

Schlussbericht (Teil I)

Zum Projekt: SharpGreens (IGZ)

Zuwendungsempfänger: Leibniz-Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau (IGZ) e.V. Theodor-Echtermeyer-Weg 1 14979 Großbeeren	Förderkennzeichen: 16LW0389
Vorhabenbezeichnung: "BiodivGesundheit: Biodiversität in <i>Brassica oleracea</i> zur Verbesserung des Gesundheitswertes in der menschlichen Ernährung (SharpGreens)"	
Laufzeit des Vorhabens: 01.04.2023 bis 30.06.2024	
Berichtszeitraum: 01.04.2023 bis 30.06.2024	

Studien zeigen, dass eine geringe Aufnahme von Obst und Gemüse mit einem erhöhten Risiko für altersbedingte und Zivilisationskrankheiten wie Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Krebs und Diabetes einhergeht. Sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe spielen eine Schlüsselrolle für die menschliche Gesundheit. Daher gewinnen pflanzliche Lebensmittel mit einem hohen Gehalt an gesundheitsfördernden Inhaltsstoffen zunehmend an Bedeutung. *Brassica oleracea*, eine vielfältige Pflanzenart, bietet durch ihren Gehalt an Mineralstoffen, Vitaminen und bioaktiven Substanzen wie Glucosinolaten (GLS) eine ideale Grundlage für die Entwicklung innovativer Lebensmittel. GLS sind schwefelhaltige Verbindungen, die beim Verzehr enzymatisch abgebaut werden und bioaktive Abbauprodukte, insbesondere Isothiocyanate (ITC) mit entzündungshemmenden und antikanzerogenen Eigenschaften, freisetzen können. *Brassica*-Gemüse enthält zudem *S*-Methyl-L-Cysteinsulfoxid (SMCSO), dessen Abbauprodukte antioxidative und antimikrobielle Wirkungen zeigen. Dennoch wird diesen Verbindungen weniger Aufmerksamkeit gewidmet als GLS.

Das Projekt SharpGreens untersuchte die Nährstoffvielfalt von *B. oleracea*, um Genotypen mit einem verbesserten Nährstoffgehalt zu identifizieren und so zur Förderung der menschlichen Gesundheit sowie der Agrobiodiversität beizutragen. In einem Feldversuch wurden 300 Genbank-Akzessionen und 17 handelsübliche Sorten von *B. oleracea* (Chinesischer Brokkoli, Kohlrabi, Grünkohl, Blumenkohl, Wirsing, Weißkohl und Rotkohl) kultiviert. Pflanzen wurden hinsichtlich ihrer phänotypischen Merkmale dokumentiert und die essbaren Teile für Laboranalysen geerntet. Insgesamt 1.026 Proben wurden auf GLS- und SMCSO-Gehalte sowie ihre enzymatischen Abbauprodukte untersucht. Die Messungen erfolgten mittels Methoden wie UHPLC-DAD-ToF-MS, UHPLC-FLD und GC-MS.

Die Analysen ergaben detaillierte Erkenntnisse zu den Gehalten an schwefelhaltigen Sekundärinhaltsstoffen im Gemüse Kohl. Hinsichtlich der GLS- und SMCSO-Gehalte wurde Wirsing als GLS- und gleichzeitig SMCSO-reichster Kultivar identifiziert, während Chinesischer Brokkoli die niedrigsten sowohl GLS- als auch SMCSO-Gehalte aufwies. Kohlrabi-Akzessionen zeigten ein hohes Potential für die Freisetzung von ITC, wohingegen im Blumenkohl die geringste ITC-Bildung analysiert wurde. Das häufigste SMCSO-Abbauprodukt in nahezu allen Akzessionen war *S*-Methylmethanthiosulfinat, das antimikrobielle und antikanzerogene Wirkung zeigt. Die Kopfkohl-Kultivare setzten verstärkt auch Dimethyltetrasulfid frei. Innerhalb der einzelnen Kultivare wurden erhebliche Unterschiede in den GLS- und SMCSO-Gehalten und ihrem Abbauverhalten festgestellt. Die Ergebnisse werden in einer multivariaten Datenanalyse einbezogen, um sortenspezifische Muster der Bildung schwefelhaltiger Sekundärmetabolite und deren genetische sowie biochemische Zusammenhänge phylogenetisch aufzuklären. Unsere Analysen vertiefen das Verständnis der natürlichen Variation in *Brassica*-Gemüsen und unterstreichen das Potenzial bestimmter Akzessionen für die Förderung der menschlichen Gesundheit durch spezifische schwefelhaltige Verbindungen

Basierend auf den ITC-Gehalten und -Verhältnissen wurden 24 Akzessionen von 6 Kultivaren für die in der zweiten Projektphase geplante Humanstudie ausgewählt, die den Zusammenhang der Vielfalt von Gemüse Kohl in der Ernährung und der menschlichen Gesundheit untersuchen wird. Die Studie umfasst vier verschiedene Diäten, die jeweils unterschiedliche Kombinationen von Kohlvielfalt und ITC-Gehalten repräsentieren. Diese Studie zielt darauf ab, die Bedeutung der Agrobiodiversität für die menschliche Gesundheit zu evaluieren und wird wertvolle Erkenntnisse über die gesundheitsfördernden Eigenschaften von *Brassica*-Gemüsesorten liefern.



Neben Forschungsarbeiten schaffte SharpGreens das Thema Agrobiodiversität in die Öffentlichkeit zu tragen. Das Projekt wurde auf Fachveranstaltungen, Feldtagen, Messen und in den Medien präsentiert, um das Bewusstsein für die Bedeutung der Artenvielfalt in der Landwirtschaft zu wecken.

Die Ergebnisse der ersten Projektphase von SharpGreens über die Vielfalt von schwefelhaltigen Sekundärmetaboliten wie GLS, SMCSO und ihren bioaktiven Abbauprodukten verdeutlichen das Potenzial von Gemüse Kohl zur Förderung der menschlichen Gesundheit. SharpGreens legte die Grundlage für die Identifizierung genotypischer Unterschiede in dem GLS- sowie SMCSO-Abbauverhalten im Gemüse Kohl. Außerdem wurde eine Auswahl von Akzessionen für die Diäten einer humanen Interventionsstudie getroffen. Diese wird in der zweiten Projektphase den Einfluss der Agrobiodiversität auf die menschliche Gesundheit untersuchen und wichtige Erkenntnisse über die Rolle von ITC und anderen bioaktiven Verbindungen liefern. Darüber hinaus unterstreicht SharpGreens die Bedeutung von Agrobiodiversität nicht nur für die menschliche Ernährung, sondern auch für gesunde und nachhaltige landwirtschaftliche Ökosysteme. Durch die Einbindung in Fachveranstaltungen und öffentliche Medien informiert SharpGreens über die Vorteile der biologischen Vielfalt und trägt zur Förderung innovativer Lebensmittelkonzepte bei.

Schlussbericht (Teil II)

Zum Projekt: SharpGreens (IGZ)

Zuwendungsempfänger: Leibniz-Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau (IGZ) e.V. Theodor-Echtermeyer-Weg 1 14979 Großbeeren	Förderkennzeichen: 16LW0389
Vorhabenbezeichnung: "BiodivGesundheit: Biodiversität in <i>Brassica oleracea</i> zur Verbesserung des Gesundheitswertes in der menschlichen Ernährung (SharpGreens)"	
Laufzeit des Vorhabens: 01.04.2023 bis 30.06.2024	
Berichtszeitraum: 01.04.2023 bis 30.06.2024	

1. Ursprüngliche Aufgabenstellung, wissenschaftlicher und technischer Stand an den angeknüpft wurde

Zahlreiche Studien belegen, dass der geringe Verzehr von Obst und Gemüse mit einem erhöhtem Risiko Alters- und Zivilisationskrankheiten wie Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Krebs, Osteoporose, Bluthochdruck und Diabetes in Verbindung gebracht werden können. Bioaktive sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe spielen eine wesentliche Rolle bei der Förderung und Aufrechterhaltung der menschlichen Gesundheit. Die Produktion und Vermarktung pflanzlicher Lebensmittel, die von Natur aus reich an gesundheitsfördernden Inhaltsstoffen sind, gewinnt daher an gesellschaftlicher, gesundheitspolitischer und wirtschaftlicher Bedeutung. Gemüse der Pflanzenfamilie Brassicaceae wird weltweit angebaut und die vielfältigen *Brassica oleracea*-Gemüsesorten (Brokkoli, Blumenkohl, Grünkohl, Weißkohl, Rotkohl, Wirsing, Rosenkohl) bieten eine vielversprechende Basis für die Entwicklung innovativer Lebensmittel, da sie reich an Mineralstoffen, Vitaminen und insbesondere an sekundären Pflanzeninhaltsstoffen sind, die das Immunsystem stärken und chronischen Krankheiten vorbeugen können. Diese gesundheitsfördernden Effekte sind hauptsächlich auf Glucosinolate (GLS), Carotinoide und Polyphenole zurückzuführen.

GLS sind schwefelhaltige Verbindungen, die eine variable Seitenkette besitzen. Diese bestimmt die spezifischen physiologischen und sensorischen Eigenschaften sowie die Bioaktivität der GLS. Die Art und Mengen an GLS variieren stark zwischen verschiedenen Pflanzenorganen, verändern sich im Laufe der Pflanzenentwicklung und werden durch die sowohl biotischen als auch abiotischen Umweltfaktoren beeinflusst. Bei einer Verletzung des Pflanzengewebes, z.B. durch die Zubereitung oder den Verzehr, reagieren GLS mit dem Enzym Myrosinase und bioaktive Verbindungen wie Isothiocyanate (ITC), Thiocyanate, Nitrile (CN), und Epithionitrile (ETN) können freigesetzt werden. ITC sind für ihre entzündungshemmende, antikanzerogene und weitere gesundheitsfördernde Eigenschaften bekannt. Die antikanzerogenen Effekte beruhen hauptsächlich auf chemopräventiven Eigenschaften der ITC. Sie hemmen Phase I Enzyme, während sie Phase II Enzyme aktivieren. Dabei wirken die ITC auf das Tumorstadium ein, indem sie den Zellzyklus anhalten und die Apoptose einleiten und gleichzeitig Angiogenese und Entzündung hemmen. Die Bioaktivität von CN ist viel niedriger und sie können weiter zu Cyaniden und anderen toxischen Metaboliten abgebaut werden. Hohe Dosen von ETN zeigen nephrotoxische Wirkung, sowie zytotoxische Effekte auf gesunde und bösartige Zellen. Jedoch konnte in einigen Studien auch eine krebsvorbeugende Wirkung von ETN nachgewiesen werden. Daher ist es wünschenswert *Brassica*-Gemüse mit hohen GLS-Gehalten und einem hohen Potential für ITC-Bildung zu produzieren und in die tägliche Ernährung zu implementieren.

