

(Aus dem Institut für Pflanzenbau und Grünland der Universität Hohenheim)

Zur Problematik der Stickstoffrückstände von Ackerbohnen (*Vicia faba* L.)*

Teil 3: Nutzung und Sicherung von Nitratstickstoff im Boden nach Ackerbohnen durch Untersaaten

Von W. AUFHAMMER, A. FIEGENBAUM und E. KÜBLER

(Mit 5 Abbildungen)

Zusammenfassung

In Feldversuchen wurden Untersaatverfahren zur Sicherung und Nutzung des Nitratstickstoffs im Boden in der Herbst- und Winterperiode nach dem Drusch von Ackerbohnen untersucht. Hierzu wurde in Ackerbohnenbestände im Blühverlauf und bei Braunreife Winterraps bzw. Wintergerste eingesät. Die Untersaatbestände sollten zur raschen N-Aufnahme frühzeitig erstellt und zur Körnernutzung weitergeführt werden. Zusätzlich erfolgte die Aussaat beider Arten nach der Ackerbohnenenernte zu standortsüblichen Terminen. Über die Herbst- und Wintermonate hinweg wurden die N_{\min} -Gehalte im Boden (kg NO_3 -N/ha, Tiefe 0 bis 90 cm) sowie der N-Entzug (kg N/ha) durch Winterraps- und -gerstenbestände verfolgt. Bei Reife wurden die Kornerträge von Winterraps und Wintergerste ermittelt. Im Blühverlauf eingedrillte Bestände zeigten hohen Feldaufgang, litten jedoch teilweise erheblich unter Lichtmangel. Bei Braunreife auf die Bodenoberfläche abgelegtes Saatgut lief in einer Trockenperiode unzureichend auf. Weitgehend geschlossen entwickelte Untersaaten reduzierten bis Herbstbeginn und damit wesentlich früher als standortsüblich gesäte Bestände das N_{\min} -Niveau im Boden auf 20 kg N/ha. Ansätze zu verbesserter Abstimmung von Ackerbohnenbestand und Untersaat werden diskutiert. Die Kornerträge untergesäter Bestände blieben deutlich unter dem Ertragsniveau standortsüblich gesäter Bestände, Untersuchungen zur Optimierung der Ertragsbildung laufen zur Zeit.

Schlüsselworte: Ackerbohne, N_{\min} -Gehalt/Boden, N-Entzug/Untersaaten.

* Die Untersuchungen wurden mit Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft durchgeführt.

Nitrogen accumulation and nitrogen residues of field beans (*Vicia faba* L.)
Part 3: Utilisation and conservation of mineralized nitrogen after field beans by interplanting

Summary

Field trials were conducted to test methods of interplanting in order to conserve and to use mineralized nitrogen during a 6–8 months period after harvesting field beans. During flowering or at brown ripe stage of field bean crops winter rape and winter barley were undersown, respectively. The goal was to establish reasonable crops by undersowing without soil preparation, at first to ensure a quick and early uptake of mineralized nitrogen and secondly to grow a subsequent crop for grain production. Additionally winter rape and winter barley were sown after the harvest of field beans at locally conventional dates and methods. During a 6–8 months period the N_{\min} -content of the soil (kg NO_3 -N/ha, depth 0 to 90 cm) and the N-uptake (kg N/ha) by winter rape and winter barley were measured. At full ripe stage grain yields of winter rape and winter barley were measured. Crops undersown during flowering emerged satisfactorily but suffered from lack of light. Crops undersown on the soil surface at brown ripe stage did not emerge under dry conditions. On the other hand undersown and fairly well developed crops reduced N_{\min} -levels to 20 kg N/ha quickly and remarkably earlier as compared to conventionally sown rape or barley crops. Attempts to improve the coordination of field bean crops and undersown crops are discussed. Grain yields of undersown winter rape and winter barley crops did not reach yield levels of conventionally sown crops, but efforts to optimize the lateron growth and yielding of undersown crops are under investigation.

Key-words: field beans, N_{\min} -content/soil, interplanting.

1. Einleitung

Im ersten Beitrag wurden Ergebnisse zur Variabilität der Stickstoffakkumulation und der Stickstoffrückstände von Ackerbohnenbeständen dargestellt (AUFHAMMER et al. 1994). Der zweite Beitrag behandelte die Entwicklung der N_{\min} -Gehalte im Boden in der Herbst- und Winterperiode nach dem Drusch von Ackerbohnen (FIEGENBAUM et al. 1994). Der vorliegende und abschließende Beitrag ist auf die Sicherung und Nutzung des Nitratstickstoffs im Boden nach Ackerbohnen durch Untersaaten ausgerichtet. Schlußendlich werden die Ergebnisse der drei Beiträge kurz zusammengefaßt.

1.1 Literaturübersicht

Mit den Folgefrüchten, mit Stoppelfrüchten oder mit Untersaaten sind Stickstoffrückstände nach der Ernte von Vorfrüchten in den anschließenden Zeiträumen in unterschiedlichem Maße nutzbar. Wie HUBER (1988) in Lysimeterversuchen feststellte, nahm üblicherweise spät gesäter Winterweizen nach Ackerbohnen verfügbaren Stickstoff nicht rasch genug auf. Daher verlagerten Herbstniederschläge den Nitratstickstoff in tiefere Bodenschichten. Unter früher gesäter Wintergerste blieb die Stickstoff-Verlagerung wesentlich geringer. Die Nutzung von Reststickstoff durch Zwischenfrüchte ist bekannt. Nach Befunden von FOERSTER und KLEINE (1990) hinterließen über Winter aufstehende Zwischenfrüchte geringere N_{\min} -Gehalte als im Herbst eingearbeitete Bestände. In Untersuchungen von UISCHNER und NEUMANN (1988) verringerten winter-

jährige Zwischenfrüchte die Wasserversickerung, reduzierten den Nitratgehalt im Sickerwasser und setzten damit die Nitratverlagerung herab. Nach BERENDONK (1989) bewirkte eine Verschiebung des Zwischenfruchtumbruchs vom Herbst auf das Frühjahr eine Reduktion des Nitratgehalts im Bodenwasser. An den Effekten ist neben der Wachstumsdauer der Zwischenfruchtbestände die Bodenbearbeitung beteiligt.

