Julius Kühn-Institut
Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen
Federal Research Centre for Cultivated Plants

Institut für Resistenzforschung und Stresstoleranz

Institute for Resistance Research and Stress Tolerance

Das Institut für Resistenzforschung und Stresstoleranz erarbeitet die wissenschaftlichen Grundlagen, um die Resistenz- bzw. Toleranzeigenschaften von Kulturpflanzen gegenüber biotischen und abiotischen Stressfaktoren genetisch zu verbessern. Dieser Thematik kommt vor dem Hintergrund der Sicherung einer unter veränderten Klimabedingungen leistungsfähigen, umweltfreundlichen Pflanzenproduktion eine besondere Bedeutung zu.

Resistente Kulturpflanzen sind die umwelt- und verbraucherfreundlichste sowie kostengünstigste Art des Pflanzenschutzes. Sie sind daher ein wesentlicher Bestandteil nachhaltiger Anbauverfahren und somit des integrierten Pflanzenschutzes. Der prognostizierte Klimawandel, der durch einen zunehmenden bzw. veränderten abiotischen Stress gekennzeichnet ist, stellt eine Herausforderung im Hinblick auf die Sicherung der Ertragsleistung und -stabilität, der Nährstoffeffizienz und der Qualität der Ernteprodukte dar. Weiterhin ist von Wechselwirkungen zwischen veränderten klimatischen Bedingungen und dem Auftreten von Schaderregern auszugehen.

Dementsprechend sind unsere Forschungsziele darauf ausgerichtet, die wissenschaftlichen Grundlagen für eine genetische Verbesserung der Resistenz- bzw. Toleranzeigenschaften von Kulturpflanzen gegenüber biotischem und abiotischen Stress zu erarbeiten, um eine leistungsfähige sowie umwelt- und verbraucherfreundliche Pflanzenproduktion vor dem Hintergrund des Klimawandels sicherzustellen.

Um diese Ziele zu erreichen, ist das Institut in die Arbeitsbereiche „Biotischer Stress“ und „Abiotischer Stress“ gegliedert, die von dem Arbeitsbereich „Molekulare Analysen und Markersysteme“ umspannt werden. Im Einzelnen werden die folgenden Arbeiten durchgeführt:

- Entwicklung von Methoden zur Erfassung und Bewertung von Resistenz- und Toleranzeigenschaften gegenüber biotischem und abiotischem Stress
- Bewertung pflanzengenetischer Ressourcen (PGR) auf Resistenz- und Toleranzeigenschaften gegenüber biotischem und abiotischem Stress als Grundlage, die Stressresistenz/ -toleranz zu verbessern und die genetische Basis zu erweitern
- Aufklärung der Genetik der Resistenz/Toleranz und Entwicklung molekularer Marker für qualitative und quantitative Eigenschaften
- Strukturelle und funktionelle Analyse von Resistenzen/ Toleranzen auf genomischer Ebene

Gelbrostresistente und -anfällige Weizengenotypen
Stripe rust resistant and susceptible wheat genotypes

Molekulare Analysen: Verbesserung Resistenz/Toleranz gegenüber biotischem und abiotischem Stress
Molecular analyses for improving resistance to biotic and abiotic stress

Untersuchungen zur Trockenstresstoleranz von Winterweizen im Rain-out Shelter
Estimation of drought stress tolerance of wheat in a rain-out-shelter

Research of the Institute for Resistance Research and Stress Tolerance aims at the genetic improvement of resistance and tolerance of crop plants to biotic and abiotic stress. Today, these two research areas are of vital importance in the light of climate change, consumer protection, protection of natural resources (soil, water, biodiversity), along with safeguarding a highly productive and environmentally sound plant production.

Resistant crops have to be considered as the most cost effective and environmental as well as consumer friendly way of plant protection and are therefore an integral part of sustainable plant production systems. Genetic adaptation of crop plants to climate change - resulting in rising or changing abiotic stress conditions (drought, higher temperatures etc.) - with respect to yield and yield stability, nutrient use efficiency and quality traits, is of prime importance today and in the future. Besides this, interactions between climate change and the incidence of pathogens have to be taken into account. Therefore, research aims at the genetic improvement of crop plants concerning the traits mentioned above in order to ensure a highly productive as well as an environmentally sound and consumer protecting plant production against the backdrop of climate change.

To achieve these goals the Institute is subdivided into the pillars “Biotic stress” and “Abiotic stress” which are spanned by “Molecular analyses and markers”. In detail, research focuses on the following topics:

- Development of efficient screening methods for the detection of resistance or tolerance to biotic and abiotic stress
- Evaluation of plant genetic resources with respect to biotic and abiotic stress as a prerequisite for improving resistance/tolerance to biotic and abiotic stress and broadening the genetic base
- Genetic analyses of resistance or tolerance and development of molecular markers for qualitatively or quantitatively inherited traits
- Structural and functional analyses of resistance/tolerance at the genome level
- Development of strategies and methods for a sustainable use of respective resistances or tolerances in plant breeding.

- Entwicklung von Strategien und Verfahren zur nachhaltigen Nutzung entsprechender Toleranzen/Resistenzen in der Pflanzenzüchtung.

Mit diesem Vorgehen werden im Bereich des biotischen und abiotischen Stresses bei landwirtschaftlichen und gartenbaulichen Kulturpflanzen die verschiedensten Fragestellungen zur Verbesserung der Stresstoleranz bearbeitet.

Biotischer Stress

Resistente Kulturpflanzen stellen die kostengünstigste und umweltfreundlichste Art des Pflanzenschutzes dar. Basierend auf effektiven Inokulationstechniken werden pflanzengenetische Ressourcen, d. h. alte Sorten und Wildarten, im Hinblick auf ihre Resistenz beziehungsweise Toleranzeigenschaften untersucht. Die genetische Grundlage der Resistenz wird aufgeklärt und entsprechende molekulare Marker entwickelt. Dies ermöglicht eine effektive Selektion und Kombination der entsprechenden Gene.