Brassica-Gemüse reichert neben GLS auch erhebliche Mengen an S-Methyl-L-Cysteinsulfoxid (SMCSO) an, einer nicht-proteinogenen Aminosäure, die typischerweise in der Pflanzenfamilie der Alliaceae und Fabaceae vorkommt. Sie kann durch Cystein-Lyase abgebaut werden und mehrere flüchtige schwefelorganische Verbindungen (VOSC), wie S-Methylmethanthiosulfinat (SMMTSulfinat) und S-Methylmethanthiosulfonat (SMMTSulfonat) sowie Polysulfide wie Dimethyldisulfid (DMDiS), Dimethyltrisulfid (DMTriS) und Dimethyltetrasulfid (DMTetraS), können freigesetzt werden. Obwohl das häufigste SMCSO-Hydrolyseprodukt in *B. oleracea*-Sorten, SMMTSulfinat, antimikrobielle, antioxidative, entzündungshemmende und chemopräventive Eigenschaften zeigt, wird diesen Verbindungen wesentlich weniger Aufmerksamkeit gewidmet als GLS.

Die natürliche Variation in Kulturpflanzen ist ein wertvolles Werkzeug für die Pflanzenzüchtung. *Brassica*-Gemüse zeichnet sich durch eine starke genetische Vielfalt aus, die zu seiner ausgeprägten Anpassungsfähigkeit und einer hohen Produktivität beiträgt. Unterschiede in den GLS-Profilen und -Gehalten wurden besonders bei *B. oleracea* erforscht. In einem einzigartigen und interdisziplinären Ansatz vereinte SharpGreens Fachwissen aus Pflanzenwissenschaft, Lebensmittelchemie und

Gemüseproduktion, um die Biodiversität der *B. oleracea*-Art zu nutzen. Im Rahmen des Projekts wurden Profile und Mengen von GLSs sowie deren bioaktiven Abbauprodukten von mehr als 300 *B. oleracea* Genbank-Akzessionen analysiert, um Akzessionen mit optimalen Metabolitprofilen zu identifizieren. Ziel ist es, *B. oleracea*-Genotypen mit verbesserter Nährstoffqualität bereitzustellen und zu zeigen, dass der Verzehr dieser zur Förderung der menschlichen Gesundheit beiträgt. Durch die Erhöhung der Vielfalt im Anbau und Konsum von Gemüsekohl will SharpGreens einen wichtigen Beitrag zur Erhaltung der Artenvielfalt in Ernährung und Landwirtschaft leisten und einen Zusammenhang zwischen Agrobiodiversität und menschlicher Gesundheit aufzeigen.

2. Ablauf des Vorhabens

Um *B. oleracea* Akzessionen mit einer verbesserten Nährstoffqualität identifizieren zu können, wurde das Probenmaterial in einem Feldversuch generiert (**Abbildung 1**). Zunächst wurde die Anzucht von Jungpflanzen für den Feldversuch durchgeführt. Dafür wurden 300 Genbank-Akzessionen (Leibniz-Institut für Pflanzengenetik und Kulturpflanzenforschung) und 17 handelsüblichen Akzessionen von sieben *B. oleracea* Kultivaren- Chinesischer Brokkoli (*B. oleracea* subsp. *capitata* convar. *botrytis* var. *alboglabra*), Kohlrabi (*B. oleracea* convar. *acephala* var. *gongylodes*), Blumenkohl (*B. oleracea* convar. *botrytis* var. *botrytis*), Wirsing (*B. oleracea* convar. *capitata* var. *sabauda*), Weißkohl (*B. oleracea* convar. *capitata* var. *capitata* f. *capitata*), Rotkohl (*B. oleracea* convar. *capitata* var. *capitata* f. *rubra*), und Grünkohl (*B. oleracea* convar. *acephala* var. *sabellica*)- ausgewählt und im Gewächshaus ausgesät. Im Mai 2023 fand das Umpflanzen auf das Versuchsfeld statt. In der weiteren Kultivierung wurden die Pflanzen nach Bedarf gewässert und gedüngt. Als die Pflanzen der einzelnen Akzessionen erntereif waren, wurden die Akzessionen fotografiert um ihr phänotypisches Erscheinungsbild zu dokumentieren. Die Ernten fanden von Juni 2023 bis November 2023 statt. Von jeder Akzession wurden drei adulte Pflanzen aus der Mitte des Plots geerntet und im Anschluss wurden die essbaren Teile der Pflanzen fotografiert, gewogen und beprobt. Acht flachwachsende Grünkohl-Akzessionen wurden mit Abstand von 6 Wochen ein zweites Mal geerntet um den Einfluss einer wiederholten Ernte in der gängigen Praxis auf das Inhaltsstoffprofil zu untersuchen. Im Projektzeitraum wurden alle 1026 generierten Proben nach der Gefriertrocknung auf ihre GLS- und SMCSO-Gehalte sowie ihre enzymatischen Abbauprodukte analysiert und quantifiziert. GLS wurden mittels UHPLC-DAD-ToF-MS und SMCSO mithilfe von UHPLC-FLD quantifiziert. Für die Analyse der GLS-Abbauprodukte sowie VOSC wurde GC-MS verwendet. Sowohl die absolute als auch die relative ITC-Bildung jeder Akzession wurde für die Auswahl der Akzessionen, die in der geplanten humanen Interventionsstudie in der zweiten Projektphase getestet werden, berücksichtigt. Von sechs Kultivaren wurden jeweils vier Akzessionen, d.h. insgesamt 24 Akzessionen, für die Zusammensetzung von vier Diäten der Humanstudie ausgewählt. Der ITC-Gehalt und ITC-Mengenverhältnisse der Diäten wurden festgelegt. Die Anzucht des Pflanzenmaterials von diesen 24 Akzessionen für die humane Interventionsstudie (zweite Projektphase) wurde im Mai 2024 begonnen. Parallel zu den Feld- und Laborarbeiten wurde die zweite Projektphase von SharpGreens konzipiert. Dafür wurden zwei neue assoziierte Projektpartner, proWissen Potsdam und Slow Food Potsdam, gewonnen, um SharpGreens in Themen Wissenschaftskommunikation und Öffentlichkeitsarbeit zu unterstützen. Der Antrag auf die zweite Projektphase wurde im September 2023 eingereicht. Außerdem wurde das Projekt in zahlreichen Medienauftritten, bei Feldbegehungen für Fachleute, Politiker*innen sowie Öffentlichkeit und auf mehreren Messen und Veranstaltungen präsentiert.

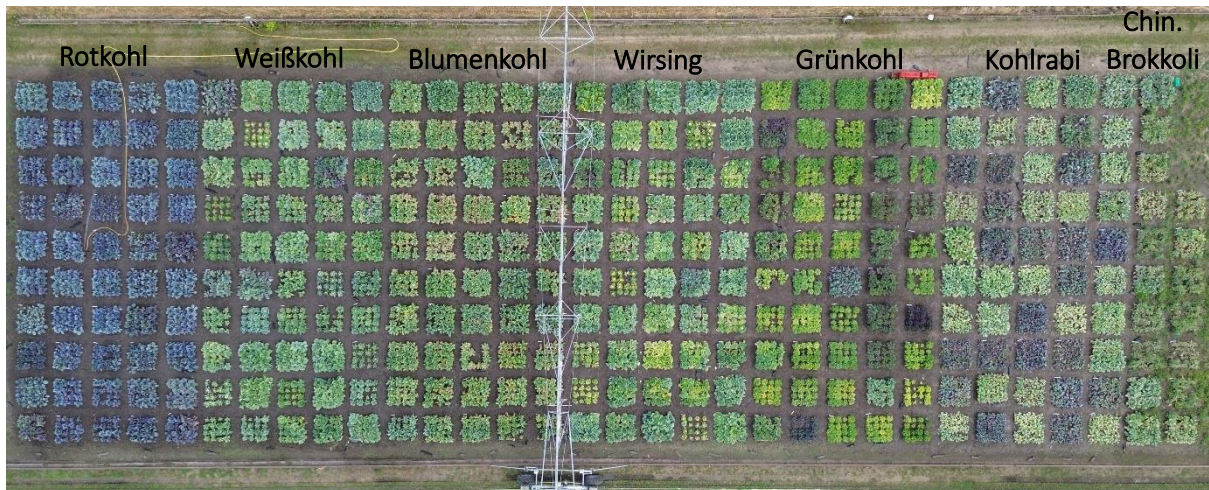


Abbildung 1 Feldversuch mit 317 Akzessionen von 7 Gemüsekohl-Kultivaren (Rotkohl, Weißkohl, Blumenkohl, Wirsing, Grünkohl, Kohlrabi und Chinesischer Brokkoli) auf dem Versuchsfeld des Leibniz-Instituts für Gemüse- und Zierpflanzenbau in 2023.

