



GEORG-AUGUST UNIVERSITÄT GÖTTINGEN

Department für Nutzpflanzenwissenschaften

Züchterische Verbesserung der N-Effizienz bei Raps

Heiko C. Becker

- ❖ **Genetische Variation**
- ❖ **Wurzelsystem**
- ❖ **Halbzwerg-Hybriden**
- ❖ **Ausblick**

Vortrag Universität Kiel 28.1.2014



Different genotypes
react differently to
nutrient deficiency

(2 maize lines at 1/100,
1/20, 1/5, 1/2, and full P
supply)

Smith 1934

Ein Bereich der Ernährungsphysiologie der Pflanze, der in Zukunft stärker Beachtung finden muß, sind genotypische Unterschiede im Nährstoffaneignungsvermögen weil die kritische Frage berechtigt ist, ob man durch die Möglichkeit hoher Mineraldüngergaben das Streben nach „effizienten“ Genotypen außer acht lassen darf.

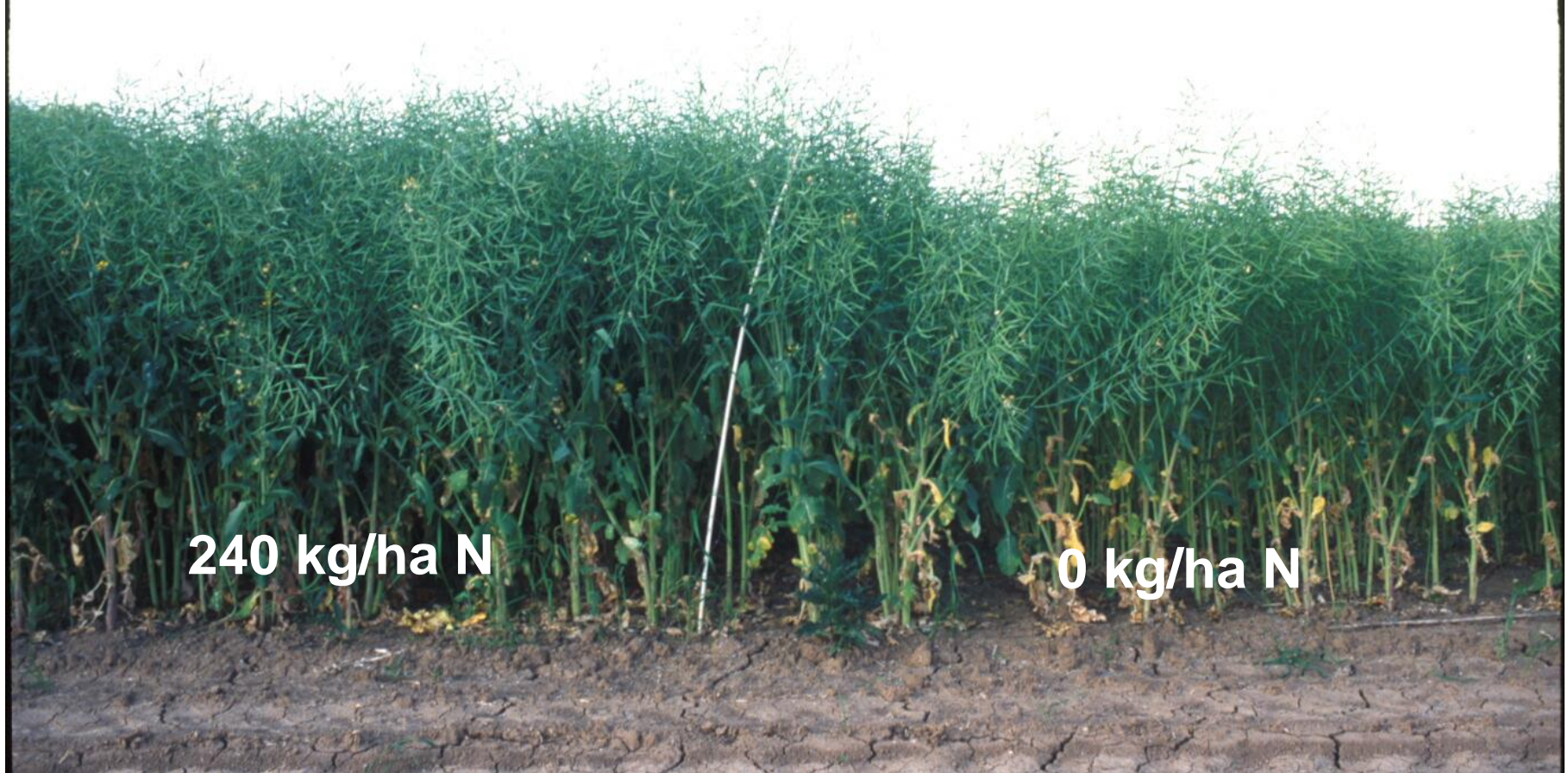
Horst Marschner 1978

Warum Züchtung auf N-Effizienz?