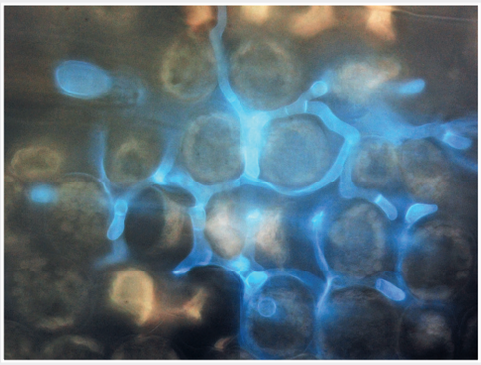
Pilze

Phytopathogene Pilze führen zu erheblichen Ertragsverlusten. Im Mittelpunkt der Arbeiten des Institutes steht beim Weizen die Resistenz gegenüber Braunrost, Gelbrost, *Zymoseptoria* und *Fusarium* sowie bei der Gerste die Resistenz gegenüber Zwergrost, Netzflecken und Echtem Mehltau. In allen Projekten werden zunächst genetische Ressourcen auf Resistenzen evaluiert, die Genetik der Resistenz aufgeklärt und anschließend molekulare Marker entwickelt, welche eine beschleunigte Nutzung entsprechender Resistenzen erlauben. Haben sich diese Arbeiten in der Vergangenheit im Wesentlichen auf die Analyse biparentaler Populationen beschränkt, so kommen heute überwiegend Genomweite Assoziationsstudien (GWAS) zur Anwendung. Unter Nutzung dieses Verfahrens konnten beispielsweise in Gerste verschiedene QTL für Braunrost-, Gelbrost- sowie Netzfleckenresistenz in exotischen Herkünften bzw. *Hordeum spontaneum* identifiziert werden (Abb. S. 8 oben).

Das Institut koordiniert des Weiteren das „Nationale Evaluierungsprogramm pflanzengenetischer Ressourcen bei Getreide – „EVAII", an dem 16 Züchtungsunternehmen und vier wissenschaftliche Institutionen als Kooperationspartner beteiligt sind.

Unterschiede in der Resistenz gegenüber Netzflecken im Blattsegmenttest
Differences in resistance to net blotch in a detached leaf assay

Summer Hill Versuch zur Feststellung der Netzfleckenresistenz
Summer hill trials for the estimation of net blotch resistance



Pilzliche Strukturen 3 Tage nach Infektion mit Braunrost, gefärbt mit Calcofluor white, 400-fache Vergrößerung
Fungal structures three days post inoculation with leaf rust stained with Calcuflor white

Based on this procedure, the Institute conducts research on diverse topics with respect to improving resistance/tolerance to biotic/abiotic stress of agricultural and horticultural crops.

Biotic stress

Resistance to pathogens and pests is the most cost-effective and environmentally sound way of plant protection. Based on effective screening techniques, plant genetic resources, e. g. old and exotic varieties or wild relatives, are analyzed for resistance followed by genetic analyses and the development of molecular markers facilitating efficient marker based selection procedures and combination of resistance genes.

Fungi

This working group mainly focuses their research on important fungal pathogens of wheat (*Triticum aestivum*) and barley (*Hordeum vulgare*). In wheat, these are leaf rust (*Puccinia triticina*), stripe rust (*Puccinia striiformis*), Fusarium head blight (*Fusarium culmorum*, *Fusarium graminearum*) and leaf blotch caused by *Zymoseptoria tritici*. In barley, research currently focuses on leaf rust (*Puccinia hordei*), net blotch (*Pyrenophora teres*) and powdery mildew (*Blumeria graminis*). In all projects plant genetic resources (PGR) are evaluated for resistance, genetics of resistance is analyzed and based on these results molecular markers are developed facilitating an enhanced use of these resistances in breeding.

While these studies were mainly based on the analyses of bi-parental populations in the past, today genome wide association studies (GWAS) are applied. In this respect, based on GWAS different QTL for resistance to leaf rust, stripe rust and net blotch in barley were identified in gene bank accessions and the wild progenitor *H. spontaneum* (p. 8 fig. above). Furthermore, the Institute for Resistance Research and Stress Tolerance coordinates the "National program

Ferner ist das Institut in das Projekt Genbank 2.0 involviert, welches zum Ziel hat, die gesamte Weizenkollektion des Leibniz-Institut für Pflanzengenetik und Kulturpflanzenforschung (IPK) Gatersleben in den nächsten Jahren zu genotypisieren und am JKI auf Gelb- und Braurostresistenz zu untersuchen. Für diese Arbeiten ist das Einbeziehen aktueller Isolate der jeweiligen Erreger essentiell. Bei den Rostpilzen (Zwergrost der Gerste, Braunrost des Weizens) werden daher jährlich in Zusammenarbeit mit dem Bundessortenamt Virulenzanalysen durchgeführt, um einen Überblick über effektive Resistenzen zu gewinnen.

Verlässliche phänotypische Daten bieten die Voraussetzung für die Entwicklung molekularer Marker, die im Feld bzw. im Gewächshaus sowie im Hochdurchsatz mit Hilfe des sog. Macrobot oder detailliert unter Nutzung von Fluoreszenzmikroskopie bzw. durch Messungen im hyperspektralen Bereich sowie real-time PCR erfasst werden. Unter Nutzung entsprechender Phänotypisierungsverfahren konnte beispielsweise *Triticum monococcum* als eine Resistenzquelle gegenüber Braunrost und *Fusarium* identifiziert und molekulare Marker für eine Übertragung der Resistenzen in Weizensorten entwickelt werden.

Eine Alternative zur ausschließlichen Nutzung von Resistenzgenen bietet zukünftig u. U. das sogenannte Priming, d. h. die Nutzung von Mikroorganismen, welche Stoffe bilden, die zu einer Erhöhung der Resistenz führen, wie z. B. das Bodenbakterium *Ensifer meliloti*. Erste Ergebnisse zeigten, dass mit diesem Bakterium inokulierte Gerste einen signifikant geringeren Befall mit Zwergrost aufweist.

Die vorhandenen genotypischen Unterschiede in der Resistenzreaktion bilden in einem zweiten Schritt die Grundlage für genomweite Assoziationsstudien zur Identifikation molekularer Marker für Priming. Sie ermöglichen letztendlich eine markergestützte Nutzung dieses Effektes in der Gerstenzüchtung.

Viren und tierische Schädlinge

Bei den Hauptkulturarten gewinnen Virosen zunehmend an Bedeutung. Durch *Polymyxa graminis* übertragene bodenbürtige Viren, wie die verschiedenen Isolate des barley mild mosaic virus (BaMMV) und des barley yellow mosaic virus (BaYMV) bei der Gerste sowie das soil-borne cereal mosaic virus (SBCMV) beim Weizen führen zu erheblichen Ertragsverlusten. Diese können durch eine chemische Behandlung nicht vermieden werden.

Prüfung auf Resistenz gegenüber barley yellow mosaic virus (BaYMV) / barley mild mosaic virus (BaMMV)
Estimation of resistance against barley yellow mosaic virus (BaYMV) and barley mild mosaic virus (BaMMV)

Schwarze Bohnenlaus (*Aphis fabae*) an Lupine
Aphis fabae on lupins

Blattlaus mit Goldfaden zur Detektion von EPG-Signalen (Electrical penetration graph)
Aphid on a gold wire for the detection of EPG signals (Electrical penetration graph)

genetic resources in cereals – EVAII" in which 16 private breeding companies and 4 scientific institutions are involved. In addition, the Institute is involved in the project Genebank 2.0. Here the whole *Triticum* collection of the Leibniz Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research (IPK) is genotyped and tested for leaf and stripe rust resistance at the JKI. For these kinds of resistance tests, it is essential to include new isolates of respective pathogens. With respect to rust (*P. hordei, P. triticina*) analyses of virulence are conducted in cooperation with the Federal Plant Variety Office, therefore.

