

# Mischungseffekte in Getreide-Körnerleguminosen-Beständen auf die N-Akkumulation in den Spross- und Kornmassen in Abhängigkeit vom Mischungsverhältnis

E. Kübler, W. Aufhammer und H.-P. Piepho

## Mixing effects in cereal-grain legume stands on the N-accumulation of the above ground dry matter yield and the grain yield in dependence of the mixing ratio

### 1 Einleitung und Problemstellung

Werden beide Komponenten – eine Getreide- und eine Körnerleguminosenkomponente – gleichzeitig und gleich tief ausgesät, läuft zumeist die Getreidekomponente, jedenfalls der Weizen, nicht unbedingt der Hafer, rascher auf als die größerkörnige Erbse oder die höher wärmeanspruchsvolle Linse. Der Entwicklungsvorsprung begünstigt zunächst die Bewurzelung und damit die Nährstoffaneignung und die Wasseraufnahme der Getreidekomponente. Diesbezüglich partizipiert im Substitutionsbestand die Getreidekomponente zudem von der – gegenüber Getreide – geringeren Pflanzendichte  $m^{-2}$  der Leguminosenkomponente (DEWIT, 1960; DEWIT und VAN DEN BERGH, 1965; CARR et al., 1995; BULSON et al., 1997). Aufgrund reduzierter Konkurrenzeffekte hängen damit, gegenüber den reinbestandsbasierten Erwartungswerten, höhere Bestandesdichten  $m^{-2}$  und Kornzahlen je Fruchtstand zusammen (AUFHAMMER et al., 2005a, b; KÜBLER et al., 2008).

Über diese Differenzierungen im Sprossbereich hinaus können gleichermaßen Differenzierungen im Wurzelbereich des Mischbestandes auftreten. In Untersuchungen von HAUGGAARD-NIELSEN et al. (2001) wurzelte Gerste im Mischbestand mit Erbse tiefer als im Reinbestand. Analoge Ergebnisse fanden BOLLER und NÖSBERGER (1988) für Weidelgras im Mischbestand mit Rotklee. Demnach dürfte der Graskomponente im Mischbestand mit einer Leguminose ein größeres Bodenvolumen und damit ein größerer Nährstoffpool als im Reinbestand zur Verfügung stehen. Außerdem kann, wie wiederholt festgestellt, in späteren Entwicklungsabschnitten, etwa nach dem Schieben der Fruchtstände und im Verlauf der Kornausbildung, die Getreidepflanze durch einen N-Transfer von der Leguminosenpflanze profitieren (ANDERSEN et al., 1983; AUFHAMMER et al., 2005a, b; HELENIUS und RONNI, 1989; HOF und RAUBER, 2003; KÜBLER et al., 2006, 2008).

Zusammengenommen werfen die Befunde Fragen nach der N-Akkumulation in den erntbaren Spross- und Korn-

### Summary

Effects of mixing ratio on N-accumulation in mixed stands of cereal (wheat, oats) and legume (lentil, pea) components were investigated in two year field experiments under low input conditions. Stands with different legume proportions in substitution or addition series were established. Apart from N-accumulation in the above ground dry matter and the grain fraction, effects on the N-supply of the cereal component during grain filling were measured. Differences between accumulation values of the mixing stands and expected values, based on pure stands, were defined as mixing effects.

In substitution stands the N-accumulation as well as the mixing effects increased with rising legume proportions. Substitution and addition stands reached the N-accumulation levels of pure legume stands. In substitution stands there was a tendency of increased 1000 grain weight and in both stand types the cereal components exceeded the grain protein contents of pure stands.

**Key words:** Cereal-grain legume mixed stands, N-accumulation, protein content of cereal grain.

## Zusammenfassung

Unter Low-Input-Bedingungen wurden in zweijährigen Feldversuchen die Effekte des Mischungsverhältnisses in Beständen aus einer Getreidekomponente (Weizen, Hafer) und einer Leguminosenkomponente (Linse, Erbse) auf die N-Akkumulation der Bestände untersucht. Mit zunehmenden Leguminosenanteilen wurden Substitutions- und Additionsbestände erstellt. Über die N-Akkumulation in den Spross- und den Kornmassen hinaus wurden Effekte auf die N-Versorgung der Getreidekomponente im Kornausbildungsverlauf und die Rohproteingehalte im Korngut erfasst. Die Differenzen zwischen den N-Akkumulationswerten der Mischbestände und den reinbestandsbasierten Erwartungswerten wurden als Mischungseffekte bezeichnet. – Unter den gegebenen Aufwuchsbedingungen stieg in den Substitutionsbeständen mit zunehmenden Leguminosenanteilen die N-Akkumulation in den Spross- und den Kornmassen. Parallel nahmen die Mischungseffekte zu. Sowohl mit den Substitutions- als auch mit den Additionsbeständen konnte das N-Akkumulationsniveau der Leguminosenreinbestände erreicht werden. In den Substitutionsbeständen zeigten die Tausendkorngewichte einen Zunahmetrend, in beiden Bestandesvarianten übertrafen die Rohproteingehalte im Korngut der Getreidekomponenten die relevanten Rohproteingehalte der Getreidereinbestände.

**Schlagworte:** Getreide-Körnerleguminosen-Mischbestände, N-Akkumulation, Rohproteingehalt der Getreidekomponente.

massen der Misch- verglichen mit den Reinbeständen der beteiligten Komponenten und den Auswirkungen auf die Kornqualität der Getreidekomponenten auf. Folgende Hypothesen sind zu prüfen:

- Unter Low-Input-Bedingungen tragen Leguminosenkomponenten in Substitutionsbeständen mit Getreidearten nicht nur aufgrund höherer N-Gehalte der Leguminosensprossmassen, sondern auch aufgrund eines N-Transfers zur Getreidekomponente, zu einer überproportionalen Steigerung der N-Erträge  $\text{ha}^{-1}$  in den Spross- und den Kornmassen bei.
- Unter Low-Input-Bedingungen ist pflanzenaufnehmbares N der ertragsbegrenzende Faktor schlechthin. Selbst mit voller Saaddichte angelegten Getreidebeständen zuaddierte Leguminosenanteile, als Additionsbestände bezeichnet, heben daher die N-Erträge  $\text{ha}^{-1}$  der Gesamtsprommassen an.
- Der Einfluss der Leguminosenkomponente in Mischbeständen mit Getreidearten ist nicht nur kornertrags- und N-ertrags-, sondern auch kornqualitätsrelevant. Steigende Leguminosenanteile beeinflussen die Kornausbildung, insbesondere den Rohproteingehalt der Getreidekomponenten positiv.