Zwischenfruchtarten sind auch über die Untersaat unter Ackerbohnen einbeziehbar. Hierzu liegen Untersuchungen mit Grasarten (LÜTKE ENTRUP et al. 1989, LÜTKE ENTRUP und STEHMANN 1989), Ölrettich und Senf (JUSTUS und KÖPKE 1990) vor. Von relativ geringen Rückwirkungen auf die Ackerbohnenbestände abgesehen, konnte mit Untersaaten – verglichen mit Stoppelsaaten – in sehr viel stärkerem Maße Stickstoff entzogen werden. Hier spielen die artspezifische Entwicklung und die Vegetationsdauer eine entscheidende Rolle. Allerdings müssen bei jeder Art des Zwischenfruchtanbaus mögliche Folgeeffekte des Umbruchs und der Wachstumsdauer, wie z. B. ein Mineralisierungsschub im Herbst, oder Wassermangel für die Folgefrucht nach Umbruch im Frühjahr bedacht werden.

1.2 Problemstellung

Die Mengen anfallender Stickstoffrückstände von Ackerbohnen variieren erheblich (AUFHAMMER et al. 1994). Die Mineralisierung von Pflanzenresten und damit die Verfügbarkeit von Nitratstickstoff im Boden hängen von Wechselwirkungen zwischen der Menge der Reste, der Zusammensetzung der Reste und witterungs- bzw. bodenbedingten Faktoren ab. Umfang und Zeitpunkt der Freisetzung von Nitratstickstoff werden folglich von den Aufwuchsbedingungen für die Ackerbohnenbestände und dem Witterungsverlauf nach Drusch mitbestimmt. Zur Sicherung und Nutzung pflanzenaufnehmbaren Stickstoffs resultieren folgende Fragen:

- Kann Winterraps oder Wintergerste als nachfolgende Hauptfrucht in aufstehende Ackerbohnenbestände eingesät und zunächst als frühzeitig wirksames Aufnahmepotential für Nitratstickstoff genutzt werden?
- Sind die untergesäten Bestände hinsichtlich des Stickstoffentzugs Beständen, die zu standortsüblichen Terminen ausgesät wurden, überlegen? Wie rasch und in welchem Ausmaß werden die N_{\min} -Gehalte im Boden reduziert?
- Ergeben sich, trotz artspezifisch sehr früher Saattermine und der Anfangsentwicklung der Untersaaten unter der „Deckfrucht“ Ackerbohne überwinterungsfähige Winterraps- bzw. Wintergerstenbestände, die zur Körnernutzung weitergeführt werden können?

Basis für die Erfassung relevanter Daten stellten die, auch für den ersten und zweiten Beitrag herangezogenen, mehrfaktoriellen Feldversuche dar.

2. Material und Methoden

2.1 Feldversuchsanlagen

Die Übersicht über die Feldversuchsanlagen wird in Tabelle 1 nochmals wiedergegeben. Desgleichen wird der Witterungsverlauf für den einschlägigen Zeitraum ab Ackerbohndrusch in Abbildung 1 nochmals dargestellt.

Der mehrfaktorielle Versuch Ihinger Hof – 1990 umfaßte in vier Wiederholungen die Faktoren: Ackerbohnenort (Alfred, Mythos), eingesäte Art (Winterraps, Wintergerste) und Einsaattermin. Der Faktor Einsaattermin enthielt die Stufen: Einsaat von Winterraps bzw. Wintergerste bei Blüte, bei Braunreife und zum standortsüblichen Termin nach Drusch der Ackerbohne sowie eine

Tabelle 1

Übersicht über die Feldversuchsanlagen

| Faktoren | Standorte | Ihinger Hof | Bemerkungen | Oberer Lindenhof | Bemerkungen |
|---|-----------|---------------------------------------|---|---------------------------------------|---|
| Vegetationsperiode, Saat-, Erntetermine der Ackerbohnen | | • 1990 | Saat: 13. 3. Ernte: 29. 8. | – | |
| | | • 1991 | Saat: 2. 4. Ernte: 28. 8. | • 1991 | Saat: 3. 4. Ernte: 4. 9. |
| Ackerbohnsorten | | • Alfred • Mythos | nur 1990 | – • Mythos | |
| Reihenweite der Ackerbohnen bei Saaddichte 40 Körner/m ² | | • 25 cm | nur 1991 | • 20 cm*) | |
| | | • 40 cm | | • 40 cm | |
| In Ackerbohnenbestände eingesäte Arten | | • Winterraps | Sorte: Lirabon | • Winterraps | Sorte: Lirabon |
| | | • Wintergerste | Sorte: Mammut | – | |
| Termine und Saatverfahren der Einsaat von Winterraps bzw. Wintergerste in die Ackerbohnenbestände | | • Blüte der Ackerbohnen | Drillsaat | • Blüte der Ackerbohnen | Drillsaat |
| | | • Braunreife der Ackerbohnen | Breitsaat | • Braunreife der Ackerbohnen | Breitsaat |
| | | • nach Drusch der Ackerbohnen | Drillsat | • nach Drusch der Ackerbohnen | Drillsaat |
| | | • keine Einsaat | Kontrolle | • keine Einsaat | Kontrolle |
| Bodenbearbeitung nach Ackerbohndrusch | | • keine Bearbeitung | | • keine Bearbeitung | |
| | | • flache Bearbeitung | nur bei Kontrolle und Einsaat nach Drusch | • flache Bearbeitung | nur bei Kontrolle und Einsaat nach Drusch |
| Ackerbohnenrückstände | | • keine Rückstände | Bracheparzelle (nur 1991) | • keine Rückstände | Bracheparzelle |
| | | • Ackerbohlenwurzeln | Sproßreste abgefahren (nur 1991) | • Ackerbohlenwurzeln | Sproßreste abgefahren |
| | | • Ackerbohlen, Sproßreste und Wurzeln | Sproßreste gehäckselt (+Ausfallkorn) | • Ackerbohlen, Sproßreste und Wurzeln | Sproßreste gehäckselt (+Ausfallkorn) |

*) in Abhängigkeit von vorhandener Saatechnik

Kontrolle. Die Kontrolle basierte auf Parzellen, die Ackerbohnen, aber keine Folgefrucht trugen (=keine Einsaat). Für die Untersuchungen waren nur Parzellen, auf denen die Ackerbohnenrückstände nach Drusch verblieben, relevant (Tab. 1). Der Versuch Ihinger Hof – 1991 unterschied sich vom vorausgehenden insofern, als nur eine Ackerbohnsorte (Mythos), diese aber mit zwei Reihenweiten, (25/20 cm, 40 cm) vorlag. Im Versuch Oberer Lindenhof – 1991 wurde nur Winterraps eingesät. (Tab. 1). Die Kalenderdaten der Saattermine enthält Tabelle 2.