A prerequisite for the development of molecular markers is the availability of reliable phenotypic data, which are gained in field and green house trials and in a high throughput manner via the Macrobot system or very detailed by hyperspectral imaging, fluorescence microscopy or real time PCR. Based on such phenotypic data, e. g. resistance to leaf rust and fusarium head blight has been detected in *Triticum monococcum* and molecular markers suited to transfer these resistances to bread wheat have been developed.

An alternative to the use of resistance genes may be priming in the future, i. e. the use of microorganisms producing substances leading to a higher level of resistance, e. g. the soil-borne bacterium *Ensifer meliloti*. First results revealed significant effects of the bacterial treatment indicating a positive effect of priming on *P. hordei* resistance in barley.

Besides this, genotypic differences were observed concerning the effect of priming, which is the basis for genome wide association studies in order to identify genomic regions involved in priming efficiency and for the development of molecular markers suited to be used in marker-based selection for priming in the future.

Viruses and invertebrate pests

Besides fungal pathogens, virus diseases are of increasing importance in major crop plants. Soil-borne viruses transmitted by *Polymyxa graminis*, e.g. barley yellow mosaic virus (BaYMV) and barley mild mosaic virus (BaMMV) in barley or soil-borne cereal mosaic virus (SBCMV) in wheat cause severe yield losses which cannot be prevented by pesticide sprayings. Resistant cultivars

Resistente Sorten sind daher für einen ökonomisch sinnvollen Anbau auf verseuchten Flächen eine unabdingbare Voraussetzung. Nachdem zunächst molekulare Marker für verschiedene Resistenzgene gegen BaMMV/BaYMV sowie SBCMV entwickelt wurden, wird in Zusammenarbeit mit dem IPK Gatersleben an der Isolierung dieser Gene gearbeitet.

Neben den bodenbürtigen Viren stellen die insektenübertragenen wie die durch Blattläuse übertragenen Viren und Stämme der Gerstengelbverzwergung (barley yellow dwarf virus und cereal yellow dwarf virus; BYDV, CYDV) sowie das zikadenübertragene Weizenverzwergungsvirus (wheat dwarf virus, WDV) einen ertragsbegrenzenden Faktor im Getreideanbau, bzw. turnip yellows virus (TuYV) im Rapsanbau, dar.

Vor dem Hintergrund des Klimawandels wird besonders für insektenübertragbare Viren eine steigende Bedeutung prognostiziert. Bei Weizen und Gerste werden genetische Ressourcen auf ihre Resistenzen bzw. Toleranzen evaluiert und molekulare Marker entwickelt bzw. bereits bekannte Resistenzen kombiniert. Dabei konnte bei Gerste eine deutliche Verbesserung der Resistenz gegenüber BYDV erzielt werden. Im Weizengenpool wurde eine Herkunft mit quantitativer Resistenz gegenüber dem WDV identifiziert.

Parallel zu diesen Arbeiten werden pflanzengenetische Ressourcen auf Befallsunterschiede gegenüber verschiedenen Blattlausarten evaluiert, die als Hauptvektoren der oben genannten Viren, aber auch als Direktschädlinge von Bedeutung sind. Mit verschiedenen Methoden (Vermehrungsrate, Gewichtszuwachs, elektronische Registrierung des Saugverhaltens - electrical penetration graph, EPG, Abb. S. 8 unten) versucht das Institut, Unterschiede in der Resistenz gegen Schadinsekten zu detektieren und diese weitergehend zu charakterisieren. Darüber hinaus erfolgen u. a. Choice Tests, um den Einfluss einer Virusinfektion auf die Wirtspflanzenwahl von Blattläusen zu untersuchen und damit neue Erkenntnisse zu gewinnen, inwieweit der Anbau BYDV toleranter Gerstensorten einen Einfluss auf die weitere Verbreitung des BYDV hat.

Neue Schaderreger, wie der Nematode *Meloidogyne chitwoodi*, stehen ebenfalls im Fokus. Er zeichnet sich durch ein weites Wirtspflanzenspektrum aus, da er außer Kartoffeln auch Getreide und Mais befällt. Im aktuellen Kartoffelsortiment sind keine resistenten Sorten vorhanden, so dass momentan Resistenzquellen aus unterschiedlichen Wildarten der Kartoffel erschlossen und diagnostische Marker für die identifizierten Resistenzen entwickelt werden.

Tolerante und nicht tolerante *H. bulbosum* Introgressionslinien nach künstlicher Infektion mit BYDV
Tolerant and non-tolerant *Hordeum bulbosum* introgression lines artifically infected by BYDV

Larven der Orangen Weizengallmücke (*Sitodiplosis mosellana*) an sich entwickelndem Weizenkorn
Larvae of the orange wheat blossom midge (*Sitodiplosis mosellana*) on developing wheat grain

Feuerbrandresistente und anfällige Apfel-Genotypen
Apple genotypes resistant or susceptible to fire blight

are the only possibility to ensure cultivation of these crop species in the growing area of infested fields, therefore. After developing molecular markers for different resistance genes against these viruses, future studies now aim at isolating respective resistance genes via a mapped based cloning approach in cooperation with the IPK. Besides soil-borne viruses, insect transmitted viruses like barley yellow dwarf virus (BYDV) and cereal yellow dwarf virus (CYDV) transmitted by aphids or the leaf hopper transmitted wheat dwarf virus (WDV) lead to severe yield losses in cereals as well as turnip yellows virus (TuYV) in rape seed. It is expected that insect transmitted virus diseases become even more important in the future due to global warming. Therefore, large screening programs for resistance/tolerance are conducted in wheat and barley and molecular markers are developed, facilitating a combination of respective resistances/tolerances resulting in an enhanced level of resistance. During these screenings, quantitative resistance to WDV in wheat has been recently detected and marker development is ongoing.

In parallel to this, screening of genetic resources for resistance to aphids and detailed information on resistance is gained by determining e. g. the propagation rate, larval weight and development or the sucking behavior employing the electrical penetration graph (EPG, p. 8 fig. below). Furthermore, choice tests are conducted in order to get information whether virus infection has an influence on host plant selection of aphids and thereby on the epidemics of BYDV.

In addition, research on emerging pathogens, e. g. the nematode *Meloidogyne chitwoodi* is conducted. This nematode, besides potato, infects also cereals and maize. Because of a lack of resistant potato cultivars, studies on the identification of different sources of resistance in wild relatives of potato are conducted and diagnostic molecular markers for these resistances are under development.

