



UNIVERSITÄT
HOHENHEIM



Anbauoptionen für Nassreis in der Nordschweiz

Masterarbeit von: Judith Meier
Vorgelegt bei: Prof. Dr. Folkard Asch
Co-Expertin: Dr. Katja Jacot
Fakultät: Agrarwissenschaften
Institut: Tropische Agrarwissenschaften (Hans-Ruthenberg-Institut)
Fachgebiet: Wasserstress-Management bei Kulturpflanzen in den Tropen und Subtropen
Unterlunkhofen, 17. Dezember 2019

Abstract

Reis wird weltweit unter unterschiedlichsten Klimabedingungen und Anbauverfahren kultiviert. Über 25% des globalen Kalorienbedarfs wird durch Reis gedeckt. In der Schweiz werden jährlich sechs Kilogramm Reis pro Kopf konsumiert. Auf Grund der klimatischen Bedingungen ist die Schweiz allerdings ein Grenzstandort für die Reisproduktion. Nahezu 100% des Bedarfs werden importiert. Als Nischenprodukt könnte der Reisanbau jedoch eine interessante Kulturpflanze für Schweizer Landwirte sein. 2017 initiierte Agroscope, Kompetenzzentrum für landwirtschaftliche Forschung, den Nassreisanbau nördlich der Alpen. Ziel des Projektes ist die Erhaltung von Feuchtäckern als Habitat für seltene Tier- und Pflanzenarten. Um dies für Landwirte attraktiver zu machen, wird versucht, Biodiversität mit der Produktion von Reis zu verbinden.

Da der Nassreisanbau für die Schweiz völlig neu ist, soll diese Masterarbeit erste Anhaltspunkte in Bezug auf Sortenwahl und Anbautechnik liefern. Verglichen wurden vier Sorten unter den Anbauverfahren Direktsaat und Verpflanzen von Setzlingen an zwei Standorten in der Nordschweiz. Erhoben wurden die phänologische Entwicklung, die Wachstumsparameter Pflanzenhöhe, Triebdichte, LAI (Leaf Area Index), SLA (Specific Leaf Area) und das Blatt-Spross-Verhältnis. Zudem sind der Ertrag in t/ha und die Ertragskomponenten (Ährchen pro Rispe, TKG (Tausendkorngewicht) und Sterilität) bestimmt worden.

Die Setzlinge wurden 25-47 Tage früher geerntet als der Reis im Direktsaatverfahren. Allerdings erfolgte die Anzucht einen Monat früher im Gewächshaus. Zudem wiesen die Setzlinge meist eine signifikant tiefere Triebdichte im Vergleich zur Direktsaat auf. Der LAI war im Direktsaatverfahren auf Grund der höheren Triebdichte jedoch nicht immer höher als im Setzlingsverfahren. Bei beiden Parametern zeigten sich keine Sortenunterschiede. Gleiches gilt auch für die SLA. Bei diesem Parameter erreichte Direktsaat an einem Standort signifikant höhere Werte als die Setzlinge. Die Sorte Loto erreichte an beiden Standorten mit Werten zwischen 21.2 und 38.7% signifikant tiefere Werte als die anderen Sorten. Bei den Parametern TKG und Ährchen pro Rispe zeigten sich kaum statistische Unterschiede. An einem Standort erreichte Loto mit 7.7 beziehungsweise 8 t/ha als Setzling signifikant höhere Erträge als die anderen Sorten und als das Verfahren Direktsaat. Die gleiche Tendenz zeigte sich auch am zweiten Versuchsstandort. Mehrjährige Versuchsergebnisse sind jedoch nötig, um genauere Aussagen zu Sortenwahl und Anbausystem treffen zu können.

Andere anbautechnische Fragen wie Nährstoffversorgung und Unkrautbekämpfung sind weitere Problemstellungen, die untersucht werden sollten, um auch in den nächsten Jahren die Nassreisproduktion in der Nordschweiz fortführen zu können.

Schlagwörter : wet rice, *Oryza sativa*, Switzerland, variety trial, direct seeding, transplanting

Eigenständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, Judith Meier, geboren am 28. Dezember 1991, Matrikelnummer 757346, dass ich bei der vorliegenden Master-Thesis die Regeln guter wissenschaftlicher Praxis eingehalten habe. Ich habe diese Arbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt und die wörtlich oder inhaltlich übernommenen Stellen als solche kenntlich gemacht.

Betreuende: Prof. Dr. Folkard Asch, Dr. Katja Jacot

Thema der Arbeit: Anbauoptionen für Nassreis in der Nordschweiz

Semester: 3

Ich erkläre weiterhin, dass das unverschlüsselte digitale Textdokument der Arbeit übermittelt wurde, das in Inhalt und Wortlaut ausnahmslos der gedruckten Ausfertigung (exkl. Digitaler Anhang) entspricht. Ich bin damit einverstanden, dass diese elektronische Form anhand einer Analyse-Software auf Plagiate überprüft wird.

Unterlunkhofen, 17. Dezember 2019

Judith Meier

Danksagung

Ich möchte mich bei Prof. Dr. Folkard Asch für seine Bereitschaft, das Betreuen dieser Arbeit zu übernehmen und seine Unterstützung während ihrem Entstehen herzlich bedanken.

Ein grosses Dankeschön geht auch an Dr. Katja Jacot, die mich besonders im Feld und bei praktischen Fragen immer unterstützt und selbst auch tatkräftig mit angepackt hat.

Bei Dr. Sabine Stürz möchte ich mich sehr für ihre Hilfe während dem Schreibprozess und der Möglichkeit, mich bei Fragen jederzeit an sie wenden zu können, bedanken.

Ein herzlicher Dank geht auch an die Mitglieder der IG Nassreis. Namentlich sind dies Toni Suter von der Max Schwarz AG sowie Alain Salzmann. Bedanken möchte ich mich insbesondere für die Zurverfügungstellung der Versuchsflächen und die Hilfe beim Anlegen der Versuche sowie ihre Unterstützung bei anbautechnischen Herausforderungen. Bei Anja Gramlich von Agroscope für ihre Unterstützung in wissenschaftlichen Belangen möchte ich mich ebenfalls speziell bedanken.

Für die grosse Hilfe bei der Versuchsanlage und den folgenden Erhebungen möchte ich mich bei Lea Bona, Pasha Naeem, David Vogel und Pascal Kipf herzlich bedanken. Einen besonderen Dank gilt Matthias Wyss und Sebastian Hagenbuch. Die unzähligen Male, die sie mich ins Feld begleitet oder Hilfe bei der Probenaufbereitung geleistet haben waren für mich ebenso wertvoll wie die Hilfe beim Korrigieren und Editieren der Arbeit.

Zum Schluss gehen ein grosses Dankeschön auch an meine Familie, besonders an meine Eltern und meinen Geschwistern, die mich während meinem Studium stets unterstützt und Interesse daran gezeigt haben.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Stand der Forschung	5
	2.1 Standortansprüche von Reis	5
	2.2 Phänologie, Wachstum und Ertrag und Ertragskomponenten von Reis	6
	2.3 Reis-Anbaumethoden	7
	2.4 Reis in der Schweiz	9
3	Material und Methoden	10
	3.1 Standorte	10
	3.1.1 Brugg	11
	3.1.2 Bavois	11
	3.2 Sonden	12
	3.3 Verwendete Sorten	12
	3.3.1 Loto	13
	3.3.2 Onice	13
	3.3.3 Paty	13
	3.3.4 Manobi	13
	3.4 Verfahren und Versuchsmanagement	14
	3.4.1 Direktsaat	14
	3.4.2 Setzlinge	14
	3.4.3 Versuchsmanagement	15
	3.5 Erhebungen	15
	3.5.1 Nicht-destruktive Erhebungen während der Vegetationsperiode	15
	3.5.2 Destruktive Erhebungen während der Vegetationsperiode	16
	3.5.3 Ertragskomponentenerhebung	16
	3.5.4 Ertragserhebung	16
	3.6 Statistische Auswertung	16
4	Ergebnisse	17
	4.1 Phänologie	17
	4.2 Wachstum	18
	4.2.1 Pflanzenhöhe	18
	4.2.2 Triebdichte	20
	4.2.3 LAI (Leaf Area Index)	20
	4.2.4 SLA (Specific Leaf Area)	21
	4.2.5 Blatt-Spross-Verhältnis	23
	4.3 Ertragskomponenten	24
	4.3.1 Ährchen pro Rispe	24
	4.3.2 Sterilität	25
	4.3.3 TKG (Tausendkorngewicht)	25

4.4 Ertrag	25
4.4.1 Ertrag (t/ha)	25
4.4.2 Harvest Index	26
4.5 Ertrags-Korrelationen	27
5 Diskussion	29
5.1 Phänologie	29
5.2 Wachstum	30
5.2.1 Pflanzenhöhe	30
5.2.2 Triebdichte	31
5.2.3 LAI	31
5.2.4 SLA	32
5.2.5 Blatt-Spross-Verhältnis	32
5.3 Ertragskomponenten	32
5.4 Ertrag	34
5.4.1 Ertrag in t/ha und Ertragskorrelationen	34
5.4.2 Harvest Index	36
6 Folgerungen	37
7 Literaturverzeichnis	Error! Bookmark not defined.
Anhang	44

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Karte der Schweiz mit den beiden Versuchsstandorten gelb markiert (Quelle: Google Maps 2019)	10
Abbildung 2 Versuchsstandort Bavois (46°41'N, 6°33'E, 447 m ü. M.).....	10
Abbildung 3 Versuchsstandort Brugg (47°29'N, 8°14'E, 336 m ü. M.).....	10
Abbildung 4 Minimale und maximale Lufttemperatur in Brugg zwischen Mai und Oktober 2019. Die rote Linie zeigt die mittlere Tages-Lufttemperatur. Die grüne, respektive blaue Linie zeigt die durchschnittliche Boden- und Wassertemperatur.	11
Abbildung 5 Minimale und maximale Lufttemperatur in Bavois zwischen Mai und Oktober 2019. Die rote Linie zeigt die mittlere Tages-Lufttemperatur. Die grüne, respektive blaue Linie zeigt die durchschnittliche Boden- und Wassertemperatur.	12
Abbildung 6 Logger in Brugg	12
Abbildung 7 Paty mit Krankheitsbefall am Standort Bavois Mitte September.....	17
Abbildung 8 Pflanzenhöhe aller vier Sorten und beider Verfahren am Standort Brugg. Direktsaat in Blau, Setzlinge in Grün.	18
Abbildung 9 Pflanzenhöhe am Standort Bavois aller Sorten und der drei Verfahren. In Grün Setzlinge, in Blau Direktsaat und in Rot Setzlinge später gepflanzt.	19
Abbildung 10 SLA am Standort Brugg. Linien in Grün repräsentieren die Sorten als Setzlinge, in Blau im Direktsaat-Verfahren.	22
Abbildung 11 SLA am Standort Bavois, Verfahren Direktsaat mit allen vier Sorten.....	22
Abbildung 12 Blatt-Spross-Verhältnis am Standort Brugg von beiden Verfahren und allen Sorten	23
Abbildung 13 Blatt-Spross-Verhältnis am Standort Bavois für das Verfahren Direktsaat	24
Abbildung 14 Korrelation Rispen und Ertrag in Brugg	27
Abbildung 15 Korrelation TKG und Ertrag in Brugg	27
Abbildung 16 Korrelation Sterilität und Ertrag Verfahren Direktsaat in Brugg	27
Abbildung 17 Korrelation Sterilität und Ertrag Verfahren Setzlinge in Brugg	27
Abbildung 18 Korrelation Rispen und Ertrag in Bavois	28
Abbildung 19 Korrelation TKG und Ertrag in Bavois	28
Abbildung 20 Korrelation Sterilität und Ertrag in Bavois	28

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Anzahl Tage von der Saat/Verpflanzung bis zur Blüte am Standort Brugg nach Anbauverfahren und Sorte.....	17
Tabelle 2 Anzahl Tage Saat/Verpflanzung bis Blüte Standort Bavois nach Anbauverfahren und Sorte (DS = Direktsaat, S = Setzlinge, S spät = Setzlinge späterer Pflanztermin)	17
Tabelle 3 Triebdichte pro m ² zu zwei Erhebungszeitpunkten am Standort Brugg nach Verfahren und Sorte	20
Tabelle 4 Triebdichte pro m ² zu zwei Erhebungszeitpunkten am Standort Bavois nach Verfahren und Sorte	20
Tabelle 5 LAI an beiden Standorten zu vier Erhebungszeitpunkten bei allen Sorten. In Bavois konnte der LAI nur im Verfahren Direktsaat gemessen werden.	21
Tabelle 6 Hochrechnung der Anzahl Ährchen pro Rispe beider Standorte	24
Tabelle 7 Sterilität in Prozenten an beiden Standorten zu allen Verfahren und Sorten	25
Tabelle 8 TKG an beiden Standorten aller Verfahren und Sorten	25
Tabelle 9 Ertrag in Tonnen pro Hektar an beiden Standorten aller Sorten und Verfahren.....	26
Tabelle 10 Harvest Index an beiden Standorten bei allen Verfahren und Sorten	26

1 Einleitung

Reis ist weltweit gesehen das wichtigste Grundnahrungsmittel. Für über 50% der globalen Bevölkerung stellt er ein täglicher Bestandteil ihres Speiseplans dar (IRRI 2019). 25% des täglichen Kalorienbedarfs der Weltbevölkerung wird durch Reis gedeckt. In Entwicklungsländern sind es teilweise über 75% (Fitzgerald 2017). 2017 wurden auf rund 167 Millionen Hektar Reis angebaut. Europa ist mit knapp 643'000 Hektar ein kleiner Produzent (FAOSTAT 2019). Noch kleiner nimmt sich daneben die Schweiz mit 90 ha Trockenreisproduktion aus. Diese spielt sich vollumfänglich in der Südschweiz (Tessin) ab. Dem gegenüber steht ein Inlandkonsum von 49'000 Tonnen pro Jahr. Die Landwirtschaft in der Schweiz ist insbesondere durch ihre Kleinstrukturiertheit kaum konkurrenzfähig auf dem Weltmarkt. Spezielle Kulturen, welche einen Mehrwert generieren und das zunehmende Bedürfnis der Bevölkerung nach lokal produzierten Nahrungsmitteln befriedigen können, können deshalb interessant sein.

Seit 2017 finden nun unter der Leitung von Agroscope, des Kompetenzzentrums des Bundes für landwirtschaftliche Forschung, Testversuche für den Nassanbau von Reis in der Nordschweiz statt (Jacot et al. 2018). Der Ursprung des Projekts liegt in der Absicht zur Erhaltung von Feuchtäckern, welche sich durch Entwässerungs- und Meliorationsprojekte in den letzten Jahrzehnten in einem stetigen Rückgang befinden. Solche Flächen bieten Habitate für seltene Tier- und Pflanzenarten und werden deshalb als schützenswert eingestuft. Um den Schutz dieser Flächen auch für Landwirte attraktiv zu machen, wurde deshalb die Möglichkeit einer Kombination mit der Produktion von Reis eronnen.

Im Jahr 2018 wurden die Versuchsfläche ausgedehnt und basierend auf Hochrechnungen über sechs Tonnen Rohreis pro Hektar geerntet (Vogel et al. unveröffentlicht). 2019 konnten nun mehrere Landwirte an verschiedenen Standorten in der Nordschweiz für das Projekt gewonnen werden, um so den Nassreisanbau unter verschiedenen Bedingungen testen zu können. Gleichzeitig wurde eine Interessengemeinschaft Nassreis (IG Nassreis) gegründet, wo Reis produzierende Landwirte, involvierte Forschungsorganisationen und weitere interessierte Privatpersonen und Organisationen Mitglied sind.

Nassreisanbau in der Schweiz stellt also komplettes Neuland dar. Wissen bezüglich Anbautechnik, Sortenwahl, Nährstoffversorgung oder Pflanzenschutz fehlen vollständig. Diese Masterarbeit soll erste Anhaltspunkte betreffend Sortenwahl und Anbautechnik liefern. Gleichzeitig soll auch untersucht werden, inwiefern sich Nassreisanbau für zwei unterschiedliche Standorte in der Schweiz eignet. Dazu wurden einerseits ein ehemaliger Moorboden und andererseits ein klimatisch möglichst verschiedener Standort mit mineralischem Boden ausgesucht. Verglichen werden vier verschiedene Reissorten unter den Anbautechniken Direktsaat und Aussaat von Setzlingen.

Hypothesen und Ziele

Die zugrunde liegende Hypothese ist, dass sich Reissorten an zwei Standorten mit unterschiedlichem Klima und unterschiedlichen Bodentypen, bei zwei verschiedenen Anbautechniken verschieden voneinander verhalten. Basierend auf dieser Grundannahme ergeben sich folgende Hypothesen:

- Die vier getesteten Sorten unterscheiden sich bezüglich phänologischer Entwicklung und Ertrag.
- Es können Unterschiede zwischen den Sorten auf Grund der unterschiedlichen Standorte festgestellt werden.
- Unterschiede im Pflanzenwachstum können zwischen den Anbautechniken festgestellt werden.

Daraus ergeben sich folgende Ziele für die Masterthesis:

- Die optimale Sorte betreffend Entwicklung und Ertrag für den jeweiligen Standort finden
- Die erfolgversprechendste Anbaumethode betreffend Ertrag eruieren

2 Stand der Forschung

2.1 Standortansprüche von Reis

Reis (*Oryza sativa*) wird unter verschiedensten klimatischen Bedingungen, welche vom nördlichen Japan über das südliche Australien, zu den höheren Lagen Nepals bis hin zu den tropischen Regionen Chinas oder Thailand reichen, angebaut (Yoshida 1981). Abhängig vom Standort sind unterschiedliche Umweltfaktoren limitierend. Anders als andere Gramineae wie Weizen oder Mais, hat sich Reis nie an die Wachstumsbedingungen in offenen, trockenen Habitaten angepasst. Er blieb seinen Wurzeln, die in feuchten, schattigen Wäldern liegen, treu (Kellogg 2001). Reis ist somit unter den Gräsern, welche als Nahrungsmittel konsumiert werden, in seiner Adaption an geflutete Bedingungen einzigartig (ebd.).

Da Reis hauptsächlich eine Kulturpflanze der tropischen und semi-tropischen Regionen ist, reagiert sie empfindlich auf tiefe Temperaturen (Basuchaudhuri 2014). Gemäss Yoshida (1981) ist vor allem in der ersten Woche nach der Keimung die Temperatur eminent wichtig. Durch höhere Temperaturen beschleunigt sich die Wachstumsrate linear, während sie in den folgenden Wochen in viel geringerem Masse beeinflusst wird. Kritische Temperaturen für das Schossen liegen zwischen 7-16°C. Je nach dem wann eine Kälteperiode auftritt, kann die Keimrate reduziert, die Keimdauer verlängert, das Wachstum verzögert oder Sterilität und frühe Seneszenz eine Folge sein (Basuchaudhuri 2014).