3. Wesentliche Ergebnisse sowie Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen

Die Genbank des Leibniz-Instituts für Pflanzengenetik und Kulturpflanzenforschung unterstützte Sharp-Greens bei der Auswahl der *B. oleracea*-Akzessionen und stellte das Saatgut zur Verfügung. Die im Feldversuch generierten Pflanzenproben von 317 Gemüsekohl-Akzessionen wurden zunächst auf ihre GLS-Profile sowie-Gehalte untersucht und die Produkte des enzymatischen GLS-Abbaus wurden analysiert. Insgesamt wurden mittels UHPLC-DAD-ToF-MS 11 verschiedene GLS identifiziert und quantifiziert, darunter waren sieben aliphatisch, drei indolisch und ein GLS aromatisch. In der Analyse der GLS-Abbauprodukte mittels GC-MS konnten 20 GLS-Abbauprodukte identifiziert und quantifiziert werden. Davon gehörten sieben zu ITC, zehn zu CN und drei zu ETN- Allyl-ITC, 3-Butenyl-ITC (3But-ITC), 5-Vinyl-1,3-oxazolidin-2-thion (OZT), 3-(Methylsulfanyl)propyl-ITC (3MTP-ITC), 4-(Methylsulfanyl)butyl-ITC (4MTB-ITC), 3-(Methylsulfanyl)propyl-ITC (3MSOP-ITC), 4-(Methylsulfanyl)butyl-ITC (4MSOB-ITC), Allyl-CN, 3-Butenyl-CN (3But-CN), 3-Hydroxypenten-CN (2OH3But-CN), 4-(Methylsulfanyl)butyl-CN (3MTP-CN), 5-(Methylsulfanyl)pentan-CN (4MTB-CN), 4-(Methylsulfanyl)butyl-CN (4MSOB-CN), 3-(Methylsulfanyl)propyl-CN (3MSOP-CN), Indol-3-acetonitril (I3N), 1-Methoxyindol-3-acetonitril (1MOI3N), 4-Methoxyindol-3-acetonitril (4MOI3N), 1-Cyano-2,3-epithiopropyl (CETP), 1-Cyano-3,4-epithiobutan (CETB), 1-Cyano-2-hydroxy-3,4-epithiobutan (CHETB). Die GLS-Gesamtgehalte und die Mengen an einzelnen GLS-Abbauprodukten in $\mu\text{mol g}^{-1}$ Trockenmasse (TM) in sieben Gemüsekohl-Kultivaren sind in den **Abbildungen 2 bis 8** dargestellt. Generell zeigte chinesischer Brokkoli geringere GLS-Gehalte als die anderen Kultivare. Im Schnitt kann Wirsing als GLS-reichster Gemüsekohl-Kultivar bezeichnet werden. Die Akzessionen der einzelnen Kultivare wiesen starke Unterschiede in den GLS-Gehalten auf. Auch die Bildung der GLS-Abbauprodukte variierte stark zwischen den Akzessionen eines Kultivars. Allgemein zeigten viele Kohlrabi-Akzessionen ein hohes Potential für ITC-Bildung. Die niedrigste ITC-Freisetzung konnte im Blumenkohl beobachtet werden.

Chinesischer Brokkoli

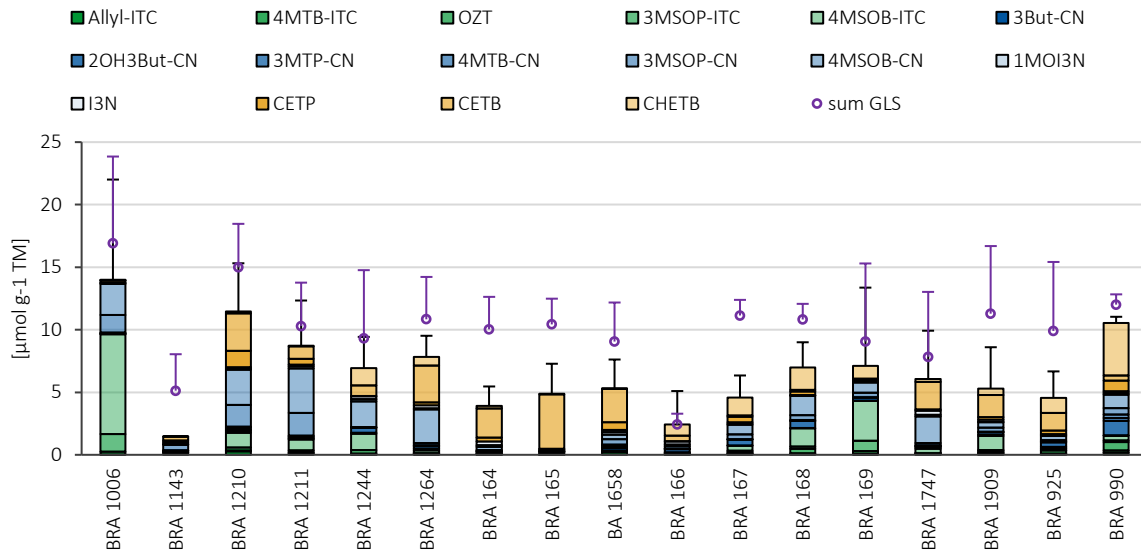


Abbildung 2 Glucosinolat-Gesamtgehalte (sum GLS, lila Kreise) sowie Gehalte an einzelnen Glucosinolatbauprodukten- Isothiocyanate (ITC, Grüntöne), Nitrile (CN, Blautöne), Epithionitrile (Gelbtöne) in $\mu\text{mol g}^{-1}$ Trockenmasse (TM) in verschiedenen Akzessionen von Chinesischem Brokkoli. Die Werte werden als Mittelwerte von drei biologischen Replikaten + Standardabweichungen dargestellt ($n = 3$).

Kohlrabi

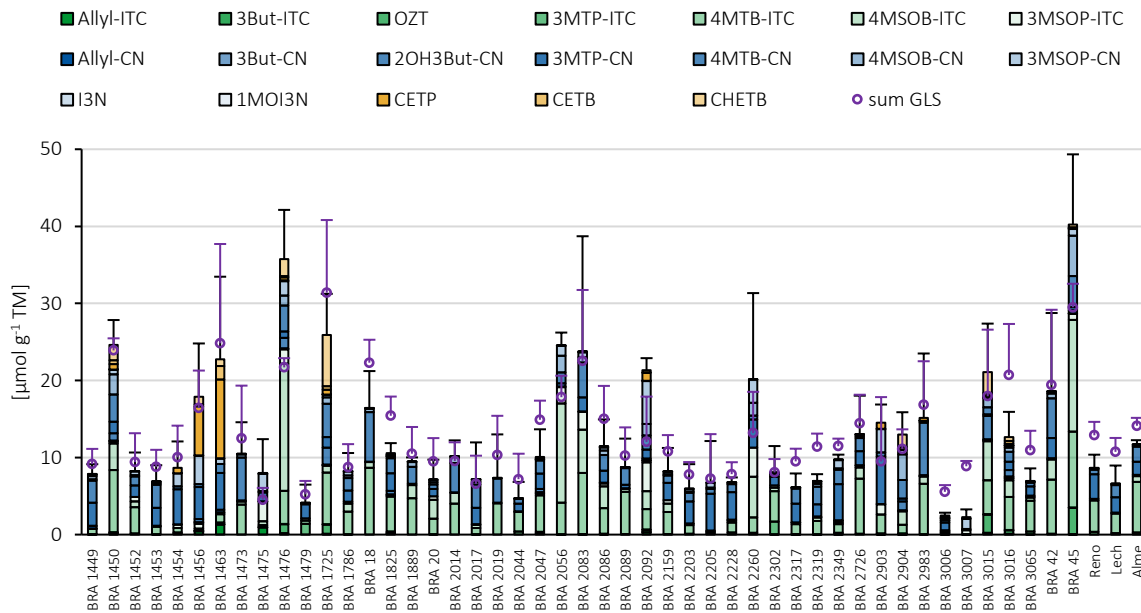


Abbildung 3 Glucosinolat-Gesamtgehalte (sum GLS, lila Kreise) sowie Gehalte an einzelnen Glucosinolatbauprodukten- Isothiocyanate (ITC, Grüntöne), Nitrile (CN, Blautöne), Epithionitrile (Gelbtöne) in $\mu\text{mol g}^{-1}$ Trockenmasse (TM) in verschiedenen Kohlrabi-Akzessionen. Die Werte werden als Mittelwerte von drei biologischen Replikaten + Standardabweichungen dargestellt ($n = 3$).

Grünkohl

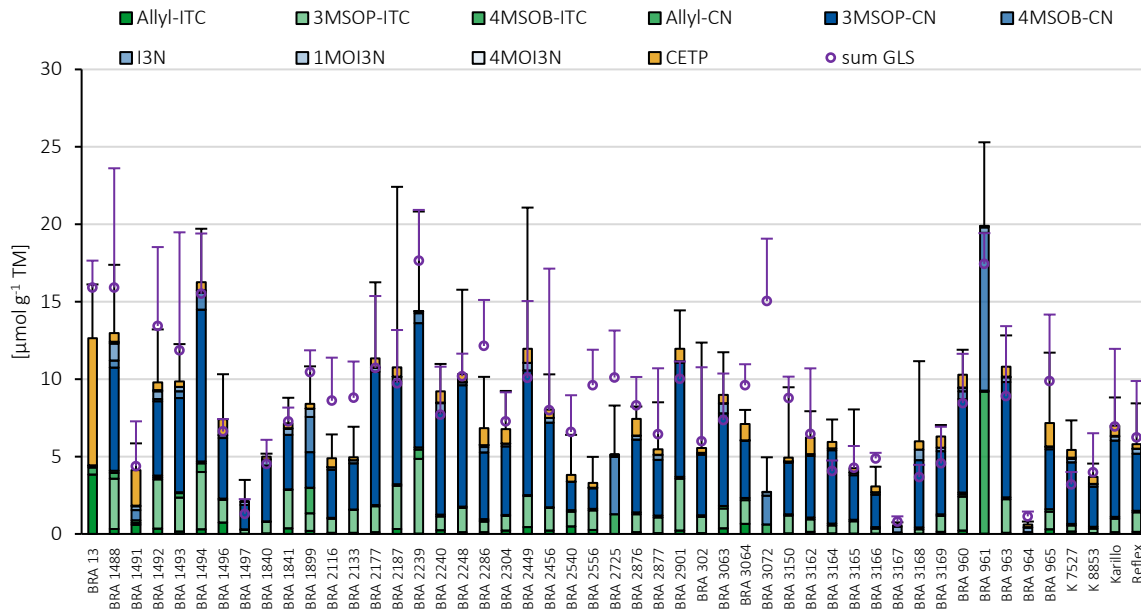


Abbildung 4 Glucosinolat-Gesamtgehalte (sum GLS, lila Kreise) sowie Gehalte an einzelnen Glucosinolatbauprodukten- Isothiocyanate (ITC, Grüntöne), Nitrile (CN, Blautöne), Epithionitrile (Gelbtöne) in $\mu\text{mol g}^{-1}$ Trockenmasse (TM) in verschiedenen Grünkohl-Akzessionen. Die Werte werden als Mittelwerte von drei biologischen Replikaten + Standardabweichungen dargestellt (n = 3).