- Einsparung von Mineraldünger
- Düngemittelverordnung (Vermeidung von N-Auswaschung)
- Nachhaltigkeitsverordnung (Reduktion von THG-Emission)

Das Problem

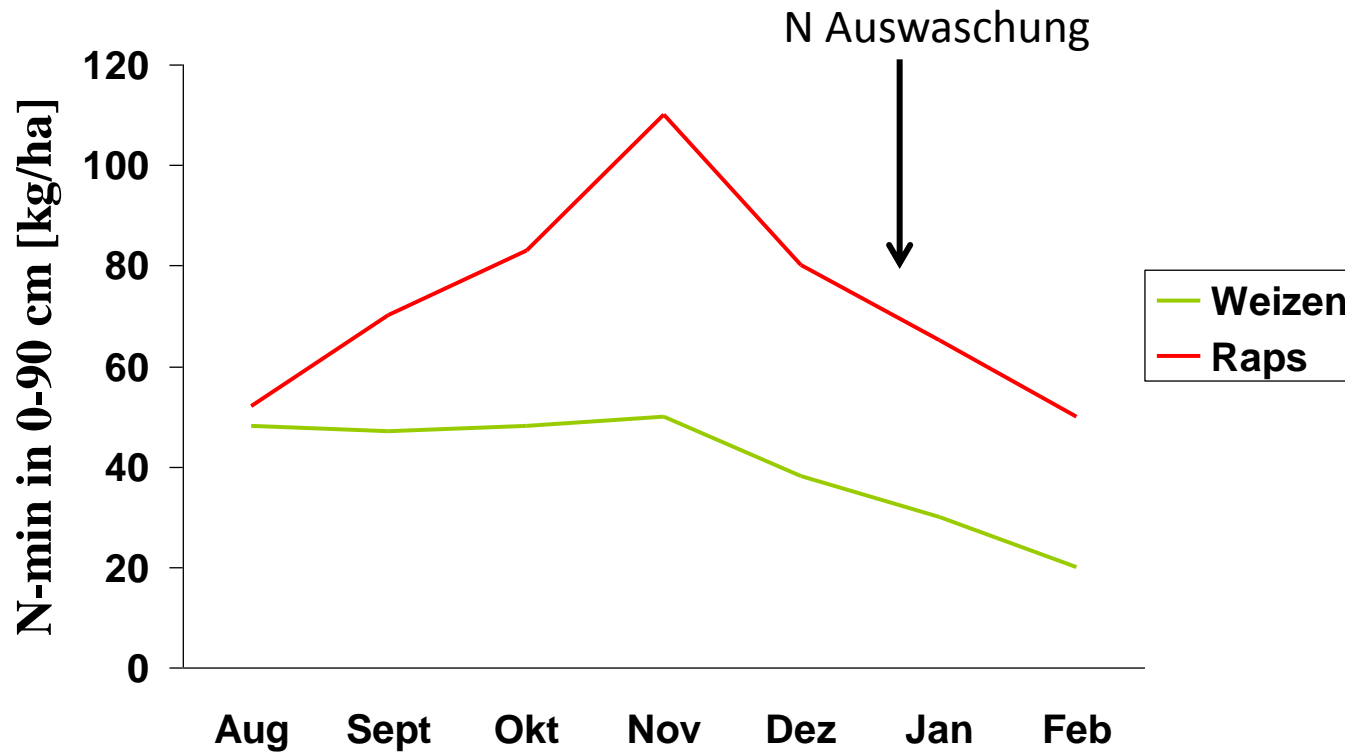
Raps reagiert empfindlich auf N-Mangel...



Das Problem

... und wird deshalb stark gedüngt → negative N-Bilanz

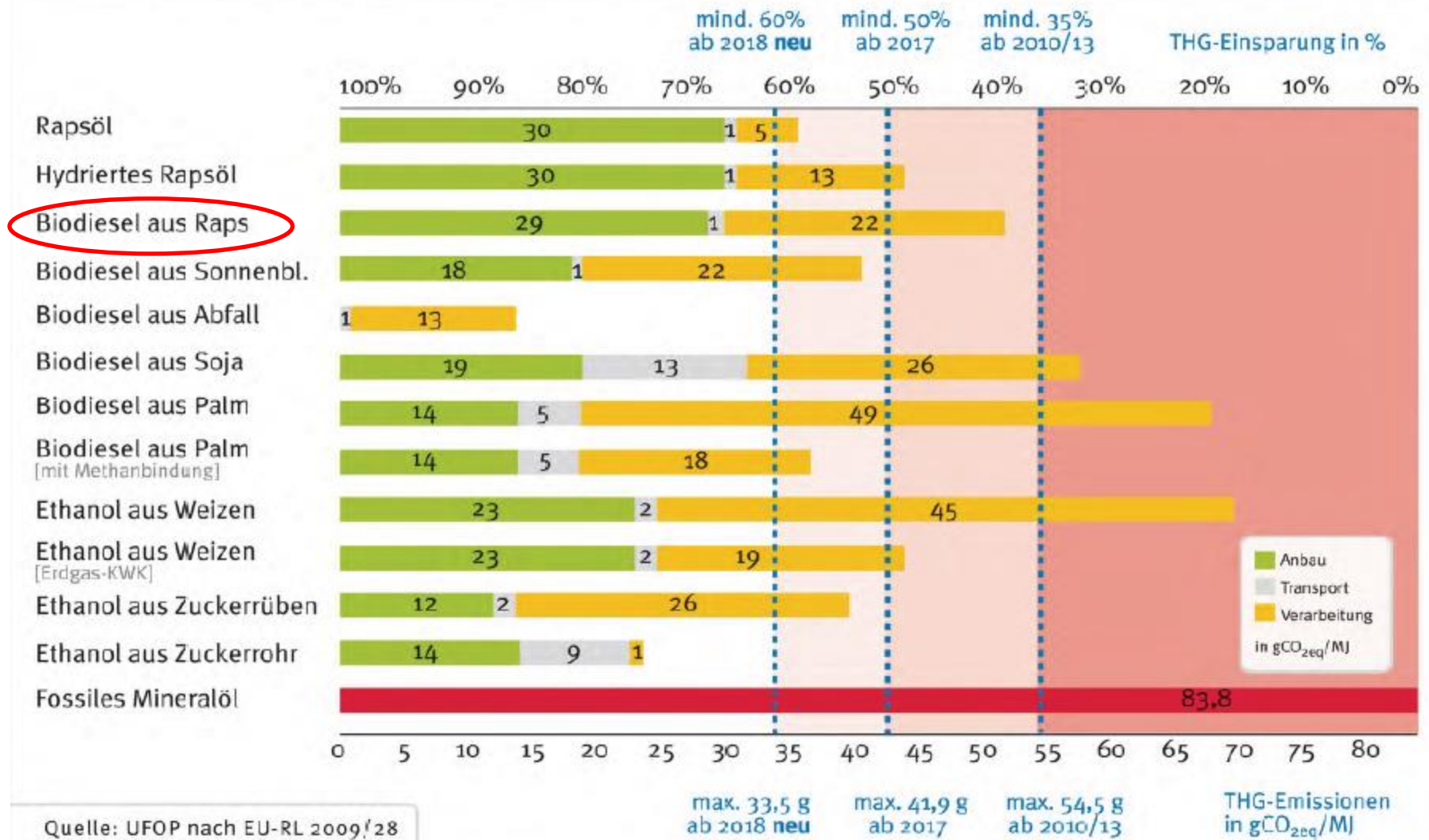
Tab. 3.3. Beispiele für N-Bilanzen bei Winterraps und Winterweizen [kgN/ha]		
	Raps	Weizen
Düngung	200	200
N-Aufnahme	300	250
N-Abfuhr	130	180
N in Ernterückständen	170	70
N-Bilanz (Abfuhr - Düngung)	- 70	- 20