Unter den möglichen klimatisch bedingten Schäden an der Reispflanze ist Sterilität diejenige, welche die grössten Ertragsausfälle verursacht. Der Zeitraum von der Pollenbildung bis zur Befruchtung ist dafür die verwundbarste Periode, während des Entwicklungszyklus von Reis (Nishiyama 1984). Als kritische Temperatur wird 15-19°C angesehen. Abhängig von der Dauer des Kälteeinbruchs, der Sorte und der Anbauart, kann es jedoch Abweichungen geben (ebd.). Shimazaki (1964) konnte zudem zeigen, dass Nachttemperaturen von 13°C während acht Tagen noch keine Sterilität verursachen. Dies bedingt jedoch höhere Tagestemperaturen. Im Gegensatz dazu können aber auch Temperaturen von 20°C über einen längeren Zeitraum Sterilität verursachen (Nishiyama 1984). Hohe Stickstoffgaben erhöhen zudem die Anfälligkeit der Pflanzen auf tiefe Temperaturen (Gunawardena et al. 2003). Phosphor wiederum kann die N-induzierte Sterilität vermindern (Nishiyama 1984). Die Wassertemperatur ist ausserdem entscheidender als die Lufttemperatur (Shimono et al. 2005; Shimono et al. 2007). War die Wassertemperatur hoch, konnte die Sterilität deutlich gesenkt werden, auch bei tieferen Lufttemperaturen. Besonders die Temperatur vor dem Rispenstadium scheint entscheidend zu sein, für die anschliessende Anfälligkeit auf kühle Temperaturen während der Rispenentwicklung (Shimono et al. 2007). Genau wie kühle Temperaturen, können auch hohe Tagesdurchschnittstemperaturen ab 30°C Sterilität verursachen (Yoshida und Parao 1976).

2.2 Phänologie, Wachstum und Ertrag und Ertragskomponenten von Reis

Reis (*Oryza sativa*) braucht abhängig von Sorte und Standort drei bis sechs Monate von der Keimung bis zur Reife (Yoshida 1981). Das Ertragspotential wird hauptsächlich bis zum Zeitpunkt des Rispenstehens bestimmt. Der endgültige Ertrag wird aber durch die Stärkeeinlagerung während der Kornfüllungsphase determiniert. Die Abreife schliesslich ist stark von der Temperatur abhängig. Sie kann zwischen 30 in tropischen Regionen, bis zu über 65 Tagen unter kühlem, gemässigtem Klima, wie beispielsweise im japanischen Hokkaido, dauern. Die Höhe der Reispflanze variiert zwischen verschiedenen Sorten und wird ebenfalls durch die Umwelt beeinflusst (Wang und Li 2005). Auch die Anzahl Internodien ist abhängig von Genetik und Umwelt. Eine tiefe Saat (> 3 cm) oder tiefes Wasser induzieren eine Verlängerung der Internodien bereits im Jugendstadium (Yoshida 1981).

Die Ertragskomponenten bei Reis sind die Anzahl Rispen pro Fläche, die Anzahl Ährchen pro Rispe, das Tausendkorngewicht (TKG) und Ährchen-Sterilität respektive die Anzahl gefüllter Körner (Fageria 2007). Zudem ist der Harvest Index ebenfalls positiv mit dem Ertrag korreliert. Ertrag wird in der Regel als gereinigter Kornertrag definiert (ebd.). Neben den Ertragskomponenten, ist auch die Bestockung eng mit dem finalen Ertrag korreliert. Jeder Bestockungstrieb besitzt die Fähigkeit eine Rispe auszubilden (Sakamoto und Matsuoka 2008). Seitentriebe jedoch, die sich spät in der Saison entwickeln, bilden oft gar keine Rispe oder füllen die Körner nur ungenügend aus. So erhöhen sie einzig die Stroh-Biomasse. Sakamoto und Matsuoka (2008) betonen deshalb, dass es wichtig sei, die Anzahl Triebe zu steuern, um das Ertragspotential zu maximieren. Die Bestockungsfähigkeit von Reis wird zwar durch Wachstumsparameter wie Licht, Temperatur und Nährstoffversorgung beeinflusst, aber hauptsächlich durch die Genetik bestimmt (Nuruzzaman et al. 2000; Wang und Li 2005). Nuruzzaman et al. (2000) konnten ausserdem zeigen, dass Pflanzenhöhe und Anzahl Bestockungstriebe stark negativ korreliert sind.

Die Bestockung wird ausserdem durch den LAI (Leaf Area Index) beeinflusst. Ab einem kritischen LAI-Wert wird die Bestockung eingestellt, respektive sukzessive reduziert (Zhong et al. 2002). Der Zusammenhang zwischen LAI und Bestockung wird durch das Stickstoff-Level, nicht jedoch durch die Dichte des Pflanzenbestandes beeinflusst (ebd.). Ausserdem korreliert der LAI während der Blüte und der schlussendliche Ertrag sehr gut miteinander (Yoshida und Parao 1976). Der maximale LAI wird während dem Rispenstehen erreicht. Während der Abreife der Pflanze nimmt er wieder rasch ab (Murata 1976). Yoshida (1981) spricht von einem maximalen LAI, der über 10 hinausgehen kann.

In Versuchen im Punjab konnte ausserdem gezeigt werden, dass der LAI bei direkt gesätem Reis signifikant höher war als bei verpflanztem (Gill et al. 2006). Im gleichen Versuch erreichte der Reis in Direktsaat zehn Tage früher die Reife. Fagade und Datta (1971) stellten ebenfalls fest, dass der LAI in gesäten Verfahren

höher war als in verpflanzten. Bei Reis korreliert der LAI sehr gut mit der schlussendlich gebildeten Biomasse (Wang et al. 2007). Der LAI ist aber auch eine generelle Kenngrösse für das Pflanzenwachstum, den Pflanzenwasserverbrauch und die Konkurrenzfähigkeit gegenüber Unkraut (Sone et al. 2009). Aus einem Versuch in China ist ersichtlich, dass der LAI nach der Verpflanzung rasch ansteigt und schliesslich ein Plateau erreicht (Xiao et al. 2002).

Die Blattdicke ist eine wichtige morphologische Kenngrösse bei Reis (Liu et al. 2014). Dickere Blätter sind vorteilhaft für die Anzahl Körner pro Rispe und für ein höheres Korngewicht pro Rispe. Liu et al. (2014) stellten ausserdem eine positive, aber nicht signifikante Korrelation zwischen Blattdicke, Ertrag und Biomasse fest. Die spezifische Blattfläche (SLA) korreliert ausserdem deutlich negativ mit der maximalen Anzahl Bestockungstriebe (Nuruzzaman et al. 2000). Generell hängt die Blattdicke jedoch von Sorte, Blattposition, Wachstumsstadium, Nährstoffversorgung und den klimatischen Bedingungen ab.

Yoshida und Parao (1976) konnten in Los Baños auf den Philippinen zeigen, dass 60% der Ertragsvariationen auf die Anzahl Ährchen pro Quadratmeter zurückzuführen ist. An diesem Standort war entsprechend die Sink-Grösse limitierender als die Kornfüllung. Die Anzahl Ährchen pro Rispe korreliert ausserdem stark mit dem Trockengewicht des Triebs (Shiratsuchi et al. 2007). Das TKG (Tausendkorngewicht) trägt kaum zur Ertragsvariation bei (Koutroubas und Ntanos 2003). Es ist normalerweise ein stabiler, sortenspezifischer Wert (Yoshida 1981). Abiotischer Stress wie Versalzung oder Kälte können aber das Tausendkorngewicht massiv reduzieren (Fabre et al. 2005).

Der Harvest Index zeigt, wie gross der ökonomisch nutzbare Teil am biologischen Ertrag ist (Yoshida 1981). Bei traditionellen langstrohigen Sorten beträgt er ca. 0.3 und hat sich bei verbesserten kurzstrohigen Sorten auf 0.5 gesteigert. Daraus ergeben sich Erträge zwischen drei und zehn Tonnen pro Hektar (ebd.). Unter besten Standortbedingungen in tropischen Regionen konnten bereits 1995 10 t/ha Ertrag erreicht werden (Khush 1995). Damals glaubte man Sorten mit einem Ertragspotential von 15 t/ha züchten zu können. Moderne Hybridsorten erreichen heute über 12 t/ha (Huang et al. 2011b).

2.3 Reis-Anbaumethoden

Der Reisanbau kann nach dem Kriterium des Wasserhaushalts in verschiedene Produktionssysteme eingeteilt werden (GRiSP 2013). Einerseits gibt es „lowland“ Reis, welcher künstlich geflutet oder vom Niederschlag abhängig, angebaut wird. Traditionell wird in diesen Anbausystemen der Reis verpflanz. Aber auch die Direktsaat in trockene oder feuchte Böden findet immer mehr Verbreitung. „Irrigated lowland“ ist die Anbaumethode, welche auf rund 50% der weltweiten Reisfläche praktiziert wird, aber für 75% des Ertrags verantwortlich ist. Angebaut in von Überschwemmungen gefährdeten Lagen, existiert der „flood-prone“

Reis, der teilweise bis zu über einem Meter überflutet wird. Als letzte Anbaumethode gibt es noch den „upland“ Reis. Er wird unter verschiedensten Umweltbedingungen angebaut und wird meist direkt gesät und nicht geflutet (ebd.).

Grundsätzlich kann die Entwicklung von Reis auf alle Anbaumethoden übertragen werden. Es gibt jedoch einige kleine Unterschiede. Laut Yoshida (1981) ist die Bestockung bei direktgesätem Reis weniger wichtig. Jede Pflanze produziert zwei bis fünf Triebe, während verpflanzter Reis 10-30 Triebe pro Pflanze erreicht. Koutroubas und Ntanos (2003) konnten in ihrem Versuch zeigen, dass über 50% der gesamten Ertragsvariation zwischen fünf Reissorten durch die Anzahl Rispen pro m² erklärt werden konnte. Die Bestockungsfähigkeit einer Sorte war damit hauptverantwortlich für die Ertragsvariation.

Aber auch die Abreife ist leicht verschieden innerhalb der gleichen Sorte zwischen gesätem und verpflanztem Reis. Aufgrund der Störung der Wurzeln bei der Verpflanzung, hat diese Anbaumethode etwa eine Woche länger, bis sie die Reife erreicht (Yoshida 1981).

Bei Untersuchungen zu Ertragsunterschieden zwischen direktgesätem und verpflanztem Reis in Thailand über drei Jahre, konnten keine eindeutigen Unterschiede zwischen der Verfahren festgestellt werden (Naklang et al. 1996). In der Direktsaat wurde jedoch total mehr Trockenmasse produziert. Hayashi et al. (2007) wiederum zeigten signifikante Interaktionen zwischen Verfahren und Sorte. Im Setzlingsverfahren erzielten Sorten mit vielen Rispen höhere Erträge. Die Anzahl Ährchen pro Rispe stellten sich in der Direktsaat als hauptverantwortlich für den Ertrag heraus (ebd.).

Chen et al. (2009) stellten ein höheres Tausendkorngewicht und mehr Triebe pro Pflanze bei direktgesäten Reissorten fest. Kornertrag und Rispen pro Quadratmeter waren neben anderen Parametern, im Vergleich zu Setzlingen, wiederum niedriger. Bei der Anzahl Körner pro Rispe und dem Stängel- und Blattgewicht konnten kaum Unterschiede festgestellt werden. Wiederum zeigten sich jedoch erhebliche Sortenunterschiede (ebd.).

Sortenabhängige Unterschiede zeigten auch die Untersuchungen von Dingkuhn et al. (1991). Frühreife Sorten erreichten als Direktsaat höhere Erträge als mittel- oder spätreife Sorten. Wachstum und Entwicklung waren gebremst bei verpflanzten Sorten, ebenso wie Bestockung und Blattwachstum. Dies wurde von den Autoren auf den Schock bei der Verpflanzung zurückgeführt. Als Setzlinge erzielten die mittel- und spätreifen Sorten jedoch höhere Erträge als der direktgesäte Reis. In dieser Untersuchung erreichte direktgesäter Reis jeweils einen höheren LAI, und auch eine höhere Trockensubstanz-Menge. Dingkuhn et al. folgerten, dass eine hohe Biomasse während der Blüte die Ertragsbildung vor allem bei spätreifen Sorten behindert.

In einer neueren Untersuchung aus China zeigten sich, im Gegensatz zu den vorhergehend behandelten Versuchen, keine Sortenunterschiede (Liu et al. 2015). Der Ertrag bei Direktsaat war vergleichbar mit dem Ertrag bei verpflanztem Reis. Die Anzahl Rispen pro Quadratmeter wurden als Hauptgrund für Ertragsunterschiede innerhalb des Verfahrens Direktsaat eruiert (ebd.). Bei einem ebenfalls in China angelegten Versuch mit nur einem Genotyp, zeigten sich keine Ertragsunterschiede zwischen Direktsaat und Verpflanzung über die Versuchsjahre hinweg (Huang et al. 2011a). Direktsaat produzierte mehr Rispen pro m², aber weniger Ährchen pro Rispe als die Setzlinge. Die Anzahl Ährchen pro m² und das TKG war zwischen den beiden Verfahren nicht signifikant verschieden. Die hohe Anzahl Rispen pro m² entstand durch die hohe Triebdichte und weniger durch eine erhöhte Anzahl rispentragender Halme pro m² (ebd.).

Hossain et al. (2002) erzielten in ihrem Versuch durchwegs höhere Erträge in verpflanztem Reis, unabhängig von den Sorten, gegenüber direktgesätem Reis. Mitchell et al. (2004) stellten zwar ebenfalls einen um 6% geringeren Ertrag in Direktsaat-Reis fest. Abschliessend bemerkten sie jedoch, dass sowohl Direktsaat als auch verpflanzter Reis bei einer guten Bewirtschaftungspraxis vergleichbare Erträge erzielen können (ebd.).

2.4 Reis in der Schweiz

Bereits in den 1930er Jahren wurde im Süden der Schweiz versucht, Reis im Nassverfahren anzubauen (Walter 2019, persönliche Mitteilung). Rund 60 Jahre später versuchte man es am gleichen Standort erneut, jedoch im Trockenanbau auf rund zwei Hektar. Heute wird im Tessin auf einer Fläche von 90 ha knapp 400 t Rohreis der Sorte Loto produziert. Ab 2010 versuchten auch mehrere Schweizer Landwirte nördlich der Alpen Trockenreis zu kultivieren (ebd.). Erste Tastversuche mit Reisanbau im Nassverfahren in der Nordschweiz wurden 2017 gemacht (Jacot et al. 2018). Unterstützt vom Kanton Solothurn wurden in Zusammenarbeit mit dem Landwirt Hans Mühlheim sowohl Setzlinge als auch direkt gesäter Reis in der „Grenchner Witi“ angebaut. Ein Jahr später wurde der Versuch auf einer grösseren Fläche in Schwadernau wiederholt. Wie bereits 2017 war besonders der Setzlingsanbau mit einem hochgerechneten Ertrag von bis zu 8 Tonnen Rohreis pro Hektar von Erfolg gekrönt. Reisanbau im Nassverfahren stellte sich als erfolgsversprechend nicht nur für die Produktion, sondern auch für die Biodiversität heraus. 2019 wurde deshalb das Projekt auf mehrere Standorte im Schweizer Mittelland ausgedehnt.

3 Material und Methoden

3.1 Standorte

Das Klima der Nordschweiz ist ein Gemässiges, welches stark vom Atlantik und den Alpen geprägt ist (MeteoSchweiz 2018). Um die regionalen klimatischen Unterschiede sowie den Einfluss verschiedener Bodentypen untersuchen zu können, wurden zwei hinsichtlich dieser Faktoren möglichst unterschiedliche Versuchsstandorte im Kanton Aargau (Brugg) und im Kanton Waadt (Bavois) gewählt (Abb.1-3). Neben den zwei Versuchsparzellen wurde auf vier weiteren Parzellen Reis im Nassverfahren angebaut, welche in dieser Arbeit jedoch nicht berücksichtigt werden.



Abbildung 1 Karte der Schweiz mit den beiden Versuchsstandorten gelb markiert (Quelle: Google Maps 2019)



Abbildung 2 Versuchsstandort Bavois (46°41'N, 6°33'E, 447 m ü. M.)



Abbildung 3 Versuchsstandort Brugg (47°29'N, 8°14'E, 336 m ü. M.)

3.1.1 Brugg

Der Versuchsstandort Brugg ist sowohl für Acker- als auch Futterbau eine begünstigte Lage (Swisstopo 2019). Durch seine Lage direkt beim Zusammenfluss von Aare, Limmat und Reuss, ist er sehr gut geeignet für auf Bewässerung angewiesene Kulturen. Im Mittel über zehn Jahre beträgt die durchschnittliche Jahrestemperatur 10.4°C (Agrometeo 2019). Der Mai 2019 war jedoch aussergewöhnlich kalt mit Frostnächten (Abb.4). Mit einem pH von 7.9 ist der Boden der Versuchsparzelle alkalisch, schwach humos (4% Humus) und wird als Lehm kategorisiert (vgl. Anhang 2).

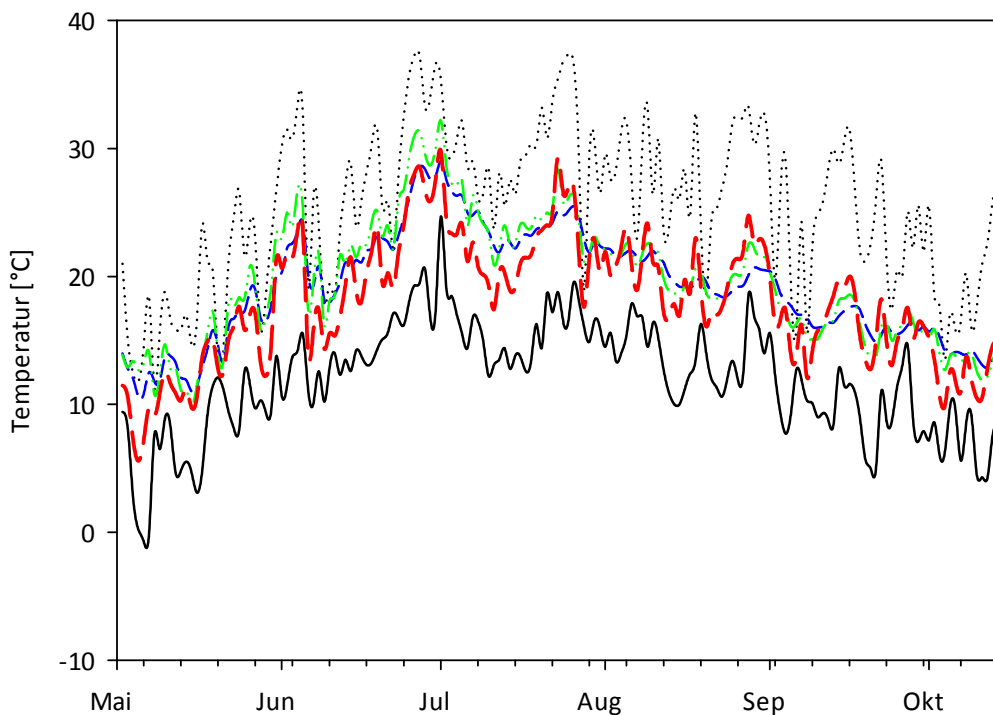


Abbildung 4 Minimale und maximale Lufttemperatur in Brugg zwischen Mai und Oktober 2019. Die rote Linie zeigt die mittlere Tages-Lufttemperatur. Die grüne, respektive blaue Linie zeigt die durchschnittliche Boden- und Wassertemperatur.