Bakteriosen

Bakteriosen an Kulturpflanzen sind auf absehbare Zeit nicht mit chemischen Mitteln zu bekämpfen. Deshalb kommt, neben strengsten Hygienemaßnahmen gegenüber diesen Pathogenen, resistenten Pflanzen eine besondere Bedeutung zu. Bakteriosen haben vor allem an gartenbaulichen Kulturen eine erhebliche Bedeutung. Bakteriologische Fragestellungen werden daher i. d. R. in Zusammenarbeit mit dem Institut für Züchtungsforschung an Obst des JKI bearbeitet.

Beim Apfel konnten einzelne Wildarten und Neuzüchtungen identifiziert werden, die eine hohe Widerstandsfähigkeit gegenüber verschiedenen Stämmen von *Erwinia amylovora*, dem Erreger des Feuerbrandes, aufweisen. Ähnliches ist in Kooperation mit dem Institut für Züchtungsforschung an gartenbaulichen Kulturen des JKI bei der Pelargonie für die Resistenz gegen *Xanthomonas hortorum* pv. *pelargonii*. sowie *Ralstonia solanacearum* gelungen. Weiterhin wird die Erdbeere im Hinblick auf Resistenz gegen die Eckige Blattfleckenkrankheit (*Xanthomonas fragariae*) bearbeitet.

Abiotischer Stress

Wie unsere Kulturpflanzen mit den Ressourcen Wasser und Nährstoffe umgehen, entscheidet maßgeblich darüber, wie nachhaltig und produktiv unsere Landwirtschaft ist. Dies gilt besonders vor dem Hintergrund des Klimawandels. Trockenheit, Hitze und Frost zählen zu den abiotischen Stressfaktoren, die in besonderem Maße zu Ertragsausfällen und Qualitätsminderungen bei unseren Kulturpflanzen führen. Diese Situation wird sich im Zuge des Klimawandels weltweit weiter verschärfen. Die Wechselwirkungen zwischen abiotischen Stressfaktoren und der Pflanze sind vielfältig. Sie sind abhängig vom Zeitpunkt des Auftretens, der Dauer sowie der Intensität des Stresses, und die Toleranz gegenüber den obengenannten Faktoren beruht auf einem Netzwerk unterschiedlicher Mechanismen, d. h. die Verbesserung der Toleranz gegenüber abiotischem Stress ist sehr komplex.

Kollektionen von Genotypen verschiedener Kulturpflanzen (Weizen, Gerste, Kartoffel, Sojabohne, Ackerbohne, u. a.) werden auf morphologischer und physiologischer Ebene umfassend in ihrer Reaktion auf Trockenstress, Hitze, Kältestress sowie Nährstoffmangel untersucht. Basierend auf den Ergebnissen dieser phänotypischen Daten werden molekulare Marker entwickelt, mit denen auf Resistenz/Toleranz selektiert werden kann.

Unterschiedliche Reaktion der Pelargonie gegenüber *Xanthomonas hortorum* pv. *pelargonii*
Genotypes of pelargonium reacting differently to *Xanthomonas hortorum* pv. *pelargonii*

Gewächshausversuch zur Trockenstressoleranz der Gerste im juvenilen Stadium
Estimation of drought stress tolerance of juvenile barley

Unterschiede in der Kühletoleranz bei Sojabohne
Differences in chilling tolerance of soybean

Bacteria

No chemical measures are allowed for combating bacterial diseases efficiently. It is not very likely that these will be available in the near future. Therefore, besides sanitation measures, resistance to bacterial diseases is of special importance. Bacteria are of importance mainly in horticultural crops and will be favored by rising temperatures. Research on bacteria in general is carried out in collaboration with the Institute for Breeding Research on Fruit Crops and the Institute for Breeding Research on Horticultural Crops of the JKI. Using artificial inoculation in the greenhouse, resistance to *Erwinia amylovora* - the causal agent of fire blight - was detected in wild apple species. Similar results were obtained concerning resistance of pelargonium to *Xanthomonas hortorum* pv. *pelargonii*) and *Ralstonia solanacearum*. Currently, the Institute conducts respective analyses for resistance of strawberry against *Xanthomonas fragariae*.

Abiotic stress

Sustainability and productivity of crop production systems depend largely on water and nutrient use efficiency. Drought, heat, and frost are severely influencing yield and quality of crop plants and this impact will become even more important against the background of climate change. The interaction between crop plants and abiotic stress is complex depending on the onset, duration and intensity of respective stress factors and, in addition, tolerance of crops to abiotic stress is in general due to a network of different mechanisms. Tolerance to abiotic stress is a complex trait, therefore.

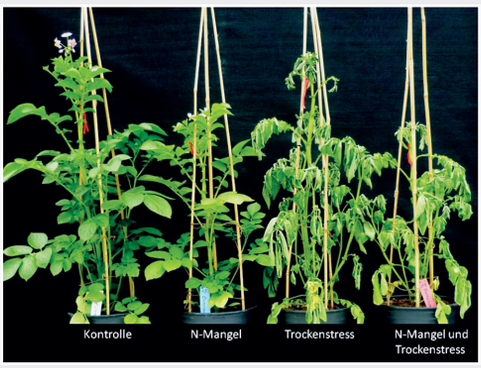
Plant genetic resources of different crop species (wheat, barley, potato, soybean, faba bean and others) are analyzed on the morphological and physiological level concerning their reaction to drought stress, heat, cold and nutrient deficiency. Based on these phenotypic data, markers are developed facilitating efficient indirect selection. Global warming will not only influence yield and yield stability but will also affect quality of the products harvested. This holds true with respect to the use for food and feed purposes

Zunehmender abiotischer Stress stellt nicht nur eine Herausforderung im Hinblick auf die Sicherung von Ertragsleistung und -stabilität dar, sondern auch in Bezug auf die Qualität unserer Kulturpflanzen. Dies gilt sowohl im Bereich der Nahrungspflanzen (Veränderungen des Nahrungs- und Futterwertes), als auch der Nachwachsenden Rohstoffe. Daher werden entsprechende Qualitätsmerkmale unter verschiedenen Stressbedingungen – zum Teil unter Nutzung zerstörungsfreier Hochdurchsatztechnologien - untersucht.

In Phänotypisierungsversuchen unter Rain-out Sheltern werden einzelne abiotische Stressfaktoren bzw. Kombinationen simuliert und deren Auswirkung auf die Ertragsleistung untersucht (Abb. S. 9 oben). Gleichzeitig werden physiologische/biochemische Parameter, wie Chlorophyllgehalt, Chlorophyll-Fluoreszenz, Gehalt an Prolin und löslichen Zuckern, lösliche Phenole, Osmolalität und Membranstabilität auf ihre Eignung als potentielle Indikatoren für abiotischen Stress analysiert. Basierend auf diesen phänotypischen Daten und mit Hilfe von Hochdurchsatzmarkertechnologien gewonnenen molekularen Daten, werden genomweite Assoziationsstudien zur Identifikation molekularer Marker für eine markergestützte Selektion auf Trockenstresstoleranz durchgeführt bzw. Kandidatengene für Trockenstresstoleranz auf Expressionsebene detailliert charakterisiert (Abb. S. 9 unten).