Die Basis für die Überprüfung der Hypothesen sind 2-jährig-mehrfaktorielle Feldversuche. Die Anlagestruktur wurde bereits in vorausgehenden Publikationen detailliert dargestellt (KÜBLER et al., 2006, 2008). Trotzdem erfolgt anschließend nochmals ein kurzer Überblick.

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Versuchsanlage

Der zugrunde liegende Feldversuch (Spalt-Spaltanlage) wurde zweijährig (2002, 2003) mit je drei Wiederholungen auf der Versuchsstation für Pflanzenbau und Pflanzenschutz Ihinger Hof (470–510 m NN; 8,2 °C; 690 mm Niederschlag; schluffreiche, zur Verschlammung neigende Parabraunerden) der Universität Hohenheim durchgeführt.

Die Haupteinheit N-Versorgung umfasste zwei Stufen. In  $N_1$  wurde auf eine externe N-Zufuhr verzichtet. In  $N_2$  wurde 2002 durch eine Güllegabe vor der Saat 50  $\text{kg ha}^{-1}$  Ammoniumstickstoff verabfolgt. 2003 wurde mit derselben Güllemenge, deren Gehalt erst nach der Ausbringung ermittelt werden konnte, nur 25  $\text{kg ha}^{-1}$   $\text{NH}_4\text{-N}$  ausgebracht. Um die Aussaat nicht weiter zu verzögern, glich eine Enttegabe (25  $\text{kg NH}_4\text{-N ha}^{-1}$ ) zur Saat die Differenz aus. Auf eine Grunddüngung wurde ebenso verzichtet wie auf einen Biozideinsatz. Die Unkrautregulierung erfolgte mit dem Striegel.

Die Artenkombinationen bildeten die Untereinheiten. Die Getreidearten Sommerweizen und Nackthafer wurden mit den Körnerleguminosen Linsen und Erbsen faktoriell zu Zweikomponenten-Mischbeständen kombiniert (Tabelle 1). Diese wurden sowohl nach dem Substitutions- als auch nach dem Additionsprinzip in breiter Anteilsvariation konzipiert und den jeweiligen Reinbeständen gegenübergestellt (Unter-Untereinheiten). Die ortsüblichen Saaddichten der Reinbestände und die hiervon abgeleiteten Mischungsverhältnisse sind in Tabelle 1 wiedergegeben.

Tabelle 1: Versuchsanlage – Rein- und Mischbestände  
 Table 1: Experimental design – pure stands and mixed stands

- I N-Angebot  
 $N_1$  = bodenbürtiges N-Angebot, symbiotische N-Bindung, keine N-Düngung  
 $N_{min}$  0–90 cm vor der Saat 2002 = 38 kg, 2003 = 32 kg  $NO_3$ -N  $ha^{-1}$   
 $N_2$  = wie  $N_1$ , mit einer zusätzlichen Güllegabe wurden 2002 vor der Saat 50 kg  $ha^{-1}$  Ammonium-N auf den gefrorenen Boden ausgebracht. 2003 enthielt die Gülle sehr geringe TS- und N-Gehalte. Mit derselben Güllemenge wie 2002 wurden nur 25 kg  $ha^{-1}$  Ammonium-N ausgebracht, deshalb wurde zur Ergänzung auf 50 kg  $ha^{-1}$  N eine Entcegabe von 25 kg  $ha^{-1}$  Ammonium-N verabfolgt.
- II Bestände (Rein- und Mischbestände)

Reinbestände

| Getreidearten                      | Sorten   | Saadichten<br>(kf. Körner $m^{-2}$ ) | Leguminosearten          | Sorten  | Saadichten<br>(kf. Körner $m^{-2}$ ) |
|------------------------------------|--|--------------------------------------|--------------------------|---|--------------------------------------|
| Sommerweizen (S)<br>Nackthafer (H) | Quattro <sup>1)</sup><br>Salomon <sup>1)</sup> | 300<br>300                           | Linsen (L)<br>Erbsen (E) | Anicia <sup>2)</sup><br>Madonna <sup>1)</sup> | 160<br>80                            |

Mischbestände

| Arten und<br>Artenkombinationen |       | Rein- und Substitutionsbestände<br>(keimfähige Körner $m^{-2}$ ) |                                   | Additionsbestände<br>(keimfähige Körner $m^{-2}$ ) |                      |
|---------------------------------|-------|--|-----------------------------------|--|----------------------|
| S                               | H     | 300  | Reinbestand                       |  |                      |
| S + L                           | H + L | 225 + 40   | ( $\frac{3}{4}$ + $\frac{1}{4}$ ) |  |                      |
| S + L                           | H + L | 150 + 80   | ( $\frac{1}{2}$ + $\frac{1}{2}$ ) |  |                      |
| S + L                           | H + L | 75 + 120   | ( $\frac{1}{4}$ + $\frac{3}{4}$ ) |  |                      |
|                                 | L     | 160  | Reinbestand                       |  |                      |
| S + L                           | H + L |  |                                   | 300 + 40   | (1 + $\frac{1}{4}$ ) |
| S + L                           | H + L |  |                                   | 300 + 80   | (1 + $\frac{1}{2}$ ) |
| S + L                           | H + L |  |                                   | 300 + 120  | (1 + $\frac{3}{4}$ ) |
| S + L                           | H + L |  |                                   | 300 + 160  | (1 + 1)              |
| S                               | H     | 300  | Reinbestand                       |  |                      |
| S + E                           | H + E | 225 + 20   | ( $\frac{3}{4}$ + $\frac{1}{4}$ ) |  |                      |
| S + E                           | H + E | 150 + 40   | ( $\frac{1}{2}$ + $\frac{1}{2}$ ) |  |                      |
| S + E                           | H + E | 75 + 60  | ( $\frac{1}{4}$ + $\frac{3}{4}$ ) |  |                      |
|                                 | E     | 80   | Reinbestand                       |  |                      |
| S + E                           | H + E |  |                                   | 300 + 20   | (1 + $\frac{1}{4}$ ) |
| S + E                           | H + E |  |                                   | 300 + 40   | (1 + $\frac{1}{2}$ ) |
| S + E                           | H + E |  |                                   | 300 + 60   | (1 + $\frac{3}{4}$ ) |
| S + E                           | H + E |  |                                   | 300 + 80   | (1 + 1)              |

<sup>1)</sup> Anonymus 2002    <sup>2)</sup> Horneburg 2003

Die Aussaat der unmittelbar vor der Saat gemischten Saatgutkomponenten erfolgte mit der Ojord in einer Überfahrt ca. 3,5 cm tief im üblichen Getreidereihenabstand (12 cm).