3.1.2 Bavois

Der Standort Bavois ist gemäss Geoinformationsportal der Schweizerischen Eidgenossenschaft eine für Ackerbau und Spezialkulturen begünstigte Lage (Swisstopo 2019). Gemäss Betriebsleiter ist die Versuchsfäche sehr homogen (Salzmann 2019, persönliche Mitteilung). Der Boden zeichnet sich als ehemaligen Moorstandort mit 12% Humusanteil, durch einen sehr hohen Gehalt an organischer Substanz aus (vgl. Anhang 2). Das Jahresmittel der Lufttemperatur über zehn Jahre beträgt 11°C und ist damit mit dem Standort Brugg vergleichbar (Agrometeo 2019). Wie auch in Brugg gab es im Mai aussergewöhnliche Frostereignisse (Abb. 5).

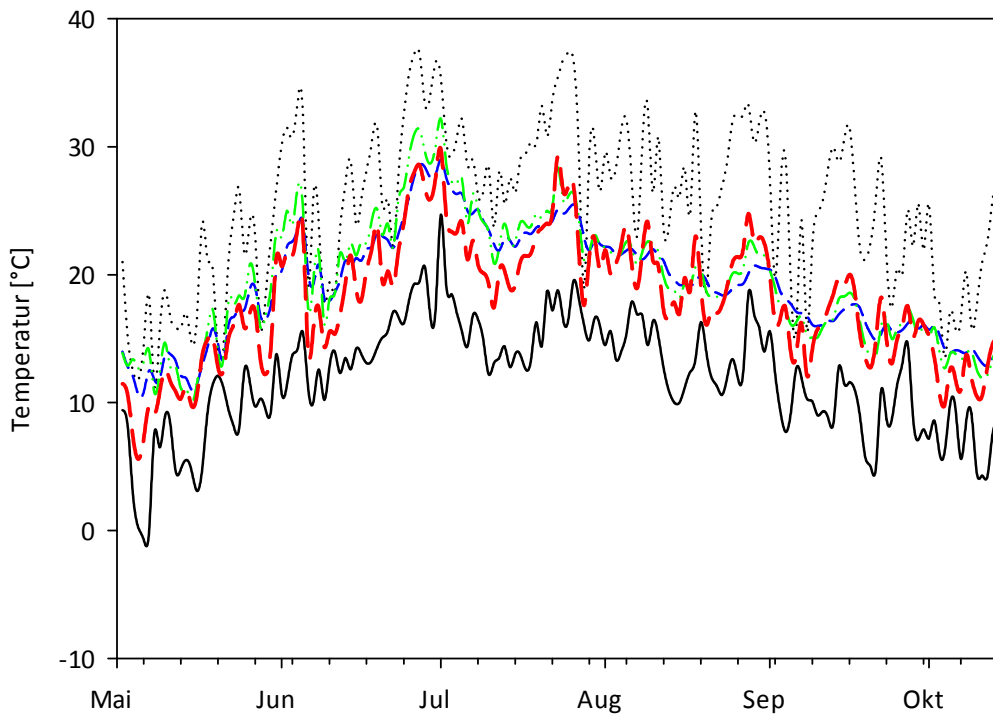


Abbildung 5 Minimale und maximale Lufttemperatur in Bavois zwischen Mai und Oktober 2019. Die rote Linie zeigt die mittlere Tages-Lufttemperatur. Die grüne, respektive blaue Linie zeigt die durchschnittliche Boden- und Wassertemperatur.

3.2 Sonden

Wetterparameter wurden mit Tinytag Plus 2 Datenloggern auf den Versuchsflächen aufgezeichnet (Abb.6). Luftfeuchtigkeit und Lufttemperatur wurden direkt im Bestand ein Meter ab Boden gemessen. Die Bodentemperatur wurde 10 cm im Boden gemessen und die Wassertemperatur direkt auf der Bodenoberfläche. Auf Grund von Kondenswasser auf den Sensoren, konnten die Daten zur Luftfeuchtigkeit leider nicht verwendet werden.



Abbildung 6 Logger in Brugg

3.3 Verwendete Sorten

Insgesamt wurden vier unterschiedliche Reissorten getestet. Einerseits wurde die bereits in den vorherigen Jahren angebaute Sorte „Loto“ und eine neuere, auf dieser Sorte basierende Züchtung namens „Onice“ ausgewählt. Loto wurde via einem Schweizer Saatguthändler direkt aus Italien importiert. Onice stammt von Bertone Sementi (Terruggia, Italien). Zudem sollten mit „Paty“ und „Manobi“ auch zwei französische Sorten getestet werden. Diese wurden vom Centre français du riz in Arles zur Verfügung gestellt. Bei der Sortenwahl wurde besonders auf die Frühreife geachtet. Mit Paty sollte zudem neben den Risottosorten auch ein Langkornreis im Versuch stehen.

3.3.1 Loto

Die Sorte Loto zeichnet sich vor allem durch ihre Frühreife und die guten Verarbeitungseigenschaften aus (SIS 2019). Sie ist als „Lungo A“ klassifiziert und gehört damit zu den Risottotypen. Sie wird als resistent gegen Lagerung, und als mittelresistent gegen die Krankheiten *Bipolaris Oryzae* und *Pyricularia Oryzae* eingestuft. Bei einem Tausendkorngewicht von 31 Gramm, wird eine Saatmenge von 190-220 kg/ha empfohlen. In ihrem angestammten Anbaugebiet in Italien wird mit einer Vegetationsperiode von 132 Tagen gerechnet, was als frühreif gilt. Ihr wird eine gute Kältetoleranz während Keimung und Blüte attestiert (Viana 2019). Durchschnittlich wird Loto 76 cm hoch.

3.3.2 Onice

Onice ist eine Weiterzüchtung von Loto und gehört ebenfalls zur Kategorie Lungo A. In dieser Kategorie gehört sie in Italien zu den produktiveren Sorten (Bertone sementi 2019). Sie erreicht eine Wuchshöhe von bis zu 96 cm. Wie Loto, zählt auch Onice zu den frühreifen Sorten und weist eine hohe Toleranz gegen Lagerung auf. Ente Nazionale Risi (2016) geht in Norditalien von einer Vegetationsdauer von 135 Tagen aus. Onice ist resistent gegen *Bipolaris Oryzae* und weist auch eine erhöhte Toleranz gegenüber *Pyricularia Oryzae* auf. Das TKG liegt zwischen 33 und 35 Gramm. Die empfohlene Saatmenge beträgt 190-200kg/ha (Bertone sementi 2019)

3.3.3 Paty

Paty ist eine französische Züchtung aus dem Jahr 2014. Sie gehört als einzige in dieser Thesis getestete Sorte in die Kategorie Lungo B und ist somit ein Langkornreis. Diese Sorte ist eher kurzstrohig mit einer Höhe von 69 cm. Mit 84 Tagen von der Saat bis zum Rispenschieben gehört sie zu den frühreifen Sorten. Sie weist eine hohe Toleranz gegenüber Lagerung auf. Empfohlen wird eine Saatmenge von 162 kg/ha um eine Saatstärke von 600 Körner/m² bei einem TKG von 27 g zu erreichen (Centre français du riz 2019).

3.3.4 Manobi

Manobi stammt ebenfalls aus Frankreich und ist mit 91 Tagen von der Saat bis zum Rispenschieben als mittelfrühe Sorte eingestuft. Sie weist eine mittlere Korngröße auf. Manobi wächst mit 79 cm etwas höher auf als Paty, und ist dadurch auch leicht anfälliger auf Lager. Für eine Saatstärke von 600 Körner/m² werden 210 kg/ha an Saatgut benötigt. Das TKG liegt laut Semences de Provence (2019) bei 35.5 g. Manobi gilt als Sorte mit hohem Ertragspotential und verfügt über eine sehr gute Toleranz gegenüber *Pyricularia Oryzae* (Centre français du riz 2019).

3.4 Verfahren und Versuchsmanagement

Die Versuche wurden als randomisierte vollständige Blockanlage mit den beiden Faktoren Sorte und Anbauverfahren angelegt. Der Faktor Sorte war vier-, der Faktor Anbau zweistufig (vgl. Anhang 1). Einige Wochen vor der Saat, respektive Pflanzung, wurden die Parzellen durch die Firma scraper.ch nivelliert. So sollte eine gleichmässige Wasserverteilung sichergestellt werden. Bis zur Saat konnte sich der Boden durch die frühe Bearbeitung wieder etwas absetzen.

3.4.1 Direktsaat

Gesät wurde in Bavois am 1. Mai 2019 mit einer Saatkombination bestehend aus einer Kverneland Accord Pneumatic DA und einer Amazone KE 303 170. Als Traktor wurde ein John Deere 6130R eingesetzt. Die Kreiselegge bearbeitete den Boden 2 cm tief. Auf dieser Tiefe wurde auch das Saatgut abgelegt. Die Saatlösung betrug 360 Körner/m² für die Sorten Loto, Manobi und Onice und 580 Körner/m² für Paty. Die höhere Saatlösung von Paty wurde auf Grund der geringeren Keimfähigkeit der Sorte gewählt.

In Brugg konnte nicht maschinell gesät werden, da keine Maschine für Kleinmengen vorhanden war. Am 2. Mai 2019 wurden die Versuchspartellen jedoch mit einer Saatkombination, bestehend aus einer Pöttinger Kreiselegge und einer Pöttinger Sämaschine, mit einem Fendt 313 befahren. Die Kreiselegge bearbeitete den Boden 2 cm tief und die Sämaschine zog die Saatrillen. So konnte am 3. Mai 2019 von Hand in die vorgezogenen Rillen gesät werden, mit den gleichen Saatlösungen wie in Bavois. Das Saatgut wurde nach der Saat mit einem Handrechen leicht überdeckt.

3.4.2 Setzlinge

Am 26. März 2019 (Loto, Manobi, Paty) beziehungsweise am 28. März 2019 (Onice) wurde mit der Setzlingsanzucht im Gewächshaus von Agroscope am Standort Reckenholz begonnen. Das Saatgut wurde in Saatschalen zu 273 Töpfen ausgesät. Anschliessend wurden die Setzlinge bei durchschnittlich 20°C und einmal wöchentlicher Düngung mit Wuxal bis zur Auspflanzung im Gewächshaus belassen.

In Bavois wurden die Setzlinge am 6. Mai 2019 von Hand in einem Abstand von 20 x 20 cm verpflanzt. Dies ergab eine Bestandesdichte von 25 Pflanzen pro Quadratmeter. Dies ist ein üblicher Wert von verpflanztem Reis (Fagade und Datta 1971). Besonders Bavois litt unter Bodenfrost, der in der Nacht nach der Pflanzung auftrat. Trotz Überdecken der Setzlinge mit einem Vlies, erlitten im südlichen Teil der Parzelle viele Setzlinge einen bleibenden Schaden und wurden am 30. Mai ersetzt (vgl. Anhang 1). Diese später gepflanzten Setzlinge wurden in der Auswertung als drittes Verfahren betrachtet (mit jeweils drei statt vier Wiederholungen). Für die Anzucht dieser Setzlinge wurden die Reissamen im Klimaschrank auf nassem Vliespapier

zwei Tage bei 25°C (nachts 20°C) und 80% relativer Luftfeuchtigkeit vorgequollen und anschliessend 19 Tage im Gewächshaus angezogen.

Zeitgleich mit der Aussaat wurde in Brugg am 3. Mai 2019 gepflanzt. Die Bestandesdichte lag wie in Bavois bei 25 Pflanzen pro m². Auch in Brugg überlebten pro Elementarparzelle (15 m²) zwischen 10 und 90 Setzlinge nicht. Dies war aber ein Verlust, der eher auf Schäden beim Verpflanzen zurückzuführen war. Der Schaden durch Bodenfrost konnte durch ein doppelt gelegtes Vlies verhindert werden. Nur zwei Elementarparzellen wurden hier am 31. Mai nachgepflanzt (vgl. Anhang 1).

3.4.3 Versuchsmanagement

Nach der Pflanzung beziehungsweise Saat, wurde der Boden konstant feucht gehalten, bis der Reis eine Höhe von 10 cm erreicht hatte. Anschliessend wurde das gesamte Feld an beiden Standorten geflutet, wobei der Wasserstand die 5 cm-Marke während der Vegetationsperiode nie mehr unterschritt. In Bavois stammte das Wasser aus Drainageleitungen, welche in einem Meter Tiefe verlaufen. Dadurch war das Bewässerungswasser relativ kühl. In Brugg wurde das Wasser direkt aus der Aare entnommen. Zusätzlich wurde am Feldrand direkt beim Wasserzufluss ein Graben von drei Metern Breite zur Biodiversitätsförderung angelegt. Dadurch konnte sich das Wasser dort zusätzlich erwärmen, bevor es ins Reisfeld floss. Am 30. August wurde in Bavois die Flutung definitiv gestoppt. In Brugg wurde das Wasser am 28. September aus dem Feld abgepumpt. Während dikotyle Pflanzen kaum ein Problem darstellten, wuchsen verschiedene Hirsearten in grosser Zahl im Versuch und in der Reisfläche der Produzenten. Die Hirse, insbesondere die Hühnerhirse, wurde innerhalb des Versuches regelmässig von Hand entfernt. Es wurden an beiden Standorten weder Pflanzenschutzmittel noch Dünger appliziert.

3.5 Erhebungen

3.5.1 Nicht-destruktive Erhebungen während der Vegetationsperiode

Während der Vegetationsperiode wurden alle drei Wochen Pflanzenhöhe, BBCH, Anzahl Triebe und Blattflächenindex erhoben. Für die Messung in den Setzlingsparzellen wurde für die Bestimmung der Pflanzenhöhe jeweils drei Pflanzen zufällig ausgewählt. Dieselben drei Pflanzen wurden anschliessend auch für die destruktiven Erhebungen herangezogen. In den Direktsaatparzellen wurden die Triebe jeweils auf 20 cm innerhalb einer Saatreihe an drei zufällig gewählten Stellen gezählt und der Haupttrieb an diesen Stellen zur Bestimmung der Pflanzenhöhe herangezogen.

Der Blattflächenindex wurde mit einem LAI-2200C Plant Canopy Analyzer von LI-COR gemessen. Um den spezifischen Charakteristika der Kultur gerecht zu werden, wurde ein View Cap mit 90° Winkel benutzt und jeweils in allen vier Ecken einer Elementarparzelle ein A- und ein B-Reading gemacht.

3.5.2 Destruktive Erhebungen während der Vegetationsperiode

Um die spezifische Blattfläche (SLA) zu bestimmen, wurden viermal während der Vegetationsperiode Proben entnommen. Mit der destruktiven Beprobung wurde ab Bestockung begonnen.

Bei drei Blättern des gewählten Haupttriebs wurden Länge und Breite vermessen. Anschliessend wurden Stängel, vermessene und restliche Blätter separat getrocknet, um das Trockengewicht bestimmen zu können (105°C während 24 h). Die spezifische Blattfläche wurde berechnet mit der Formel:

$$SLA = (A / m) / 10$$

A stellt die gemessene Blattfläche dar (Länge x Breite x 0.75) und m die Trockensubstanz der vermessenen Blätter (Fageria 2007). Auf Grund der in Bavois durch Bodenfrost verringerten Probefläche wurde beschlossen, an diesem Standort in den Setzlingsparzellen nur noch nicht-destruktive Erhebungen zu machen.

3.5.3 Ertragskomponentenerhebung

Zeitgleich mit dem Erntetermin der einzelnen Elementarparzellen wurden auch Proben für die Ertragskomponentenerhebung genommen. Pro Setzlingsparzelle wurden drei Pflanzen inklusive Stroh geerntet. In den Direktsaatparzellen wurde die Probe auf einer Fläche von 0.6 x 0.6 m entnommen. Bei jeder beprobten Pflanze beziehungsweise Probefläche, wurden zusätzlich Anzahl Triebe und Anzahl Rispen gezählt. Die Körner wurden von Hand in fertile und sterile unterteilt. Pro Kategorie wurden jeweils 100 Körner gewogen und mittels Gesamtgewicht der Probe die Sterilität (S) berechnet.

$$S = \text{Anzahl sterile Körner} / \text{Anzahl Körner Total}$$

3.5.4 Ertragserhebung

Auf jeder Elementarparzelle wurden 75 Pflanzen respektive drei zufällig gewählte Quadratmeter (ohne Rand) komplett geerntet, getrocknet und gewogen, um den Gesamtertrag pro Sorte bestimmen zu können. Der Ertrag wurde als gereinigter Kornertrag mit 14% Feuchtigkeit dargestellt. Zudem wurde das Stroh aus der Ertragskomponentenerhebung getrocknet und gewogen, um daraus den Harvest Index berechnen zu können. Die Formel für den Harvest Index (HI) lautet:

$$HI = \text{Korngewicht} / \text{Gewicht gesamte Biomasse}$$

3.6 Statistische Auswertung

Erhobene Daten wurden mit einem General Mixed Model mit NCSS 9 auf statistische Unterschiede hin getestet (NCSS LLC. 2013). Um die Unterschiede zwischen den einzelnen Verfahren zu bestimmen, wurde der Tukey-Kramer-Multiple-Comparison-Test angewendet. Regressionskoeffizienten wurden mit MS Office Excel 2013 berechnet.