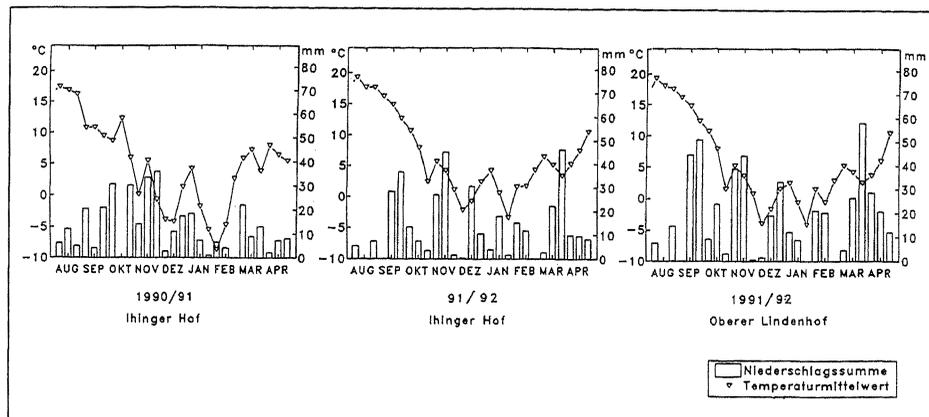


Abb. 1. Verlauf der mittleren Tagestemperaturen und der Niederschlagssummen (Dekadennittel bzw. -summen) in den Untersuchungszeiträumen 1990/91 (Standort Ihinger Hof) und 1991/92 (Standorte Ihinger Hof, Oberer Lindenhof)

Der Blühverlauf der Ackerbohne erwies sich – bezogen auf den Ackerbohnenbestand – als spätestmöglicher Termin zu korrekter, zwischenreihiger Einsaat mit der Drillmaschine nach vorausgehender mechanischer Unkrautbekämpfung. Bei Braunreife konnte nur breit eingesät werden. Zwar sorgte der Blattfall der Ackerbohne für eine gewisse Bedeckung des Saatguts. Trotzdem gingen in beiden Versuchen – 1991 (Ihinger Hof, Oberer Lindenhof) die Untersaaten bei Braunreife infolge Trockenheit nicht auf. Daher wurde unmittelbar nach Drusch nachgesät (Tab. 2).

Tabelle 2

Saattermine von Winterraps und Wintergerste

| Versuch | Einsaat bei Blüte der Ackerbohne | Einsaat bei Braunreife der Ackerbohne | Saat nach Drusch der Ackerbohne (standortsüblicher Termin) |
|--------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|--|
| Ihinger Hof – 1990 | 22. 5. | 16. 8. | 5. 9. (Winterraps) 24. 9. (Wintergerste) |
| Ihinger Hof – 1991 | 19. 6. | 14. 8. ¹ | 5. 9. (Winterraps) 25. 9. (Wintergerste) |
| Oberer Lindenhof – 1991 ² | 24. 6. | 19. 8. ¹ | 6. 9. (Winterraps) |

¹ Kein Aufgang infolge Trockenheit, daher Nachsaat (Breitsaat) von Winterraps und Wintergerste unmittelbar nach Ackerbohndrusch am 5. 9. (Ihinger Hof) bzw. am 6. 9. (Oberer Lindenhof)

² nur Winterraps

In den Versuchen Ihinger Hof – 1990 und – 1991 wurden die unter- bzw. nachgesäten Winterraps- und Wintergerstenbestände vergleichend mit den ortstüblich, artspezifisch gesäten Beständen (Tab. 2) bis zur Reife weitergeführt. Ziel war die Ermittlung und Einordnung des Ertragsniveaus. Im Versuch Oberer Lindenhof – 1991 unterblieb die Weiterführung, da die Rapsbestände nach Winter zu geringe Pflanzenzahlen/m² aufwiesen. Zur Unterstützung der Ertragsbildung erhielten die weitergeführten Bestände mineralische N-Gaben (Kalkammonsalpeter). Im Versuch Ihinger Hof – 1990 erhielten Winterraps und Wintergerste zu Vegetationsbeginn im Frühjahr 1991 in einer Gabe 60 kg N/ha.

Aufgrund unzureichender Bestandesentwicklung und geringer Kornerträge wurde der N-Düngungsaufwand im Folgeversuch – 1991 auf 120 kg N/ha angehoben. Zu Vegetationsbeginn im Frühjahr 1992 erhielten die Winterraps- bzw. die -gerstenbestände 80 kg bzw. 40 kg N/ha, sowie zu Schoßbeginn 40 kg bzw. 80 kg N/ha.

2.2 Parametererfassung

Im Versuch Ihinger Hof – 1990 wurden nach dem Ackerbohnenndrusch zwischen Anfang September 1990 und Ende Mai 1991 zu acht Terminen Bodenproben, sowie davon zu fünf Terminen Pflanzenproben entnommen. Die Pflanzenprobenahme begann nachdem auch die zum standortsüblichen Termin gesäten Bestände ausreichende Massen entwickelt hatten. In den Versuchen Ihinger Hof – 1991 und Oberer Lindenhof – 1991 lagen in den Vergleichszeiträumen sechs Termine, davon vier mit einer Pflanzenprobenahme vor. Die Bodenproben wurden mit einem Gerät der Firma Dutzi aus dem Tiefenbereich 0 bis 90 cm entnommen und in die Teilbereiche 0 bis 30 cm, 30 bis 60 cm und 60 bis 90 cm zerlegt, unmittelbar nach Entnahme in Kühlboxen gekühlt und anschließend bei 105 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Nach Homogenisierung und Extraktion mit 0,125 n CaCl₂ erfolgte die Analyse auf den NO₃-Gehalt UV-photometrisch mit einem Flow-Injection-Analyzer der Firma Tecator. Unter Einbezug des spezifischen Bodengewichts wurden die N_{min}-Gehalte/ha errechnet.