Auf die Fragestellung ausgerichtet, wurde in die Datenerfassung die N-Versorgung der Getreidekomponenten in späteren Entwicklungsstadien einbezogen. Hierzu wurde mit dem Yara-N-Tester der Chlorophyllgehalt der Fahnenblätter ermittelt (HEEGE und REUSCH, 1996; REUSCH, 1997; WOLLRING und REUSCH, 1999). In beiden Jahren wurde in der Kornfüllungsphase an jeweils 30 voll entwickelten, zufällig verteilten Fahnenblättern je Parzelle optisch der Chlorophyllgehalt als Färbungsintensität gemessen. In der Vegetationsperiode 2003 erfolgte ca. 4 Wochen früher, beim Ähren- bzw. beim Rispenschieben, eine zu-

sätzliche Messung. Das Mittel über 30 Einzelmessungen der Färbungsintensität ergab den Parzellenwert.

Vor dem Drusch wurde aus jeder Parzelle durch einen Schnitt ca. 5 cm über der Bodenoberfläche eine Sprossmasseprobe (1  $m^2$ ) entnommen und anschließend in die Komponenten zerlegt, bei 80 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und danach gewogen. Die Teilproben wurden mit dem Standdrescher gedroschen und jeweils die Korn-, Spreu- bzw. Hülsen- und Strohtrockenmasse separat gewichtsmäßig erfasst.

Die Restparzellen (11  $m^2$ ) wurden bei Vollreife gedroschen und das Korngut wegen der teilweise uneinheitlichen Abreife der Komponenten nachgetrocknet. Nach einer Grobreinigung des Druschgutes wurde mit dem Probentei-

ler eine Teilprobe von ca. 1 kg entnommen und von Hand in die Komponenten und den Besatz getrennt. Zudem wurden die Tausendkorngewichte der Getreidekomponenten ermittelt.

Teilmengen der Korn-, Spreu-/Hülsen- und Strohtrockenmasse wurden komponentengetrennt gemahlen. Definierte Mengen des gemahlten Materials wurden mit dem Elementargerät nach der Verbrennungsmethode DUMAS auf den Gesamtstickstoffgehalt ( $N_t$ ) untersucht (WINKLER et al., 2000). Der  $N_t$ -Gehalt im Korn ergab, einheitlich mit dem Faktor 6,25 multipliziert, den Korn-Rohproteingehalt.

Aus der Multiplikation der  $N_t$ -Gehalte mit dem Korn- und dem Sprosstrockenmasseertrag, (Sprosstrockenmasse = Stroh + Korn + Spreu bzw. Hülsen) resultierten die N-Akkumulationswerte in der Korn- und Sprosstrockenmasse der Reinbestände. Bei den Mischbeständen wurde die N-Akkumulation in der Korn- und der Sprossmasse der Komponenten analog ermittelt und aufsummiert.

## 2.2 Kalkulation der Erwartungswerte und der Mischungseffekte

Zunächst wurde aus den Saatchichteanteilen der an einem Mischbestand beteiligten Komponenten und den Stickstoffentzügen (Sprossmasse gesamt bzw. Kornmasse) ihrer Reinbestände ein Erwartungswert (EW) kalkuliert (Beispiele hierfür in KÜBLER et al. 2006 und 2008). Diesem kalkulierten Wert wurde der aus den festgestellten Spross- bzw. Korntrockenmasseerträgen und den ermittelten  $N_t$ -Gehalten errechnete gemessene Wert (GW) gegenübergestellt. Die Differenz zwischen dem Erwartungswert (EW) und dem gemessenen Wert (GW) stellt den Mischungseffekt (ME) dar. Bei hohen Erwartungswerten, wie sie sich vor allem in den Additionsbeständen errechnen, resultieren meist negative Mischungseffekte. In Substitutionsbeständen sind dagegen auf niedrigerem Erwartungswerteniveau positive ME vorstellbar und häufig festgestellt worden (AUFHAMMER, 1999; AUFHAMMER et al., 2004, 2005a, b; KÜBLER et al., 2006, 2008).

Tabelle 2: Farbintensitätsmessung an den Fahnenblättern zur Charakterisierung der N-Versorgung der Getreidekomponente (Mittelwerte über Jahre, N-Stufen und Artenkombinationen)

Table 2: Colour intensity of flag leaves to characterize the N-supply of the cereal components (mean values across years, N-levels and the species combinations)

|                | Getreide-<br>reinbestand | Substitutionsbestände       |                             |                             | Additionsbestände |                   |                   | GD<br>5 % |         |
|----------------|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------|---------|
|                |                          | $\frac{3}{4} + \frac{1}{4}$ | $\frac{1}{2} + \frac{1}{2}$ | $\frac{1}{4} + \frac{3}{4}$ | $1 + \frac{1}{4}$ | $1 + \frac{1}{2}$ | $1 + \frac{3}{4}$ |           | $1 + 1$ |
| Versuchsmittel | 495,7                    | 547,8                       | 592,9                       | 646,9                       | 522,7             | 537,8             | 559,1             | 568,4     | 29,37   |

## 2.3 Überprüfung der Daten

Die Mittelwerte der Rein- und der Mischbestände wurden nach einem Modell für eine Spalt-Spalt-Anlage auf Reproduzierbarkeit überprüft und verglichen. Für diese paarweisen Vergleiche wurden aufgrund der Unbalanciertheit der Daten mittlere Grenzdifferenzen bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % berechnet (PIEPHO et al., 2004, 2006). Für die Auswertung über beide Jahre – mit dem als zufällig betrachteten Faktor Jahr – wurde eine Serienauswertung vorgenommen.