4 Ergebnisse

4.1 Phänologie

Auf Grund des dreiwöchigen Erhebungsintervalls sind die in Tabelle 1 dargestellten Zahlen eher unpräzis. Die Blüte wurde oft zum gleichen Zeitpunkt bonitiert, obwohl phänologisch vermutlich grössere Unterschiede zwischen den Verfahren und Sorten vorhanden gewesen wären. Deshalb wurde auf eine statistische Auswertung verzichtet. Trotzdem ist ersichtlich, dass die Setzlinge tendenziell früher die Blüte erreichten als die gleichen Sorten als Direktsaat (Tab. 1+2). Das gleiche Muster bestätigt sich auch bei der Ernte, ausgenommen die Sorte Manobi. Manobi reifte auch als Setzling nur schwer ab und erreichte entsprechend die Blüte ebenfalls spät. Da die Sorte Paty einen starken Krankheitsbefall aufgewiesen hat, wurde diese Sorte zum gleichen Zeitpunkt komplett aus dem Feld entfernt, unabhängig vom Anbauverfahren (Abb.7). Bei der Krankheit handelte es sich vermutlich um *Pyricularia Oryzae* (Boisnard 2019, persönliche Mitteilung).



Abbildung 7 Paty mit Krankheitsbefall am Standort Bavois Mitte September

Tabelle 1 Anzahl Tage von der Saat/Verpflanzung bis zur Blüte am Standort Brugg nach Anbauverfahren und Sorte

Brugg								
Zeitpunkt	Loto		Onice		Paty		Manobi	
	Direkt-saat	Setz-linge	Direkt-saat	Setz-linge	Direkt-saat	Setz-linge	Direkt-saat	Setz-linge
Blüte	106	103	106	103	106	103	125	125
Ernte	165	140	165	140	140	140	165	165

Am Standort Bavois zeigt sich anhand der später gepflanzten Setzlinge auch, dass diese trotz dem deutlich späteren Pflanztermin, zeitgleich mit den früh gepflanzten Setzlingen blühten und auch entsprechend geerntet werden konnten (Tab.2).

Tabelle 2 Anzahl Tage Saat/Verpflanzung bis Blüte Standort Bavois nach Anbauverfahren und Sorte (DS = Direktsaat, S = Setzlinge, S spät = Setzlinge späterer Pflanztermin)

Bavois												
Zeitpunkt	Loto			Onice			Paty			Manobi		
	DS	S	S spät	DS	S	S spät	DS	S	S spät	DS	S	S spät
Blüte	127	104	77	124	104	80	121	98	77	124	104	77
Ernte	166	141	117	166	161	137	146	141	117	166	161	137

4.2 Wachstum

4.2.1 Pflanzenhöhe

An beiden Standorten traten signifikante Unterschiede in der Höhe der Pflanzen in erster Linie zwischen den beiden Anbauverfahren auf. Am Standort Brugg waren am 31. Mai die Setzlinge aller Sorten mit durchschnittlich 10.6 cm signifikant grösser als die Direktsaat mit 3.2 cm. Ab Mitte Juni konnten am Standort Brugg auch signifikante Sortenunterschiede festgestellt werden. Paty war mit durchschnittlich 15.8 cm beispielsweise signifikant grösser als die Sorten Loto und Manobi. Zur Blüte hin verlor sich dieser Unterschied kurz. Gegen Ende der Vegetationsperiode war er jedoch wieder festzustellen. Die Anbauverfahren blieben stets signifikant verschieden voneinander (Abb.8).

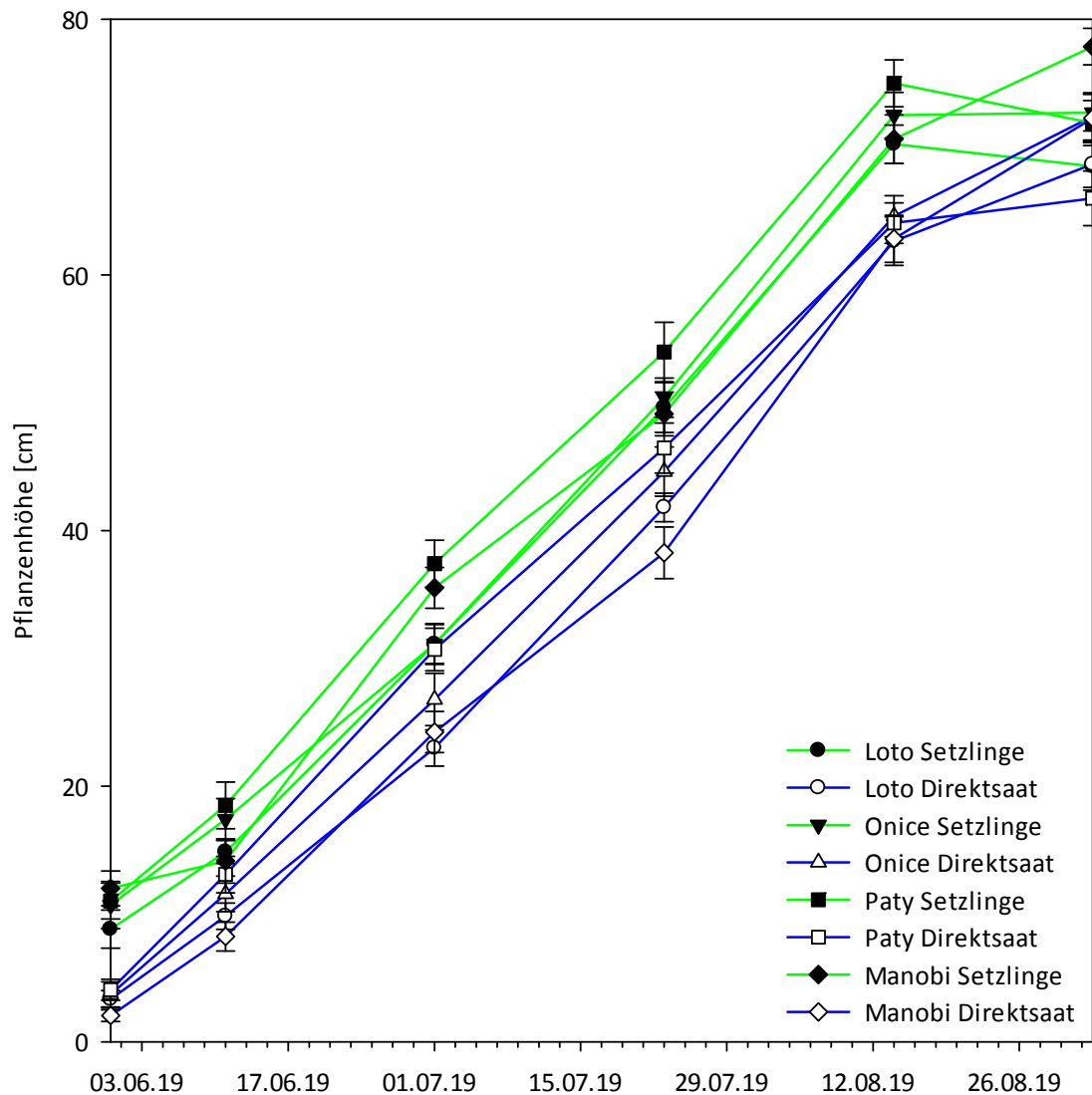


Abbildung 8 Pflanzenhöhe aller vier Sorten und beider Verfahren am Standort Brugg. Direktsaat in Blau, Setzlinge in Grün.

In Bavois konnte bereits ab den ersten Messungen signifikante Unterschiede sowohl zwischen den Sorten als auch zwischen den Anbauverfahren festgestellt werden. Bei der letzten Erhebung war jedoch nur noch ein Unterschied zwischen den Sorten feststellbar. Erkennbar ist jedoch, dass die Unterschiede zwischen den Verfahren weniger genau abgrenzbar sind im Vergleich zum Standort Brugg (Abb.9). Während zu Beginn grafisch eine grössere Streuung erkennbar ist, gleichen sich Verfahren und Sorten im Verlauf der Vegetation zunehmend einander an. Die grösseren Pflanzen der späteren Setzlinge bei der ersten Messung lassen sich vermutlich durch eine verbesserte Anzucht im Gewächshaus im Vergleich zur ersten Charge Setzlinge erklären. Direktsaat blieb fast über die gesamte Vegetationsperiode hinweg signifikant kleiner als die späten und teilweise auch als die frühen Setzlinge.

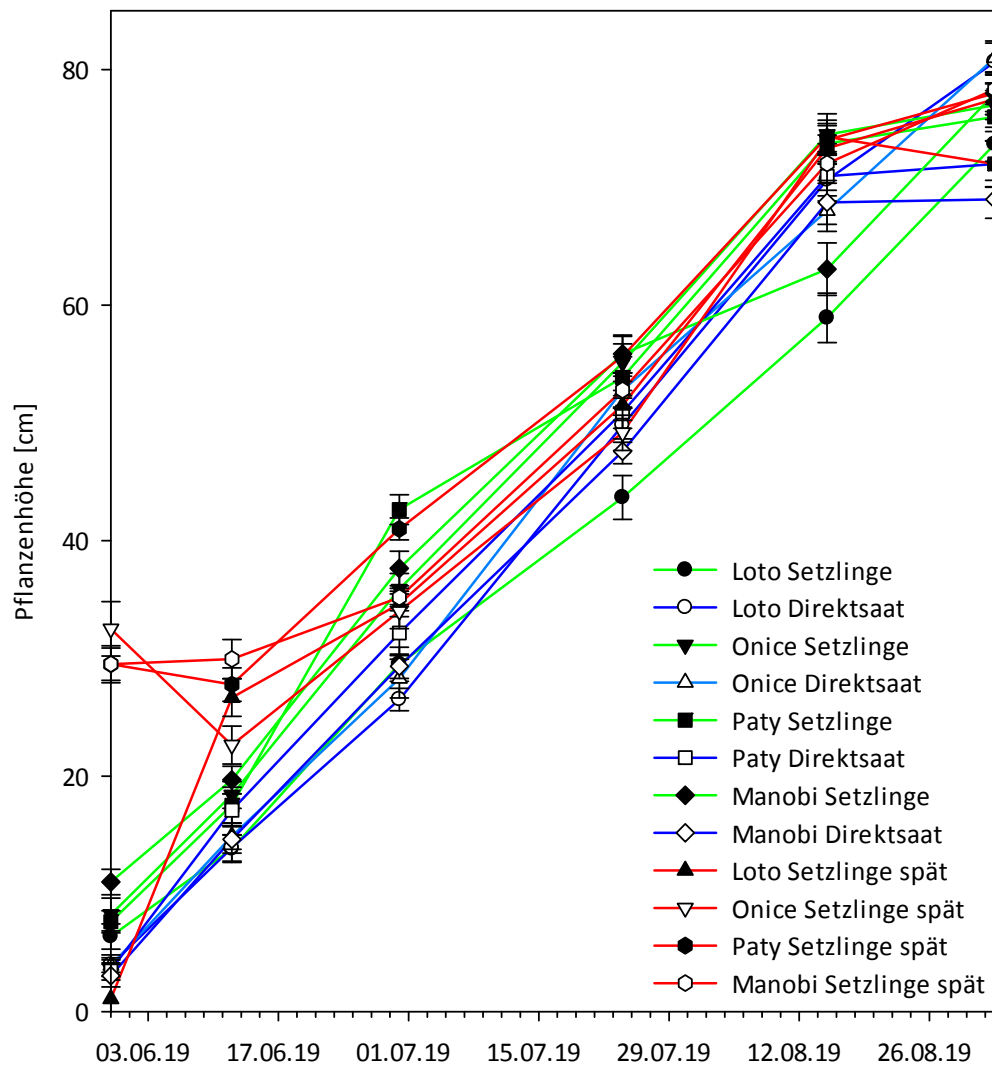


Abbildung 9 Pflanzenhöhe am Standort Bavois aller Sorten und der drei Verfahren. In Grün Setzlinge, in Blau Direktsaat und in Rot Setzlinge später gepflanzt.

4.2.2 Triebdichte

Auf Grund von Messungenauigkeiten wurden aus fünf Erhebungszeitpunkten zwei ausgewählt zur statistischen Darstellung (Tab. 3+4). An beiden Standorten wurden, bis auf die Sorte Manobi am Standort Brugg, signifikante Unterschiede in der Bestandesdichte zwischen Direktsaat und Setzlingen bei der ersten dargestellten Erhebung festgestellt. Das Anbauverfahren Direktsaat wies am Standort Brugg mit durchschnittlich 539 eine signifikant höhere Triebdichte pro m² auf im Vergleich zu Direktsaat mit 240 Trieben/m². Mitte August war an diesem Standort statistisch gesehen kein Unterschied mehr vorhanden.

Tabelle 3 Triebdichte pro m² zu zwei Erhebungszeitpunkten am Standort Brugg nach Verfahren und Sorte

Brugg								
Zeitpunkt	Loto		Onice		Paty		Manobi	
	Direkt-saat	Setz-linge	Direkt-saat	Setz-linge	Direkt-saat	Setz-linge	Direkt-saat	Setz-linge
01. Juli	637aA	260aB	617aB	279aA	550aA	219aB	351bA	202aA
14. Aug.	530aA	535aA	670aA	510aA	467aA	596aA	542aA	477aA
<i>Grossbuchstaben: Unterschiede zwischen den Verfahren, Kleinbuchstaben: Unterschiede zwischen den Sorten</i>								

Am Standort Bavois hingegen blieben beide Faktoren zu beiden Erhebungszeitpunkten signifikant voneinander verschieden. Direktsaat hatte sowohl am 30. Juni als auch am 15. August bei allen Sorten signifikant höhere Bestandesdichten als die anderen beiden Verfahren mit 878 respektive 1050 Trieben/m². Am 15. August hatten die anderen Verfahren bei den Sorten Onice und Manobi jedoch aufgeholt zu vergleichbaren Bestandesdichten. Bei Paty und Loto blieb die Bestandesdichte der Direktsaat mit 1440 beziehungsweise 1116 Trieben/m² jedoch signifikant höher in der Direktsaat. Dies zeigt, dass auch Sortenunterschiede vorhanden waren.

Tabelle 4 Triebdichte pro m² zu zwei Erhebungszeitpunkten am Standort Bavois nach Verfahren und Sorte (DS = Direktsaat, S = Setzlinge, S spät = Setzlinge späterer Pflanztermin)

Bavois												
Zeitpunkt	Loto			Onice			Paty			Manobi		
	DS	S	S spät	DS	S	S spät	DS	S	S spät	DS	S	S spät
30. Juni	900 aA	202 aB	425 aB	1137 aA	377 aB	364 aB	773 bA	327 aB	406 aB	703 bA	242 aB	339 aB
15. Aug.	1116 aA	383 aB	702 aA	930 bA	688 aA	653 aA	1440 aA	769 aB	539 aB	716 bA	642 aA	581 aA
<i>Grossbuchstaben: Unterschiede zwischen den Verfahren, Kleinbuchstaben: Unterschiede zwischen den Sorten</i>												

4.2.3 LAI (Leaf Area Index)

Zu Beginn der Vegetationsperiode konnten zwischen den Anbauverfahren am Standort Brugg noch Unterschiede zwischen den Verfahren festgestellt werden (Tab. 5). Manobi wies gegenüber allen Sorten in der Direktsaat mit 0.2 einen signifikant tieferen LAI auf. Auch als Setzling war der LAI von Manobi gegenüber den Sorten Paty und Onice signifikant kleiner (0.12), nicht jedoch gegenüber Loto. Zwischenzeitlich waren

die Unterschiede nicht mehr statistisch signifikant, um dann später in ähnlicher Weise Mitte August wieder aufzutreten. Zwischen den Verfahren innerhalb der Sorte, konnten vor allem bei Loto Unterschiede festgestellt werden, wobei Direktsaat mit 0.38, 2.77 und 2.53 jeweils bei allen drei Erhebungszeitpunkten signifikant höhere LAI-Werte erreichte.

Da am Standort Bavois auf Grund der zu kleinen Flächen nur im Direktsaat-Verfahren Messungen gemacht werden konnten, beschränkt sich hier der Vergleich auf die Unterschiede zwischen den Sorten. Erst Ende Juli stellte sich der erste signifikante Unterschied ein. Onice erreichte bei dieser Messung mit 3.37 einen signifikant höheren LAI gegenüber den anderen drei Sorten (Tab. 5). Später hatte die Sorte Manobi mit 2.47 einen signifikant tieferen Wert. Zum letzten Erhebungstermin erreichte nur noch Loto mit 5.07 einen signifikant höheren Wert gegenüber Paty und Manobi.

Tabelle 5 LAI an beiden Standorten zu vier Erhebungszeitpunkten bei allen Sorten. In Bavois konnte der LAI nur im Verfahren Direktsaat gemessen werden.

Brugg								
Zeitpunkt	Loto		Onice		Paty		Manobi	
	Direkt-saat	Setz-linge	Direkt-saat	Setz-linge	Direkt-saat	Setz-linge	Direkt-saat	Setz-linge
01. Juli	0.38aA	0.1bB	0.44aA	0.24aB	0.37aA	0.36aA	0.2bA	0.12bA
23. Juli	0.82aA	0.7aA	0.78aA	1.13aA	0.98aA	0.91aA	0.94aA	1.28aA
14. Aug.	2.77abA	1.64aB	3.08aA	1.79aB	1.86abA	1.37aA	1.7bA	1.96aA
02. Sept.	2.53aA	1.19aB	2.51aA	1.53aA	1.51aA	1.3aA	1.53aA	1.87aA
Bavois								
30. Juni	0.61 a	-	0.55 a	-	0.85 a	-	0.7 a	-
24. Juli	2.13 b	-	3.37 a	-	1.63 b	-	1.9 b	-
15. Aug.	4.04 a	-	3.93 a	-	3.2 a	-	2.47 b	-
02. Sept.	5.07 a	-	3.45 ab	-	2.53 b	-	3.45 b	-

Grossbuchstaben: Unterschiede zwischen den Verfahren, Kleinbuchstaben: Unterschiede zwischen den Sorten

4.2.4 SLA (Specific Leaf Area)

Zum Zeitpunkt der ersten Erhebung der SLA unterschieden sich die beiden Anbauverfahren am Standort Brugg signifikant voneinander. Die Direktsaat erreichte einen höheren SLA ($P < 0.05$) als das Setzlingsverfahren. Zwischen den Sorten konnte kein statistisch signifikanter Unterschied festgestellt werden (Abb. 10). Zum zweiten Erhebungszeitpunkt war der Faktor Verfahren knapp nicht mehr signifikant ($P = 0.07$). Bei den späteren Erhebungszeitpunkten zeigte sich jedoch wieder das gleiche Muster wie zuvor.