Blumenkohl

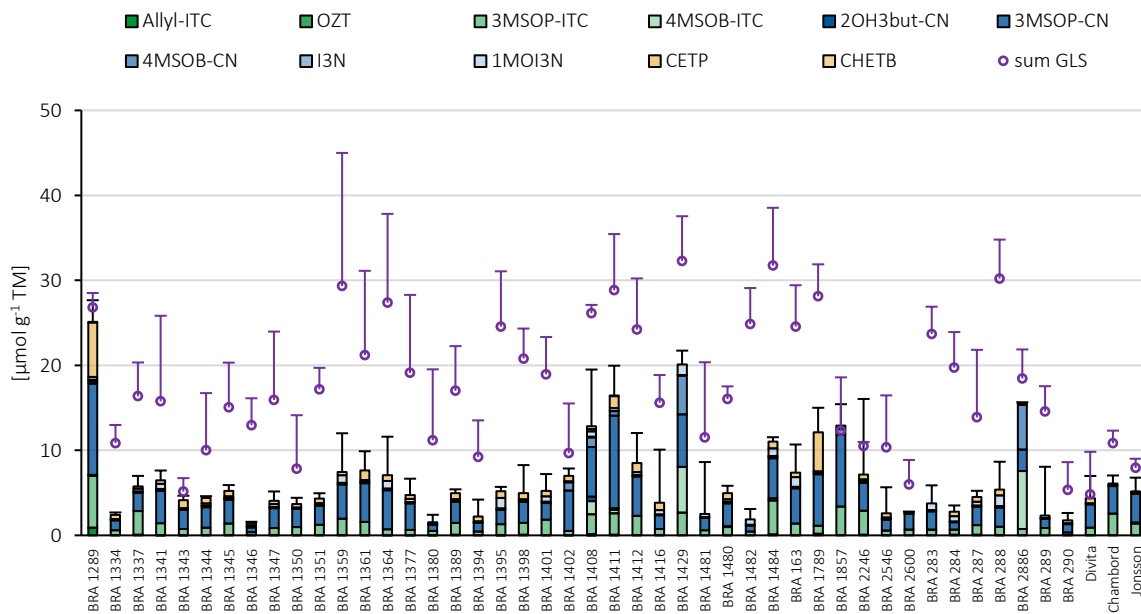


Abbildung 5 Glucosinolat-Gesamtgehalte (sum GLS, lila Kreise) sowie Gehalte an einzelnen Glucosinolatbauprodukten- Isothiocyanate (ITC, Grüntöne), Nitrile (CN, Blautöne), Epithionitrile (Gelbtöne) in $\mu\text{mol g}^{-1}$ Trockenmasse (TM) in verschiedenen Blumenkohl-Akzessionen. Die Werte werden als Mittelwerte von drei biologischen Replikaten + Standardabweichungen dargestellt (n = 3).

Wirsing

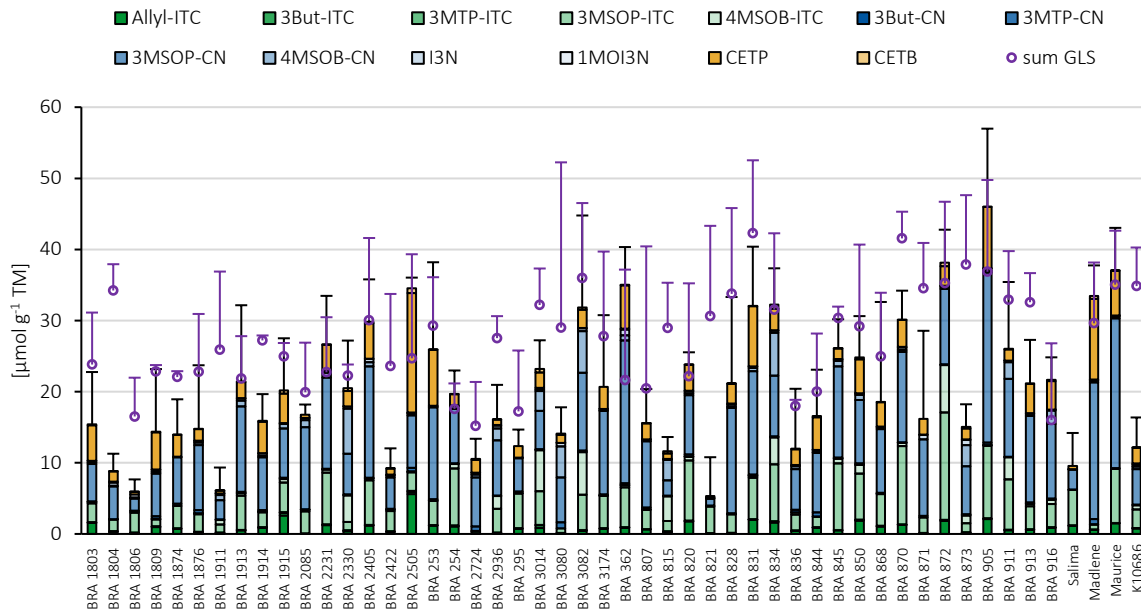


Abbildung 6 Glucosinolat-Gesamtgehalte (sum GLS, lila Kreise) sowie Gehalte an einzelnen Glucosinolatbauprodukten- Isothiocyanate (ITC, Grüntöne), Nitrile (CN, Blautöne), Epithionitrile (Gelbtöne) in $\mu\text{mol g}^{-1}$ Trockenmasse (TM) in verschiedenen Wirsing-Akzessionen. Die Werte werden als Mittelwerte von drei biologischen Replikaten + Standardabweichungen dargestellt ($n = 3$).

Weißkohl

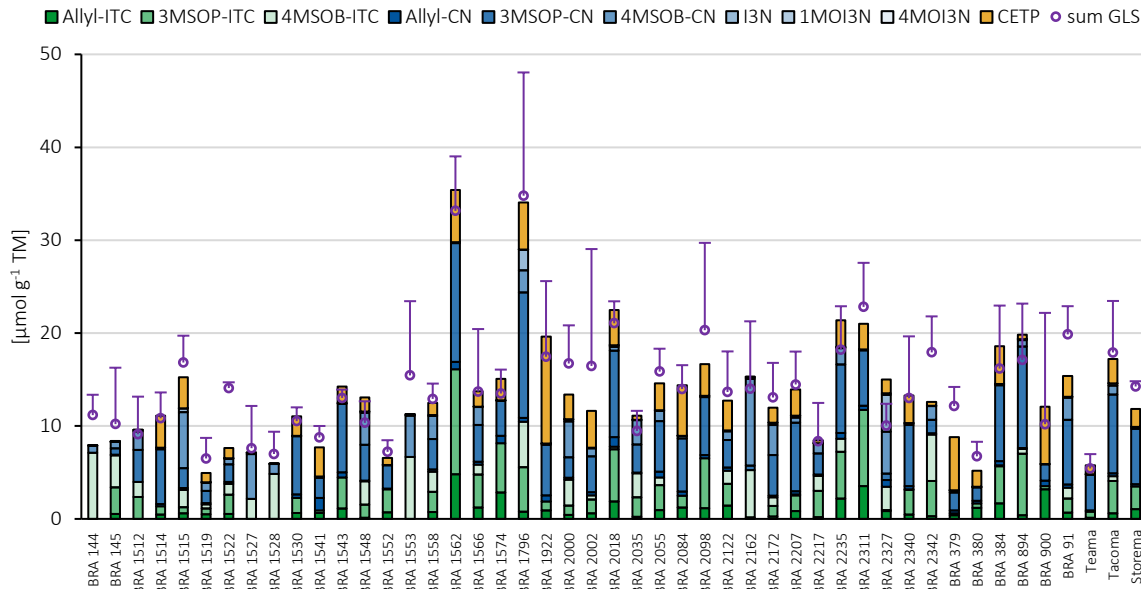


Abbildung 7 Glucosinolat-Gesamtgehalte (sum GLS, lila Kreise) sowie Gehalte an einzelnen Glucosinolatbauprodukten- Isothiocyanate (ITC, Grüntöne), Nitrile (CN, Blautöne), Epithionitrile (Gelbtöne) in $\mu\text{mol g}^{-1}$ Trockenmasse (TM) in verschiedenen Weißkohl-Akzessionen. Die Werte werden als Mittelwerte von drei biologischen Replikaten + Standardabweichungen dargestellt ($n = 3$).

Rotkohl

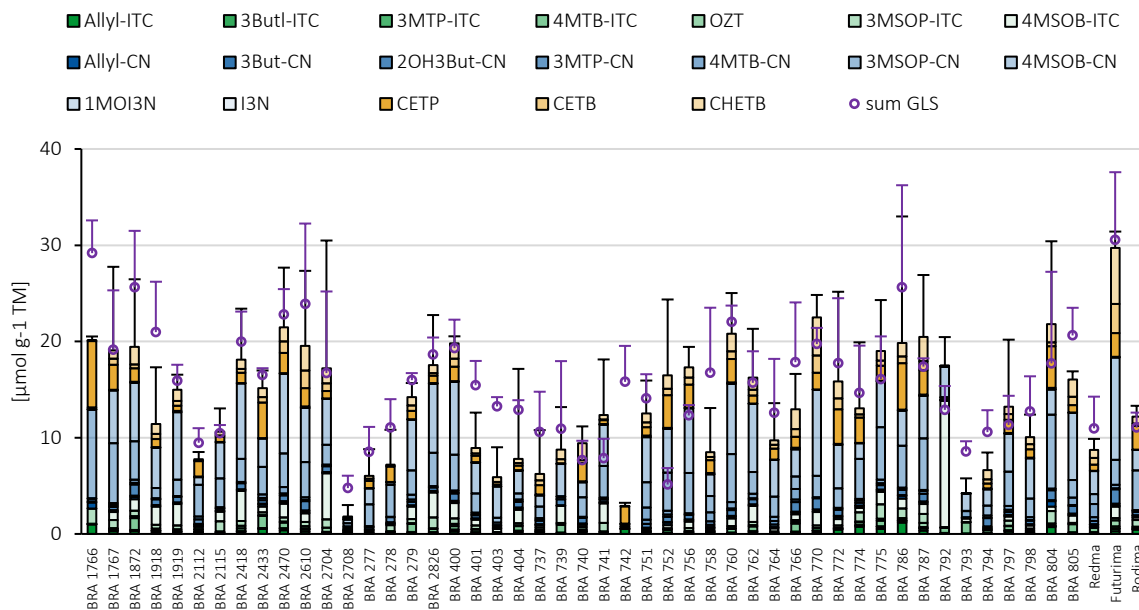


Abbildung 8 Glucosinolat-Gesamtgehalte (sum GLS, lila Kreise) sowie Gehalte an einzelnen Glucosinolatbauprodukten-Isothiocyanate (ITC, Grüntöne), Nitrile (CN, Blautöne), Epithionitrile (Gelbtöne) in $\mu\text{mol g}^{-1}$ Trockenmasse (TM) in verschiedenen Rotkohl-Akzessionen. Die Werte werden als Mittelwerte von drei biologischen Replikaten + Standardabweichungen dargestellt ($n = 3$).

