemerkenswert ist der Nitratgehalt des

Babyblattspinats, welcher bei ca. 250 mg/L liegt. Demzufolge würde ausgenommen von dem Blattsalat, keine der untersuchten Gemüsearten zu den nitratspeichernden Pflanzen gehören (vgl. S. 19 Tabelle 1). Bei Betrachtung der recherchierten Ergebnisse weiterer Versuche, müsste jedoch besonders das Blatt- und Kohlgemüse hohe Nitratwerte aufweisen. Bei allen Gemüsearten wurde kein Nitritgehalt festgestellt, weshalb eine Reduktion von Nitrat zu Nitrit auszuschließen ist. Eine Begründung, weshalb die gemessenen Nitratwerte unter den Literaturwerten liegen, liegt darin, dass keine genauen Kenntnisse über die Herkunft der Gemüsearten vorhanden sind. Faktoren wie die Herkunft, Erntezeit, Düngung, Transport und Lagerung können eine sehr große Rolle spielen und somit den Nitratgehalt erheblich beeinflussen (Rauter & Wolkerstorfer, 1981, S.122).

Die bei dem Fruchtgemüse und bei dem Obstgemüse ermittelten Werte stimmen jedoch insgesamt mit den Literaturwerten überein (vgl. S. 19 Tabelle 1), sodass eine Tendenz zu erkennen ist, welches Gemüse viel, wenig oder kein Nitrat speichert. Fruchtgemüse und Obstgemüse können demnach relativ wenig Nitrat speichern. Die Gemüsearten wurden sehr wahrscheinlich bei dem Transport und der Lagerung unterschiedlichen Einflüssen ausgesetzt, die zu den unterschiedlichen Ergebnissen geführt haben. Ein Unterschied in der Verteilung von Nitrat innerhalb des Gemüses konnte lediglich bei der Paprika festgestellt werden. Während die Frucht einen Nitratgehalt von 50 mg/L aufwies, konnte bei dem Stängel deutlich mehr Nitrat festgestellt werden (500-1250 mg/L).

An dieser Stelle ist zu erwähnen, dass die Ungenauigkeit der Teststreifen-Methode zum Messen des Nitratgehaltes eine große Rolle spielt. Diese Ungenauigkeit macht sich besonders in den großen Abständen zwischen den Werten bemerkbar. Um eine genauere Aussage über den Nitratgehalt einzelner Gemüsearten machen zu können, wäre es eine Möglichkeit bei mehreren Proben von einer Gemüseart den Nitratgehalt zu messen und aus den Ergebnissen den Mittelwert zu bilden.

Dennoch lässt sich aus diesem Experiment schlussfolgern, dass der Nitratgehalt je nach Gemüseart und je nach Organ des Gemüses variiert.

Versuch 3: Nitrat vs. Mensch

Bei diesem Versuch konnte eine deutliche Dunkelfärbung der Blutprobe mit der Natriumnitrit-Lösung beobachtet werden (vgl. S. 23 Abb. 5). Die Blutprobe mit der Kochsalz-Lösung dagegen war weiterhin hell gefärbt (vgl. S. 23 Abb. 5). Je dunkler der Farbton des Blutes ist, desto geringer ist der Sauerstoffgehalt im Blut. Durch die Zugabe der Natriumnitrit-Lösung bindet sich das Nitrit an das Hämoglobin und wandelt dieses zu Methämoglobin um. Hämoglobin ist ein Eiweiß im Blut, dessen Aufgabe der Sauerstoff- und

Kohlenstoffdioxidtransport ist. Wenn nun das Hämoglobin in Methämoglobin umgewandelt wird, kann kein Sauerstoff mehr transportiert werden und der Sauerstoffgehalt im Blut sinkt. Die Folge ist das Dunkelwerden des Blutes. Dieser Prozess kann u. a. schwere Folgen mit sich bringen. Während bei Erwachsenen das Methämoglobin mithilfe von Enzymen wieder zu Hämoglobin umgewandelt werden kann, können Säuglinge unter drei Monaten, aufgrund ihres unausgereiften Enzymsystems an den Folgen sterben.

Die erste aufgestellte Hypothese stimmt, da das Hämoglobin umgewandelt wird und somit weniger Sauerstoff transportiert werden kann. Die zweite Hypothese konnte mit diesem Versuch nicht überprüft werden, denn dazu wäre ein weiterer Versuch mit mehreren Blutproben nötig, zu denen unterschiedlichen Mengen der Natriumnitrit-Lösung gegeben werden müsste.