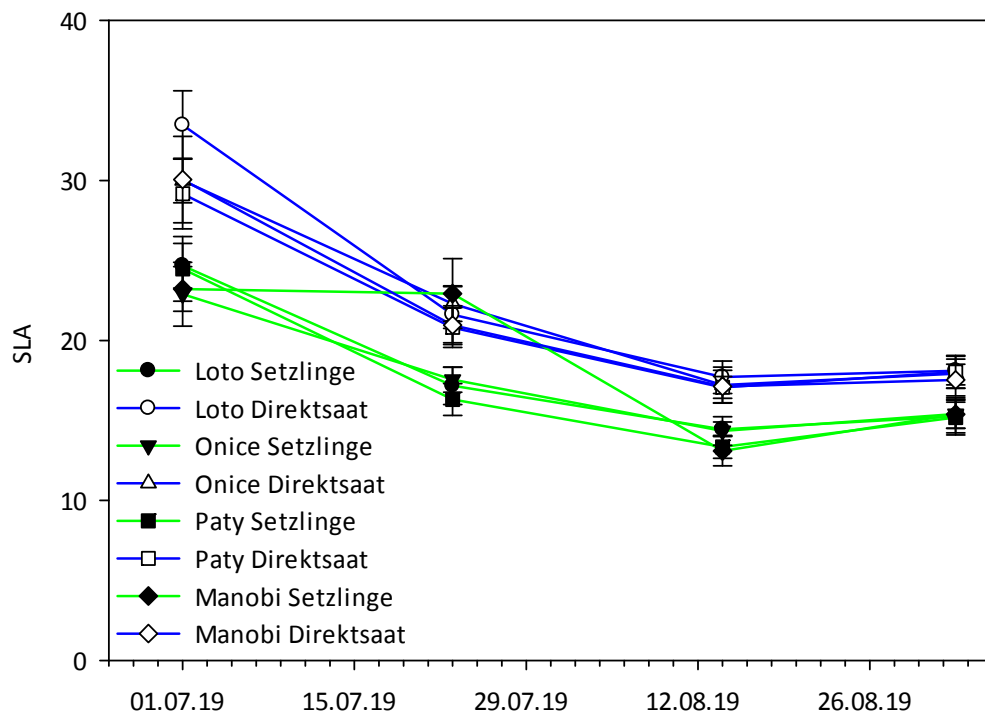


Abbildung 10 SLA am Standort Brugg. Linien in Grün repräsentieren die Sorten als Setzlinge, in Blau im Direktsaat-Verfahren.

Da in Bavois aufgrund der ausfallbedingt verkleinerten Versuchsfläche nur bei der Direktsaat destruktiv beprobt wurde, entfällt hier der Vergleich zwischen den Verfahren. Auch ist der Unterschied zwischen den Sorten nicht signifikant ($P = 0.26$) (Abb. 11).

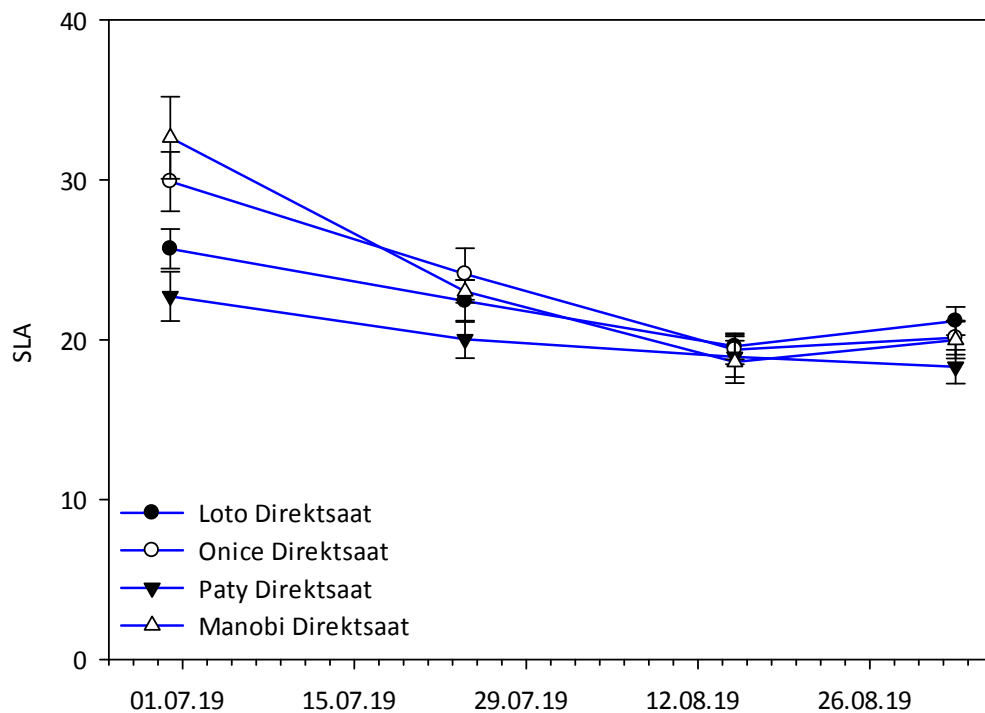


Abbildung 11 SLA am Standort Bavois, Verfahren Direktsaat mit allen vier Sorten

4.2.5 Blatt-Spross-Verhältnis

Das Blatt-Spross-Verhältnis wurde nicht statistisch ausgewertet, sondern ausschliesslich deskriptiv beschrieben. Am Standort Brugg fällt auf, dass die Sorte Manobi im Verfahren Setzlinge ein Verhältnis von über 2 zu Beginn der Messungen aufweist und der Unterschied über die Vegetationsperiode hinweg bestehen bleibt (Abb. 12). Am unteren Ende der Skala steht Loto, ebenfalls im Setzlingsverfahren. Die anderen Sorten und Verfahren weisen rein visuell ausgewertet kaum Unterschiede auf.

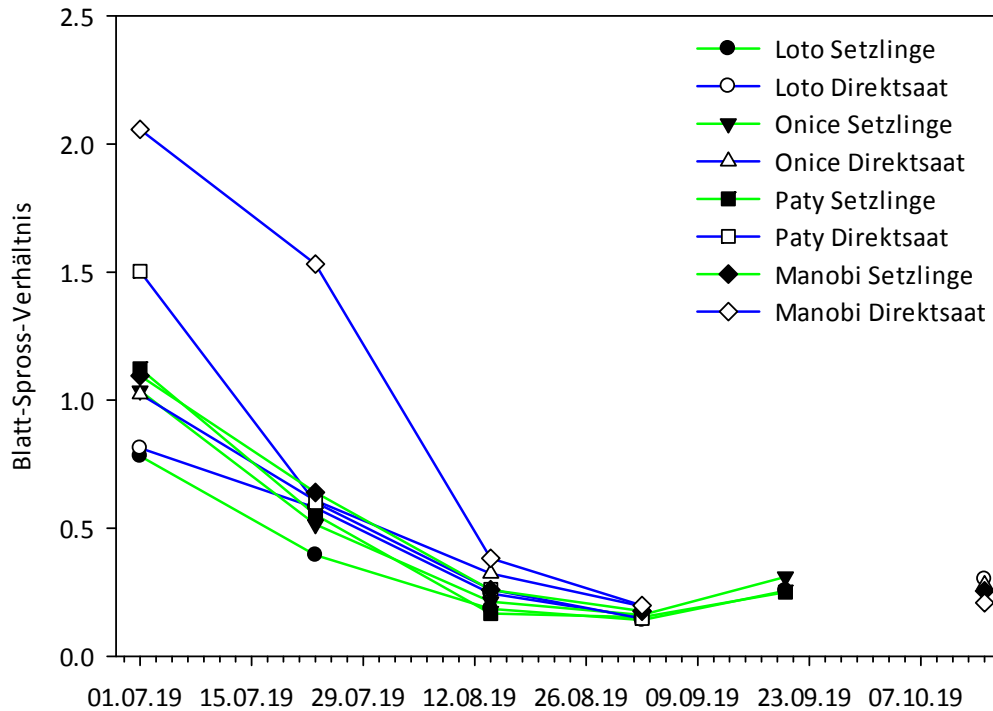


Abbildung 12 Blatt-Spross-Verhältnis am Standort Brugg von beiden Verfahren und allen Sorten

In Bavois wurde nur die Direktsaat destruktiv beprobt. Deshalb kann kein Vergleich zwischen den Verfahren angestellt werden. Visuell sind kaum Unterschiede zwischen den einzelnen Sorten erkennbar (Abb.13).

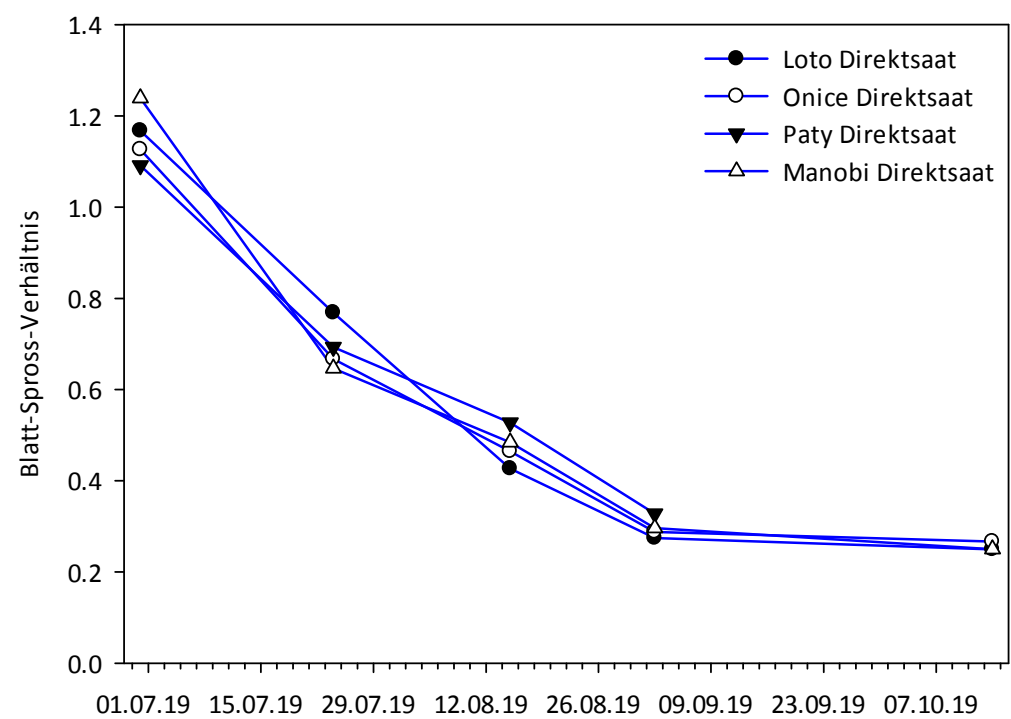


Abbildung 13 Blatt-Spross-Verhältnis am Standort Bavois für das Verfahren Direktsaat

4.3 Ertragskomponenten

4.3.1 Ährchen pro Rispe

Am Standort Brugg waren weder in Bezug auf das Anbauverfahren ($P = 0.54$), noch bezogen auf die Sorte ($P = 0.08$) statistisch signifikante Unterschiede feststellbar (Tab. 6). Es ist jedoch erkennbar, dass Onice als Direktsaat angebaut, tendenziell weniger Ährchen pro Rispe gebildet hat als die drei anderen Sorten. Paty erreichte in beiden Verfahren relativ hohe Werte, Manobi hingegen nur in der direktgesäten Variante.

Tabelle 6 Hochrechnung der Anzahl Ährchen pro Rispe beider Standorte (DS = Direktsaat, S = Setzlinge, S spät = Setzlinge späterer Pflanztermin)

Stand- ort	Loto			Onice			Paty			Manobi		
	DS	S	S spät	DS	S	S spät	DS	S	S spät	DS	S	S spät
Brugg	103	104	-	75	95	-	156	127	-	103	191	-
Bavois	122	109	95	68	86	84	111	130	141	95	128	112
	aA	aA	aA	bA	aA	aA	aA	aA	aA	aA	aA	aA
<i>Grossbuchstaben: Unterschiede zwischen den Verfahren, Kleinbuchstaben: Unterschiede zwischen den Sorten</i>												

Der Faktor Sorte war mit einem P-Wert von 0.01 am Standort Bavois signifikant, der Faktor Anbauverfahren hingegen nicht ($P = 0.45$). In Bavois unterschied sich die Sorte Onice im Direktsaatverfahren mit einer signifikant tieferen Anzahl Ährchen pro Rispe (68) von den anderen Sorten. Innerhalb der Sorten konnte zwischen den Verfahren jedoch kein signifikanter Unterschied festgestellt werden (Tab. 6).

4.3.2 Sterilität

Bei der Sterilität konnten an beiden Standorten einzig bei der Sorte Loto signifikante Unterschiede festgestellt werden. In Brugg war die Sterilität von Loto mit 21.2% bei Direktsaat und 30.1% bei Setzlingen signifikant tiefer als bei den anderen Sorten in den jeweiligen Verfahren. In Bavois war die Sterilität von Loto ebenfalls signifikant tiefer, jedoch nur in den Setzlingsverfahren mit 38.7 beziehungsweise 32.6% (Tab. 7).

Tabelle 7 Sterilität in Prozenten an beiden Standorten zu allen Verfahren und Sorten

Standort	Loto			Onice			Paty			Manobi		
	DS	S	S spät	DS	S	S spät	DS	S	S spät	DS	S	S spät
Brugg	21.2 bA	30.1 bA	-	23.4 aA	33.7 aA	-	28.1 aA	54.4 aA	-	65.1 aA	60.8 aA	-
Bavois	92.0 aA	38.7 bB	32.6 bB	94.0 aA	71.7 aA	73.2 aA	-	86.1 aA	71.3 aA	97.6 aA	97.6 aA	74.3 aA

Grossbuchstaben: Unterschiede zwischen den Verfahren, Kleinbuchstaben: Unterschiede zwischen den Sorten

4.3.3 TKG (Tausendkorngewicht)

Am Standort Brugg wies einzig Paty als Setzling ein signifikant tieferes Tausendkorngewicht auf, als die anderen Sorten im gleichen Verfahren (Tab. 8). Am Standort Bavois traten keine signifikanten Unterschiede auf, weder zwischen den Verfahren noch zwischen den Sorten.

Tabelle 8 TKG an beiden Standorten aller Verfahren und Sorten

Standort	Loto			Onice			Paty			Manobi		
	DS	S	S spät	DS	S	S spät	DS	S	S spät	DS	S	S spät
Brugg	26.2 aA	27.9 aA	-	29.2 aA	29.6 aA	-	-	21.4 b	-	27.1 aA	26.7 aA	-
Bavois	19.7	24.0	26.3	24.3	25.5	27.8	17.2	14.0	17.0	15.3	21.5	26.9

Grossbuchstaben: Unterschiede zwischen den Verfahren, Kleinbuchstaben: Unterschiede zwischen den Sorten, Kein Buchstabe: keine Signifikanzen

4.4 Ertrag

4.4.1 Ertrag (t/ha)

Da im Direktsaatverfahren der Ertrag anhand der Fläche erhoben wurde, im Setzlingsverfahren aber anhand der Anzahl Pflanzen, wird bei den Setzlingen der Ertrag generell überschätzt. Dies, weil Setzlinge ausgefallen sind und dadurch die einzelnen Pflanzen überkompensiert haben.

Am Standort Brugg war der Faktor Anbauverfahren nicht signifikant ($P = 0.51$). Der Faktor Sorte war ebenfalls nicht signifikant. Dies jedoch äusserst knapp mit einem P-Wert von 0.055. In Bavois hingegen waren sowohl der Faktor Anbauverfahren ($P = 0.007$) als auch der Faktor Sorte ($P < 0.0001$) deutlich signifikant. Es gibt aber eine Interaktion mit dem Faktor Anbauverfahren ($P = 0.005$). Betrachtet man jedoch den Mean Square wird ersichtlich, dass mit 98.06 der Faktor Sorte eine deutlich wichtigere Rolle spielt, als die Interaktion zwischen Anbauverfahren und Sorte mit einem Mean Square von 33.41. Auch der Faktor Anbauverfahren spielt mit einem Mean Square von 15.97 eine untergeordnete Rolle.

Berücksichtigt man allein den Faktor Verfahren über alle Sorten hinweg, schneidet Direktsaat mit einem mittleren Ertrag von 0.3 t/ha deutlich schlechter ab als Setzlinge mit 3.4 t/ha und späte Setzlinge mit 4.6 t/ha. Betrachtet man auch die Sorten unabhängig von den Anbauverfahren, so erzielt Loto mit 5.6 t/ha einen signifikant höheren Ertrag als die anderen drei Sorten. Manobi hat zusätzlich einen signifikant tieferen Ertrag als die Sorte Onice. Betrachtet man die beiden Faktoren Anbauverfahren und Sorte gemeinsam, erzielte Loto als Setzling mit 7.7 t/ha und als später Setzling mit 8 t/ha gegenüber allen anderen Sorten jeweils einen signifikant höheren Ertrag in Bavois (Tab. 9).

Tabelle 9 Ertrag in Tonnen pro Hektar an beiden Standorten aller Sorten und Verfahren

Standort	Loto			Onice			Paty			Manobi		
	DS	S	S spät	DS	S	S spät	DS	S	S spät	DS	S	S spät
Brugg	6.8	8.3	-	6.4	7.5	-	-	5.2	-	2.5	6.0	-
Bavois	1.0	7.7	8.0	0.7	3.5	4.3	-	2.1	3.4	0.2	0.5	2.5
	aA	aB	aB	aA	bA	bB		bA	bA	aA	bA	bA

Grossbuchstaben: Unterschiede zwischen den Verfahren, Kleinbuchstaben: Unterschiede zwischen den Sorten, Kein Buchstabe: keine Signifikanzen

4.4.2 Harvest Index

Am Standort Brugg ist der Faktor Sorte zwar signifikant ($P = 0.02$), aber in den Einzelvergleichen konnten keine Unterschiede festgestellt werden. Dies weil sich nur die Sorten Loto und Manobi im Mittelwert über alle Verfahren hinweg unterscheiden.

Tabelle 10 Harvest Index an beiden Standorten bei allen Verfahren und Sorten (DS = Direktsaat, S = Setzlinge, S spät = Setzlinge späterer Pflanztermin)

Standort	Loto			Onice			Paty			Manobi		
	DS	S	S spät	DS	S	S spät	DS	S	S spät	DS	S	S spät
Brugg	0.49	0.56	-	0.43	0.48	-	-	0.36	-	0.26	0.35	-
Bavois	0.03	0.49	0.54	0.02	0.23	0.22	-	0.12	0.27	0.01	0.02	0.22
	aB	aA	aA	aA	bA	bA		bA	bA	aA	bA	bA

Grossbuchstaben: Unterschiede zwischen den Verfahren, Kleinbuchstaben: Unterschiede zwischen den Sorten

Am Standort Bavois zeigten sich deutlichere Unterschiede. Die Sorte Loto wies im Direktsaatverfahren einen signifikant tieferen Harvest Index auf, verglichen zum Anbau als Setzling (Tab. 10). Ansonsten gab es jedoch innerhalb der Sorten zwischen den Verfahren keine signifikanten Unterschiede. Loto erreichte mit 0.49 beziehungsweise 0.54 in beiden Setzlingsverfahren einen signifikant höheren Ernteindex als die anderen Sorten.