N-min nach Raps und Weizen

(2jährige Ergebnisse, Höckelheim, LK Hannover)

Standard - THG - Emissionen für Biokraftstoffe

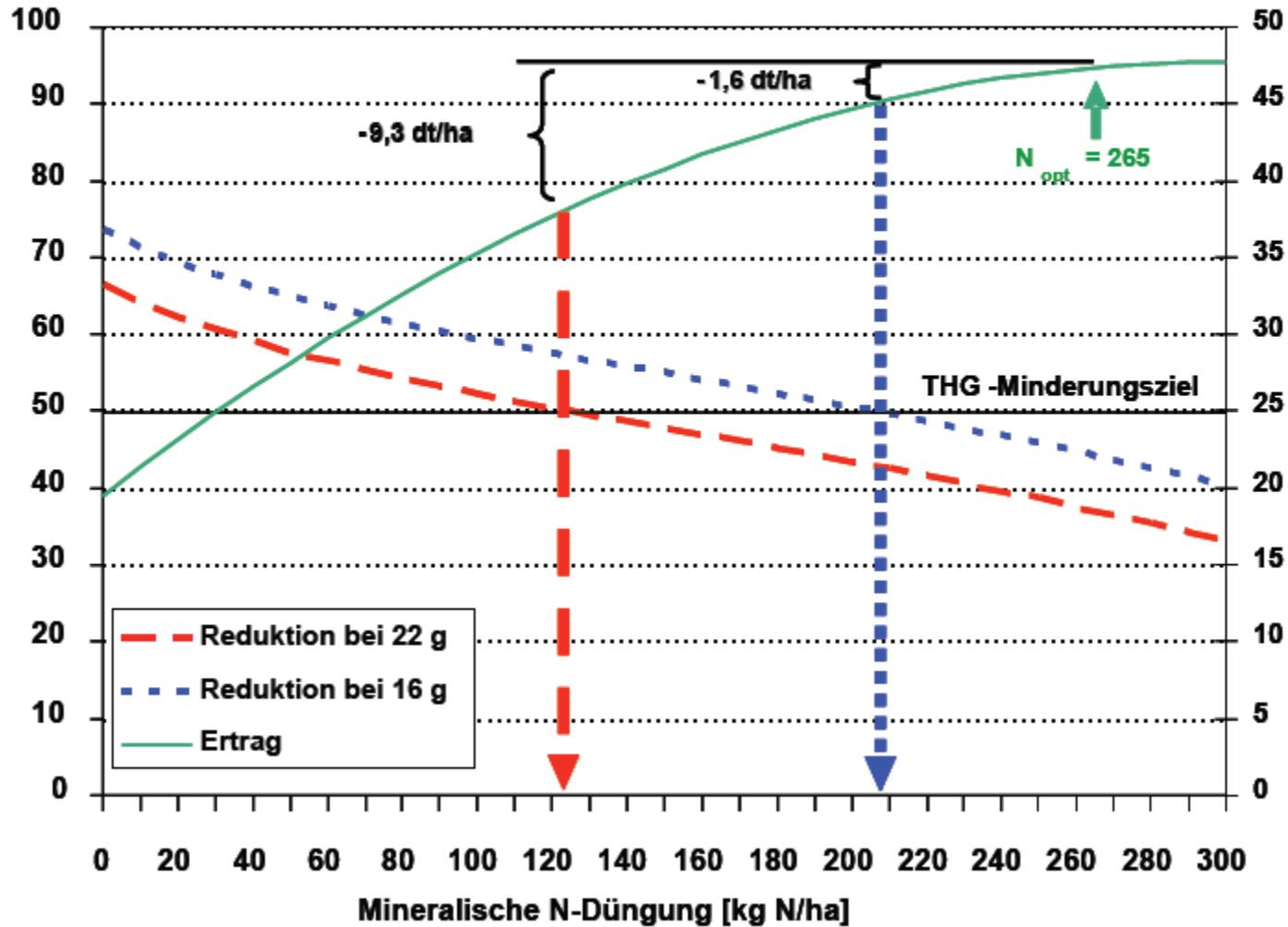


Rapsertag und N-Düngung



Treibhausgasreduktion %

Ertrag dt/ha



Quelle: Prof. Dr. Kage/Dr. Sieling, Univ. Kiel

Was ist N-Effizienz?