Die, soweit durchführbar, mit Wurzeln entnommenen Pflanzenproben (0,25 m²/Parzelle) wurden gewaschen, anschließend bei 105 °C bis zur Konstanz getrocknet und die Trockenmassen gewogen. Die Analyse des N-Gehalts in der Pflanzenmasse erfolgte nach Kjeldahl. Unter Einbezug der Trockenmassen wurde der N-Entzug/ha errechnet.

In den Versuchen – 1991 wurde die Entwicklung der Blattfläche und der Lichtaufnahme (photosynthetisch aktive Strahlung) der Ackerbohnenbestände in Abhängigkeit von der Reihenweite gemessen. Zur Blattflächenmessung wurde das Gerät LAI-2000 (Firma Licor/USA) eingesetzt. Die Messung des Blattflächenindex mit dem LAI-2000 erfolgt nicht destruktiv, sie basiert vielmehr auf der Lichtmessung mit einem Speziälsensor, plaziert auf der Bodenoberfläche unterhalb des Ackerbohnenbestandes und einem weiteren Sensor über dem Bestand. Die Lichtaufnahme der Bestände erfolgte mit einem Stab-sensor (LI 191 SA, Quantum Sensor) auf der Bodenoberfläche unter dem Bestand in Verbindung mit einem Punktsensor (LI 190 SZ, Quantum Sensor) über dem Bestand (Firma Licor/USA).

Bei Reife wurden über den Parzellendrusch die Kornerträge der Winterraps- und der Wintergerstenbestände ermittelt. Über die Trocknung repräsentativer Kornproben bei 105 °C bis zur Konstanz erfolgte die Bestimmung der Trockensubstanzgehalte. Die Kornerträge werden im Ergebnisteil als absolute Trockenmassen angegeben.

2.3 Datenauswertung

Die erfaßten bzw. errechneten Daten wurden den Versuchsanlagen entsprechend varianzanalytisch überprüft. Soweit für die N-Menge in der Gesamtpflanzenmasse (kg N/ha), den Nitratgehalt im Boden (kg NO₃-N/ha) und die Korntrockenmasse Signifikanz im F-Test vorlag, wurden in den Mittelwertdarstellungen Grenzdifferenzen für eine Grenzwahrscheinlichkeit von 5 % angegeben.

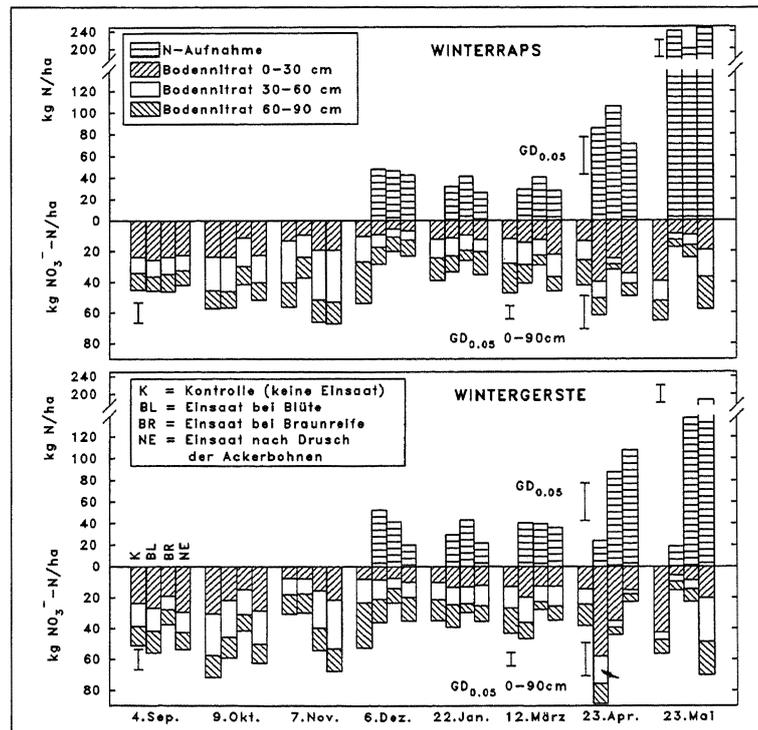
3. Ergebnisse

3.1 Stickstoffaufnahme der Untersaaten und N_{\min} -Gehalte im Boden im Versuch Ihinger Hof - 1990

Zum Untersuchungstermin am 6. Dezember 1990 traten beim Merkmal Stickstoffentzug signifikante Interaktionseffekte zwischen der Ackerbohnen-sorten und der eingesäten Art auf. Zur Blüte eingesäter Winterraps nahm bis Anfang Dezember unter der Ackerbohnen-sorten Mythos mit 73,6 kg N/ha mehr Stickstoff auf, als unter der Sorte Alfred mit 22,2 kg N/ha. Mitte Januar 1991 traten noch gleichgerichtete Tendenzen auf, die bei weiteren Terminen nicht mehr erkennbar waren.

In Abbildung 2 werden über den gesamten Untersuchungszeitraum hinweg für den N_{\min} -Gehalt im Boden, sowie ab Dezember für die N-Aufnahme die Mittelwerte zur Interaktion Einsaatart x Einsaattermin dargestellt. Auch hier waren die Differenzen nicht durchgängig signifikant. Dies hängt mit der Ungleichmäßigkeit untergesäter Bestände zusammen. Mit beginnender Bestandesentwicklung erfolgte die N-Aufnahme der untergesäten Arten, die N_{\min} -Gehalte im Boden gingen teils tendentiell, teils nachweislich zurück. Die Abnahme wurde bei Wintergerste im Herbst 1990 früher erkennbar als bei Winterraps. Bis Anfang Dezember reduzierte sowohl die bei Braunreife eingesäte Wintergerste, als auch der gleichzeitig eingesäte Winterraps den N_{\min} -Gehalt in der Schicht 0 bis 90 cm von etwa 60 kg NO_3 -N/ha. Der Entzug bei Blüte eingesäter Bestände blieb ebenso gering wie der Entzug der Bestände, die zu üblichen Terminen nach dem Ackerbohnen-drusch angelegt wurden (Abb. 2).