4.5 Ertrags-Korrelationen

Die Ertragskomponenten wiesen generell eine leicht bessere Korrelation zum Ertrag in Tonnen pro Hektar, hochgerechnet aus der Erntemenge von drei Quadratmetern, auf. Der Ertrag hochgerechnet aus den Ertragskomponenten, wird in den folgenden Korrelationen deshalb nicht dargestellt.

In Brugg korrelierte der Parameter TKG gar nicht mit dem Ertrag (Abb. 15). Die Anzahl Rispen pro Quadratmeter korreliert jedoch signifikant mit dem Ertrag (Abb. 14). Während bei den Ertragskomponenten kein Unterschied zwischen den Verfahren in der Tendenz festgestellt werden konnte, präsentiert sich bei der Sterilität ein anderes Bild. Hier ist keine Korrelation im Verfahren Setzlinge vorhanden (Abb. 17), während die Korrelation bei der Direktsaat mit $R^2 = 0.39$ signifikant ist (Abb. 16).

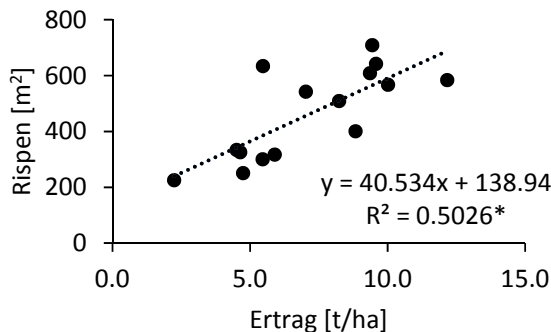


Abbildung 14 Korrelation Rispen und Ertrag in Brugg

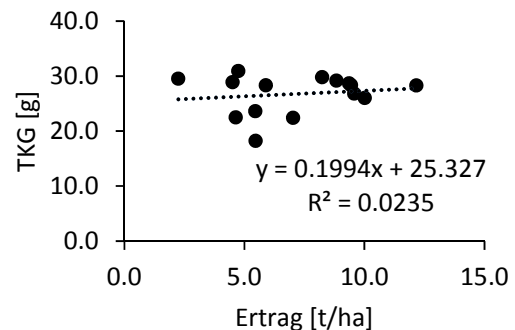


Abbildung 15 Korrelation TKG und Ertrag in Brugg

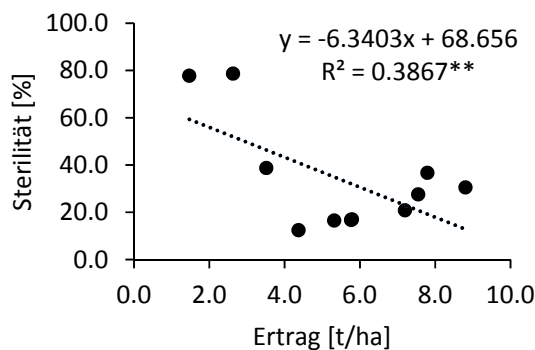


Abbildung 16 Korrelation Sterilität und Ertrag Verfahren Direktsaat in Brugg

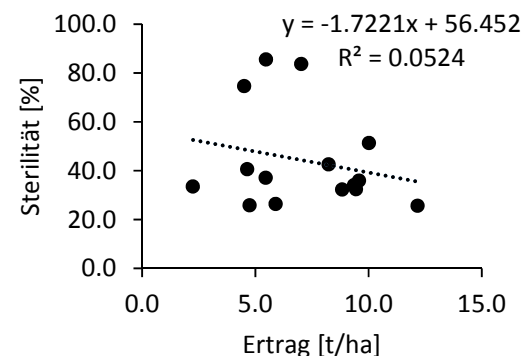


Abbildung 17 Korrelation Sterilität und Ertrag Verfahren Setzlinge in Brugg

Am Standort Bavois zeigten Sterilität und Ertrag eine hoch signifikante Korrelation (Abb. 20). Ganz anders sah es bei der Anzahl Rispen pro Quadratmeter aus (Abb. 18). Hier konnte gar keine Korrelation festgestellt werden ($R^2 = 0.02$). Sehr ähnlich sah es auch beim Tausendkorngewicht aus ($R^2 = 0.14$) (Abb. 19). In Bavois konnte in der Tendenz bei keinem Parameter ein Unterschied zwischen den Verfahren festgestellt werden.

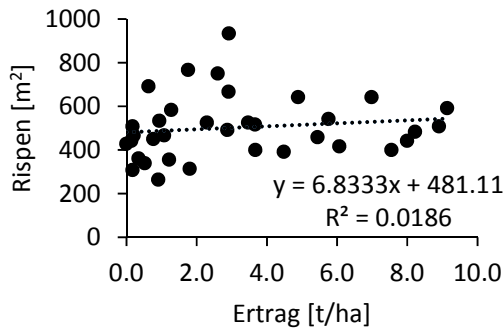


Abbildung 18 Korrelation Rispen und Ertrag in Bavois

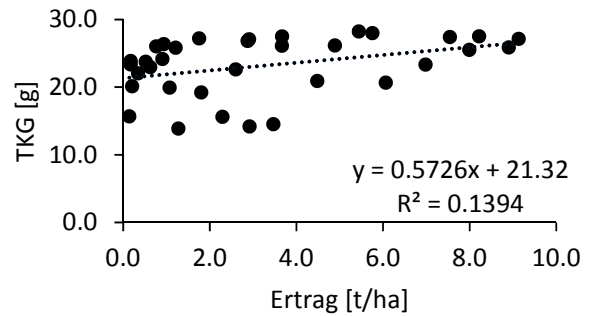


Abbildung 19 Korrelation TKG und Ertrag in Bavois

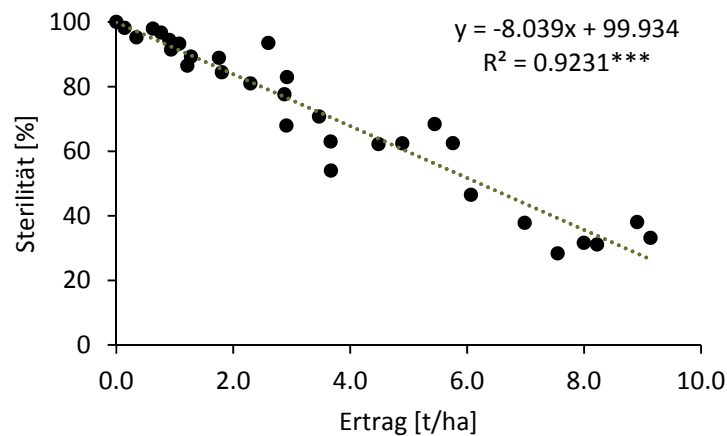


Abbildung 20 Korrelation Sterilität und Ertrag in Bavois

5 Diskussion

5.1 Phänologie

Um eine genaue Aussage zur phänologischen Entwicklung der Pflanze machen zu können, waren die Erhebungsintervalle leider zu gross. Anhand der vorhandenen Daten ist jedoch ersichtlich, dass die Setzlinge eher früher reif waren, was besonders anhand des deutlich früheren Erntetermins klar wird (Tab. 1). Yoshida (1981) geht bei Setzlingen davon aus, dass sie für die Reife eine Woche länger benötigen als direkt gesäter Reis. Berücksichtigt man den Aussaattermin der Setzlinge, sind sie zwar im Feld zwischen 25 und 47 Tage früher abgereift, dafür aber im Gewächshaus auch 36, respektive 19 Tage (späte Setzlinge) früher ausgesät worden, bevor sie im Feld ausgepflanzt wurden. Die Setzlinge benötigten also von der Saat bis zur Ernte gerechnet noch länger als von Yoshida (1981) vorgeschlagen. Dies, obwohl die späten Setzlinge sich unter verbesserten Bedingungen deutlich schneller entwickelten als die ersten. Yoshida (1981) führt die spätere Reife auf einen Schock bei der Verpflanzung zurück. Da in diesem Versuch die Setzlinge in einzelnen Töpfen angezogen und so in geringerem Masse gestört wurden bei der Pflanzung, ist dies wohl eher nicht der Grund. Da die Nordschweiz als Grenzstandort für die Reisproduktion gilt, könnte der Vorsprung, den die Setzlinge schlussendlich im Feld aufwiesen, besonders für Jahre mit kühlen Temperaturen interessant sein. Beachtet werden müssen jedoch insbesondere der Mehraufwand der Pflanzung und die Kosten der Setzlingsanzucht.

Dass die Nordschweiz ein Grenzstandort ist, wird auch ersichtlich, wenn man die Angaben der Saatguthändler zur Vegetationsdauer der verschiedenen Sorten mit den Daten aus dem Feld vergleicht. Loto als frühreifste Sorte im Versuch mit 132 Tagen von Saat bis Ernte, blühte in Bavois im Direktsaatverfahren erst nach 127 Tagen (Bertone sementi 2019). Ähnliches zeigte sich auch bei den Sorten Paty und Manobi. Interessant ist jedoch, dass die spät gepflanzten Setzlinge von Loto nach 117 Tagen beziehungsweise 137 (Onice) geerntet werden konnten. Manobi wurde zwar zum gleichen Zeitpunkt wie Onice geerntet, war zu diesem Zeitpunkt jedoch nicht komplett abgereift. In Brugg konnten die Sorten Loto und Onice als Setzlinge immerhin nach 140 Tagen geerntet werden, wo hingegen bei der Direktsaat 165 Tage nötig waren (Tab.1). Manobi, mit 91 Tagen von Aussaat bis Rispenstadien die spätreifste Sorte im Versuch, wurde nach 165 Tagen geerntet. Zu diesem Zeitpunkt war die Sorte jedoch, wie auch in Bavois, noch nicht richtig abgereift. Für die beiden Versuchsstandorte scheint diese Sorte deutlich zu spätreif zu sein. Frühreife Sorten sind in Regionen mit möglichem Kältestress jedoch nicht grundsätzlich von Vorteil. Der Kältestress kann dadurch auch im empfindlichen Stadium des Rispenstadiums auftreten, wenn dieses sehr früh im Jahr bereits der Fall ist (Shimono 2011). Dass ein so grosser Entwicklungsvorsprung in der Nordschweiz erreicht werden kann, ist jedoch eher auszuschliessen.

Paty, von ihrer Frühreife eher besser geeignet für die Nordschweiz, vermochte leider auf Grund eines starken Krankheitsbefalls nicht zu überzeugen. Auf Grund der phänologischen Daten erwiesen sich die Sorten Loto und Onice als am besten geeignet für beide Standorte. Wobei Loto am Standort Bavois in beiden Setzlingsverfahren noch 20 Tage früher abreifte als Onice.

Im Versuchsjahr gab es jedoch einen aussergewöhnlich kühlen Mai. Sowohl in Brugg als auch in Bavois kam es nach der Pflanzung, respektive Aussaat zu Frostnächten. Auch die folgenden Maiwochen blieben kühl (Abb.4 und 5). Dies führte zu einer Entwicklungsverzögerung und somit zu einer um sechs Wochen späteren Ernte als 2018 (Jacot et al. 2018). Alvarado (1997) konnte beispielsweise einen linearen Zusammenhang zwischen der durchschnittlichen Lufttemperatur und der Anzahl Tage von der Saat bis zur Blüte zeigen.

5.2 Wachstum

5.2.1 Pflanzenhöhe

Vergleicht man die Pflanzenhöhe der verschiedenen Sorten und zwischen den verschiedenen Verfahren, ist eine Stagnation bei den letzten beiden Erhebungsterminen erkennbar. Deshalb werden hier die Werte der letzten Erhebung mit sortenspezifischen Werten und Angaben aus der Literatur verglichen. Loto erreichte in Brugg sowohl direktgesät, als auch als Setzling eine Grösse von 68.7 respektive 68.5 cm. Somit blieb er 8 cm unter der sortentypisch zu erwartenden Höhe (SIS 2019). Noch ausgeprägter ist die niedrigere Wuchshöhe bei Onice. Obschon laut Saatguthändler eine Wuchshöhe von 96 cm möglich wäre, blieb Onice knapp 72 cm niedrig. Paty jedoch erreichte mit 71.9 cm als Setzling und mit 66 cm beim Direktsaatverfahren fast die sortentypische Grösse von 69 cm oder übertraf diese sogar leicht (Centre français du riz 2019). Ähnlich verhielt es sich bei Manobi. Die Setzlinge waren jedoch über die gesamte Versuchsperiode hinweg signifikant höher als die Direktsaat-Pflanzen, was auch wieder den phänologischen Vorsprung der Setzlinge zu bestätigen scheint. Höhere Pflanzen bei Verpflanzung stellten auch die Autoren Ehsanullah et al. (2000) fest, wo hingegen Sharma (1995) das Gegenteil konstatierte. Eine mögliche Erklärung für die unterdurchschnittliche Pflanzenhöhe könnte Kältestress und die unterschiedliche Fähigkeit der Sorten zur Kompensation sein, sobald der Stress vorüber ist (Jacobs und Pearson 1999).

Auch am Standort Bavois waren sowohl die späten als auch die frühen Setzlinge zu Beginn signifikant grösser als Direktsaat-Pflanzen. Im Verlauf der Vegetation schrumpfte dieser Vorsprung jedoch zunehmend. Bei der letzten Erhebung waren dann die Sorten Loto und Onice sogar grösser im Direktsaatverfahren als die Setzlinge, bei einer signifikanten Interaktion Sorte x Anbauverfahren. Die Unterschiede bewegten sich jedoch im Rahmen weniger Zentimeter.

Obwohl Wei et al. (2010) die Pflanzenhöhe, neben Kornertrag und Blühzeitpunkt, als wichtigstes agronomisches Merkmal ansehen, wird ansonsten der Pflanzenhöhe in der Literatur nur wenig Bedeutung beigemessen. Sie könnte in Bezug auf Unkrautunterdrückung oder Lageranfälligkeit zwar eine Rolle spielen. Beides wurde in diesem Versuch jedoch nicht erhoben. Es konnten auch keine Unterschiede bei visuellen Überprüfungen in Bezug auf die zuletzt genannten Parameter festgestellt werden.

5.2.2 Triebdichte

Geht man von den Angaben Yoshidas (1981) aus, sollten pro Quadratmeter zwischen 720 – 1800 Trieben beim Direktsaatverfahren und zwischen 250 und 750 Trieben bei den Setzlingen erreicht werden. Dies ausgehend von den im Versuch angewandten Saat- und Pflanzdichten. An beiden Standorten liegen die Werte innerhalb dieser Spannbreiten oder leicht darunter. Direktsaat erreichte durchwegs eine höhere Triebdichte, was angesichts einer Saatstärke von 360 Körner/m² im Vergleich zu 25 gepflanzten Setzlingen/m² durchaus Sinn ergibt. Auch in den Versuchen Sharmas (1995) bildete gesäter Reis mehr Triebe als verpflanzter. Unterschiede zwischen den Sorten können vermutlich mit unterschiedlichen Fähigkeiten zur Bestockung erklärt werden. Ausserdem muss berücksichtigt werden, dass einige Parzellen sehr lückige Bestände aufwiesen. Dadurch bestockten die einzelnen Pflanzen je nach Elementarparzelle unterschiedlich.

5.2.3 LAI

Auf Grund der höheren Triebdichte pro m² im Direktsaatverfahren, könnte auf einen höheren LAI gegenüber den Setzlingen geschlossen werden. Ein signifikant höherer LAI bei Direktsaat konnte jedoch nur bei der Sorte Loto zu drei Erhebungszeitpunkten und bei der Sorte Onice zu zwei Zeitpunkten gemessen werden. Da der LAI positiv mit dem Ertrag korreliert ist, könnte dies eine mögliche Erklärung für das gute Abschneiden dieser beider Sorten sein (Yoshida und Parao 1976). Ein generell höherer LAI in direktgesättem Reis, wie unter anderem von den Autoren Gill et al. (2006), Fagade und Datta (1971) und San-oh et al. (2004) festgestellt, konnte in diesem Versuch nicht bestätigt werden. Die Sorte Paty bildete am Standort Bavois Mitte August sehr viele Triebe (1440), mehr als Loto und Onice, hatte jedoch tiefere LAI-Werte als die beiden Sorten (3.2 versus 4.04 und 3.93, nicht signifikant). Dies widerspricht in diesem Fall tendenziell der Theorie, dass Triebdichte und LAI positiv korrelieren. Tao et al. (2006) stellten dem entsprechend nur eine Korrelation zwischen Anzahl Trieben und LAI im frühen Vegetationsstadium fest.

Am Standort Bavois war, wie bereits unter Kapitel 4.2.3 erläutert, kein Vergleich zwischen den Verfahren möglich. Bezogen auf die Sorten zeigten sich jedoch ähnliche Tendenzen wie in Brugg. Manobi erreichte an beiden Standorten tendenziell tiefere LAI-Werte als die anderen Sorten. Dies könnte mit seiner späteren Reife erklärt werden. Bis auf Loto in Bavois erreichte keine Sorte in keinem Verfahren so hohe LAI-Werte wie von Yoshida (1981) beschrieben.

5.2.4 SLA

Bis auf einen Ausreisser der Sorte Manobi als Setzling, zeigt sich klar ein höherer SLA-Wert des Direktsaat-Verfahrens gegenüber den Setzlingen. Die positive Korrelation der spezifischen Blattfläche mit der maximalen Anzahl Bestockungstriebe könnte hier ebenfalls vorhanden sein, liess sich statistisch aber nicht bestätigen (Nuruzzaman et al. 2000). Auch die positive Korrelation zwischen SLA und LAI bestätigt sich hier statistisch nicht (Dingkuhn et al. 1999; Dingkuhn et al. 2001). Dingkuhn et al. (2001) schlussfolgerten, dass die SLA einen grossen Teil zu sortenspezifischen Unterschieden bezogen auf Bestockungsfähigkeit und LAI beiträgt. Zwischen den Sorten konnten in diesem Versuch jedoch keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Dies war an beiden Standorten der Fall.

5.2.5 Blatt-Spross-Verhältnis

Ähnlich wie mit der spezifischen Blattfläche (SLA) verhält es sich rein visuell auch mit dem Blatt-Spross-Verhältnis. Zu Beginn der Vegetationsperiode wurde ein hohes Verhältnis erreicht, welches sich im Verlauf der Vegetationsperiode immer mehr verkleinerte. Der Spross wurde kräftiger und die Blattmasse nahm im Verhältnis dazu ab. Dass bei der Sorte Manobi in Brugg das Verhältnis zu Beginn bereits höher ist, und deutlich langsamer abnimmt, als bei den anderen Sorten, lässt auch wieder auf eine langsamere Entwicklung dieser Pflanze schliessen. Zu Beginn des Pflanzenwachstums investiert die Pflanze vor allem in die Blattmasse (Dingkuhn 1996). Bei Setzlingen endet das Blattwachstum kurz vor der Blüte. Bei Direktsaat hingegen geht das Blattwachstum bis kurz nach der Blüte weiter. Ab diesem Zeitpunkt erfolgt der Trockenmasse-Zuwachs vor allem bei der Rispe (ebd.). Assimilate werden aus den vegetativen Pflanzenteilen in die Körner umgelagert (Guindo et al. 1994).