Das Screening von 317 Gemüsekohl-Akzessionen auf GLS-Profile und -Gehalte sowie die Bildung von gesundheitsfördernden ITC im enzymatischen GLS-Abbau war die Grundlage für die Auswahl der Akzessionen für die in der zweiten Projektphase geplante humane Interventionsstudie. Folgende 24 Akzessionen von sechs Gemüsekohl-Kultivaren wurden ausgewählt, um die Zusammensetzung von vier verschiedenen Diäten für die Studie vorzubereiten:

- Kohlrabi: BRA 1454, BRA 2083, BRA 2260, BRA2228
- Grünkohl: BRA 1899, BRA 2239, BRA 2725, BRA 3072
- Blumenkohl: BRA1429, BRA 2886, Jonsson, Chambord
- Wirsing: BRA 820, BRA 873, BRA 1911, BRA 3082
- Weißkohl: BRA 145, BRA 1515, BRA 2172, BRA 2342,
- Rotkohl: BRA 775, BRA 792, BRA 1918, BRA 2418

Um einen Zusammenhang zwischen der Vielfalt von Gemüsekohl in der Ernährung und der menschlichen Gesundheit zu untersuchen, werden folgende Diäten in der Interventionsstudie verwendet:

- Diät mit einer geringen Gemüsekohl-Vielfalt und einem geringen ITC-Gehalt.
- Diät mit einer geringen Gemüsekohl-Vielfalt und einem hohen ITC-Gehalt.
- Diät mit einer hohen Gemüsekohl-Vielfalt und einem geringen ITC-Gehalt.
- Diät mit einer hohen Gemüsekohl-Vielfalt und einem hohen ITC-Gehalt.

Eine Diät mit einer geringen Gemüsekohl-Vielfalt wird aus drei verschiedenen Kohl-Akzessionen zusammengestellt. Eine hohe Gemüsekohl-Vielfalt wird durch 12 Kohl-Akzessionen in der Diät erreicht. Die Zusammensetzung der Diäten in Hinblick auf die Gehalte der gesundheitsfördernden sekundären Inhaltsstoffen wurde mit Prof. Dr. Evelyn Lamy (Universität Augsburg, Professur für die Erforschung umweltbezogener Wirkmechanismen auf die Gesundheit) abgesprochen, die für die Durchführung der humanen Interventionsstudie in der zweiten Projektphase verantwortlich ist. Eine Mahlzeit wird aus 30 g gefriergetrocknetem Pflanzenpulver bestehen, wobei von jeder Akzession die gleiche Menge an Pflanzenmaterial für die Mahlzeit verwendet wird. Dabei beinhalten alle Diäten ähnliche Profile an gesundheitsfördernden ITC und die Mengenverhältnisse zwischen 4MTB-ITC, 3MSOP-ITC und 4MSOB-ITC sind in allen Diäten gleich. Außerdem sind die absoluten ITC-Gehalte in den zwei Diäten mit einem geringen ITC-Gehalt ähnlich und genauso beinhalten die Diäten mit einem hohen ITC-Gehalt ähnliche ITC-Gehalte (**Tabelle 1**).

Tabelle 1 Isothiocyanat-Gehalte (ITC) von Diäten der geplanten humanen Interventionsstudie.

Diät		µmol in 30 g Diät			
ITC-Gehalt	Kohl-Vielfalt	4MTB-ITC	3MSOP-ITC	4MSOB-ITC	Summe ITC
gering	gering	6,51	21,50	29,82	67,45
gering	hoch	5,60	24,28	29,49	66,32
hoch	gering	25,79	103,22	125,14	271,44
hoch	hoch	27,62	93,12	136,83	269,49

Die biochemischen Stoffwechselprozesse, die zur Bildung von GLS und ihren enzymatischen Abbauprodukten führen, werden durch Proteomanalysen (IGZ) und genomweite Assoziationsstudie (Leibniz-Institut für Pflanzengenetik und Kulturpflanzenforschung) in der zweiten Projektphase aufgeklärt. Zusätzlich hat SharpGreens Fördergelder von dem Leibniz Forschungsnetzwerk "Wirkstoffe" für eine Kooperation mit dem Leibniz-Institut für Lebensmittel-Systembiologie an der Technischen Universität München eingeworben, um sortenspezifische Muster bei der Bildung von Sekundärmetaboliten in Gemüsekohl in Hinblick auf ihre Verwandtschaftsverhältnisse zu identifizieren. Die Arbeitsgruppe *Integrative Food Systems Analysis*, unter der Leitung von Dr. Andreas Dunkel, wendet multivariate Datenanalysemethoden an, um die GLS-Abbaumuster zu untersuchen. Die ersten Datenanalysen zeigten, dass die Profile und Gehalte an GLS und ihren Abbauprodukten in den unterschiedlichen Akzessionen von Kohlrabi und Blumenkohl sehr homogen sind. Dagegen wurde eine starke Heterogenität der Inhaltsstoffe zwischen den Weißkohl-Akzessionen festgestellt (**Abbildung 9 & 10**).

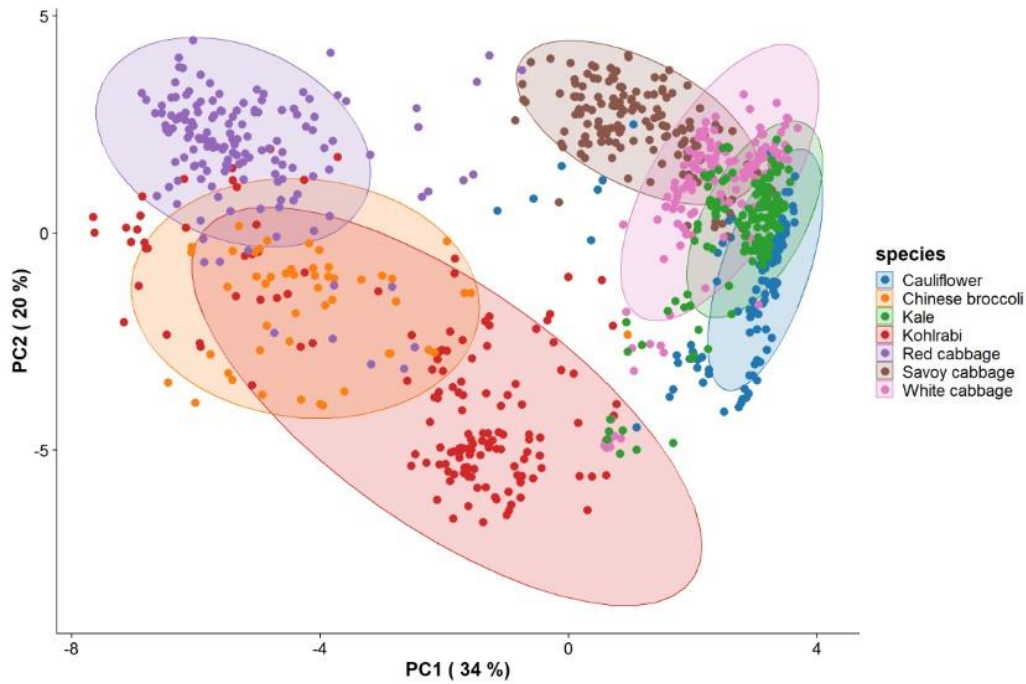


Abbildung 9 Hauptkomponentenanalyse (PCA) der Glucosinolats und ihrer enzymatischen Abbauprodukte in allen analysierten Akzessionen von sieben *B. oleracea* Kultivaren.

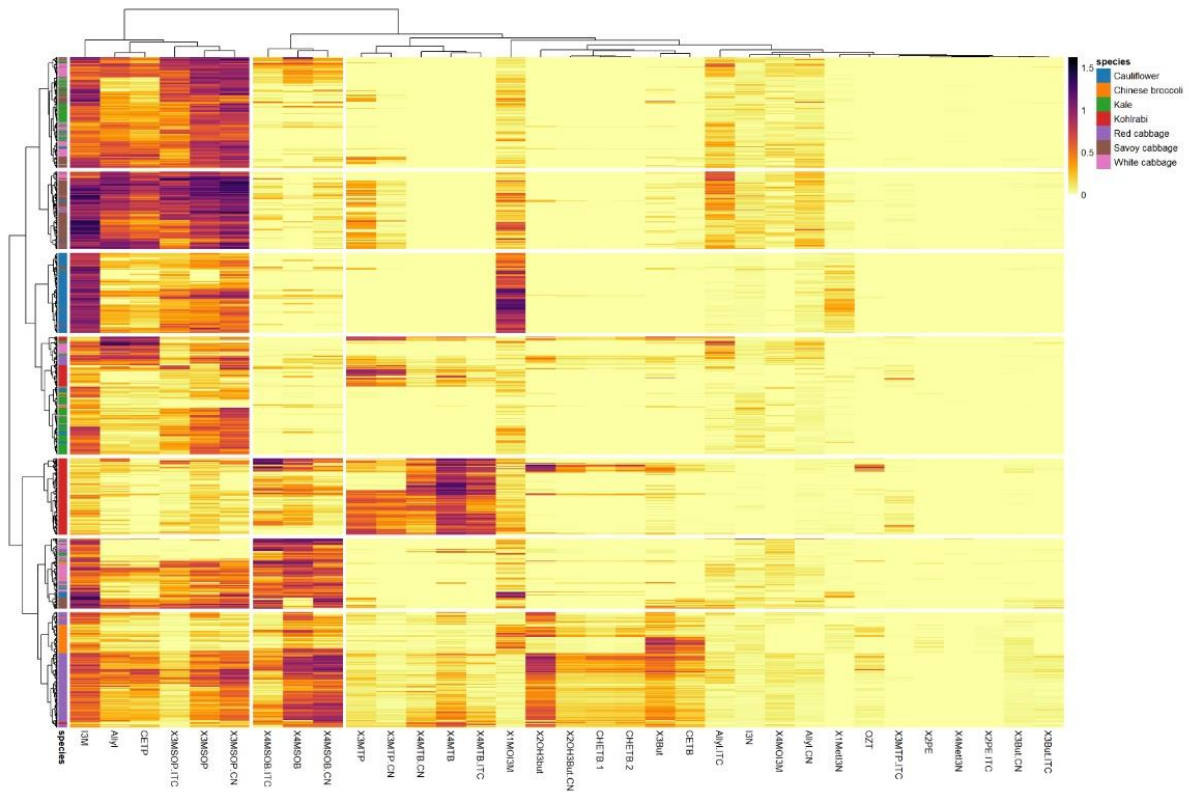


Abbildung 10 Heatmap der logarithmisch skalierten Mengen an Glucosinolaten (GLS) und ihren enzymatischen Abbauprodukten- Isothiocyanate (ITC), Nitrile (CN), und Epithionitrile (ETN)- in allen analysierten Akzessionen von sieben *B. oleracea*-Kultivaren, dargestellt als Farben von gelb bis dunkelviolett.