Abb. 2: Verlauf der Stickstoffaufnahme (kg N/ha) von Winterraps- und Wintergerstenbeständen in Abhängigkeit vom Einsaattermin in Ackerbohnenbeständen und Verlauf der Boden-nitratmengen (kg NO_3 -N/ha), Standort Ihinger Hof, 1990/91



3.2 Stickstoffaufnahme der Untersaaten und N_{\min} -Gehalte im Boden in den Versuchen Ihinger Hof - 1991 und Oberer Lindenhof - 1991

Im Versuch Ihinger Hof - 1991 traten hinsichtlich der N-Aufnahme über die Wechselwirkung Einsaatart x Einsaattermin hinaus zu einigen Terminen Wechselwirkungen mit der Reihenweite auf. Die Differenzen blieben insgesamt gering und deuteten einen Trend zu höherer N-Aufnahme der Untersaaten bei weiten Reihenweiten an (nicht dargestellt).

Im Herbst 1991 führte die frühe Einsaat von Winterraps bereits im Blühverlauf der Ackerbohne zu einer wesentlich rascheren Absenkung der N_{\min} -Gehalte im Boden als die spätere Einsaat (Abb. 3). Während Ende Oktober das Kontrollniveau bei 60 kg NO_3 -N/ha lag, wurden durch frühe Rapseinsaat Werte um 20 kg NO_3 -N/ha erreicht und gehalten. Die Entwicklung und damit die N-Aufnahme der unmittelbar nach Drusch gesäten Bestände blieb zunächst sehr gering. Die Ersatzsaat für die Einsaat bei Braunreife erfolgte termingleich mit der standortüblichen Aussaat von Winterraps (Tab. 2). Die Bestände entwickelten sich daher gleichwertig. Erst im April 1992 konnte eine beträchtliche Stickstoffaufnahme dieser Bestände mit Auswirkungen auf den N_{\min} -Gehalt im Boden festgestellt werden. Die unmittelbar nach Drusch nachgesäte Wintergerste erwies sich längerfristig als entzugswirksamer als früher oder konventionell gesäte Wintergerste (Tab. 2). Trotzdem ließ auch die Einsaat bei Blüte frühzeitig eine Reduktion der N_{\min} -Gehalte erkennen, die aber durch die rasche Entwicklung des nachgesäten Bestandes überboten wurde (Abb. 3).

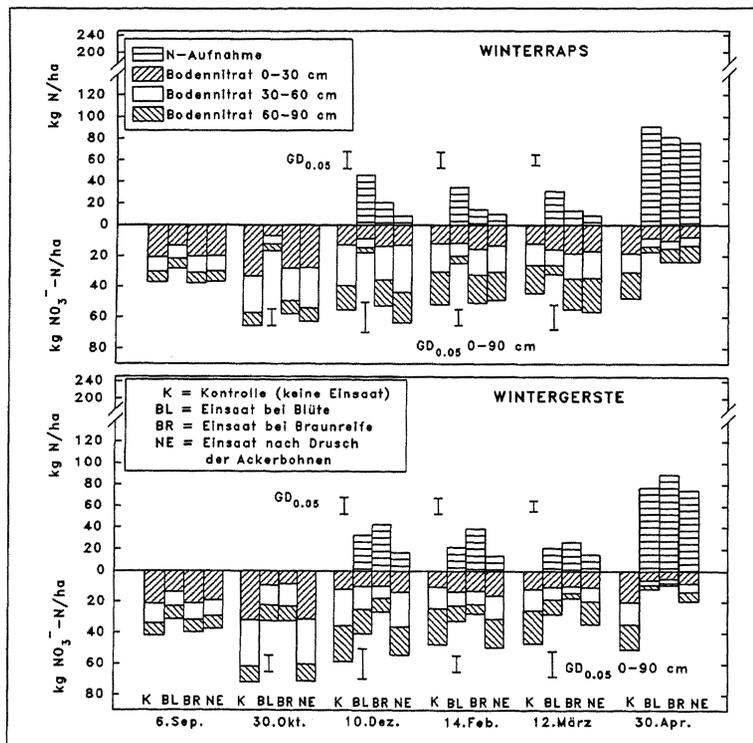
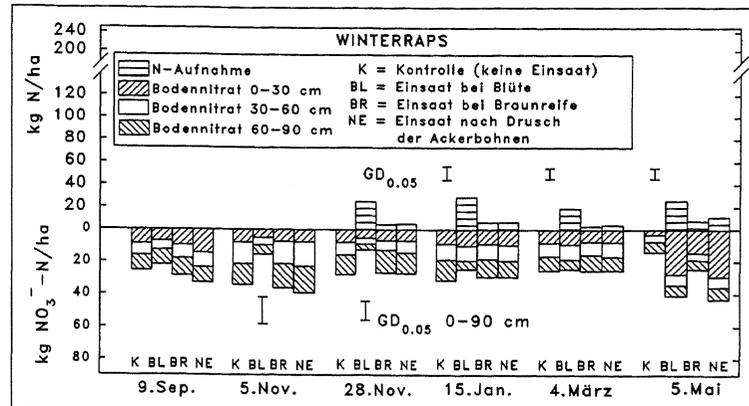


Abb. 3. Verlauf der Stickstoffaufnahme (kg N/ha) von Winter-raps- und Wintergerstenbeständen in Abhängigkeit vom Einsaattermin in Ackerbohnenbeständen und Verlauf der Bodennitratmengen (kg NO_3 -N/ha), Standort Ihinger Hof, 1991/92

Abb. 4: Verlauf der Stickstoffaufnahme (kg N/ha) von Winter-rapsbeständen in Abhängigkeit vom Einsaat-termin in Ackerbohnenbestände und Verlauf der Bodennitratmengen (kg NO₃-N/ha), Standort Oberer Lindenhof, 1991/92



Auf dem Oberen Lindenhof, auf dem nur die Einsaat von Winterraps erfolgte, kam das N-Aufnahmevermögen bei Ackerbohnenblüte eingesäter Bestände zum Tragen (Abb. 4). Dieser Befund stimmt mit den Ergebnissen des gleichjährigen Versuchs auf dem Ihinger Hof überein. Später gesäte Bestände zeigten aufgrund zu schwacher Entwicklung keine Wirkung. Allerdings blieb die Aufnahmekapazität der Rapsbestände, zusammenhängend mit Auswinterungseffekten im Frühjahr zurück. Darüberhinaus scheint die Mineralisierung abgereifener Winterrapsmasse zu einem Anstieg der N_{min}-Gehalte im Mai geführt zu haben (Abb. 4).