Trockenheit und Hitze haben jedoch nicht nur nachteilige Effekte auf die Ertragsleistung. Die Kartoffel reagiert empfindlicher als die meisten anderen Nutzpflanzenarten auf den Wasserhaushalt des Bodens. Sie kann bei Trockenheit in den entscheidenden Wachstumsphasen zusätzlich eine verminderte Knollenqualität bei gleichzeitig erhöhter Anfälligkeit gegenüber Krankheiten aufweisen. Bei der Blauen Süßlupine, die als Eiweißquelle und aufgrund ihrer guten Vorfruchtwirkung agronomisch interessant, und wegen ihrer ausgedehnten Pfahlwurzel relativ unempfindlich gegen Trockenheit ist, führen steigende Temperaturen zu deutlichen Qualitätsverlusten. So hat Hitzestress während der Kornfüllungsphase deutlich erhöhte Alkaloidgehalte zur Folge (Abb. S. 10 oben). Für die Analyse der Qualitätsparameter unter dem Einfluss von abiotischen Stressfaktoren stehen moderne, züchtungsrelevante Methoden, wie Spektroskopie, HPLC und GC bzw. GC-MS zur Verfügung.

Kulturarten, die bisher in der deutschen Landwirtschaft von untergeordneter Bedeutung sind, (z. B. Winterackerbohne und Sojabohne) bearbeitet das Institut hinsichtlich ihrer Adaptation an zukünftige Produktionsbedingungen. Bei der Ausweitung des Sojaanbaus nach Norden spielt vor allem die Kühletoleranz eine wichtige Rolle. Nach der Entwicklung eines entsprechenden Tests unter kontrollierten Bedin-



Gewächshausversuch zur Stickstoffeffizienz unter Trockenstress bei Kartoffel
Estimation of nitrogen use efficiency under drought stress conditions

Einfluss von Trockenstress auf das Wurzelwachstum der Gerste im hydroponischen System
Impact on drought stress on root growth estimated in hydroponics

Prüfung von Wintergeste auf Trockenstresstoleranz im Rain-out Shelter
Estimation of drought stress tolerance of barley in a rain-out-shelter

but also for use as re-newable resources. Changes of quality in crops related to abiotic stress are analyzed mainly using non-destructive high throughput technologies.

In phenotyping trials carried out in rain-out-shelters drought stress - also in combination with other stress factors – is simulated and the effect on yield performance is estimated (p. 9 fig. above). Simultaneously, physiological and biochemical parameters, e. g. chlorophyll content, chlorophyll fluorescence, content of free proline, soluble sugars and phenols, osmolality and membrane stability are analysed. Based on these phenotypic data and genotypic data derived by high throughput marker technologies, genome wide association studies are conducted leading to the identification of molecular markers and candidate genes characterized in detail in expression studies (p. 9 fig. below).

Drought and heat stress do not have negative effects on yield only, but also on the quality of products harvested. For example in potato, which is responding more sensitive to water deficit than most other crops, drought stress may cause also a decreased tuber quality and simultaneously an increased susceptibility to diseases. Sweet lupins, which are of interest as a source of proteins and because of their positive effects in crop rotations, and their drought stress resistance due to their deep taproots, show an increased alkaloid content due to heat stress (p. 10 fig. above). For the analysis of quality parameters in response to abiotic stress, modern methods like spectroscopy, HPLC, GC and GC-MS are available.

Besides this, crops which are up to now of minor importance in Germany, e.g. winter faba beans or soybeans, but may become important in the future in the background of climate change, are evaluated with respect to adaptive traits. In this respect, chilling tolerance in soybean is of prime importance. Based on a reliable growth chamber test which was validated under field conditions segregating populations are analysed and molecular markers for chilling tolerance are developed (p. 10 fig. below).

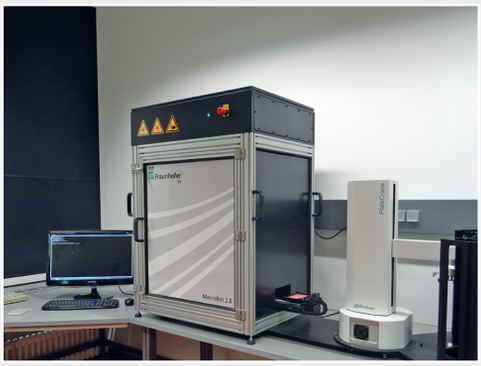
gungen und der Verifizierung der Ergebnisse im Freiland werden Kreuzungsnachkommenschaften mit dem Ziel der Identifikation molekularer Marker bearbeitet (Abb. S. 10 unten).

Ausblick

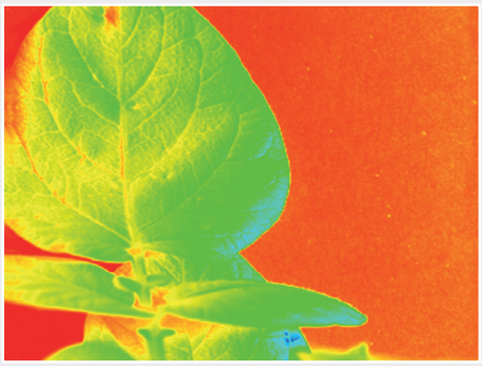
Hochdurchsatzmarkertechnologien und kostengünstige Verfahren der Genotypisierung - wie Genotyping by Sequencing (GBS) - sowie die Kenntnisse der kompletten Genomsequenz bei einer Vielzahl unserer Kulturarten erlauben zukünftig im Zusammenspiel mit verlässlichen Verfahren der Phänotypisierung, große Genbankkollektionen im Hinblick auf Resistenzen zu evaluieren. Unter Nutzung der Sequenzinformation können entsprechende Gene isoliert werden, d. h. man erhält einen systematischen Zugang zu der genetischen Diversität im Hinblick auf die Resistenz gegenüber biotischem und abiotischem Stress. Es ist also davon auszugehen, dass unter Nutzung dieser Techniken zukünftig zunehmend Gene bzw. genetische Netzwerke identifiziert werden können, die für entsprechende Merkmalsausprägungen verantwortlich sind. Basierend auf der Sequenzinformation isolierter Gene lassen sich in einem nächsten Schritt neue u. U. wirkungsvollere Genvarianten (allele mining) identifizieren.