Des Weiteren wurde das Pflanzenmaterial auf die nächste Gruppe schwefelhaltiger Sekundärmetabolite mit gesundheitsförderndem Potential, SMCSO und seine enzymatischen Abbauprodukte, mittels UHPLC-FLD und GC-MS untersucht. Auch hier wurden starke Unterschiede sowohl zwischen den Kultivaren als auch zwischen den Akzessionen eines Kultivars festgestellt (**Abbildung 11** bis **17**). Chinesischer Brokkoli produzierte, im Vergleich zu den anderen Kultivaren, die geringsten Mengen an SMCSO. Generell zeigten sich die Wirsing-Akzessionen als stärkste SMCSO-Produzenten. Fast in allen Akzessionen war SMMTSulfinat das häufigste Produkt des enzymatischen SMCSO-Abbaus. Im Kopfkohl (Wirsing, Weißkohl und Rotkohl) wurde auch DMTEtraS verstärkt freigesetzt. Auch diese Daten werden in der multivariaten Datenanalyse berücksichtigt um sortenspezifische Muster der Bildung von schwefelhaltigen Sekundärmetaboliten phylogenetisch aufzuklären.

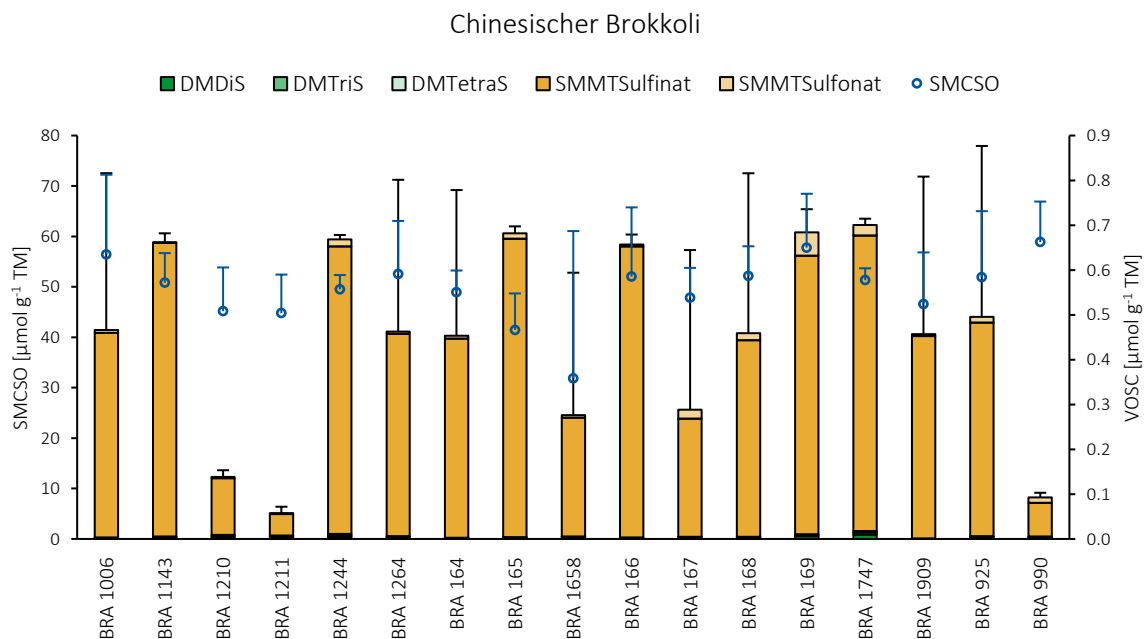


Abbildung 11 Gehalte an *S*-Methyl-L-Cysteinsulfoxid (SMCSO, blaue Kreise) sowie seinen enzymatischen Abbauprodukten (VOSC): Polysulfide wie Dimethyldisulfid (DMDiS), Dimethyltrisulfid (DMTriS) und Dimethyltetrasulfid (DMTEtraS) (Grüntöne) sowie *S*-Methylmethanthiosulfinat (SMMTSulfinat) und *S*-Methylmethanthiosulfonat (SMMTSulfonat) (Gelbtöne) in µmol g⁻¹ Trockenmasse (TM) in unterschiedlichen Akzessionen von Chinesischem Brokkoli. Die Werte werden als Mittelwerte von drei biologischen Replikaten + Standardabweichungen dargestellt (n = 3).

Kohlrabi

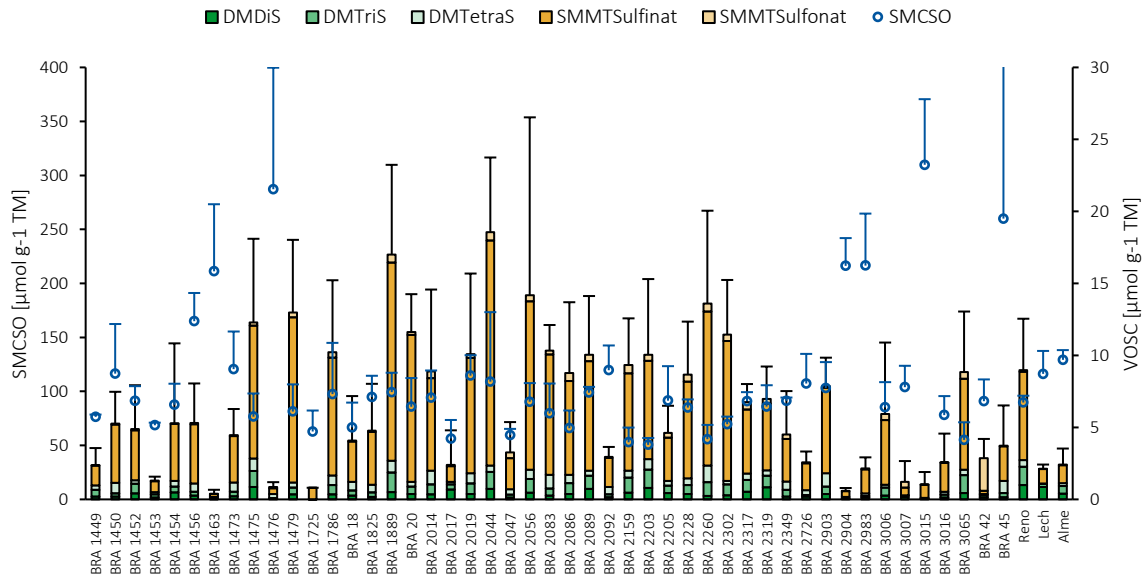


Abbildung 12 Gehalte an *S*-Methyl-L-Cysteinsulfoxid (SMCSO, blaue Kreise) sowie seinen enzymatischen Abbauprodukten (VOSC)- Polysulfide wie Dimethyldisulfid (DMDiS), Dimethyltrisulfid (DMTrIS), und Dimethyltetrasulfid (DMTetraS) (Grüntöne), sowie *S*-Methylmethanthiosulfinat (SMMTSulfinat) und *S*-Methylmethanthiosulfonat (SMMTSulfonat) (Gelbtöne) in $\mu\text{mol g}^{-1}$ Trockenmasse (TM) in unterschiedlichen Kohlrabi-Akzessionen. Die Werte werden als Mittelwerte von drei biologischen Replikaten + Standardabweichungen dargestellt ($n = 3$).

Grünkohl

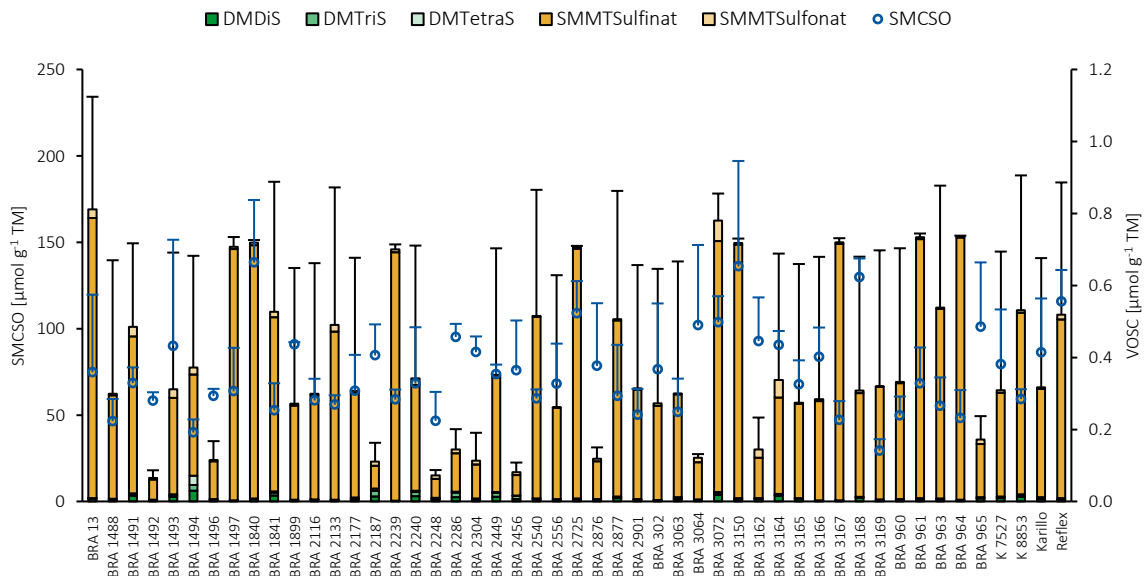


Abbildung 13 Gehalte an *S*-Methyl-L-Cysteinsulfoxid (SMCSO, blaue Kreise) sowie seinen enzymatischen Abbauprodukten (VOSC)- Polysulfide wie Dimethyldisulfid (DMDiS), Dimethyltrisulfid (DMTrIS), und Dimethyltetrasulfid (DMTetraS) (Grüntöne), sowie *S*-Methylmethanthiosulfinat (SMMTSulfinat) und *S*-Methylmethanthiosulfonat (SMMTSulfonat) (Gelbtöne) in $\mu\text{mol g}^{-1}$ Trockenmasse (TM) in unterschiedlichen Grünkohl-Akzessionen. Die Werte werden als Mittelwerte von drei biologischen Replikaten + Standardabweichungen dargestellt ($n = 3$).