3.3 Kornerträge der Winterraps- und der Wintergerstenbestände in den Versuchen Ihinger Hof - 1990 und - 1991

Die unter- bzw. die 1991 nachgesäten Winterraps- und Wintergerstenbestände wurden ebenso wie die konventionell gesäten bis zur Reife weitergeführt. Das Ertragsniveau (Tab. 3) der untergesäten Bestände hing erheblich von der Pflanzzahl/m², der Pflanzenverteilung und dem Einzelpflanzenzustand

Tabelle 3

Kornerträge (dt/ha, abs. Trockenmasse) von Winterraps (Sorte Lirabon) und Wintergerste (Sorte Mammut) in Abhängigkeit vom Saattermin, Standort Ihinger Hof - 1990 und - 1991

| Versuch | Kornertrag nach Einsaat bei Blüte der Ackerbohne ¹ | Kornertrag nach Einsaat bei Braunreife der Ackerbohne ¹ | Kornertrag nach Einsaat nach Drusch der Ackerbohne ¹ | GD 5 % |
|--------------------|---|--|---|--------|
| | Winterraps | | | |
| Ihinger Hof - 1990 | 19,3 | 24,2 | 21,4 | n. s. |
| Ihinger Hof - 1991 | 27,5 | 33,2 ² | 34,4 | 5,6 |
| | Wintergerste | | | |
| Ihinger Hof - 1990 | 13,7 | 32,1 | 66,1 | n. s. |
| Ihinger Hof - 1991 | 42,9 | 72,1 ² | 57,1 | 5,6 |

¹ Daten der Saattermine siehe Tabelle 2.

² Kein Aufgang infolge Trockenheit, daher Nachsaat (Breitsaat) von Winterraps und Wintergerste unmittelbar nach Ackerbohnenndrusch.

der Ausgangsbestände vor und nach Winter ab. Darüber hinaus wirkte sich insbesondere das jahresverschiedene N-Düngungsniveau aus. Die Kornerträge der konventionell gesäten Bestände weisen eindeutig auf den N-Düngungseffekt hin. Der Einfluß der Ungleichmäßigkeit der Ausgangsbestände kam in großen Fehlervarianzen zum Tragen. Daher waren im Erntejahr 1991 auch teils sehr große Mittelwertdifferenzen biometrisch nicht nachweisbar und nicht aussagefähig (Tab. 3)

Hinsichtlich des Ertragniveaus ist generell die Angabe in absoluten Trockenmassen zu berücksichtigen. Im Erntejahr 1992 blieben sowohl die Raps- als auch die Gerstenerträge der früh untergesäten Bestände um ca. 20–25 % unter den Erträgen ortsüblich gesäter Bestände. Zur Leistung bei Braunreife eingesäter Bestände sind aufgrund hoher Fehlervarianzen im ersten und aufgrund notwendiger Nachsaaten im zweiten Versuchsjahr keine klaren Aussagen möglich. Der Problematik der Ertragsbildung untergesäter Bestände wird in laufenden Versuchen gesondert nachgegangen. Detaillierte Angaben hierzu sind daher noch nicht möglich.

4. Diskussion

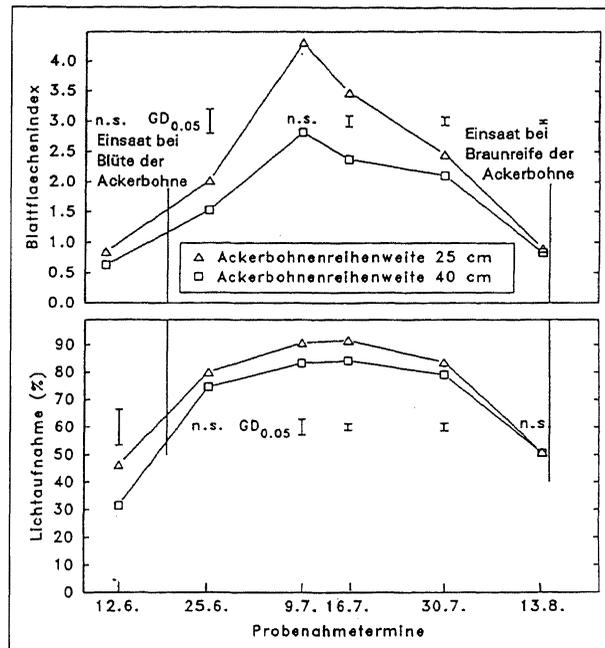
4.1 Stickstoffaufnahme und Stickstoffnutzung durch Untersaaten

Sowohl in Ackerbohnenbestände eingesäter Winterraps als auch eingesäte Wintergerste ist in der Lage, pflanzenaufnehmbaren Stickstoff dem Boden frühzeitig und weitgehend zu entziehen. Niederschlagsereignisse sind nicht kalkulierbar, daher besteht mit beginnender Ackerbohnenreife die Gefahr der N-Verlagerung. Weitgehend lückenfreie Ausgangsbestände von Winterraps bzw. Wintergerste vorausgesetzt, konnten die N_{\min} -Gehalte in der Bodenschicht 0 bis 90 cm bereits im Herbst erheblich reduziert werden. Ohne Einsaat bewegten sich die N_{\min} -Gehalte nach Ackerbohnen über die Herbst- und Wintermonate hinweg zwischen 40 und 70 kg NO_3 -N/ha (FIEGENBAUM et al. 1994). Im Versuch Ihinger Hof – 1991 senkte bei Ackerbohnenblüte eingesäter Winterraps bis Ende Oktober den N_{\min} -Gehalt von 60 kg auf unter 20 kg NO_3 -N/ha. Diese Situation blieb bis in das Frühjahr des Folgejahres stabil. In einem vorausgehenden, hier nicht näher dargestellten Versuch der Vegetationsperiode 1989–90 wurde das gleiche Niveau bereits Ende September erreicht (FIEGENBAUM 1993). Zum ortsüblichen Termin auf dem Standort Ihinger Hof ausgesäter Winterraps zeigte ähnliche Effekte erst sehr viel später. Die rechtzeitige Integration eines wachsenden Bestandes in einen abreifenden kann damit einen Ansatz zur Sicherung von N-Rückständen bieten.