Nitrogen use efficiency (NUE) is the ability of a genotype to realize a yield above average under conditions of suboptimal nutrient supply.

Graham et al., 1984



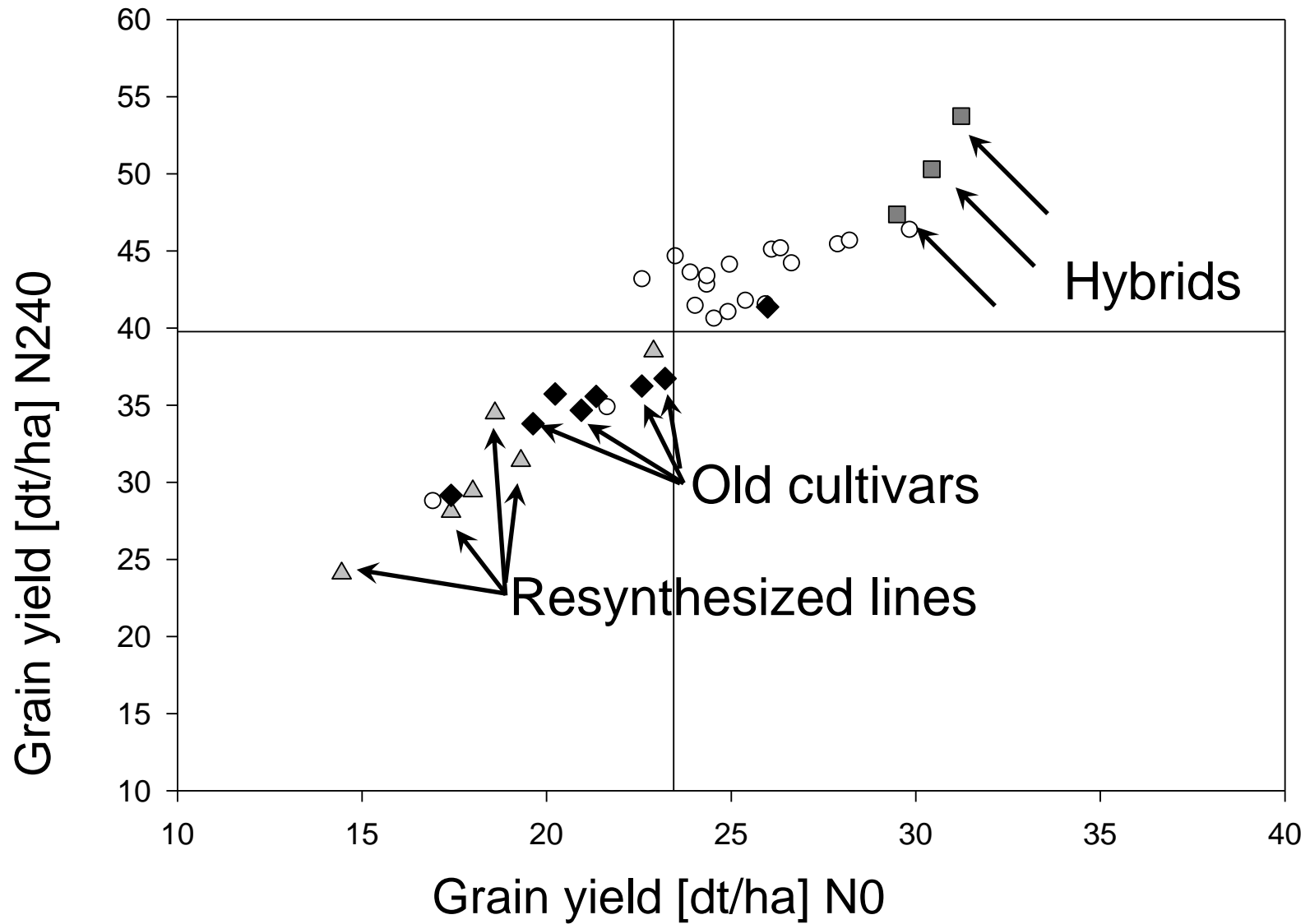
GEORG-AUGUST UNIVERSITÄT GÖTTINGEN

Department für Nutzpflanzenwissenschaften

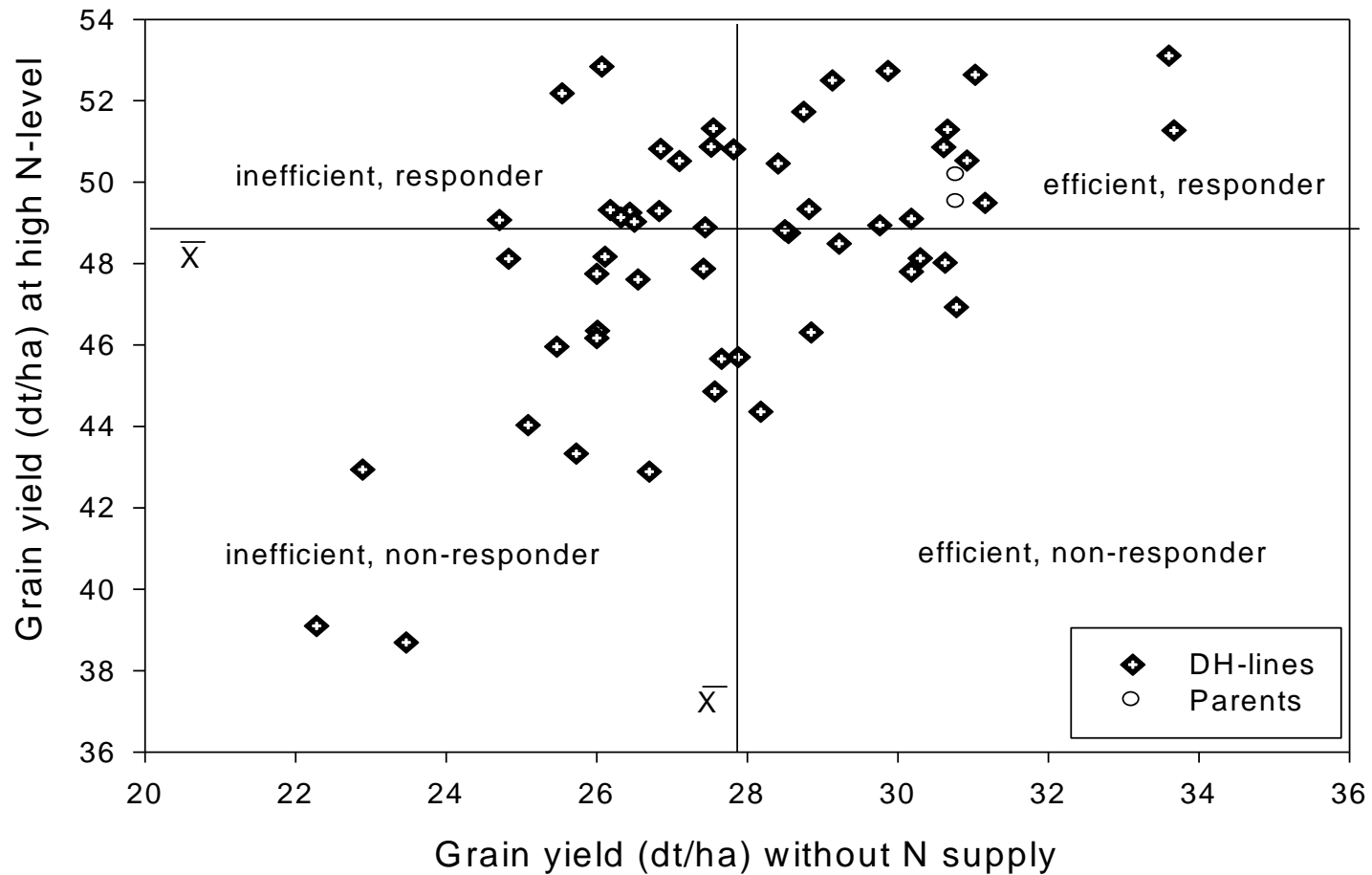
Züchterische Verbesserung der N-Effizienz bei Raps

Heiko C. Becker

- ❖ **Genetische Variation**
- ❖ **Wurzelsystem**
- ❖ **Halbzwerg-Hybriden**
- ❖ **Ausblick**



36 genotypes (resynthesized lines, old and new cultivars),
7 environments



54 DH lines (Apex x Mohican), 7 environments

NYIKAKO et al. 2003

Variance components for grain yield of oilseed rape grown at two N levels

Source of variation	Broad material (n=36)	DH Apex x Mohican (n=56)
Genotype	28.44	5.02
Genotype x location	6.82	2.61
Genotyp x N level	3.85	2.01

- In unselected material there is a considerable variation in N efficiency
- Large potential to select for N efficient cultivars

Komponenten der N-Effizienz: Aufnahme- und Verwertungseffizienz

N-Effizienz (Moll et al. 1982):

kg Kornertrag je kg verfügbarem kg N (Ns)

N-Effizienz = Aufnahme-Effizienz x Verwertungs-Effizienz

$$\frac{\text{Kornertrag}}{N_s} = \frac{\text{Gesamt-N}}{N_s} \quad \times \quad \frac{\text{Kornertrag}}{\text{Gesamt-N}}$$

$$\log \frac{\text{Kornertrag}}{N_s} = \log \frac{\text{Gesamt-N}}{N_s} \quad + \quad \log \frac{\text{Kornertrag}}{\text{Gesamt-N}}$$

Relative contribution of uptake and utilization efficiency to the genetic variation in N use efficiency (MOLL et al. 1982)