Blumenkohl

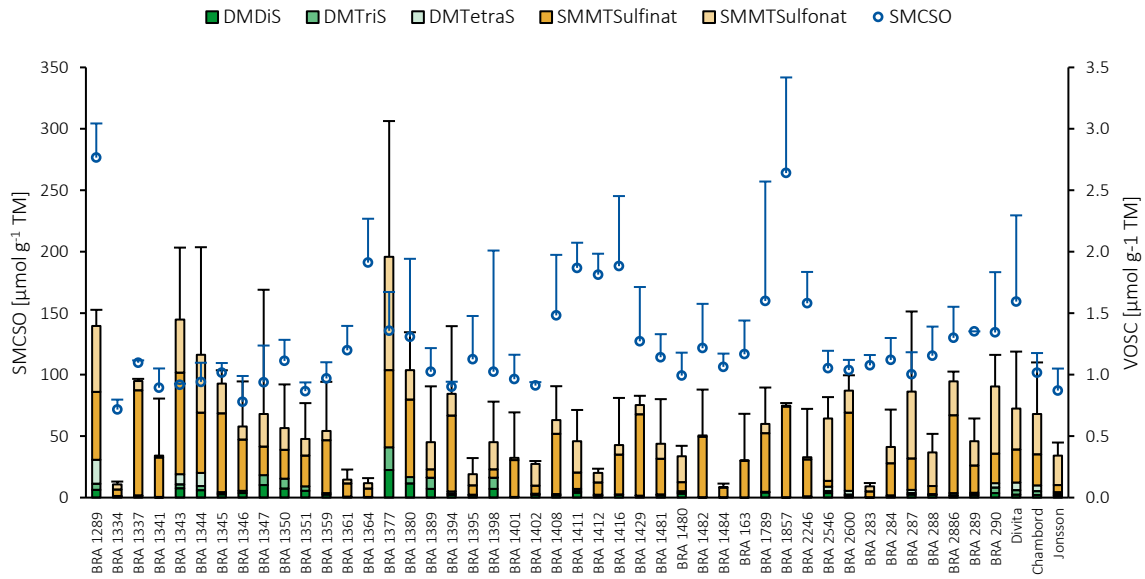


Abbildung 14 Gehalte an *S*-Methyl-L-Cysteinsulfoxid (SMCSO, blaue Kreise) sowie seinen enzymatischen Abbauprodukten (VOSC)- Polysulfide wie Dimethyldisulfid (DMDiS), Dimethyltrisulfid (DMTriS), und Dimethyltetrasulfid (DMTetraS) (Grüntöne), sowie *S*-Methylmethanthiosulfinat (SMMTSulfinat) und *S*-Methylmethanthiosulfonat (SMMTSulfonat) (Gelbtöne) in $\mu\text{mol g}^{-1}$ Trockenmasse (TM) in unterschiedlichen Blumenkohl-Akzessionen. Die Werte werden als Mittelwerte von drei biologischen Replikaten + Standardabweichungen dargestellt ($n = 3$).

Wirsing

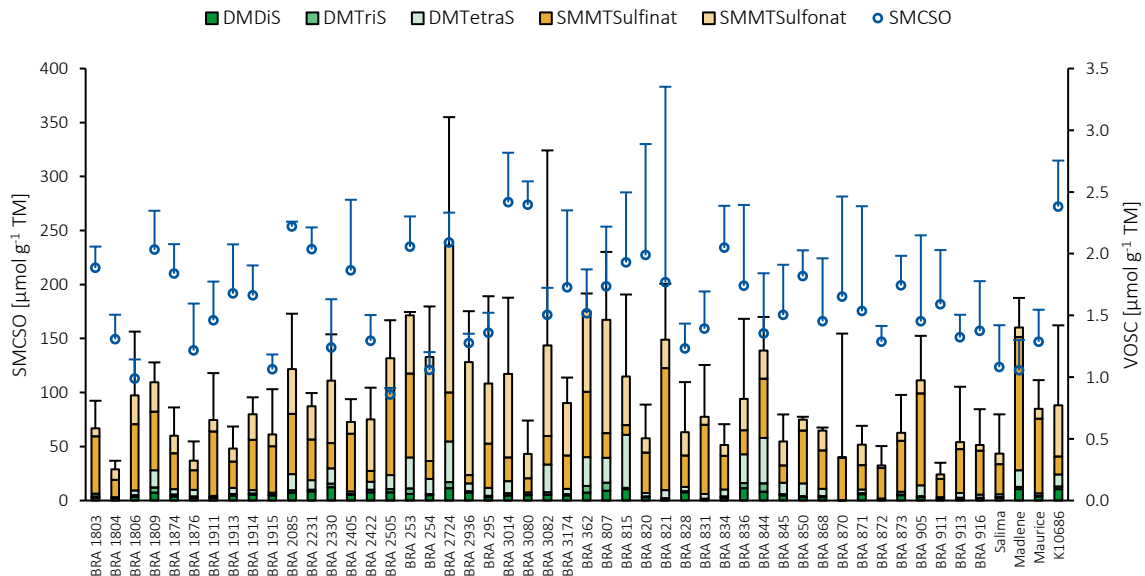


Abbildung 15 Gehalte an *S*-Methyl-L-Cysteinsulfoxid (SMCSO, blaue Kreise) sowie seinen enzymatischen Abbauprodukten (VOSC)- Polysulfide wie Dimethyldisulfid (DMDiS), Dimethyltrisulfid (DMTriS), und Dimethyltetrasulfid (DMTetraS) (Grüntöne), sowie *S*-Methylmethanthiosulfinat (SMMTSulfinat) und *S*-Methylmethanthiosulfonat (SMMTSulfonat) (Gelbtöne) in $\mu\text{mol g}^{-1}$ Trockenmasse (TM) in unterschiedlichen Wirsing-Akzessionen. Die Werte werden als Mittelwerte von drei biologischen Replikaten + Standardabweichungen dargestellt ($n = 3$).

Weißkohl

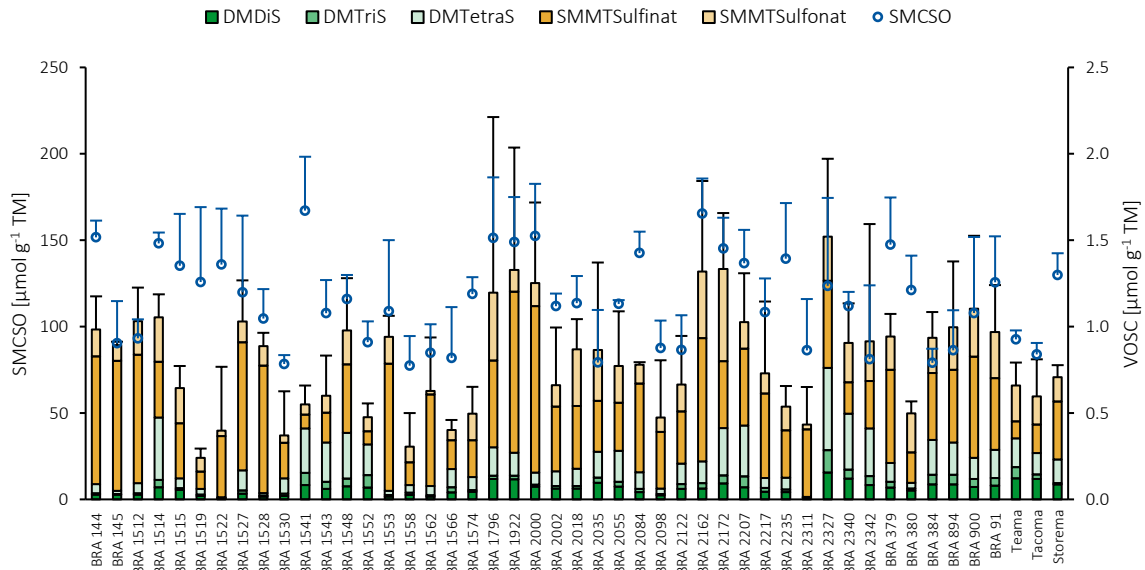


Abbildung 16 Gehalte an *S*-Methyl-L-Cysteinsulfoxid (SMCSO, blaue Kreise) sowie seinen enzymatischen Abbauprodukten (VOSC)- Polysulfide wie Dimethyldisulfid (DMDiS), Dimethyltrisulfid (DMTris), und Dimethyltetrasulfid (DMTetraS) (Grüntöne), sowie *S*-Methylmethanthiosulfinat (SMMTSulfinat) und *S*-Methylmethanthiosulfonat (SMMTSulfonat) (Gelbtöne) in $\mu\text{mol g}^{-1}$ Trockenmasse (TM) in unterschiedlichen Weißkohl-Akzessionen. Die Werte werden als Mittelwerte von drei biologischen Replikaten + Standardabweichungen dargestellt ($n = 3$).