Die frühe Einsaat während der Ackerbohnenblüte umfaßt mehrere Vorteile. Ohne Beschädigung der Ackerbohnen ergaben sich über zwischenreihiges Eindringen günstige Bedingungen für einen hohen Feldaufgang. Vogelfraß an auflaufenden Pflanzen wurde durch Saatgutbehandlung unterbunden. Kritisch erwies sich allerdings die lange Lichtmangelperiode bis zum Blattfall der Ackerbohnen bei Braunreife. Abhängig vom Ausmaß und der Dauer können – wie 1990 – vergeilte, auswinterungsgefährdete, auf Teilflächen ausfallende Untersaatbestände entstehen. Im Mittel zufallsverteilter Proben resultierte auf die Fläche bezogen eine zögernde Abnahme der N_{\min} -Gehalte. Von vornherein blieb auch das Kornertragspotential der Winterraps- und Wintergerstenbestände begrenzt.

Mit einer Einsaat kurz vor beginnendem Blattfall der Ackerbohne, entfällt die Lichtmangelproblematik weitgehend. Allerdings ist das Befahren der Flä-

Abb. 5: Verlauf des Blattflächenindex und der Lichtaufnahme (% der photosynthetisch aktiven Strahlung) der Ackerbohlenbestände in Abhängigkeit von der Reihenweite der Ackerbohlen, Standort Ihinger Hof, 1991



chen mit der üblichen Drillmaschine ohne Beschädigung des Ackerbohlenbestandes nicht möglich. In neuen Versuchsanlagen wird daher der Einsatz einer gestelzten Maschine überprüft. Die Breitsaat auf die Bodenoberfläche lief bei ausgeprägter Trockenheit in den Monaten Juli–August 1991 (Abb. 1) unzureichend auf. Die Deckschicht abgefallener Ackerbohlenblätter – ein Evaporationsschutz soweit Bodenfeuchte vorhanden ist – unterstützte infolge vollständiger Austrocknung der oberen Bodenschicht den Aufgang nicht. Erst über eine Nachsaat unmittelbar nach Ackerbohlendrusch und einsetzende Niederschläge konnten Bestände erstellt werden. Deren Stickstoffaufnahme blieb deutlich hinter der Aufnahme früher erstellter Bestände zurück.

Wie frühere Untersuchungen zeigten, reduzieren große gegenüber engen Reihenweiten bei nahezu gleichen Pflanzenzahlen/m² die Lichtaufnahme und die Trockenmasseproduktion des Ackerbohlenbestandes (STÜTZEL und AUFHAMMER 1991). Geringere Trockenmassen zeichneten sich auch in den vorliegenden Versuchen ab (AUFHAMMER et al. 1994). Die Darstellung der Lichtverhältnisse in Beständen mit unterschiedlicher Reihenweite erfolgt beispielhaft für den Versuch Ihinger Hof - 1991 in Abbildung 5. Bei 40 cm Reihenweite erreichten nach Einsatz bei Blüte immerhin noch 20 % der photosynthetisch aktiven Einstrahlung die auflaufenden Untersaatbestände. Dieser Wert integriert flächenbezogene Reihen- und Zwischenreihenbereiche. Zwischenreihig dürfte das Lichtangebot noch etwas größer gewesen sein. Dies begünstigte die Entwicklung und die N-Aufnahme der untergesäten Bestände. Leistungsfähige Kompakt-Sortentypen wie die Sorte Mythos, die etwas kürzer als andere Sorten bleiben, unterstützen den Lichtzutritt. Tendentiell belegten Interaktionseffekte die Bedeutung der Sorten. Wie zur Zeit laufende Untersuchungen zeigen, verkürzt ein geeigneter Wachstumsregulator aus der Gruppe der Triazole die Wuchshöhe der Ackerbohne zusätzlich um einige Zentimeter. Die Applikation nach Auflauf der frühen Untersaaten reduziert auch die Vergeilungsneigung von Raps und Ger-

ste und wirkt fungizid. Der Befall mit windverbreiteten Krankheitserregern wie Mehltau hielt sich in den vorliegenden Versuchen auch ohne Wirkstoffbehandlung in Grenzen. Offensichtlich schützten die Ackerbohnen in erheblichem Maße vor Zuflug von Infektionsmaterial. Dies sind zweifellos nutzbare, bisher nicht konsequent ausgeschöpfte Elemente zur Aufeinanderabstimmung der Bestände mit dem Ziel, Wachstumsfaktoren wie Licht und Stickstoff durch beide Bestände effizient zu nutzen.

In den vorliegenden Versuchen erreichten untergesäte Bestände nur im Einzelfall annähernd das Kornertragsniveau standortsüblich und konventionell gesäter Winterraps- und Wintergerstenbestände. Über die Problematik der Bestandesetablierung unter der Ackerbohne hinaus ist die produktionstechnische Behandlung der Untersaaten ein wesentlicher Punkt. Hierzu laufen derzeit, wie oben erwähnt, Untersuchungen.

4.2 Zusammenfassung der Ergebnisse und Folgerungen

Die Ergebnisse der Untersuchungen zur Problematik der Stickstoffrückstände von Ackerbohnen können, ausgehend von den beschriebenen Feldversuchen und den dargestellten Aufwuchsbedingungen, wie folgt zusammengefaßt werden:

- Die Kornerträge der Ackerbohnenbestände lagen zwischen 17 dt und 48 dt (abs. Trockenmasse)/ha. Mit der vegetativen Restpflanzenmasse blieben nach dem Drusch zwischen 72 kg und 177 kg Stickstoff/ha zurück. Der Kornertrag und der Stickstoffrückstand in der vegetativen Masse korrelierten mit einem Koeffizienten von $r=0,75$. Einbezüglich des Kornausfalls und der N_{\min} -Gehalte im Boden (0 bis 90 cm) bei Drusch stieg der Stickstoffrückstand auf Mengen zwischen 114 kg und 248 kg N/ha. Die jahres- und standortsunterschiedlichen Aufwuchsbedingungen waren in wesentlich stärkerem Maße für diese breite quantitative Variation verantwortlich, als die Sorte und der Bestandaufbau. Der Stickstoffgehalt (%) der vegetativen Pflanzenrückstände variierte mit den Pflanzenteilen und den Aufwuchsbedingungen von 0,9 % im Stengel (Hinger Hof - 1990) bis zu 3,1 % im Blatt (Oberer Lindenhof -1991). Unterschiedliche C- und N-Gehalte der Restmassefraktionen bedeuten in Interaktion mit den Umwelt- und Bodenbedingungen nach dem Drusch einen differenzierten Mineralisierungsverlauf.