Die Mischungseffekte wurden als lineare Kontraste formuliert und überprüft. Der Kontrast für den Vergleich der gemessenen Werte (GW) einer Mischung und dem Erwartungswert (EW) wurde ebenfalls mit einem t-Test zum Niveau 5 % (\*), 1 % (\*\*), und 0,1 % (\*\*\*) getestet (JOHNSON et al., 1993; PIEPHO, 2004; PIEPHO et al., 2003, 2004, 2006; AUFHAMMER et al., 2004, 2005a, b; KÜBLER et al., 2006).

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Färbungsintensität der Fahnenblätter der Getreidekomponenten

Aufgrund mit bloßem Auge erkennbarer Grünfärbungsunterschiede der Fahnenblätter der Getreidekomponenten in den Mischbeständen gegenüber den Reinbeständen wurde die Grünfärbungsintensität der Fahnenblätter gemessen. In beiden Jahren und auf beiden N-Stufen stieg durchgängig in allen Artenkombinationen die Färbungsintensität mit zunehmenden Leguminosenanteilen in den Mischbeständen. Da keine Abweichungen vorlagen, werden in Tabelle 2 die Mittelwerte über die Jahre, die N-Stufen und die Artenkombinationen dargestellt. In den Substitutionsbeständen wurden im Mittel bis zu 30 %, in den Additionsbeständen bis zu 15 % höhere Werte als in den Getreide-reinbeständen gemessen.

### 3.2 Korn- und Gesamtsprossmasseerträge, N-Gehalte und Harvestindices – Überblick

Auf die Reinbestände bezogen, erreichten der Weizen und die Erbse mit im Mittel rd. 34 dt ha<sup>-1</sup> ein vergleichbares Kornertragsniveau und Harvestindices über 40. In beiden Merkmalen blieben die Werte der Reinbestände von Hafer und insbesondere von Linse erheblich geringer. Wie nicht anders zu erwarten, übertrafen die N-Gehalte der Korn- und der Gesamtsprossmassen der Leguminosen, die der Getreidearten eindeutig, während die Differenzierung der N-Harvestindices wesentlich von den Kornertragsunterschieden bestimmt wurde. Mit rund 77 wiesen der Erbsenreinbestand den höchsten, der Linsenreinbestand mit 64 den geringsten N-Harvestindex auf (Tabelle 3).

In den Mischbeständen fixierten die ertragsstärkeren Komponenten, der Weizen und die Erbse, ein überlegenes Niveau der Kornerträge und der Harvestindices. Mit einem Index von knapp 30 zeigte der Mischbestand aus Hafer und Linse das untere Ende an, während der N-Harvestindex mit rund 72 das Niveau der übrigen Mischbestände erreichte. Demgegenüber lassen die N-Harvestindices der Mischbestände mit im Mittel durchgängig über 70 nur geringe Unterschiede erkennen (Tabelle 3).

### 3.3 N-Akkumulation in den Spross- und Kornmassen

Abgesehen von den Niveauunterschieden zwischen den Jahren und den N-Stufen zeichneten sich in den Substitutionsbeständen mit bis auf 50 % ansteigenden Legumino-

senanteilen über den Getreidereinbestand und die Erwartungswerte der Mischbestände hinaus in den Spross- und Kornmassen zunehmende N-Mengen ab. Parallel nahmen die Mischungseffekte zu, sie sind aber häufig nicht nachweisbar. Mit einer Vergrößerung des Leguminosenanteils auf 75 % stiegen die in den Spross- und Kornmassen akkumulierten N-Mengen weiter an. Die Mischungseffekte auf die Kornmassen gingen jedoch wiederholt tendenziell zurück (Tabelle 4, 5).

Auch die N-Mengen, die die Spross- und Kornmassen der Additionsbestände akkumulierten, stiegen mit zunehmenden Leguminosenanteilen, die den mit voller Saatkunde angelegten Getreidebeständen addiert wurden, kontinuierlich an. Allerdings entstanden immer größere Differenzen zu den Erwartungswerten. Die Differenzen werden als negative Mischungseffekte bezeichnet. Aufgrund der massiv zunehmenden Konkurrenz um diverse Wachstumsfaktoren in den dichten Beständen und aufgrund des hohen Niveaus der reinbestandsbasierten Erwartungswerte kann dies nicht überraschen (Tabelle 4, 5).

Interessant ist aber auch, dass sowohl mit den Substitutions- als auch mit den Additionsbeständen aus jeweils einer Getreide- und einer Leguminosenkomponente die N-Akkumulation in den Spross- und den Kornmassen der Leguminosenreinbestände erreicht werden konnte. Dies war in den Substitutionsbeständen mit einem Leguminosenanteil von 75 % und in den Additionsbeständen mit der Kombination eines vollen Getreide- und eines vollen Leguminosenbestandes der Fall (Tabelle 4, 5).

Tabelle 3: Korn- und Gesamtsprossmasseerträge (dt ha<sup>-1</sup>) und Harvestindices, Nt-Gehalte (%) und N-Harvestindices von Rein- und Mischbeständen (Mittelwerte über Jahre, N-Stufen und Mischungsvarianten)

Table 3: Grain and above ground dry matter yields (dt ha<sup>-1</sup>) and harvest indices, Nt-content (%) and N-harvest indices of pure and mixed stands (mean values across years, N-levels and mixing relations)

| Bestände           | Erträge dt ha <sup>-1</sup> |               | Harvestindex | N <sub>t</sub> -Gehalte (%) |               | N-Harvestindex |
|--------------------|-----------------------------|---------------|--------------|-----------------------------|---------------|----------------|
|                    | Korn                        | Spross gesamt |              | Korn                        | Spross gesamt |                |
| Reinbestände       |                             |               |              |                             |               |                |
| Sommerweizen (S)   | 34,87                       | 84,20         | 41,41        | 2,21                        | 1,14          | 73,65          |
| Hafer (H)          | 25,53                       | 83,56         | 30,55        | 2,58                        | 1,17          | 68,67          |
| Linse (L)          | 17,01                       | 66,32         | 25,65        | 4,54                        | 2,61          | 64,43          |
| Erbse (E)          | 34,27                       | 75,24         | 45,55        | 3,50                        | 2,23          | 77,03          |
| Artenkombinationen |                             |               |              |                             |               |                |
| S + L              | 37,33                       | 93,71         | 39,84        | 3,08                        | 1,63          | 75,15          |
| S + E              | 39,93                       | 90,42         | 44,16        | 2,71                        | 1,69          | 70,91          |
| H + L              | 27,99                       | 94,16         | 29,73        | 3,60                        | 1,49          | 71,68          |
| H + E              | 33,56                       | 95,32         | 35,21        | 3,07                        | 1,51          | 71,55          |