Ausblick

Abschließend kann gesagt werden, dass Nitrat in vielen Gemüsearten unterschiedlich stark vorkommt und von vielen Faktoren beeinflusst werden kann. Nitrat selbst stellt für den Menschen keine gesundheitliche Gefahr dar, jedoch ist dessen Sekundär- und Tertiärwirkung von größerer Bedeutung. Die genauen gesundheitlichen Gefahren und Folgen sind allerdings noch nicht erforscht. Demzufolge ergeben sich einige offene Fragen, wie z. B.: Wirken Nitrosamine beim Menschen ähnlich wie bei Tieren krebserregend? Wie kann man die Methoden zur Bestimmung von Nitrat- und Nitritgehalt verbessern? Wie verändert sich der Nitrat- und Nitritgehalt bei einer Lagerung bei unterschiedlichen Bedingungen über einen längeren Zeitraum? Welchen Einfluss haben Nitrat und Nitrit in Pflanzen auf die anderen Stoffe? Welchen Einflüssen sind pflanzliche Lebensmittel von der Ernte bis zu dem Verzehr ausgesetzt und wie verhält sich der Nitratgehalt in diesem Zusammenhang?

Auch wenn die Folgen von Nitrat für den Menschen nicht weit genug erforscht sind, ist eine möglichst geringe Nitrataufnahme erstrebenswert. Um die Nitrataufnahme zu verringern ist es hilfreich saisonales und regionales Gemüse zu kaufen und vor dem Verzehr die äußersten Blätter und den Stängel zu entfernen. Zudem sollte auf die richtige und hygienische Aufbewahrung von Gemüse geachtet werden. Durch diese Maßnahmen kann die Nitrat- bzw. Nitritaufnahme erheblich verringert werden.

Literaturverzeichnis

Altmayer, W.; Keßler, A.; Kirsch, W.; et al. (2012): *Salters Chemie. Chemical Storylines. Kontexte*. Braunschweig: Westermann Schroedel Diesterweg Schöningh Winklers GmbH. S. 208f.

Banspach, L. (2012): *Nitrat-Gehalt in Gemüse*. In: Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit (Hrsg.). Zugriff am 18.03.2020. Verfügbar unter: https://www.lgl.bayern.de/lebensmittel/warengruppen/wc_25_frischgemuese/et_nitrat_frischgemuese.htm.

Bernhold, M. (2003): *Einfluss von Klima und anbautechnischen Maßnahmen auf Gehalt und Verteilung von Nitrat in Möhren*. Dissertation zur Erlangung des Grades Dr. rer. hort. Hannover: Fachbereich Gartenbau der Universität Hannover.

Boek, K. & Schuphan, W. (1959): *Der Nitratgehalt von Gemüse in Abhängigkeit von Pflanzenart und einigen Umweltfaktoren*. Geisenheim/Rhein: Bundesanstalt für Qualitätsforschung pflanzlicher Erzeugnisse (BAQ).

Bohlen, S.; Engel, M.; Hufenbach, J.; et al. (o. J.): *Ökologie. Das Ökosystem See*. Brinkmann. Meyerhöfer. S. 109f.

Brockhage, F. (2019): *Nitrat – Skandal oder Panikmache?. Station Mensch vs. Nitrat*. Osnabrück: Universität Osnabrück.

Brockhage, F. (2019): *Nitrat- Skandal oder Panikmache?. Stickstoff-Box: Experimentierheft*. Oldenburg: Carl-von-Ossietzky Universität. S. 6/8/10.

Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) (Hrsg.) (2009): *Nitrat in Rucola, Spinat und Salat*. Zugriff am 18.03.2020. Verfügbar unter: https://mobil.bfr.bund.de/cm/343/nitrat_in_rucola_spinat_und_salat.pdf.

Deacademic: *Eisen(III)nitrat*. Zugriff am 18.03.2020. Verfügbar unter: <https://deacademic.com/dic.nsf/dewiki/380826>.