Rotkohl

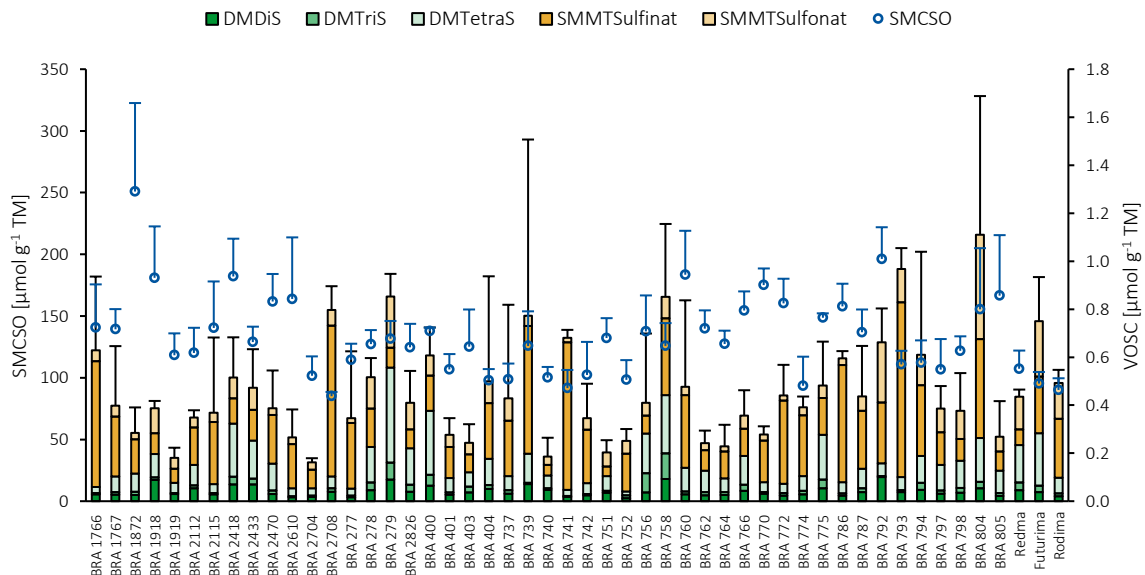


Abbildung 17 Gehalte an *S*-Methyl-L-Cysteinsulfoxid (SMCSO, blaue Kreise) sowie seinen enzymatischen Abbauprodukten (VOSC)- Polysulfide wie Dimethyldisulfid (DMDiS), Dimethyltrisulfid (DMTris), und Dimethyltetrasulfid (DMTetraS) (Grüntöne), sowie *S*-Methylmethanthiosulfinat (SMMTSulfinat) und *S*-Methylmethanthiosulfonat (SMMTSulfonat) (Gelbtöne) in $\mu\text{mol g}^{-1}$ Trockenmasse (TM) in unterschiedlichen Rotkohl-Akzessionen. Die Werte werden als Mittelwerte von drei biologischen Replikaten + Standardabweichungen dargestellt ($n = 3$).

Ein sehr wichtiges Anliegen von SharpGreens war auch der Bereich der Öffentlichkeitsarbeit und des Wissenstransfers. In der ersten Projektphase wurden die Projektinhalte in zahlreichen Medienauftritten,

auf mehreren Veranstaltungen, Konferenzen, und Messen sowie bei Feldführungen für Fachleute, regionale Politiker*innen, Studierende, und Öffentlichkeit kommuniziert (**Tabelle 2**). Außerdem wurde zusammen mit proWissen Potsdam eine Kommunikationsstrategie für die zweite Projektphase entwickelt.

Table 2 Liste der Medienauftritte, Veranstaltungen, Konferenzen, Messen und Feldbegehungen in der ersten Projektphase.

Datum	Medium / Veranstaltung	Titel des Beitrags und Link
12.06.2023	IDW-Portal	Mit Kohl gegen Krankheiten: Projekt „SharpGreens“ gestartet %20und%20IGZ%20Homepage
13.06.2023	Zeitschrift Gemüse	Kohlgemüse für die Gesundheit https://www.gemuese-online.de/kohlgemuese-fuer-die-gesundheit,QUIEPTc1OTg5NTgmTUIEPTeYmzM.html?UID=3FE1EE543F76DAA9E3D94ED55ABE3DAC214FA00BAC5894
15.06.2023	Demo-Tag an den Parzellen Schönwalde/ Glien	Projektvorstellung
04.07.2023 07.07.2023	Online Feldbegehung	Feldbegehung mit Herrn Hadler (Rijk Zwaan) und Dr. Mevenkamp (AMG Agrarmanagement GmbH) sowie Prof. Dr. Börner (IPK)
14.07.2023	querFELDein Blog	Mit Kohl gegen Krankheiten: Projekt „SharpGreens“ gestartet https://www.quer-feld-ein.blog/finden/mit-kohl-gegen-krankheiten-projekt-sharpgreens-gestartet/
01.08.2023	Zeitschrift Gemüse	Kohle zum Wohle der Gesundheit https://www.gemuese-online.de/magazin/archiv/kohle-zum-wohle-der-gesundheit,QUIEPTc2NjE4MzImTUIEPTeWOTY5NQ.html?UID=36087F0AD24E17766F12AD4A11719E568DE27832A9537A
02.08.2023	Feldbegehung	Feldbegehung mit Herrn Hadler (Rijk Zwaan) und Herrn Bartels (FreshField)
12.08.2023	Zeitung Märkische Allgemeine	Der Superkohl von den Feldern https://www.maz-online.de/lokales/teltow-flaeming/grossbeeren/grossbeeren-auf-versuchsfeldern-des-leibniz-instituts-fuer-gemuesebau-waechst-superkohl-EDLXQLTF3FCZNJ4BEJVHONUEUQ.html
16.08.2023	Feldbegehung	Feldbegehung mit den Brandenburger SPD-Landtagsabgeordneten Johannes Funke und Helmut Bartel
25.09.2023	FONA	SharpGreens: Mit Kohlgemüse Gesundheit und Biodiversität stärken https://www.fona.de/de/aktuelles/nachrichten/2023/230925_Sharpgreens.php

18.10.2023	SWR, Doc Fischer	Kohl- so gesund ist das heimische Gemüse https://www.ardmediathek.de/video/doc-fischer/sendung-vom-18-oktober-2023/swr/Y3JpZDovL3N3ci5kZS9hZXgybzE5NDEyMDQ
01.12.2023	SWR, ARD- Buffet	https://www.ardmediathek.de/video/ard-buffet/die-sendung-vom-01-12-2023/das-erste/Y3JpZDovL3N3ci5kZS9hZXgybzE5NiQyMDY
17.-26.01.2024	Grüne Woche	BMEL Halle, Stand 28: Gemüsekohl – vielfältig, gesund und nachhaltig
15.02.2024	FONA	Mit Kohlgemüse Gesundheit & Biodiversität stärken – Interview mit Dr. Katja Witzel https://www.quer-feld-ein.blog/finden/mit-kohlgemuse-gesundheit-biodiversitat-starken-interview-mit-dr-katja-witzel/
Februar 2024	Nachgefragt!	Kinder fragen – Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler antworten. Warum ist Rotkohl lila und Weißkohl nicht?
24.-25.04.2024	Conference on Bioactive Compounds	Posterpräsentation: Natural variation of glucosinolate-related compounds in <i>Brassica oleracea</i>
31.05.2024	Green Visions Potsdam	Stand zum Thema „Agrobiodiversität“
04.-05.06.2024	DBU Woche der Umwelt	BMBF FEaA, Stand 103

4. Arbeits- und Zeitplan verglichen mit der ursprünglichen Vorhabenbeschreibung

In AP1 sollte die Anzucht von Jungpflanzen für den Feldversuch durchgeführt werden. Die Kultivierung der Jungpflanzen von allen Akzessionen wurde im Mai 2023 mit dem Umpflanzen auf das Versuchsfeld. Abgeschlossen. Damit wurde der MS1 erreicht und das AP1 im Projektzeitraum abgeschlossen.

In AP2 sollte der Feldversuch mit 300 Genbank- und 17 handelsüblichen Akzessionen durchgeführt werden um das Probenmaterial für die Metabolitenanalyse zu generieren. Außerdem wurden phänotypische Merkmale der Akzessionen dokumentiert. Alle Akzessionen wurden im Projektzeitraum geerntet. MS2 wurde im Berichtszeitraum erreicht und das AP2 abgeschlossen.

AP3 beinhaltet Projektmanagement, Öffentlichkeitsarbeit und Entwicklung von Konzepten für die zweite Projektphase. Das Studiendesign für die geplante humane Interventionsstudie wurde gemeinsam mit dem Projektpartner Universitätsklinikum Freiburg konkretisiert. Ein Kommunikationskonzept für die zweite Projektphase wurde mit dem neuen assoziierten Projektpartner, proWissen Potsdam, entwickelt. Der Antrag auf die zweite Projektphase wurde im September 2023 eingereicht. Somit wurde der MS3 im Berichtszeitraum erreicht und das AP3 abgeschlossen. MS4, drei Projekttreffen mit allen Projektpartnern, wurde hingegen nicht erreicht, da im Verlauf des Anbauversuchs im gegenseitigen Einvernehmen die Anzahl der Treffen auf zwei (eine Online-Feldbegehung, eine Feldbegehung in Präsenz) reduziert wurde.

In AP4 soll die Metabolitenanalyse durchgeführt werden und die Akzessionen mit hohen Gehalten an gesundheitsförderlichen Sekundärmetaboliten identifiziert werden. Alle im Feldversuch generierten Proben wurden auf GLS und ihre enzymatischen Abbauprodukte untersucht. Zusätzlich wurden auch weitere schwefelhaltige Sekundärmetabolite, SMCSO und seine enzymatischen Abbauprodukte, in allen Proben analysiert. Die Analysen wurden ausgewertet und 24 Gemüse Kohl-Akzessionen von 6 Gemüse Kohlkultivaren wurden für die Verwendung in der humanen Interventionsstudie in der zweiten Projektphase identifiziert. Die genauen Zusammensetzungen der Diäten wurden festgelegt. Damit wurde der MS5 erreicht und das AP4 im Projektzeitraum abgeschlossen.

Alle Projektarbeiten wurden in der Projektlaufzeit inkl. der bewilligten kostenneutralen Laufzeitverlängerung bis zum 30.06.2024 wurden erfüllt. Die Laufzeitverlängerung gefährdete den Erfolg der ersten Projektphase sowie den Start der zweiten Projektphase nicht.