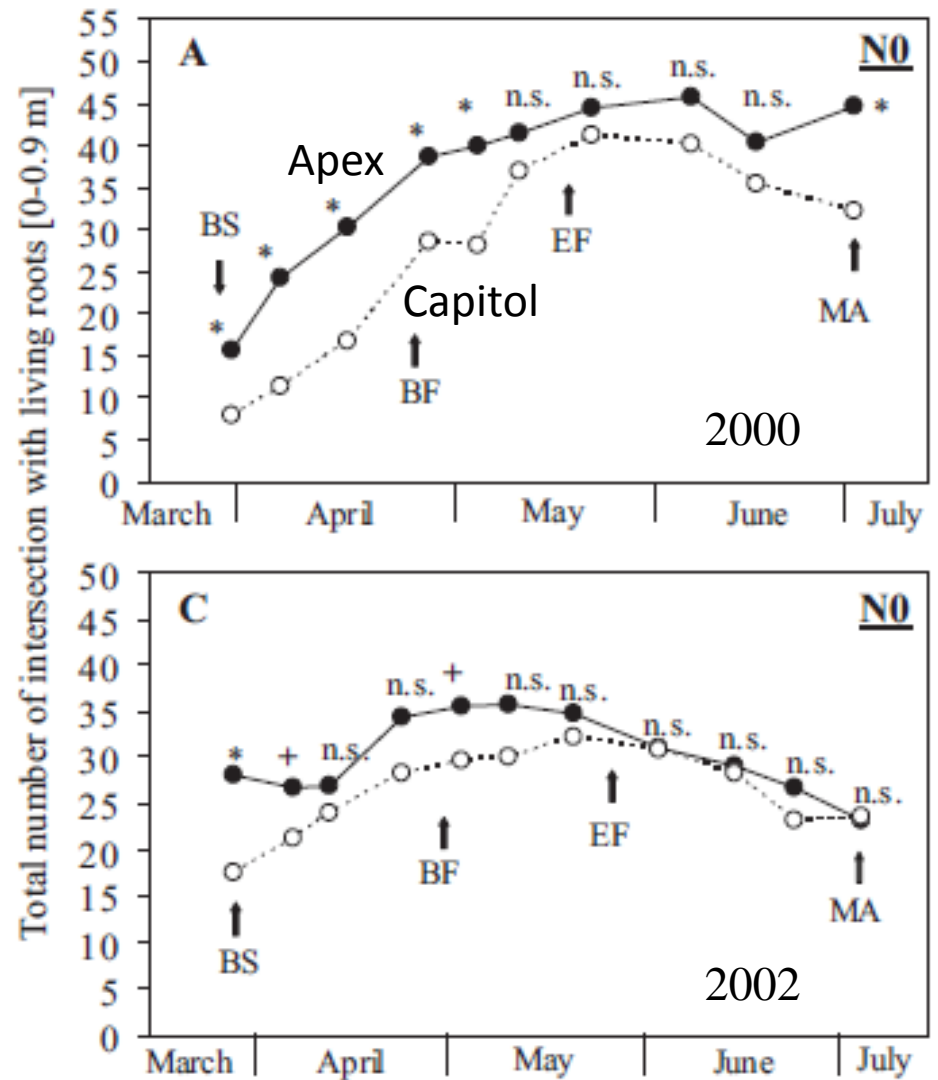
Location	Zero N supply		Optimal N supply	
	Uptake	Utilization	Uptake	Utilization
Einbeck	0.47	0.53	0.42	0.58
Göttingen-Reinshof	0.55	0.45	0.15	0.85
Göttingen-Klärwerk	0.71	0.29	0.49	0.51
Mean	0.57	0.43	0.35	0.65

KESSEL et al. 2012

- Under low N supply the uptake efficiency is very important
- Root system !?

Comparison of the cultivars
Apex (N efficient) and Capitol
(N inefficient) at N0

	Apex	Capitol	
Yield [t/ha]	2.92	2.71	*
N uptake [kg/ha] Maturity	91.7	87.0	ns
N uptake [kg/ha] Flowering - Maturity	43.5	22.0	*