Deutsche Umwelthilfe e. V. (Hrsg.). (2018): *Stickstoffverbindungen. Was sind sie, wo entstehen sie und was bewirken sie?*. Zugriff am 18.03.2020. Verfügbar unter: https://www.duh.de/fileadmin/user_upload/download/Projektinformation/Naturschutz/Stickstoff/Hintergrundpapier_Stickstoffverbindungen.pdf.

Dittrich, W. (1930): *Zur Physiologie des Nitratumsatzes in höheren Pflanzen (unter besonderer Berücksichtigung der Nitratspeicherung)*. Leipzig: Botanisches Institut der Universität Leipzig.

DocCheck Flexikon (Hrsg.). Zugriff am 18.03.2020. Verfügbar unter: <https://flexikon.doccheck.com/de/Nitrosamin>.

EUR-Lex (Hrsg.) (2011): *Verordnung (EU) Nr. 1258/2011 der Kommission vom 2. Dezember 2011 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1881/2006 bezüglich der Höchstgehalte für Nitrate in Lebensmitteln*. Zugriff am 18.03.2020. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/de/TXT/?uri=CELEX:32011R1258>.

Greim, H. & Modlinger, U. (1991): *Nitrosamine. Entstehung, Belastung des Menschen und mögliche biologische Auswirkungen*. (S. 166/171). Hamburg, Berlin: Parey.

Greim, H.; Kerschbaum, G., Mayr, U. (1987): *Die gesundheitliche Bedeutung der Nitrataufnahme über die Nahrung und Trinkwasser*. (S. 217-221). Hamburg, Berlin: Parey.

Heck, L. (2009): *Veränderungen der Nitrat- und Nitritgehalte ausgewählter Gemüse- und Salatsorten in Abhängigkeit von Lager- und Verarbeitungsbedingungen*. Hamburg: Hochschule für Angewandte Wissenschaft Hamburg.

Kübler, W. (1959): *Werden Säuglinge durch den Nitratgehalt mineralisch gedüngter Gemüse gefährdet?*. Kiel: Universitäts-Kinderklinik Kiel.

Lenfers, C. (2019): *Pro-Kopf-Verbrauch ausgewählter Lebensmittel in Deutschland*. Zugriff am 18.03.2020. Verfügbar unter: <https://www.topagrar.com/mediathek/fotos/verschiedenes/pro-kopf-verbrauch-ausgewaehlter-lebensmittel-in-deutschland-10566559.html>.

Lüsse, M. (2019): *Nitrat – Skandal oder Panikmache?. Stickstoff-Box: Experimentierheft*. Oldenburg: Carl-von-Ossietzky Universität. S. 41 ff.

Lüsse, M. (2019): *Nitrat – Skandal oder Panikmache?. Stickstoff-Box: Experimentierheft*. Oldenburg: Carl-von-Ossietzky Universität. S. 37 ff.

Martin, H. (2013): *Nitrat im Essen: Vom Saulus zum Paulus?*. Zugriff am 18.03.2020. Verfügbar unter: <https://www.ugb.de/forschung-studien/nitrat-im-essen-vom-saulus-zum-paulus/>.

Rauter, W. & Wolkerstorfer, W. (1982): Nitrat in Gemüse. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und -Forschung*, S. 122-124.

Scheffer, B. (2006): *Nitrat*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co.

Schuphan, W. & Schlottmann, H. (1965): *N-Überdüngung als Ursache hoher Nitrat- und Nitritgehalte des Spinats (*Spinacia oleracea* L.) in ihrer Beziehung zu Säuglings-Methämoglobinämie. Untersuchung an frischem, transportiertem, gelagertem und tiefgefrorenem Spinat*. Geisenheim/ Rhg.: Bundesanstalt für Qualitätsforschung pflanzlicher Erzeugnisse.

Weiß, C. (2008): Nitrat, Nitrit, Nitrosamine. Teil 1: Nitrat und Nitrit. *Fort- & Weiterbildung*, (4). S. 237-240. Zugriff am 18.03.2020. Verfügbar unter: https://www.ernaehrungs-umschau.de/fileadmin/Ernaehrungs-Umschau/pdfs/pdf_2008/04_08/EU04_236_240.qxd.pdf.

Weiß, C. (2008): Nitrat, Nitrit, Nitrosamine. Teil 2: Nitrosamine. *Fort- und Weiterbildung*, (5). S. 304-307. Zugriff am 18.03.2020. Verfügbar unter: https://www.ernaehrungs-umschau.de/fileadmin/Ernaehrungs-Umschau/pdfs/pdf_2008/05_08/EU05_304_307.qxd.pdf.