Vor diesem Hintergrund werden pflanzengenetische Ressourcen und definierte, verlässliche Testsysteme zur Erfassung der Resistenz/Toleranz gegenüber biotischem und abiotischem Stress unter Einbeziehung neuester molekularer Erkenntnisse und Techniken auch zukünftig die Arbeiten des Institutes für Resistenzforschung und Stresstoleranz bestimmen. Diesen wird vor dem Hintergrund des Klimawandels, dem möglichen Wegfall von Pflanzenschutzmitteln sowie einer umweltverträglichen Pflanzenproduktion eine weiter steigende Bedeutung zukommen.

Genetische Ressourcen des Weizens
Genetic resources of wheat



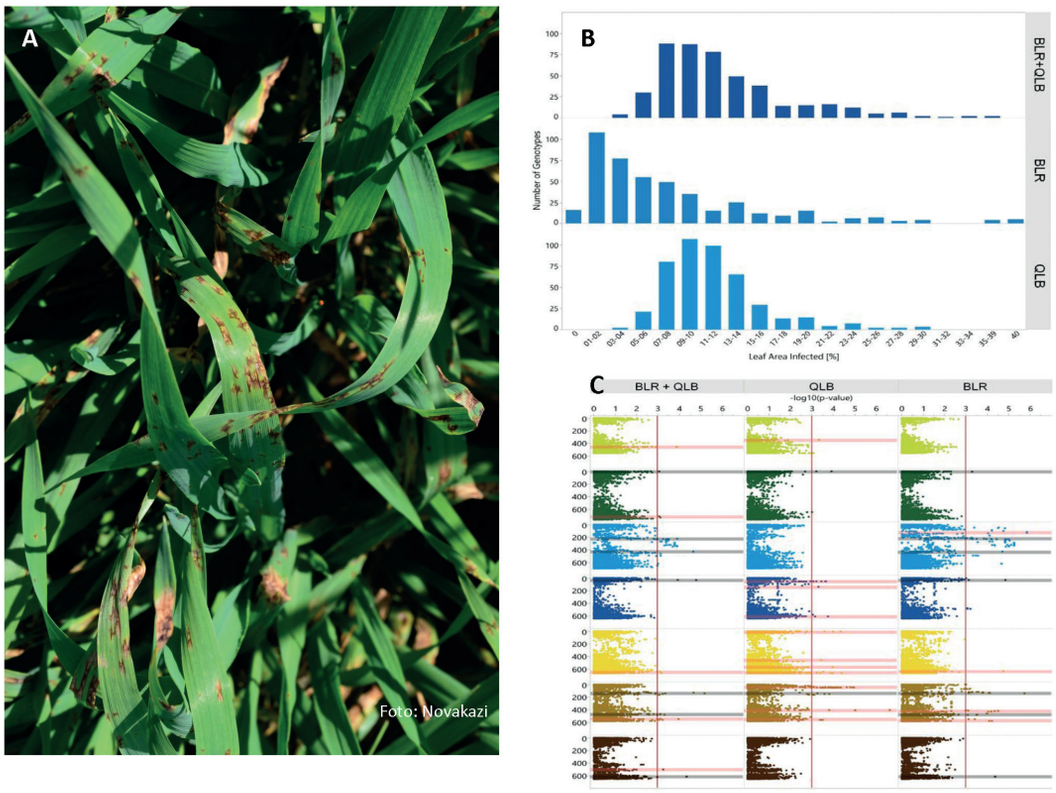
Hochdurchsatz-Phänotypisierung: autom. Erfassung von Resistenzen gegenüber pilzlichen Schaderregern
High throughput phenotyping for the automatic estimation of resistance to fungal pathogens



Aufnahme von Kartoffel-Blättern mit Hyperspektral-Kamera
Hyperspectral image of potato leaves

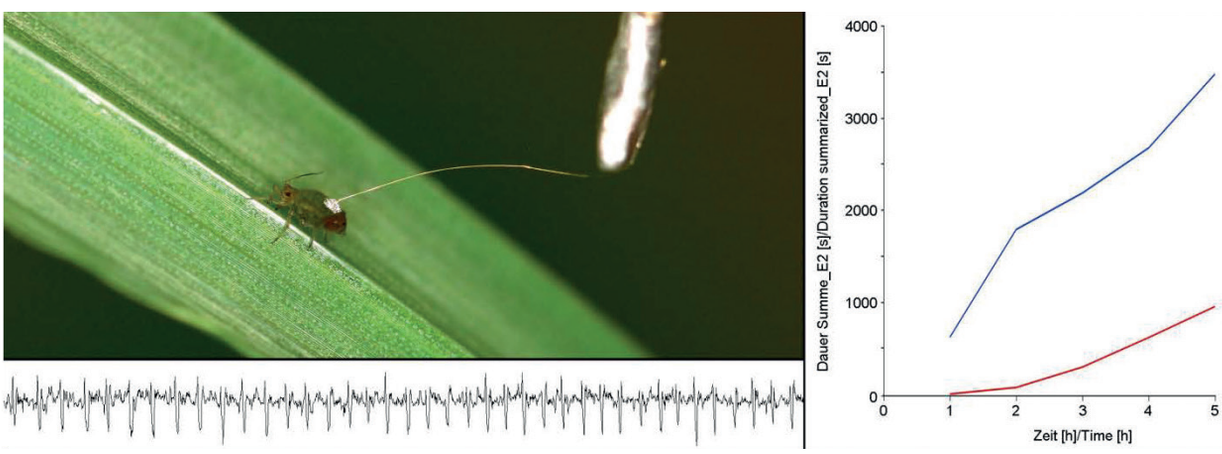
Future prospects

High throughput marker technologies and efficient sequencing technologies, e. g. Genotyping-by-Sequencing (GBS), as well as detailed knowledge on whole genome sequences of many crop species combined with reliable phenotyping methods, will facilitate the characterization of large gene bank collections. New techniques and the information derived thereof will lead to an enhanced isolation of genes and genetic networks involved in stress resistance. Based on these isolated genes allele mining may lead to the identification of new, maybe more efficient alleles transferring selection to the allele level. The evaluation of genetic resources using defined and reliable screening methods combined with newest molecular methods and information will be the main task of the Institute for Resistance Research and Stress Tolerance in the future. These studies may become even more important in the background of climate change and the reduced availability of pesticides.



Gerstenpflanzen nach Infektion mit Netzflecken (*Pyrenophora teres* f. *teres*) im Feld (A); Häufigkeitsverteilung des Netzfleckenbefalls einer Gerstenkollektion an verschiedenen Standorten (B); Identifikation von QTL für Netzfleckenresistenz mittels genomweiter Assoziationsstudien. Rote Linien zeigen Assoziationen, die an nur einem Standort detektiert wurden, graue Linien Assoziationen, die an zwei Standorten nachgewiesen wurden (C).

Barley plants infected with the net form of net blotch (*Pyrenophora teres* f. *teres*) in the field (A); Frequency distribution of the disease severity for the net form of net blotch at different locations (B); Identification of QTL for resistance against *P. teres* using genome wide association studies. Red lines indicate location specific associations and grey lines those detected at two locations (C).