S = Sommerweizen, L = Linse, E = Erbse, H = Hafer



Tabelle 4: Erwartete (EW) und gemessene (GW) Stickstoffakkumulation ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ) in den Sprossmassen (Korn + Stroh) der Rein- und der Mischbestände sowie Mischungseffekte (ME) in Abhängigkeit von den Jahren, den N-Stufen und den Mischungsvarianten (Mittelwerte über die Artenkombinationen)

Table 4: Expected values (EW) and measured values (GW) of the N-accumulation in the above ground dry matter of pure and mixed stands and mixture effects (ME) in dependence of years, N-levels and mixtures (mean values across the species combinations)

| Faktoren       | Parameter      | Getreide-reinbestand | Substitutionsbestände       |                             |                             | Additionsbestände |                   |                   |            | Leguminosenreinbestand | GD 5 % |            |
|----------------|----------------|----------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------|------------------------|--------|------------|
|                |                |                      | $\frac{3}{4} + \frac{1}{4}$ | $\frac{1}{2} + \frac{1}{2}$ | $\frac{1}{4} + \frac{3}{4}$ | 1 + $\frac{1}{4}$ | 1 + $\frac{1}{2}$ | 1 + $\frac{3}{4}$ | 1 + 1      |                        |        |            |
| Versuchsmittel | EW             | 96,81                | 115,16                      | 133,50                      | 151,85                      | 139,36            | 181,91            | 224,46            | 267,01     | 170,20                 | 8,90   |            |
|                | GW             |                      | 124,59                      | 153,19                      | 171,08                      | 126,93            | 143,44            | 153,24            | 162,93     |                        |        |            |
|                | ME             |                      | 9,43                        | 19,69*                      | 19,23                       | -12,43            | -38,47*           | -71,22***         | -104,08*** |                        |        |            |
| Jahre          | 2002           | 78,84                | 99,25                       | 119,65                      | 140,06                      | 118,96            | 159,08            | 199,19            | 239,31     | 160,47                 | 9,47   |            |
|                |                |                      | GW                          | 117,34                      | 148,69                      | 164,45            | 112,59            | 135,47            | 152,01     |                        |        | 156,55     |
|                |                |                      | ME                          | 18,09**                     | 29,04***                    | 24,39***          | -6,37             | -23,61***         | -47,18***  |                        |        | -82,76***  |
|                | 2003           | 114,78               | 131,06                      | 147,35                      | 163,64                      | 159,76            | 204,74            | 249,72            | 294,71     | 179,93                 |        |            |
|                |                |                      | GW                          | 134,17                      | 157,70                      | 177,71            | 141,26            | 151,42            | 154,48     |                        |        | 169,30     |
|                |                |                      | ME                          | 3,11                        | 10,35                       | 14,07*            | -18,50**          | -53,32***         | -95,24***  |                        |        | -125,41*** |
| N-Angebot      | N <sub>1</sub> | 84,00                | 103,18                      | 122,36                      | 141,54                      | 124,18            | 164,36            | 204,54            | 244,71     | 160,71                 | 12,58  |            |
|                |                |                      | GW                          | 117,69                      | 145,77                      | 165,70            | 113,83            | 132,98            | 146,50     |                        |        | 155,47     |
|                |                |                      | ME                          | 14,51                       | 23,41                       | 24,16             | -10,35            | -31,38            | -58,04***  |                        |        | -89,24***  |
|                | N <sub>2</sub> | 109,62               | 127,14                      | 144,65                      | 162,17                      | 154,54            | 199,46            | 244,38            | 289,30     | 179,68                 |        |            |
|                |                |                      | GW                          | 131,49                      | 160,62                      | 176,46            | 140,02            | 153,90            | 159,99     |                        |        | 170,38     |
|                |                |                      | ME                          | 4,35                        | 15,97                       | 14,29             | -14,52            | -45,56*           | -84,39***  |                        |        | -118,92*** |

Signifikante Mischungseffekte bei 5 % (\*), 1 % (\*\*) und 0,1 % (\*\*\*) Irrtumswahrscheinlichkeit

Tabelle 5: Erwartete (EW) und gemessene (GW) Stickstoffakkumulation ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ) in den Kornmassen der Rein- und der Mischbestände sowie Mischungseffekte (ME) in Abhängigkeit von den Jahren, den N-Stufen und den Mischungsvarianten (Mittelwerte über die Artenkombinationen)

Table 5: Expected values (EW) and measured values (GW) of the N-accumulation ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ) in grain of pure and mixed stands and mixture effects (ME) in dependence of years, N-levels and mixtures (mean values across species combinations)