Wodsak, W. (1965): Bildung von Nitrit aus Nitrat in Gemüse. *Angewandte Chemie*, 77 (22), S. 95.

Tabelle 1: Unterschiede im Nitratgehalt von Obst und Gemüse, Quelle: https://www.lgl.bayern.de/lebensmittel/waren-gruppen/wc_25_frischgemuese/et_nitrat_frischgemuese.htm

hoch 1.000–4.000 mg/kg Nitrat	mittel 1.000–500 mg/kg Nitrat	gering unter 500 mg/kg Nitrat
Blattgemüse: Kopfsalat, Endivie, Eissalat, Feldsalat, Spinat, Stielmangold	Wurzel- und Knollengemüse: Karotten, Kohlrabi, Sellerie	Fruchtgemüse: Erbsen, Gurken, Grüne Bohnen, Paprika, Tomaten
Kohlgemüse: Grünkohl, Chinakohl, Weißkohl, Wirsing	Kohlgemüse: Blumenkohl, Kopfkohl	Kohlgemüse: Rosenkohl
Wurzelgemüse Rote Beete, Radieschen, Rettich	Zwiebelgemüse: Lauch	Zwiebelgemüse: Knoblauch, Zwiebeln
	Fruchtgemüse: Auberginen, Zucchini	Obst, Getreide, Kartoffeln

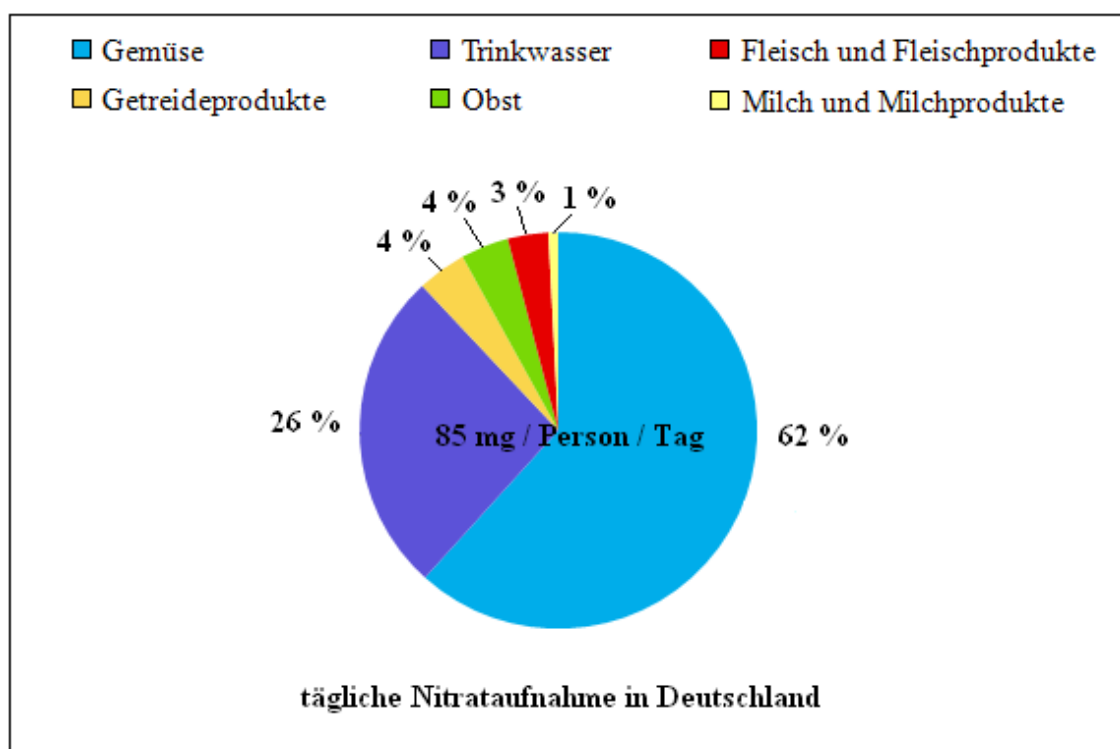


Abbildung 2: geschätzte tägliche Nitrataufnahme aus verschiedenen Lebensmitteln in Deutschland, Quelle: Heck, 2009, S. 30