- Bei Ackerbohnenendrusch lag der N_{\min} -Gehalt im Boden (0 bis 90 cm) zwischen 29 und 51 kg N/ha. Durchgängig stieg der Gehalt in den folgenden ein bis zwei Monaten um 10 bis 30 kg N/ha bis auf Werte zwischen 60 und 80 kg N/ha. Anschließend blieb der N_{\min} -Gehalt (0 bis 90 cm) jahres- und standortverschieden bis ins Frühjahr teils weitgehend unverändert, teils gingen die Werte bis auf etwa 40 kg NO_3 -N/ha zurück. Mit zeitlicher Verzögerung folgten gleichgerichtete Veränderungen in der Schicht 60 bis 90 cm. Eine flache Einarbeitung der Pflanzenrückstände führte nur in einem der beiden Versuchsjahre zu einer Förderung der Nettomineralisation. Wie Untersuchungen mit Kleinlysimetern in den Feldparzellen zeigten, wurden über die Herbst- und Wintermonate hinweg rund 60 kg Nitratstickstoff/ha aus der 0 bis 30 cm Schicht, abhängig vom Sickerwasseraufkommen, in tiefere Bodenschichten verlagert.

- Das Stickstoffverlagerungs- und -auswaschungspotential konnte durch die Untersaat von Winterraps oder Wintergerste unter Ackerbohnen zwischen dem Blühverlauf und der Braunreife der Ackerbohne wesentlich früher als durch konventionelle Aussaat von Winterraps und Wintergerste nach Ackerbohnen reduziert werden. Die untergesäten Bestände dienten zunächst dem

Stickstoffentzug und wurden dann zur Nutzung als Körnerfrucht bis zur Reife weitergeführt. Als wichtig aber gleichzeitig problematisch erwies sich eine rechtzeitige Etablierung geschlossener Winterraps- oder Wintergerstenbestände. Solche Bestände senkten bereits bis Ende Oktober den Nitratgehalt im Boden von 60 bis 80 kg auf 20 kg N/ha und hielten dieses Niveau über die Herbst- und Wintermonate hinweg stabil.

- Die Einsaat während des Blühverlaufs der Ackerbohne ermöglichte hohen Feldaufgang, bedeutete jedoch Lichtmangel bis zum Blattfall. Die Auswirkungen hiervon stellten die Überlebens- und Überwinterungschance zwischenreihig untergedrillter Winterraps- und Wintergerstenbestände in Frage. Nach einer Breitsaat auf die Bodenoberfläche bei Braunreife der Ackerbohnen unterblieb bei Trockenheit ein ausreichender Feldaufgang. Eine Optimierung der Kombination aus dem Aufbau des Ackerbohnenbestandes, der Ackerbohnen-sorte, der eingesäten Art und Sorte, einer angepaßten Saatechnik, sowie einer speziellen Bestandesführung erscheint möglich. Die untergesäten Winterraps- und Wintergerstenbestände erreichten nur in Einzelfällen annähernd die Korn-erträge konventionell gesäeter Bestände nach Ackerbohnen. Jedoch lassen die erwähnten Optimierungsansätze eine Verbesserung erwarten. Hierzu laufen weitere Untersuchungen.

Literatur

- AUFHAMMER, W., A. FIEGENBAUM und E. KÜBLER, 1994: Zur Problematik der Stickstoff-rückstände von Ackerbohnen (*Vicia faba* L.). Teil 1: Stickstoffakkumulation und Stickstoffrückstände von Ackerbohnen. Die Bodenkultur 45, 239-251.
- BERENDONK, C., 1989: Zwischenfruchtanbau zur Senkung des Nitratgehalts im Boden. Landesanstalt für Ökologie, Landschaftsentwicklung und Forstplanung Nordrhein-Westfalen, Jahresbericht 1988.
- BERENDONK, C., 1990: Zwischenfrüchte der Umwelt zuliebe? Rheinische Bauernzeitung 24, 22-23.
- FIEGENBAUM, A., 1993: Die Wirkung pflanzenbaulicher Maßnahmen auf die Stickstoffdy-namik im System Boden-Pflanze nach Ackerbohnen. Dissertation Universität Hohenheim.
- FIEGENBAUM, A., W. AUFHAMMER und E. KÜBLER, 1994: Zur Problematik der Stickstoff-rückstände von Ackerbohnen (*Vicia faba* L.). Teil 2: Verlauf der N_{min} -Gehalte im Boden nach Ackerbohnenndrusch. Die Bodenkultur 45, 319-331.
- FOERSTER, P. und K. KLEINE, 1990: Einfluß von Zwischenfrüchten bei unterschiedlicher Zwischenfruchtverwertung und Gülledüngung auf die N_{min} -Mengen im Boden und auf die N-Aufnahme in die Pflanzen. Kali Briefe (Büntehof) 20, 241-260.
- HUBER, R., 1988: Biologische N-Fixierung der Ackerbohnen und deren Auswirkungen auf den N-Haushalt des Bodens im Rahmen getreidebetonter Fruchtfolgen. Dissertation ETH, Zürich.
- JUSTUS, M. und U. KÖPKE, 1990: Drei Strategien zur Reduzierung von Nitratverlusten beim Anbau von Ackerbohnen. Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 3, 187-190.
- LÜTKE ENTRUP, N. und G. STEHMANN, 1989: Untersaaten in Ackerbohnen. Raps 7, 93-94.
- LÜTKE ENTRUP, N., K. H. BLOME und G. STEHMANN, 1989: Körnerleguminosen ohne Nitrat-probleme anbauen. DLG-Mitteil. 104, 188-191.
- STÜTZEL, H. und W. AUFHAMMER, 1991: Light interception and utilization in determinate and indeterminate cultivars of *Vicia faba* under contrasting plant distribution and population densities. J. Agric. Sci. Camb. 114, 395-407.
- UISCHNER, C. und K.-H. NEUMANN, 1988: Der Einfluß von Wintergerste als Winter-zwischenfrucht auf die N-Dynamik im Boden. VDLUFA-Schriftenreihe 28, 559-573.

(Manuskript eingelangt am 25. Juli 1994, angenommen am 3. Oktober 1994)

Anschrift der Verfasser:

Prof. Dr. Walter AUFHAMMER, Dr. Andreas FIEGENBAUM und Dr. Ernst KÜBLER, Institut für Pflanzenbau und Grünland (340), Universität Hohenheim, Fruwirthstraße 23, D-70599 Hohenheim