| Faktoren       | Parameter      | Getreide-reinbestand | Substitutionsbestände       |                             |                             | Additionsbestände |                   |                   |           | Leguminosenreinbestand | GD 5 % |           |
|----------------|----------------|----------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------|------------------------|--------|-----------|
|                |                |                      | $\frac{3}{4} + \frac{1}{4}$ | $\frac{1}{2} + \frac{1}{2}$ | $\frac{1}{4} + \frac{3}{4}$ | 1 + $\frac{1}{4}$ | 1 + $\frac{1}{2}$ | 1 + $\frac{3}{4}$ | 1 + 1     |                        |        |           |
| Versuchsmittel | EW             | 68,86                | 81,68                       | 94,50                       | 107,32                      | 98,89             | 128,93            | 158,96            | 189,00    | 120,14                 | 7,11   |           |
|                | GW             |                      | 89,56                       | 110,51                      | 121,54                      | 91,75             | 104,94            | 111,71            | 118,08    |                        |        |           |
|                | ME             |                      | 7,88                        | 16,01                       | 14,22                       | -7,14             | -23,99            | -47,25***         | -70,92*** |                        |        |           |
| Jahre          | 2002           | 55,43                | 69,91                       | 84,40                       | 98,88                       | 83,77             | 112,11            | 140,45            | 168,79    | 113,36                 | 7,74   |           |
|                |                |                      | GW                          | 80,45                       | 104,53                      | 114,06            | 79,29             | 97,32             | 108,29    |                        |        | 111,61    |
|                |                |                      | ME                          | 10,54*                      | 20,13***                    | 15,18**           | -4,48             | -14,79**          | -32,16*** |                        |        | -57,18*** |
|                | 2003           | 82,28                | 93,44                       | 104,60                      | 115,77                      | 114,01            | 145,75            | 177,48            | 209,21    | 126,93                 |        |           |
|                |                |                      | GW                          | 98,67                       | 116,49                      | 129,02            | 104,21            | 112,55            | 115,12    |                        |        | 124,55    |
|                |                |                      | ME                          | 5,23                        | 11,89*                      | 13,25**           | -9,80             | -33,20***         | -62,36*** |                        |        | -84,66*** |
| N-Angebot      | N <sub>1</sub> | 58,50                | 73,23                       | 87,97                       | 102,70                      | 87,86             | 117,22            | 146,58            | 175,94    | 117,44                 | 10,05  |           |
|                |                |                      | GW                          | 84,81                       | 107,52                      | 120,25            | 82,64             | 98,14             | 108,05    |                        |        | 113,57    |
|                |                |                      | ME                          | 11,58                       | 19,55                       | 17,55             | -5,22             | -19,08            | -38,53*** |                        |        | -62,37*** |
|                | N <sub>2</sub> | 79,21                | 90,12                       | 101,03                      | 111,94                      | 109,93            | 140,64            | 171,35            | 202,06    | 122,85                 |        |           |
|                |                |                      | GW                          | 94,31                       | 113,50                      | 122,82            | 100,85            | 111,73            | 115,37    |                        |        | 122,59    |
|                |                |                      | ME                          | 4,19                        | 12,47                       | 10,88             | -9,08             | -28,91*           | -55,98*** |                        |        | -79,47*** |

Signifikante Mischungseffekte bei 5 % (\*), 1 % (\*\*) und 0,1 % (\*\*\*) Irrtumswahrscheinlichkeit

### 3.4 Kornausbildung der Getreidekomponenten

In den Substitutionsbeständen stiegen die Tausendkorngewichte der Getreidekomponenten mit zunehmenden Leguminosenanteilen im Mittel um bis zu 2,5 g über die Reinbestandswerte hinaus an. In den Additionsbeständen blieben die relevanten Werte unverändert (Daten nicht ausgewiesen). Mit einem positiven Einfluss auf den Rohproteingehalt des Kornguts der Getreidekomponenten in beiden Mischbestandsvarianten erhöhten die Leguminosenkomponenten die ernährungsphysiologische Kornqualität. Gegenüber dem Rohproteingehalt des Getreidereinbestandes von – im Versuchsmittel – 14,3 % stieg der Gehalt der Getreidekomponenten in den Substitutionsbeständen bis auf 17,1 % an (Tabelle 6). Zwischen den Jahren und den N-Stufen traten Niveauunterschiede und Anstiegsdifferenzierungen auf, die eindeutig positiven Effekte sind jedoch ausnahmslos gleichgerichtet gegeben.

In den Substitutionsbeständen von Weizen stieg der Rohproteingehalt, ausgehend von knapp 13 % im Reinbestand auf maximal 15,6 % in den Mischungen mit der Linse und auf 17,3 % in Mischungen mit der Erbse. In den Mischbeständen von Hafer nahmen die relevanten Werte von rund 16 % auf über 18 % zu. In den Additionsbeständen blieb der Anstieg der Proteingehalte geringer als in den Substitutionsbeständen. In den Mischbeständen von Weizen mit der Linse bzw. der Erbse erreichte das Korngut immerhin einen Rohproteingehalt von 13,8 % bzw. 15,6 %, in denen

von Hafer mit der Linse bzw. der Erbse wurden Rohproteingehalte von über 16 % festgestellt (Tabelle 6).

## 4 Diskussion

Wenn Mischbestände positive Mischungseffekte auf die N-Akkumulation in den erntbaren Massen entwickelten, also Beträge festzustellen sind, die über die reinbestandsbasierten Erwartungswerte hinausgehen, wie in den Substitutionsbeständen aufgezeigt, waren dort größere N-Mengen pflanzenverfügbar als in den Reinbeständen. Das boden- und das düngungsbürtige N-Angebot differierte zwischen den Bestandestypen nicht. Zunächst ist also davon auszugehen, dass der zusätzliche N von den Leguminosen unter Mischbestandsbedingungen – und nur dort – produziert und zumindest teilweise von den Getreidekomponenten aufgenommen wurde. Eine zunehmende Grünfärbungsintensität, d. h. vermutlich ein höherer Chlorophyllgehalt oder ein verzögerter Chlorophyllabbau der Fahnenblätter im Misch- gegenüber dem Reinbestand, weisen auf einen N-Transfer, in der Größenordnung abhängig vom Leguminosenanteil, hin.

In Richtung einer größeren N-Produktion der Leguminosen im Misch- als im Reinbestand deuten die N-Erträge je ha. Substitutionsbestände mit 75 % Leguminosen erzielten das gleiche Niveau wie die Leguminosenreinbestände. Auch Additionsbestände in der Kombination von Getreide-

Tabelle 6: Kornrohproteingehalte (%) der Getreidekomponente in den Rein- und Mischbeständen in Abhängigkeit von den Jahren, den N-Stufen, den Artenkombinationen und den Mischungsvarianten