Tabelle 2: Höchstgehalt für Nitrat in pflanzlichen Lebensmitteln, Quelle: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/de/TXT/?uri=CELEX:32011R1258>

Erzeugnis ⁽¹⁾		Höchstgehalt (mg NO ₃ /kg)	
1.1	Frischer Spinat (<i>Spinacia oleracea</i>) ⁽²⁾		3 500
1.2	Haltbar gemachter, tiefgefrorener oder gefrorener Spinat		2 000
1.3	Frischer Salat (<i>Lactuca sativa</i> L.) (unter Glas/Folie angebauter Salat und Freilandsalat) außer unter Nr. 1.4 aufgeführter Salat	Ernte vom 1. Oktober bis 31. März:	
		unter Glas/Folie angebauter Salat	5 000
		im Freiland angebauter Salat	4 000
		Ernte vom 1. April bis 30. September:	
		unter Glas/Folie angebauter Salat	4 000
		im Freiland angebauter Salat	3 000
1.4	Salat des Typs ‚Eisberg‘	unter Glas/Folie angebauter Salat	2 500
		im Freiland angebauter Salat	2 000
1.5	Rucola (<i>Eruca sativa</i> , <i>Diplotaxis</i> sp, <i>Brassica tenuifolia</i> , <i>Sisymbrium tenuifolium</i>)	Ernte vom 1. Oktober bis 31. März:	7 000
		Ernte vom 1. April bis 30. September:	6 000

1.6	Getreidebeikost und andere Beikost für Säuglinge und Kleinkinder ⁽³⁾ ⁽⁴⁾		200“
-----	--	--	------

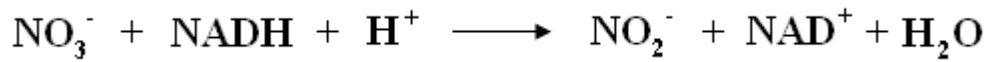


Abbildung 3: Reduktion des Nitrats zu Nitrit durch das Enzym Nitratreduktase, Quelle: Heck, 2009, S. 13

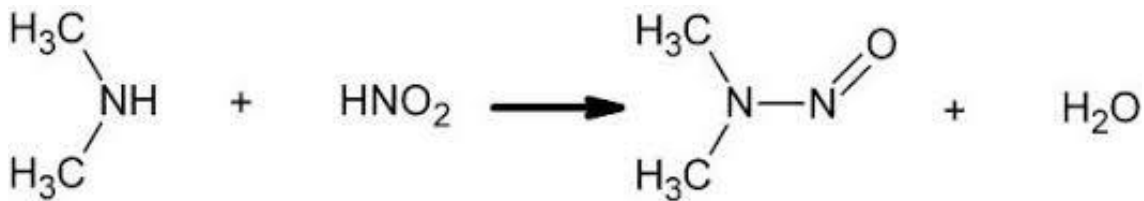


Abbildung 4: Bildung von Nitrosaminen aus Nitrit und sekundären Aminen, Quelle: <https://flexikon.doc-check.com/de/Nitrosamin>

Tabelle 3: Nitratgehalt des Spinats direkt nach dem Kochprozess, Quelle: Eigene Darstellung

	Nitratgehalt (in mg/L)	Nitritgehalt (in mg/L)
Blattspinat	1000-2500	0

Tabelle 4: Nitratgehalt des Spinats nach der Lagerung, Quelle: Eigene Darstellung

	Nitratgehalt (in mg/L)	Nitritgehalt (in mg/L)
Geschlossen, 7°C	500-1000	0
Halboffen, 20°C	2500	400
Geschlossen, 20°C	1000-2500	100-200

Tabelle 5: Nitratgehalte in Gemüse und Obst aus Versuch 2, Quelle: Eigene Darstellung

Gemüsesorte	Pflanzenteil, evtl. Vorbehandlung	Nitratgehalt (in mg/L)
Feldsalat	Blätter, Um das Zehnfache verdünnt	500
Blattsalat	1. Um das Zehnfache verdünnt	1. 1000
		2. 2500