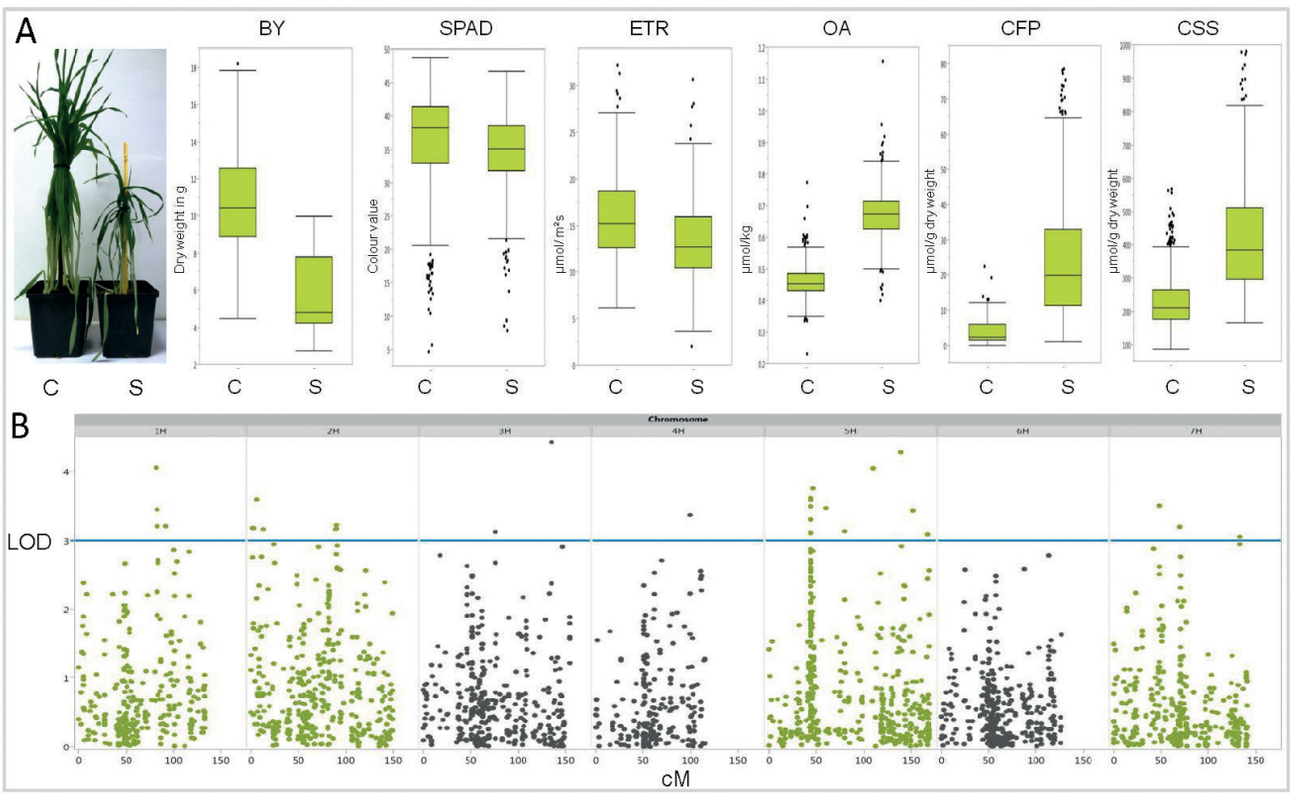


Blattlaus (*Rhopalosiphum padi* (Traubenkirschenlaus)) mit Golddraht zur Beobachtung des Fressverhaltens mittels Electricalpenetrationgraph(EPG)-Technik (oben). EPG Wellenmuster wie das Wellenmuster „E2“ (unten), welches während der Nahrungsaufnahme aus den Siebelementen zu beobachten ist, lassen auf unterschiedliche Verhaltensmuster schließen. Die Auswertung von mehrstündigen EPG-Messungen (rechts) erlaubt die Beobachtung von Verhaltensunterschieden auf z. B. anfälligen (blau) und resistenten (rot) Genotypen.

Aphid of the species *Rhopalosiphum padi* (Birdcherry-oat aphid) connected to a gold wire to observe its feeding behaviour by using the Electrical penetration graph (EPG)-technique (up). EPG waveforms such as „E2“referring to ingestion from sieve elements, indicate different behaviour patterns. The analysis of several hours of EPG recording (right) allows the observation of different behaviour on e. g. susceptible (blue) and resistant (red) genotypes.

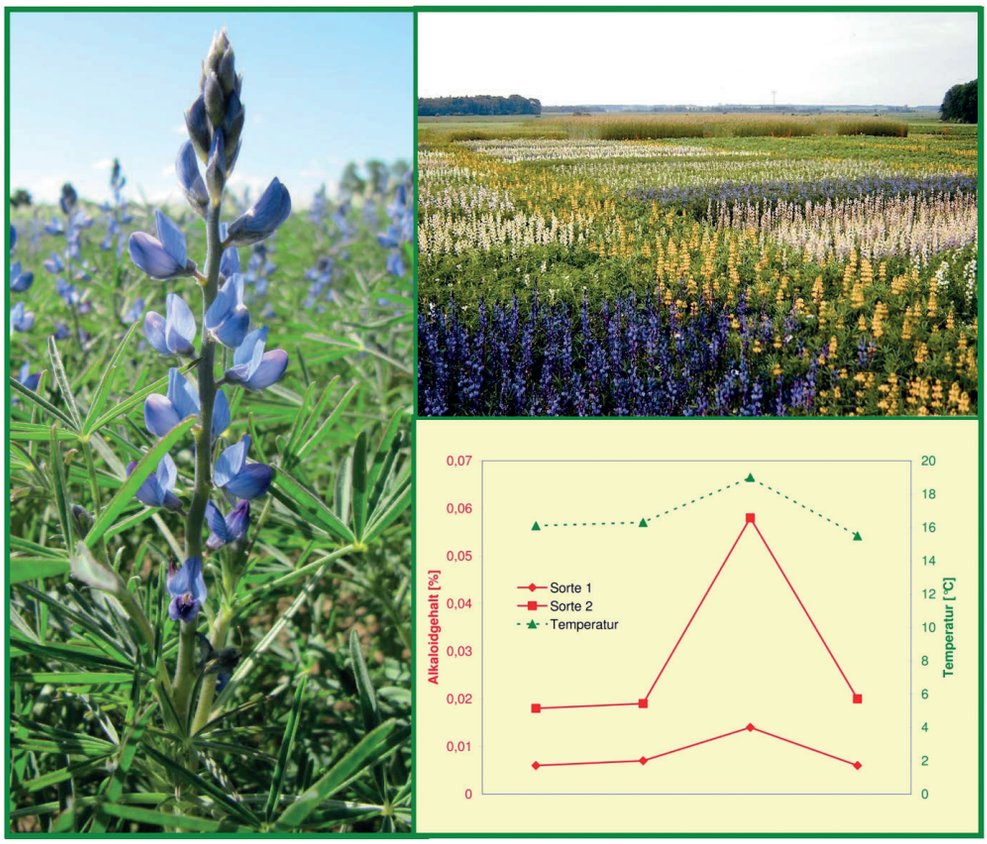
Schwankungen der Erträge eines Kartoffelsortimentes in Abhängigkeit vom Wasserangebot (links); Prüfung von Kartoffelgenotypen auf Trockenstresstoleranz in Rain-out Sheltern (Mitte); Erfassung physiologischer Parameter am Kartoffelblatt (rechts).