Table 6: Protein content in grains (%) of the cereal component in pure and mixed stands in dependence of the years, the N-levels, the species combinations and the mixtures

|                    | Getreide-<br>reinbestand | Substitutionsbestände       |                             |                             | Additionsbestände |                   |                   |         | GD<br>5 % |
|--------------------|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------|-----------|
|                    |                          | $\frac{3}{4} + \frac{1}{4}$ | $\frac{1}{2} + \frac{1}{2}$ | $\frac{1}{4} + \frac{3}{4}$ | $1 + \frac{1}{4}$ | $1 + \frac{1}{2}$ | $1 + \frac{3}{4}$ | $1 + 1$ |           |
| Versuchsmittel     | 14,35                    | 14,84                       | 15,93                       | 17,06                       | 14,85             | 15,27             | 15,52             | 15,60   | 0,78      |
| Jahre              |                          |                             |                             |                             |                   |                   |                   |         |           |
| 2002               | 14,09                    | 14,91                       | 16,27                       | 16,98                       | 14,88             | 15,26             | 15,91             | 15,94   | 0,46      |
| 2003               | 14,61                    | 14,77                       | 15,59                       | 17,14                       | 14,81             | 15,29             | 15,14             | 15,27   |           |
| N-Versorgung       |                          |                             |                             |                             |                   |                   |                   |         |           |
| N <sub>1</sub>     | 14,30                    | 15,01                       | 15,84                       | 16,90                       | 14,77             | 15,01             | 15,43             | 15,54   | 0,46      |
| N <sub>2</sub>     | 14,40                    | 14,67                       | 16,02                       | 17,22                       | 14,92             | 15,53             | 15,61             | 15,67   |           |
| Artenkombinationen |                          |                             |                             |                             |                   |                   |                   |         |           |
| S + L              | 12,84                    | 13,44                       | 14,27                       | 15,55                       | 13,24             | 13,57             | 13,82             | 13,85   | 1,05      |
| S + E              | 12,98                    | 13,92                       | 15,49                       | 17,31                       | 14,28             | 14,50             | 15,18             | 15,62   |           |
| H + L              | 16,05                    | 15,77                       | 16,40                       | 17,05                       | 16,20             | 16,94             | 16,47             | 16,39   |           |
| H + E              | 15,54                    | 16,22                       | 17,57                       | 18,33                       | 15,67             | 16,09             | 16,62             | 16,56   |           |

S = Sommerweizen, L = Linse, E = Erbse, H = Hafer

und Leguminosenbeständen mit vollen Saatchichten erreichten, trotz massiver wechselseitiger Konkurrenz, dieses Niveau (WILSON, 1988; SNAYDON, 1996). Ob allerdings an der überlegenen N-Akkumulation der Mischbestände auch eine tiefere Bodendurchwurzelung der Getreidekomponenten beteiligt war – wie in Kombinationen anderer Arten ermittelt (HAUGGAARD-NIELSEN et al., 2001; BOLLER und NÖSBERGER, 1988) – wurde nicht untersucht, ist aber nicht auszuschließen. Welche Ursachen auch immer relevant waren, die vorliegenden Ergebnisse bestätigen unsere Hypothesen zur N-Akkumulation von Mischbeständen überzeugend (SNAYDON, 1991, 1996; JENSEN, 1996).

Mit dem Einfluss zunehmender Leguminosenanteile auf die N-Akkumulation in den Spross- und Kornmassen veränderte sich die Relation der verschiedenen, im Korngut der Getreidekomponenten gespeicherten Reservestoffgruppen. Sowohl steigende Tausendkorngewichte als auch zunehmende Rohproteingehalte können unter ernährungsphysiologischen Aspekten als Verbesserung der Kornqualität gewertet werden. Mit steigenden Linsen- bzw. Erbsenanteilen stand in den Substitutionsbeständen einer systemimant, in den Additionsbeständen einer konkurrenzbedingt abnehmenden Fruchtstandsanzahl je m<sup>2</sup>, ein immer größeres N-Lieferungspotential gegenüber. Die Veränderung der Relationen zwischen den Mischungskomponenten und damit verbundener Konkurrenzverhältnisse (DEWIT, 1960; DEWIT und VAN DEN BERGH, 1965) erklärt, ausgehend vom Getreidereinbestand, den unterschiedlichen Anstieg des Rohproteingehalts im geernteten Korngut. Dieser erreichte im Mittel mit maximal 2,7 % im Substitutionsbestand mehr als das Doppelte des Anstiegs im Additionsbestand. Allerdings verteilte sich der aufgenommene N in den Additionsbeständen auf größere Ähren- bzw. Rispenzahlen als in den Substitutionsbeständen.

Der Einfluss des gedüngten N auf den Rohproteingehalt des Getreidekornguts ist zwar entlang der Mischbestände als Tendenz erkennbar, blieb aber quantitativ unbedeutend. Die maßgebliche N-Quelle waren unter den gegebenen Low-Input-Bedingungen die Leguminosen. Zusammenfassend trifft damit auch die Hypothese zur Verbesserung der Qualität des Getreidekornguts, in Mischbeständen aus Getreide- und Leguminosenkomponenten zu.

## Literatur

- ANONYMUS (2002): Beschreibende Sortenliste: Getreide, Mais, Ölfrüchte, Leguminosen (großkörnig), Hackfrüchte (außer Kartoffeln). Bundessortenamt Hannover, Deutscher Landwirtschaftsverlag GmbH, Hannover.
- ANDERSEN, A. J., V. HAAHR, E. S. JENSEN and J. SANDFAER (1983): Effect of N-fertilizer on yield, protein content and symbiotic N-fixation in *Pisum sativum* L., grown in pure stand and mixtures with barley. In: THOMPSON, R. & R. CASEY (eds): Perspectives for peas and lupins as protein-crops, 205–218. Proc. Int. Symp. on Protein Production from legumes in Europe 19. – 20. Oct. 1981. M. Nijhoff Publ., The Hague.
- AUFHAMMER, W. (1999): Mischbau von Getreide- und anderen Körnerfruchtarten. Ein Beitrag zur Nutzung von Biodiversität im Pflanzenbau. Ulmer Stuttgart.
- AUFHAMMER, W., E. KÜBLER und H.-P. PIEPHO (2004): Getreidearten und Körnerleguminosen als Komponenten von Mischbeständen – 1. Mitt.: Mischungseffekte auf die Kornerträge. Pflanzenbauwiss. 8, 56–63.
- AUFHAMMER, W., E. KÜBLER und H.-P. PIEPHO (2005a): Getreidearten und Körnerleguminosen als Komponenten von Mischbeständen – 2. Mitt.: Mischungseffekte auf die Produktion und die Verteilung der Sprosstrockenmasse. Pflanzenbauwiss. 9, 1–8.
- AUFHAMMER, W., E. KÜBLER und H.-P. PIEPHO (2005b): Getreidearten und Körnerleguminosen als Komponenten von Mischbeständen – 3. Mitt.: Mischungseffekte auf die N-Akkumulation der Sprosstrockenmasse und die N<sub>min</sub>-Rückstände im Boden. Pflanzenbauwiss. 9, 87–95.
- BOLLER, B. and J. NÖSBERGER (1988): Influence of dissimilarities in temporal and spatial N-uptake pattern on <sup>15</sup>N-based estimates of fixation and transfer of N in ryegrass-clover mixtures. Plant and Soil 112, 167–175.
- BULSON, H. A. J., R. W. SNAYDON and C. E. STOPES (1997): Effects of plant density on intercropped wheat and field beans in an organic farming system. J. Agric. Sci. 128, 59–71.
- CARR, P. M., J. C. GARDENER, B. G. SCHATZ, S. W. ZWINGER and S. J. GULDAN (1995): Grain yield and weed biomass of a wheat-lentil-intercrop. Agron. J. 87, 574–579.
- DEWIT, C. T. (1960): On competition. Versl. Landbouwk. Onderzoek. No. 66.8., Wageningen, 1–82.
- DEWIT, C. T. and J. P. VAN DEN BERGH (1965): Competition between herbage plants. Neth. J. Agric. Sci. 13, 212–221.