5.3 Ertragskomponenten

Ein Ziel dieser Arbeit war es, die am besten geeignete Sorte betreffend Ertrag für den jeweiligen Standort zu bestimmen. Wichtiger als der Genotyp können jedoch die Umweltbedingungen, insbesondere die Temperatur, zu den Zeitpunkten sein, wo die entsprechenden Ertragskomponenten gebildet werden (Shrestha et al. 2012).

Bei der Anzahl Ährchen pro Rispe wurden nur in Bavois signifikante Unterschiede beim Faktor Sorte festgestellt (Tab. 6). Onice hatte mit 68 Ährchen pro Rispe bei Direktsaat signifikant weniger als die anderen drei Sorten im gleichen Verfahren. Speziell Loto erreichte mit 122 Ährchen einen sehr hohen Wert. Solch hohe Werte können durch einen hohen Anteil steriler, respektive ungefüllter Körner zustande kommen. Dadurch wird die Anzahl Ährchen tendenziell überschätzt.

Die Anzahl Ährchen ist eine sehr wichtige Ertragskomponente und kann für bis zu 60% Ertragsvariation verantwortlich sein (Yoshida 1981). Loto erreichte im Direktsaatverfahren in Bavois einen tendenziell grösseren, aber nicht signifikant höheren Ertrag als die anderen drei Sorten (Tab. 9). Diese Tendenz könnte mit der Anzahl Ährchen pro Rispe zusammenhängen. Onice allerdings hat trotz signifikant weniger Ährchen nicht einen signifikant tieferen Ertrag. Erstaunlich ist ausserdem, dass die Sorte Loto in Bavois eine berechnete Sterilität von 92% aufweist (Tab. 7). Dies ist nur schwer vereinbar mit dem erzielten Ertrag, würde aber wiederum die tendenziell hohe Anzahl Ährchen erklären. In Brugg gab es bezogen auf die Anzahl Ährchen keine statistisch signifikanten Unterschiede. Hier waren die Werte bei den Sorten Paty und Manobi allerdings relativ hoch, was sich auch gut mit den Werten aus Bavois deckt. Die Sterilität passt hier nicht zu den Werten über die Anzahl Ährchen. Dies scheint die Theorie, dass die Anzahl Ährchen bei Sterilität überschätzt werden, nicht zu stützen.

Während die durch Hitzestress induzierte Sterilität vor allem während der Blüte eintreten kann, sind bei Kältestress die Stadien Schossen und Ährenschieben problematischer (Fageria 2007). Mitte Juli gab es nochmal eine Periode, wo die minimale Lufttemperatur in Brugg auf bis zu 12.2°C und in Bavois sogar auf 8.2°C absank. Dies könnte der Zeitpunkt für das Entstehen der zahlreichen sterilen Körner gewesen sein. Wasser hat eine höhere Wärmekapazität und kühlt langsamer ab als Luft. Die Wärmekapazität wird zusätzlich noch durch den Wasserpegel beeinflusst, was eine Erhöhung des Wasserstands zu den kritischen Zeitpunkten üblich macht (Satake und Hayase 1970). Bei nur leicht tieferen Nachttemperaturen (ca. 16°C), kann zudem die N-Versorgung eine Rolle spielen. Eine hohe N-Verfügbarkeit verstärkt das Ausmass der kälteinduzierten Sterilität noch zusätzlich (Godwin et al. 1994). Bei deutlich unter dem Optimum liegenden Temperaturen, ist ein Effekt durch Stickstoff jedoch kaum mehr nachweisbar. Ein vorübergehend höherer Wasserstand in Kombination mit einer moderaten N-Düngung, könnte auch in der Schweiz als Prävention von Sterilität für weitere Anbaujahre eine Option sein.

Sorten mit erhöhter Kältetoleranz, besonders solche mit einer kurzen Blühdauer um die anfällige Periode der Pflanze auf Kälte zu verkürzen, sind auch Gegenstand der Forschung (Mitchell et al. 2016). Shrestha et al. (2013) konnten in Versuchen auf Madagaskar zudem zeigen, dass in Lagen mit Kältestress der Genotyp zu 68% die Ährchensterilität erklären kann. Für den zukünftigen Anbau in der Schweiz könnten also kältetolerantere Sorten von Interesse sein, um Sterilität zu reduzieren.

Das Tausendkorngewicht ist stark vom Genotyp abhängig, kann jedoch durch abiotischen Stress beeinflusst werden (Yoshida 1981; Fabre et al. 2005). Einzig in Brugg war ein statistisch signifikanter Unterschied bei der Sorte Paty im Setzlingsverfahren erkennbar, welche mit 21.4 g ein tieferes TKG als alle anderen Sorten im gleichen Verfahren aufwies. Anhand der Informationen der Saatguthändler und Züchter zu den jeweiligen Sorten, fielen die TKGs der Sorten eher tiefer aus als üblich (Tab. 8). Loto erreicht normalerweise ein

TKG von 31 g, Onice von 33-35 g, Paty von 27 g und Manobi von 35.5 g (Bertone sementi 2019; Centre français du riz 2019; SIS 2019). 2018 wurde im Durchschnitt ein TKG von 30 bei der Sorte Loto an einem Standort in der Nordschweiz erreicht (Vogel et al. unveröffentlicht). Das höhere TKG könnte durch die besseren klimatischen Bedingungen in diesem Jahr, verglichen mit 2019, zustande gekommen sein.

Eine mögliche Erklärung wäre, dass der Stress durch tiefe Temperaturen alle Sorten gleichermassen negativ beeinflusste und der Genotyp in diesem Fall eine geringere Rolle spielte. Zudem führen tiefe Temperaturen auch zu einer geringeren Blattfläche, was wiederum eine schlechte Kornfüllung ergeben kann durch eine ungenügende Zufuhr von Assimilaten (Venkateswarlu 1976). Da nicht zwischen ungefüllten und sterilen Körnern unterschieden wurde, könnte auch der Mangel an Assimilaten ein Grund für die hohe berechnete Sterilität sein. Dies gilt insbesondere dann, wenn man davon ausgeht, dass die Körner teilweise zwar befruchtet waren, aber trotzdem ungefüllt blieben. Sterilität bedingt durch Kälte könnte durch einen höheren Wasserstand (20-25 cm) während der Kälteperioden reduziert werden (Board et al. 1980). Tiefes Wasser kann 6-7°C wärmer sein als die Luft-Nachttemperatur (Singh et al. 2005).

5.4 Ertrag

5.4.1 Ertrag in t/ha und Ertragskorrelationen

Am Standort Brugg förderte der Faktor Anbauverfahren deutlich keine signifikanten Unterschiede zu Tage. In Bavois gab es jedoch sowohl signifikante Sorten- als auch Anbauverfahrensunterschiede. Auch in Brugg kann bei einem P-Wert von 0.055 eine Tendenz bei den Sorten erkannt werden. Loto erreichte in Bavois als Setzling, sowohl früh als auch spät gepflanzt, mit 7.7 respektive 8 t/ha signifikant höhere Erträge als die anderen Sorten. Die absoluten Zahlen müssen relativiert werden auf Grund einer Überschätzung des Setzlingertrages (vgl. Kapitel 4.4.1). Aber der Vergleich mit den anderen Sorten hat trotzdem Bestand. Im Direktsaatverfahren gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Sorten.

Loto schnitt auch in Brugg mit 6.8 t/ha direktgesät und 8.3 t/ha als Setzling gut ab. Im Trockenanbau in der Südschweiz werden ca. 5 t/ha erreicht. Onice erzielte mit 6.4 (Direktsaat) beziehungsweise 7.5 t/ha (Setzlinge) deutlich bessere Erträge in Brugg als in Bavois. Auch Paty erreichte in Brugg einen mehr als doppelt so hohen Ertrag als Setzling wie in Bavois. Selbst die spätreife Sorte Manobi, die in Bavois sehr schlecht abschnitt, erreichte in Brugg zwischen 2.5 und 6 t/ha. Die Ursachen für diese teilweise grossen Unterschiede müssen also eher bei den Umweltbedingungen als den Genotypen gesucht werden. Dabei muss berücksichtigt werden, dass Sorten unterschiedlich auf abiotische Faktoren reagieren (Baker 2004). Ein Hauptfaktor könnte die Luft- und Wassertemperatur gewesen sein (Wang et al. 2014). Vergleicht man die Durchschnittswerte der Standorte, dann sind Unterschiede erkennbar. Besonders auffällig ist die durchschnittliche Minimaltemperatur. In Bavois lag der Durchschnitt der minimalen Tageslufttemperaturen bei

9.4°C und in Brugg bei 11.9°C, was einem Unterschied von über 2°C entspricht. Auch die durchschnittliche Wassertemperatur war in Brugg mit 19.2°C um 1.4°C höher als in Bavois. Gleiches zeigt sich auch bei der Bodentemperatur, wobei der Unterschied dort sogar 2.1°C betrug. Modellrechnungen gehen von einer Ertragsreduktion von 6% pro °C Abweichung von der optimalen durchschnittlichen Lufttemperatur, welche im Modell 26°C betrug, aus (Sheehy et al. 2006). Andere Untersuchungen sprechen sogar von 15% Ertragsminderung (Peng et al. 2004). In einem Gewächshausversuch, wo Reis in der Blüte während 15 Tagen einem Kältestress (13°C) ausgesetzt wurde, reduzierte sich der Ertrag, abhängig von der Sorte, signifikant um 19-29% im Vergleich zur Kontrolle (Ghadirnezhad und Fallah 2014). Die Anzahl Rispen, die Länge der Rispen, die Anzahl gefüllter Körner und die Gesamtanzahl Körner wurden durch den Kältestress vermindert (ebd.).

Jacobs und Pearson (1999) konnten zeigen, dass Kältestress die Anzahl Ährchen um bis zu 41% reduzieren und die Sterilität auf 90% ansteigen kann. Was stärker zum Tragen kommt, ist abhängig vom Zeitpunkt des Kältestresses (ebd.). In Bavois sanken die Temperaturen noch während der Abreife deutlich ab (Abb. 5). Das könnte das TKG reduziert und die Anzahl unreifer Körner erhöht haben, was wiederum zu einer Ertragsreduktion führt (Hamdani 1979). Der Klimawandel könnte jedoch in den nächsten Jahren den Kältestress, welchem die Reispflanzen an den Versuchsstandorten ausgesetzt waren, reduzieren (Shrestha et al. 2013; Wang et al. 2014).

Eine weitere Erklärungsmöglichkeit wären die unterschiedlichen Bodentypen (vgl. Anhang 2). Dass sich aber beispielsweise die Sorte Loto an beiden Standorten bewährte, könnte ein Indiz dafür sein, dass der Bodentyp nur eine geringe Rolle spielt. Möglich wäre eine Auswirkung des Bodentyps bei Onice und Manobi, welche je nach Standort sehr unterschiedliche Erträge erzielten. Auf Grund der vielen möglichen Einflussfaktoren ist es jedoch schwierig, anhand eines einzelnen Versuchsjahres zu bestimmen, welcher Faktor die grösste Bedeutung haben könnte. Zu Erträgen von Reis auf Moorstandorten wurde ausserdem kaum geforscht. In erster Linie wurden Treibhausgasemissionen auf unterschiedlichen Bodentypen untersucht (Hatala et al. 2012; Hergoualc'h und Verchot 2014). Zu Beginn der Vegetation konnte visuell ein leichter Vorsprung in der Entwicklung am Standort Bavois festgestellt werden. Durch die schwarze Erde könnte sich dort der Boden schneller und stärker erwärmt haben, was den Vorsprung erklären würde. Die Bodentemperaturdaten bestätigen dies jedoch nicht. Durch den erhöhten Humusgehalt an einem Moorstandort wären zudem mehr Nährstoffe verfügbar. Das für Reis ungünstigere Klima in Bavois hat aber diesen Vorteil zunichte gemacht, wenn er denn überhaupt vorhanden gewesen ist.

Bei den Ertragskorrelationen sind vor allem die Unterschiede zwischen den Standorten interessant. In Bavois gab es mit einem R^2 von 0.92 erwartungsgemäss eine starke negative Korrelation zwischen Ertrag und Sterilität. Dagegen korrelierte dieser Parameter in Brugg im Verfahren Setzlinge überhaupt nicht ($R^2 = 0.05$). Im Direktsaat-Verfahren kam jedoch eine signifikante Korrelation von $R^2 = 0.39$ zustande. Andere

Versuche konnten ebenfalls eine negative Korrelation dieser beiden Parameter aufzeigen (Gupta et al. 1998; Mustafa und Elsheikh 2007; Seyoum et al. 2012). Dafür korreliert in Brugg die Anzahl Rispen pro m² mit einem R² von 0.5 signifikant, wo hingegen in Bavois für die gleiche Variable ein R² von 0.02 berechnet wurde. Aber auch andere Untersuchungen zeigen unterschiedliche Resultate bei diesem Parameter (Mustafa und Elsheikh 2007; Stürz 2014). Dass das Tausendkorngewicht an beiden Standorten nicht mit dem Ertrag korreliert, ist nicht erstaunlich und wird so auch von anderen Untersuchungen bestätigt (Akinwale et al. 2011; Seyoum et al. 2012; Stürz 2014).

Die Sterilität in Brugg scheint bei den Setzlingen gemäss dem berechneten R² einen vernachlässigbaren Einfluss auf den Ertrag zu haben. Die Anzahl Rispen pro m² könnte deshalb an diesem Standort eine wichtigere Rolle für die Ertragsbildung gespielt haben. In Brugg war möglicherweise bei den Setzlingen nicht der Kältestress für den verringerten Ertrag verantwortlich, sondern eine zu geringe Nährstoffzufuhr. Indirekt könnte der Kältestress über eine verringerte Blattfläche jedoch Auswirkungen gezeigt haben. So könnten die Pflanzen nicht in der Lage gewesen sein, eine grössere Anzahl Rispen zu bilden um so einen höheren Ertrag zu generieren. Diese Annahme müsste jedoch mit einem Düngungsversuch erst überprüft werden. Bei der Direktsaat scheint jedoch die durch Kälte verursachte Sterilität den Ertrag durchaus negativ beeinflusst zu haben. Zu erklären wäre der Verfahrensunterschied beispielsweise durch die unterschiedliche Entwicklung. Die Direktsaat blühte vermutlich zum Zeitpunkt der kühleren Nächte im Juli, während die Setzlinge zu diesem Zeitpunkt die Blüte bereits abgeschlossen hatten.

5.4.2 Harvest Index

Geht man von einem durchschnittlichen Harvest Index von 0.3 bis 0.5 aus (Yoshida 1981), fallen die Werte insbesondere in Bavois, bis auf Loto, sehr niedrig aus (Tab. 10). Dies deckt sich mit den Erträgen aber auch der prozentualen Sterilität (Tab. 7 und 9). Auch für Brugg trifft dies zu. Die zu hohen Werte der Sorte Loto, in Brugg als Setzling, in Bavois als späte Setzlinge, lassen sich wieder mit der Überschätzung des Ertrags der Setzlinge erklären. Die sehr niedrigen Werte sind nicht durch eine sehr hohe Biomasseproduktion zu erklären, sondern durch die niedrigen Kornerträge.

6 Folgerungen

Ziel dieses Versuches war es, vier verschiedene Reissorten an zwei Standorten in der Nordschweiz zu testen, um daraus die am besten für den Anbau am jeweiligen Ort geeignete Sorte abzuleiten. Zudem sollten die beiden Anbausysteme Setzlinge und Direktsaat miteinander verglichen werden.

Die bereits aus dem Trockenanbau im Tessin bekannte Sorte Loto zeigte auch in der Nordschweiz ansprechende Resultate. In Bavois erzielte sie in den beiden Setzlingsverfahren einen signifikant grösseren Ertrag als die drei anderen Sorten. Auch in Brugg konnten entsprechende Tendenzen erkannt werden, die sich jedoch statistisch nicht eindeutig belegen lassen. Onice, eine Weiterzüchtung von Loto, erreichte in Brugg nahezu vergleichbare Erträge wie Loto, während diese Sorte in Bavois signifikant tiefere Erträge erzielte. Manobi erwies sich als spätreife Sorte, welche zwar im Feld viel Biomasse produzierte, aber sehr schlecht abreifte, was tiefe Erträge zur Folge hatte. Die Sorte Paty scheint auf Grund des hohen Krankheitsbefalls eher ungeeignet für die Standorte zu sein. Hohe Sterilitätsraten an beiden Standorten haben den Ertrag aller vier Sorten zudem negativ beeinflusst. Dies war in Brugg vor allem im Direktsaatverfahren der Fall.

Bei den Anbauverfahren fiel vor allem die um 25 bis 47 Tage frühere Ernte der Setzlinge auf. Diese wurden zuvor rund einen Monat im Gewächshaus angezogen, was den Aufwand erhöhte, die Vegetationszeit im Feld aber verkürzte. An Grenzstandorten für den Reisanbau könnte dieses Verfahren trotz Mehraufwand lohnend sein. Dies um einer kalten und nassen Erntephase zu entgehen, welche die Reife verzögern kann.

Für die kommenden Jahre besteht noch Forschungsbedarf. Einerseits könnte der Anbau optimiert werden, um Probleme wie die hohe Sterilität beheben zu können. Ein höherer Wasserpegel während den kritischen Entwicklungsstadien könnte in den folgenden Jahren in diesem Bezug eine Verbesserung bringen. Andererseits sind aber auch noch viele Fragen offen. Genannt werden hier das Düngermanagement oder die Unkrautproblematik, welche den grossflächigen Anbau 2019 stark behindert hat. Hinsichtlich letzterem könnten Setzlinge ebenfalls eine Option sein, um dem Reis einen Vorsprung gegenüber dem Unkraut zu verschaffen oder möglicherweise mehr Zeit für vorgängige Unkrautkuren im Feld zu gewinnen. Sicherlich wäre es auch interessant, weitere Sorten auf ihre Anbaueignung in der Nordschweiz zu testen. Aus den vorliegenden Versuchsdaten ist Loto nach wie vor am empfehlenswertesten. Soll der Nassreisanbau in der Nordschweiz eine attraktive Nische für Landwirte werden, könnte eine Differenzierung zum Trockenanbau in der Südschweiz mit Hilfe einer anderen Sortenwahl interessant sein. Denkbar wäre auch eine Diversifizierung mit dem zusätzlichen Anbau von Langkorn- als Ergänzung zum Risottoreis. Hauptdifferenzierungsfaktor gegenüber dem Tessin ist aber klar der ökologischere Anbau und der Einbezug der Biodiversitätsförderung. Dieser Aspekt sollte auch in Zukunft unbedingt beibehalten und vermarktet werden.