Yield of a set of potato cultivars in relation to water supply (left), evaluation of potatoes regarding drought stress tolerance in rain-out-shelters (middle); recording of physiological parameters on potato leaves (right).



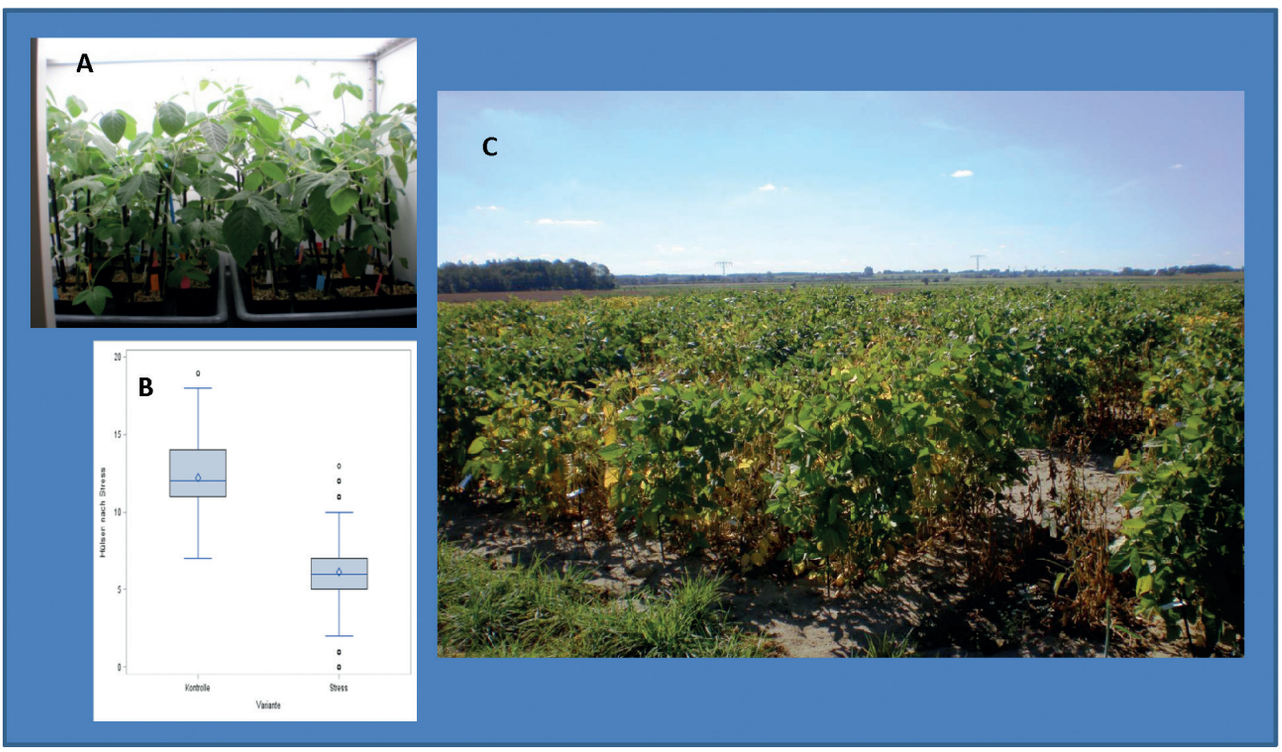
Gerstenpflanzen zum Zeitpunkt der Phänotypisierung und Ergebnisse der Phänotypisierung zu Biomasseertrag (BY), Chlorophyllgehalt (SPAD), Chlorophyll-Fluoreszenz (ETR), Osmolalität (OA), Gehalt an freiem Prolin (CFP) und Gesamtgehalt löslicher Zucker (CSS) unter Kontroll- (C) und Trockenstressbedingungen (S) aus dreijährigen Gewächshausversuchen (A); Ergebnisse der genomweiten Assoziationsstudie für BY und SPAD unter Trockenstress (B).

Barley plants at the time point of phenotyping as well as phenotypic results for biomass yield (BY), chlorophyll content (SPAD), chlorophyll fluorescence (ETR), osmolality (OA), content of free proline (CFP) and total content of soluble sugars (CSS) under control (C) and drought stress treatment (S) based on three years greenhouse pot experiments (A); results of the genome wide association study for BY and SPAD under drought stress conditions (B).



Einfluß der Temperatur während der Kornfüllungsphase auf den Alkaloidgehalt verschiedener Genotypen der Blauen Lupine.

Influence on temperature during grain filling on the alkaloid content of different genotypes of *Lupinus angustifolius*.



Charakterisierung einer Kreuzungsnachkommenschaft der Sojabohne bezüglich Hülsenansatz unter Kältestress in der Klimakammer (A); Hülsenansatz in der Kontrolle und unter Kältestress (B) ; Verifizierung im Feld (C).

Characterization of a secregating population of soybeans regarding pod set under chilling stress in a growth chamber (A); distribution of pod set in control and under chilling stress (B); verification in field trial (C).

Leiter
Head

Dir. u. Prof. Dr. Andreas Stahl

Vertreter
Deputy

Dr. Albrecht Serfling

Adresse
Address

Julius Kühn-Institut (JKI)
Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen
Institut für Resistenzforschung und Stresstoleranz

Julius Kühn Institute (JKI)
Federal Research Centre for Cultivated Plants
Institute for Resistance Research and Stress Tolerance

Erwin-Baur-Str. 27
06484 Quedlinburg , Germany
Tel./Phone : +49 (0)3946 47-3601
Fax: +49 (0)3946 47-3602
rs@julius-kuehn.de

Das JKI vereint unter seinem Dach 18 Fachinstitute an 9 Standorten.
The JKI combines the competence of 18 specialized institutes at 9 different sites.

https://www.julius-kuehn.de/rs
https://www.julius-kuehn.de

DOI10.5073/20241025-071338-0
Oktober/October 2024

Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft

Das Julius Kühn-Institut ist eine Einrichtung im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Ernährung, und Landwirtschaft (BMEL)

The Julius Kühn Institute is an institution subordinated to the Federal Ministry of Food and Agriculture (BMEL)