	<ul style="list-style-type: none"> 2. Blätter, um das Fünffache verdünnt 3. Stängel, um das Fünffache verdünnt 	3. 2500
Eisbergsalat	<ul style="list-style-type: none"> 1. Strunk, Messung an der Schnittfläche 2. Blätter, um das Fünffache verdünnt 	<ul style="list-style-type: none"> 1. 250 2. 125
Babyspinat	Um das Zehnfache verdünnt	250
Weißkohl	Um das Fünffache verdünnt	50-125
Chinakohl	Um das Fünffache verdünnt	125-250
Blumenkohl	<ul style="list-style-type: none"> 1. Blätter, Strunk, um das Fünffache verdünnt 2. Blumenkohl, um das Fünffache verdünnt 	<ul style="list-style-type: none"> 1. 125-250 2. 50
Aubergine	<ul style="list-style-type: none"> 1. Messung an Schnittfläche 2. Um das Zehnfache verdünnt 	<ul style="list-style-type: none"> 1. 25 2. 100-250
Zucchini	<ul style="list-style-type: none"> 1. Messung an Schnittfläche 2. Um das Zehnfache verdünnt 	<ul style="list-style-type: none"> 1. 250 2. 250
Gurke	<ul style="list-style-type: none"> 1. Messung an Schnittfläche 2. Um das Fünffache verdünnt 	<ul style="list-style-type: none"> 1. 250-500 2. 250
Radieschen	<ul style="list-style-type: none"> 1. Messung an Schnittfläche 2. Um das zehnfache verdünnt 	<ul style="list-style-type: none"> 1. >500 2. 1000
Möhren	<ul style="list-style-type: none"> 1. Um das Fünffache verdünnt 2. Möhrengrün, um das zehnfache verdünnt 	<ul style="list-style-type: none"> 1. 50-125 2. 100-250
Porree	Um das Fünffache verdünnt	50-125
Tomate	Um das Fünffache verdünnt	50
Paprika	<ul style="list-style-type: none"> 1. Um das Fünffache verdünnt 2. Stiel, um das Fünffache verdünnt 	<ul style="list-style-type: none"> 1. 50 2. 500- 1250
Zwiebel	<ul style="list-style-type: none"> 1. Messung direkt an Schnittstelle 2. Um das Fünffache verdünnt 	<ul style="list-style-type: none"> 1. 0 2. 0
Knoblauch	Pflanzensaft	10

Banane	1. Messung an Schnittstelle	50-100
Mandarine	Presssaft, um das Zehnfache verdünnt	100
Apfel	Messung an der Schnittstelle	10



Abbildung 5: Beobachtung: Versuch 3: Nitrat vs. Mensch, Quelle: Eigene Darstellung

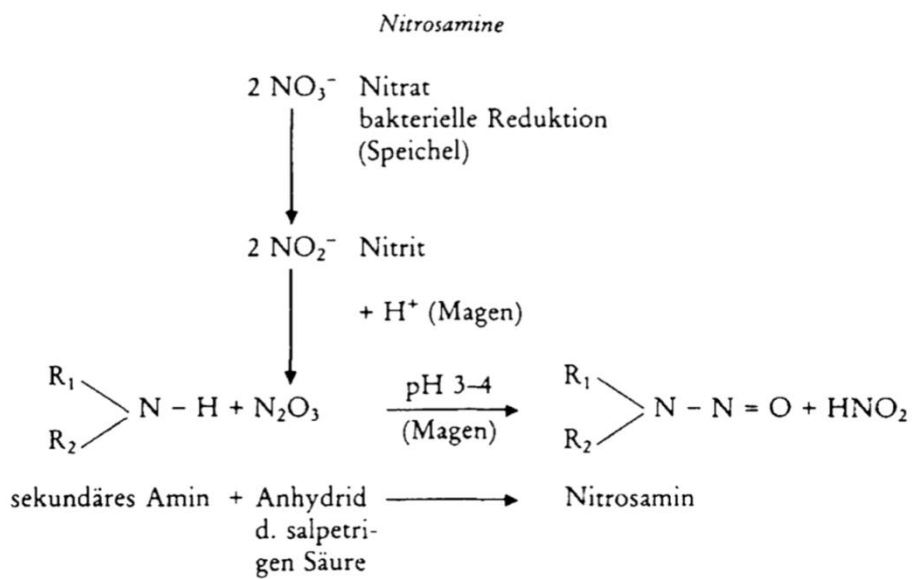


Abbildung 6: Von Nitrat zum Nitrosamin, Quelle: Greim, Modlinger, 1991, S. 169