7 Literaturverzeichnis

- Agrometeo, 2019. Données météorologiques, 14.12.2019, abgerufen am 14.12.2019, <http://www.agrometeo.ch/fr/meteorology/datas>
- Akinwale M, Gregorio G, Nwilene F, Akinyele B, Ogunbayo S, Odiyi A, 2011. Heritability and correlation analysis for yield and its components in rice (*Oryza sativa* L.). *African Journal of Plant Science*, 5 (3), 207–212.
- Alvarado R, 1997. Influence of air temperature on rice population, length of period from sowing to flowering, and spikelet sterility. In: Hill J, Hardy B (Hrsg.). *Proceedings of the Second Temperate Rice Conference*, 13-17 Juni 1997, S. 63–68.
- Baker JT, 2004. Yield responses of southern US rice cultivars to CO₂ and temperature. *Agricultural and Forest Meteorology*, 122 (3), 129–137.
- Basuchaudhuri P, 2014. *Cold Tolerance in Rice Cultivation*. Taylor and Francis, Hoboken, 207 S.
- Bertone sementi, 2019. Onice, abgerufen am 30.09.2019, <http://www.bertonesementi.it/portfolio-articoli/onice/>
- Board JE, Peterson ML, Ng E, 1980. Floret Sterility in Rice in a Cool Environment. *Agronomy Journal*, 72 (3), 483.
- Boisnard A, 2019. Maladie du riz. E-Mail vom 16.09.2019.
- Centre français du riz, 2019. Tableau synthétique Centre Français du Riz : Recherche et sélection variétale de riz adaptés au terroir du riz de Camargue, abgerufen am 30.09.2019, http://www.centrefrancaisduriz.fr/tableau_synthetique-47.html
- Chen S, Cai S-g, Chen X, Zhang G-p, 2009. Genotypic Differences in Growth and Physiological Responses to Transplanting and Direct Seeding Cultivation in Rice. *Rice Science*, 16 (2), 143–150.
- Dingkuhn M, 1996. Modelling concepts for the phenotypic plasticity of dry matter and nitrogen partitioning in rice. *Agricultural Systems*, 52 (2-3), 383–397.
- Dingkuhn M, Johnson DE, Sow A, Audebert AY, 1999. Relationships between upland rice canopy characteristics and weed competitiveness. *Field Crops Research*, 61 (1), 79–95.
- Dingkuhn M, Schnier HF, Datta SK de, Dorffling K, Javellana C, 1991. Relationships between ripening-phase productivity and crop duration, canopy photosynthesis and senescence in transplanted and direct-seeded lowland rice. *Field Crops Research*, 26 (3-4), 327–345.
- Dingkuhn M, Tivet F, Siband P, Asch F, Audebert A, Sow A, 2001. Varietal differences in specific leaf area: a common physiological determinant of tillering ability and early growth vigor? In: Peng S, Hardy B (Hrsg.). *Rice research for food security and poverty alleviation*. International Rice Research Institute, Makati Metro Manila Philippines, S. 95–108.
- Ehsanullah I, Ashfaq A, Shakeel A, 2000. Effect of Direct Seeding and Transplanting Methods on the Yield and Quality of Fine Rice Basmati-370. *International Journal of Agriculture & Biology*, 2 (3), 251–252.

- Fabre D, Siband P, Dingkuhn M, 2005. Characterizing stress effects on rice grain development and filling using grain weight and size distribution. *Field Crops Research*, 92 (1), 11–16.
- Fagade SO, Datta SK de, 1971. Leaf Area Index, Tillering Capacity, and Grain Yield of Tropical Rice as Affected by Plant Density and Nitrogen Level¹. *Agronomy Journal*, 63 (3), 503.
- Fageria NK, 2007. Yield Physiology of Rice. *Journal of Plant Nutrition*, 30 (6), 843–879.
- Fitzgerald M, 2017. Rice: Grain-Quality Characteristics and Management of Quality Requirements. In: Miskelly D (Hrsg.). *Cereal grains - assessing and managing quality*. Elsevier Science & Technology, S. 291–315.
- Ghadirnezhad R, Fallah A, 2014. Temperature Effect on Yield and Yield Components of Different Rice Cultivars in Flowering Stage. *International Journal of Agronomy*, 2014, 1–4.
- Gill MS, Kumar A, Kumar P, 2006. Growth and yield of rice (*Oryza sativa*) cultivars under various methods and times of sowing. *Indian Journal of Agronomy*, 51 (2), 123–127.
- Godwin DC, Meyer WS, Singh U, 1994. Simulation of the effect of chilling injury and nitrogen supply on floret fertility and yield in rice. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 34 (7), 921.
- Google Maps, 2019. Schweiz, abgerufen am 08.05.2019, <https://www.google.com/maps/place/Schweiz/@46.8077134,7.1030743,8z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x478c64ef6f596d61:0x5c56b5110fcb7b15!8m2!3d46.818188!4d8.227512>
- GRiSP (Global Rice Science Partnership), 2013. Rice almanac. Source book for the most important economic activities on Earth (Fourth Edition). IRRI, Los Baños Philippines, 283 S.
- Guindo D, Wells BR, Norman RJ, 1994. Cultivar and Nitrogen Rate Influence on Nitrogen Uptake and Partitioning in Rice. *Soil Science Society of America Journal*, 58 (3), 840.
- Gunawardena TA, Fukai S, Blamey FPC, 2003. Low temperature induced spikelet sterility in rice. I. Nitrogen fertilisation and sensitive reproductive period. *Australian Journal of Agricultural Research*, 54 (10), 937–946.
- Gupta J, Katoch P, Kaushik R, Sharma S, 1998. Cause-and-effect relationship of yield and its components under cold-stress condition in rice (*Oryza sativa*). *The Indian Journal of Agricultural Sciences*, 68 (1).
- Hamdani A, 1979. Low-Temperature Problems and Cold Tolerance Research Activities for Rice in India. In: IRRI (International Rice Research Institute) (Hrsg.). *Report of a rice cold tolerance workshop*, Los Baños Philippines, S. 39–48.
- Hatala JA, Detto M, Sonnentag O, Deverel SJ, Verfaillie J, Baldocchi DD, 2012. Greenhouse gas (CO₂, CH₄, H₂O) fluxes from drained and flooded agricultural peatlands in the Sacramento-San Joaquin Delta. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 150, 1–18.
- Hayashi S, Kamoshita A, Yamagishi J, Kotchasatit A, Jongdee B, 2007. Genotypic differences in grain yield of transplanted and direct-seeded rainfed lowland rice (*Oryza sativa* L.) in northeastern Thailand. *Field Crops Research*, 102 (1), 9–21.

- Hergoualc'h K, Verchot LV, 2014. Greenhouse gas emission factors for land use and land-use change in Southeast Asian peatlands. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 19 (6), 789–807.
- Hossain F, Salam A, Uddin R, Pervez Z, Sarkar M, 2002. A Comparative Study of Direct Seeding Versus Transplanting Method on the Yield of Aus Rice. *Journal of Agronomy*, 1 (2), 86–88.
- Huang M, Zou Y, Jiang P, Xia B, Feng Y, Cheng Z, Mo Y, 2011a. Yield Component Differences between Direct-Seeded and Transplanted Super Hybrid Rice. *Plant Production Science*, 14 (4), 331–338.
- Huang M, ZOU Y-b, Jiang P, Xia B, Md I, AO H-j, 2011b. Relationship Between Grain Yield and Yield Components in Super Hybrid Rice. *Agricultural Sciences in China*, 10 (10), 1537–1544.
- IRRI (International Rice Research Institute), 2019. Rice as a crop, 30.09.2019, abgerufen am 30.09.2019, <http://ricepedia.org/rice-as-a-crop>
- Jacobs BC, Pearson CJ, 1999. Growth, Development and Yield of Rice in Response to Cold Temperature. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 182 (2), 79–88.
- Jacot K, Churko G, Burri M, Walter T, 2018. Reisanbau im Mittelland auf temporär gefluteten Flächen möglich. Ein Beitrag zur Förderung der Artenvielfalt in der Schweiz. *Agroscope Transfer*, 238.
- Kellogg EA, 2001. Evolutionary history of the grasses. *Plant physiology*, 125 (3), 1198–1205.
- Khush GS, 1995. Breaking the yield frontier of rice. *GeoJournal*, 35 (3), 329–332.
- Koutroubas SD, Ntanos DA, 2003. Genotypic differences for grain yield and nitrogen utilization in Indica and Japonica rice under Mediterranean conditions. *Field Crops Research*, 83 (3), 251–260.
- Lee M, 2001. Low temperature tolerance in rice: The Korean experience. In: Fukai, S. Basnayake, J. (Hrsg.). *Increased lowland rice production in the Mekong Region, Vientiane, Laos*, S. 109–117.
- Liu C, Zhou X, Chen D, Li L, Li J-C, Chen Y, 2014. Natural Variation of Leaf Thickness and Its Association to Yield Traits in indica Rice. *Journal of Integrative Agriculture*, 13 (2), 316–325.
- Liu H, Hussain S, Zheng M, Peng S, Huang J, Cui K, Nie L, 2015. Dry direct-seeded rice as an alternative to transplanted-flooded rice in Central China. *Agronomy for Sustainable Development*, 35 (1), 285–294.
- MeteoSchweiz, 2018. Klima der Schweiz. MeteoSchweiz, abgerufen am 08.05.2019, <https://www.meteoschweiz.admin.ch/home/klima/klima-der-schweiz.html>
- Mitchell J, Fukai S, Basnayake J, 2004. Grain yield of direct seeded and transplanted rice in rainfed lowlands of South East Asia. "New Directions for a Diverse Planet", 4th International Crop Science Congress in conjunction with the 12th Australian Agronomy Conference and the 5th Asian Crop Science Conference, 26 September - 1 October 2004, Brisbane, Australia.
- Mitchell JH, Zulkafli SL, Bosse J, Campbell B, Snell P, Mace ES, Godwin ID, Fukai S, 2016. Rice-cold tolerance across reproductive stages. *Crop and Pasture Science*, 67 (8), 823.
- Murata Y, 1976. Productivity of rice in different climatic regions of Japan. In: International Rice Research Institute (Hrsg.). *Proceedings of the Symposium on Climate & Rice*. International Rice Research Institute, S. 449–470.

- Mustafa A, Elsheikh Y, 2007. Variability, Correlation and Path Co-Efficient Analysis for Yield and its Components in Rice. *African Crop Science Journal*, 15 (4), 183–189.
- Naklang K, Shu F, Nathabut K, 1996. Growth of rice cultivars by direct seeding and transplanting under upland and lowland conditions. *Field Crops Research*, 48 (2-3), 115–123.
- NCSS LLC., 2013. NCSS 9 Statistical Software, Kaysville, Utah, USA.
- Nishiyama I, 1984. Climatic influence on pollen formation and fertilization. In: Tsunoda S, Takahashi N (Hrsg.). *Biology of Rice*. Elsevier Science, Amsterdam, S. 153–171.
- Nuruzzaman M, Yamamoto Y, Nitta Y, Yoshida T, Miyazaki A, 2000. Varietal differences in tillering ability of fourteen japonica and indica rice varieties. *Soil Science and Plant Nutrition*, 46 (2), 381–391.
- Peng S, Huang J, Sheehy JE, Laza RC, Visperas RM, Zhong X, Centeno GS, Khush GS, Cassman KG, 2004. Rice yields decline with higher night temperature from global warming. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101 (27), 9971–9975.
- Polenghi G, 2016. Evoluzione del panorama varietale ENR e qualità delle sementi. Ente Nazionale Risi.
- Sakamoto T, Matsuoka M, 2008. Identifying and exploiting grain yield genes in rice. *Current opinion in plant biology*, 11 (2), 209–214.
- Salzmann A, 2019. Date de Semis. E-Mail vom 07.04.2019.
- San-oh Y, Mano Y, Ookawa T, Hirasawa T, 2004. Comparison of dry matter production and associated characteristics between direct-sown and transplanted rice plants in a submerged paddy field and relationships to planting patterns. *Field Crops Research*, 87 (1), 43–58.
- Satake T, Hayase H, 1970. Male Sterility Caused by Cooling Treatment at the Young Microspore Stage in Rice Plants : V. Estimations of pollen developmental stage and the most sensitive stage to coolness. *Japanese journal of crop science*, 39 (4), 468–473.
- Semences de Provence, 2019. Manobi. Semences de Provence, abgerufen am 05.11.2019, <https://www.semencesdeprovence.com/riz/catalogue/manobi>
- Seyoum M, Alamerew S, Bantte K, 2012. Genetic Variability, Heritability, Correlation Coefficient and Path Analysis for Yield and Yield Related Traits in Upland Rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Plant Sciences*, 1–10.
- Sharma AR, 1995. Direct seeding and transplanting for rice production under flood-prone lowland conditions. *Field Crops Research*, 44 (2-3), 129–137.
- Sheehy JE, Mitchell PL, Ferrer AB, 2006. Decline in rice grain yields with temperature: Models and correlations can give different estimates. *Field Crops Research*, 98 (2), 151–156.
- Shimazaki Y, Satake T, Watanabe K, Ito N, 1964. Effect of day and night-temperature accompanied by shading treatment during the booting stage upon the induction of sterile spikeletes in rice plants., 83, 10–16.

- Shimono H, 2011. Earlier rice phenology as a result of climate change can increase the risk of cold damage during reproductive growth in northern Japan. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 144 (1), 201–207.
- Shimono H, Hasegawa T, Moriyama M, Fujimura S, Nagata T, 2005. Modeling Spikelet Sterility Induced by Low Temperature in Rice. *Agronomy Journal*, 97 (6), 1524.
- Shimono H, Okada M, Kanda E, Arakawa I, 2007. Low temperature-induced sterility in rice: Evidence for the effects of temperature before panicle initiation. *Field Crops Research*, 101 (2), 221–231.
- Shiratsuchi H, Ohdaira Y, Takanashi J-i, 2007. Relationship between Dry Weight at Heading and the Number of Spikelets on Individual Rice Tillers. *Plant Production Science*, 10 (4), 430–441.
- Shrestha S, Asch F, Brueck H, Giese M, Dusserre J, Ramanantsoanirina A, 2013. Phenological responses of upland rice grown along an altitudinal gradient. *Environmental and Experimental Botany*, 89, 1–10.
- Shrestha S, Asch F, Dusserre J, Ramanantsoanirina A, Brueck H, 2012. Climate effects on yield components as affected by genotypic responses to variable environmental conditions in upland rice systems at different altitudes. *Field Crops Research*, 134, 216–228.
- Singh R, Brennan JP, Farrell T, Williams R, Lewin L, Mullen J, 2005. Economic Analysis of Improving Cold Tolerance in Rice in Australia. University of Sidney.
- SIS (Società Italiana Sementi), 2019. Loto. SIS, abgerufen am 30.09.2019, <http://www.sisonweb.com/it/dettaglio-prodotto.php?idProd=7>
- Sone C, Saito K, Futakuchi K, 2009. Comparison of Three Methods for Estimating Leaf Area Index of Upland Rice Cultivars. *Crop Science*, 49 (4), 1438.
- Stürz S, 2014. Effects of water management on microclimate and yield physiology in irrigated rice in semi-arid environments. Dissertation, Hohenheim.
- Swisstopo, 2019. Klimaeignung. Schweizerische Eidgenossenschaft, 06.05.2019, abgerufen am 08.05.2019, https://map.geo.admin.ch/?lang=de&topic=ech&bgLayer=ch.swisstopo.pixelkarte-farbe&layers=ch.swisstopo.zeitreihen,ch.bfs.gebaeude_wohnungs_register,ch.bav.haltstellen-oev,ch.swisstopo.swisstlm3d-wanderwege,ch.blw.klimaeignung-typ&layers_visiblity=false,false,false,false,true&layers_timestamp=18641231,,,,&layers_opacity=1,1,1,1,0.75&E=2657650.18&N=1260718.70&zoom=6
- Tao H, Brueck H, Dittert K, Kreye C, Lin S, Sattelmacher B, 2006. Growth and yield formation of rice (*Oryza sativa* L.) in the water-saving ground cover rice production system (GCRPS). *Field Crops Research*, 95 (1), 1–12.
- Venkateswarlu B, 1976. Source-sink interrelationships in lowland rice. *Plant and Soil*, 44 (3), 575–586.
- Viana P, 2019. Loto. Riso Italiano, abgerufen am 30.09.2019, <https://www.risoitaliano.eu/loto/>
- Vogel D, Jacot K, Meier J, unveröffentlicht. Nassreis in der Schweiz: Versuche in Gewächshaus und Feld. Agrarforschung Schweiz.
- Walter T, 2019. Reisanbau in der Schweiz. E-Mail vom 17.09.2019.

- Wang F, Huang J, Tang Y, Wang X, 2007. New Vegetation Index and Its Application in Estimating Leaf Area Index of Rice. *Rice Science*, 14 (3), 195–203.
- Wang P, Zhang Z, Song X, Chen Y, Wei X, Shi P, Tao F, 2014. Temperature variations and rice yields in China: historical contributions and future trends. *Climatic Change*, 124 (4), 777–789.
- Wang Y, Li J, 2005. The plant architecture of rice (*Oryza sativa*). *Plant molecular biology*, 59 (1), 75–84.
- Wei X, Xu J, Guo H, Jiang L, Chen S, Yu C, Zhou Z, Hu P, Zhai H, Wan J, 2010. DTH8 suppresses flowering in rice, influencing plant height and yield potential simultaneously. *Plant physiology*, 153 (4), 1747–1758.
- Xiao X, He L, Salas W, Li C, Moore B, Zhao R, Froelking S, Boles S, 2002. Quantitative relationships between field-measured leaf area index and vegetation index derived from vegetation images for paddy rice fields. *International Journal of Remote Sensing*, 23 (18), 3595–3604.
- Yoshida S, 1981. *Fundamentals Of Rice Crop Science*. International Rice Research Institute, Los Banos, 279 S.
- Yoshida S, Parao F, 1976. Climatic influence on yield and yield components of lowland rice in the tropics. In: International Rice Research Institute (Hrsg.). *Proceedings of the Symposium on Climate & Rice*. International Rice Research Institute, S. 471–494.
- Zhong ZX, Peng S, Sheehy JE, Visperas R, Liu H, 2002. Relationship between tillering and leaf area index: quantifying critical leaf area index for tillering in rice. *The Journal of Agricultural Science*, 138 (3), 269–279.