- HAUGGAARD-NIELSEN, H., P. AMBUS and E. S. JENSEN (2001): Temporal and spatial distribution of roots and competition for nitrogen in pea-barley intercrops. – A field study employing  $^{32}\text{P}$  technique. *Plant and Soil* 236, 63–74.
- HEEGE, J. J. and S. REUSCH (1996): Sensor for on the go control of site specific nitrogen top dressing. ASAE Paper 961018, ASAE, St. Joseph, MI, USA.
- HELENIUS, J. and P. RONNI (1989): Yield, its components and past incidence in mixed intercropping of oats (*Avena sativa*) and field beans (*Vicia faba*). *J. Agric. Sci. in Finland* 61, 15–31.
- HOF, C. and R. RAUBER (2003): Anbau von Gemengen im ökologischen Landbau. Inst. f. Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Georg-August Universität Göttingen. Hrsg.: Geschäftsstelle Bundesprogramm Ökologischer Landbau in der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE), Bonn, 1. Auflage.
- HORNEBURG, B. (2003): Frischer Wind für eine alte Kulturpflanze! Linsen im ökologischen Anbau, ihre Geschichte und Verwendung. Herausgegeben vom Dreschflegel e. V. und dem Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der Universität Göttingen. 1. Auflage 2003.
- JENSEN, E. S. (1996): Grain yield, symbiotic  $\text{N}_2$ -fixation and interspecific competition for inorganic N in pea-barley intercrops. *Plant and Soil* 182, 25–38.
- JOHNSON, N. L., S. KOTZ and A. W. KEMP (1993): Univariate discrete distributions. 2<sup>nd</sup> edition. Wiley, New York.
- KÜBLER, E., W. AUFHAMMER und H.-P. PIEPHO (2006): Mischungseffekte in Getreide-Körnerleguminosen-Beständen auf den Kornertrag in Abhängigkeit vom Mischungsverhältnis. *Die Bodenkultur*, 57, 121–130.
- KÜBLER, E., W. AUFHAMMER und H.-P. PIEPHO (2008): Mischungseffekte in Getreide-Körnerleguminosen-Beständen auf die Zusammensetzung der Spross- und Kornmassen in Abhängigkeit vom Mischungsverhältnis. *Die Bodenkultur*, 59, 35–43.
- PIEPHO, H.-P., A. BÜCHSE and K. EMRICH (2003): A hitchhiker's guide to the mixed model analysis of randomized experiments. *J. Agron. Crop Sci.* 189, 310–322.
- PIEPHO, H.-P. (2004): An algorithm for a letter-based representation of all-pairwise comparisons. *J. of Computational and Graphical Statistics* 13, 456–466.
- PIEPHO, H.-P., A. BÜCHSE and C. RICHTER (2004): A mixed modelling approach to randomized experiments with repeated measures. *J. Agron. Crop Sci.* 190, 230–247.
- PIEPHO, H.-P., E. R. WILLIAMS and M. FLECK (2006): A note on the analysis of designed experiments with complex treatment structure. *HortScience* 41, 446–452.
- REUSCH, S. (1997): Entwicklung eines reflexionsoptischen Sensors zur Erfassung der Stickstoffversorgung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen. Forschungsbericht Agrartechnik des Arbeitskreises Forschung und Lehre der Max-Eyth-Gesellschaft Agrartechnik im VDI (VDI-MEG) 303, Kiel, Germany.
- SNAYDON, R. W. (1991): Replacement or additive designs for competition studies? *J. Appl. Ecol.* 28, 930–946.
- SNAYDON, R. W. (1996): Above-ground and below-ground interactions in intercropping. In: ITO, O., C. JOHANSEN, J. J. ABU-GYMAFI, K. KATAYAMA, J. V. D. K., KUMAR RAO and T. J. REGO (Eds.): Dynamics of roots and nitrogen in cropping systems of the semi-arid tropics. Japan International Research Center for Agricultural Sciences, 73–92.
- WILSON, J. B. (1988): Shoot competition and root competition. *J. Appl. Ecol.* 25, 279–296.
- WINKLER, R., S. BOTTERBRODT, E. RABE und M. G. LINDHAUER (2000): Stickstoff-/Proteinbestimmung mit der Dumas-Methode in Getreide und Getreideprodukten. *Getreide, Mehl und Brot* 54 (2), 86–91.
- WOLLRING, J. und S. REUSCH (1999): Stickstoff variabel düngen – Sensor misst Versorgung der Pflanzen. In DLZ Agrarmagazin, Sonderheft 10, BLV-Verlag, München, Germany.

### Anschrift der Autoren

Dr. Ernst Kübler, Prof. Dr. Walter Aufhammer, Prof. Dr. Hans-Peter Piepho, Institut für Kulturpflanzenwissenschaften – 340, Universität Hohenheim, Stuttgart, Deutschland.

### Korrespondierender Autor

Hans-Peter Piepho, E-Mail: [piepho@uni-hohenheim.de](mailto:piepho@uni-hohenheim.de)

Eingelangt am 28. Mai 2009

Angenommen am 21. Januar 2010