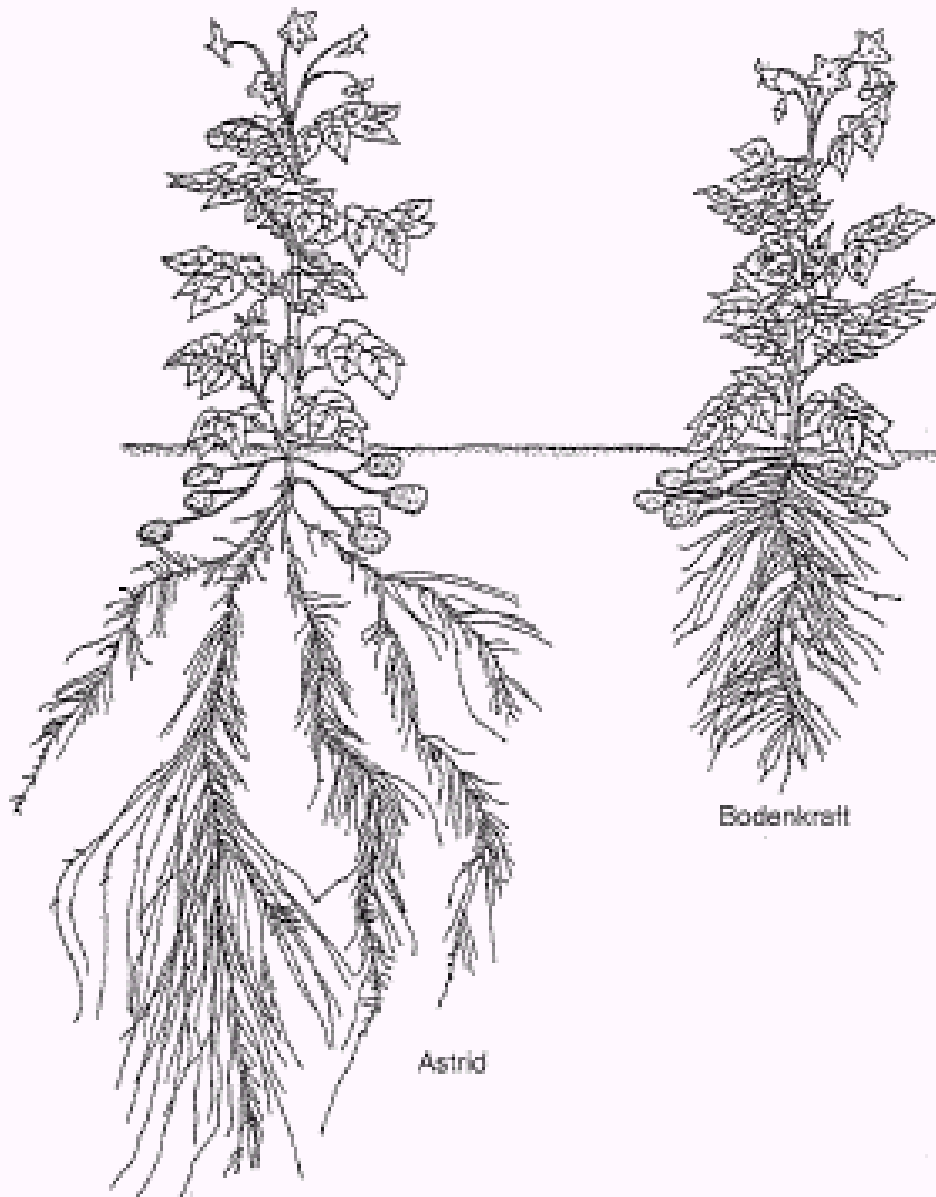
GEORG-AUGUST UNIVERSITÄT GÖTTINGEN

Department für Nutzpflanzenwissenschaften

Züchterische Verbesserung der N-Effizienz bei Raps

Heiko C. Becker

- ❖ Genetische Variation
- ❖ Wurzelsystem
- ❖ Halbzwerg-Hybriden
- ❖ Ausblick



Two potato cultivars with large difference in root system:

- Astrid (N efficient)
- Bodenkraft (N inefficient)

Sattelmacher et al. 1990
(modified)

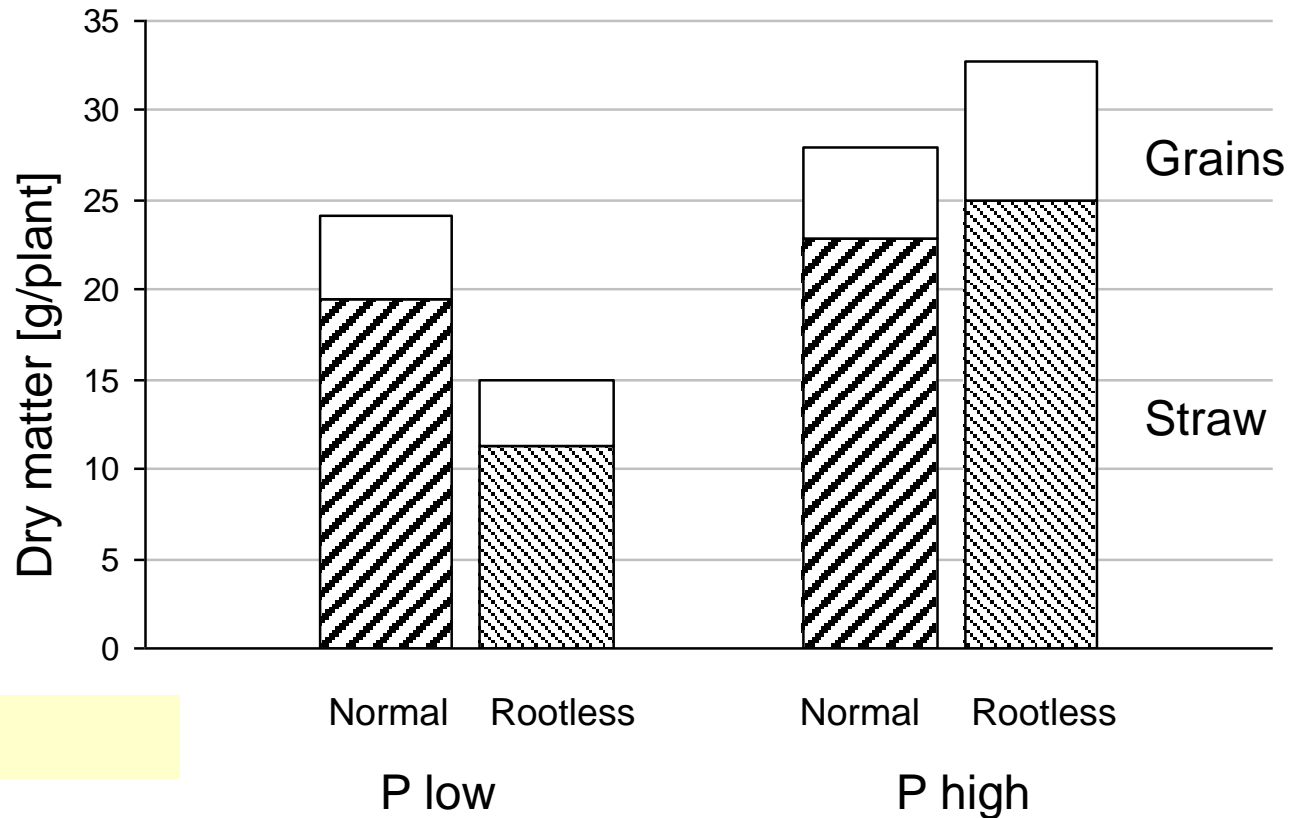


H.C. Becker

Roots of a maize inbred line and a near-isogenic mutant „*rootless*“



Normal *rootless*



Pot experiment with maize:

Under optimal nutrient (and water) supply should plants invest in grains, not in roots

Sattelmacher et al. 1993, modified

Root Phenotyping Methods

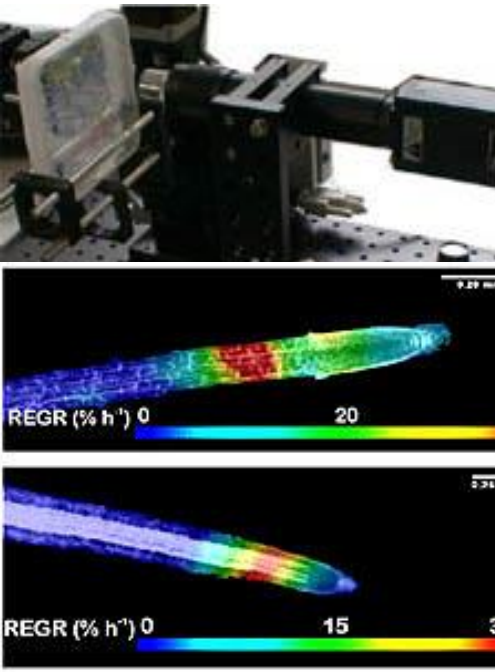
Out-of-field Methods

- Hydroponics
- Roots in containers with soil
- Root penetration capacity
- Root hydraulic conductance

Field Methods

- Soil cores
- Mini-rhizotron
- Isotope/herbicide/colour uptake
- Shovelomics
- Root-pulling resistance
- Electrical capacitance

www.plantstress.com, modified



GROWMAP-root
(growing root tip)



GROWSCREEN Rhizo
(automated rhizotron-to-sensor system, 2D)



NMR
(3D)

Methods used in the JPPC (Jülich Plant Phenotyping Centre)

www.fz-juelich.de



K. Nagel, from www.fz-juelich.de

Root system of oilseed rape, in Agar-based rhizotrons;
original photo (left) and colour-coded image analysis (right)



Rhizotrone. Quelle: RAPOOL, 2012

Roots of oilseed rape in rhizotrones and in the field



B. E. Hibbard from: web.missouri.edu

Measuring root pulling resistance in maize



J. O'Toole, IRRI from: www.plantstress.com

Measuring root pulling resistance in rice

Indirekte Bestimmung der Wurzeloberfläche durch Messung der Elektrischen Kapazität



Photo: Julia RUDLOFF

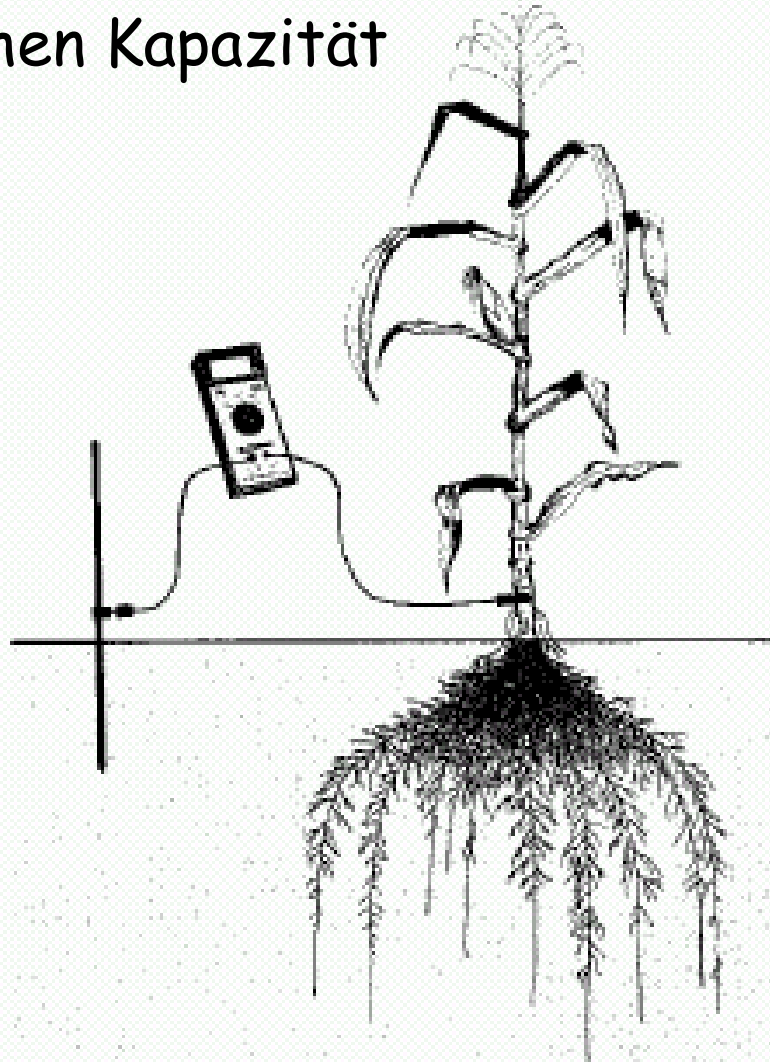


Fig. 1. Estimation of root system size with a BK Precision 810A capacitance meter. The negative electrode is attached to the maize stem 6 cm above ground level and the positive electrode is attached to a copper ground rod.

Electrical capacitance

- Theory based (capacitance depends on root surface, substrate, soil water content – for details ask Julia Rudloff)
- Fast and cheap
- In any field trial

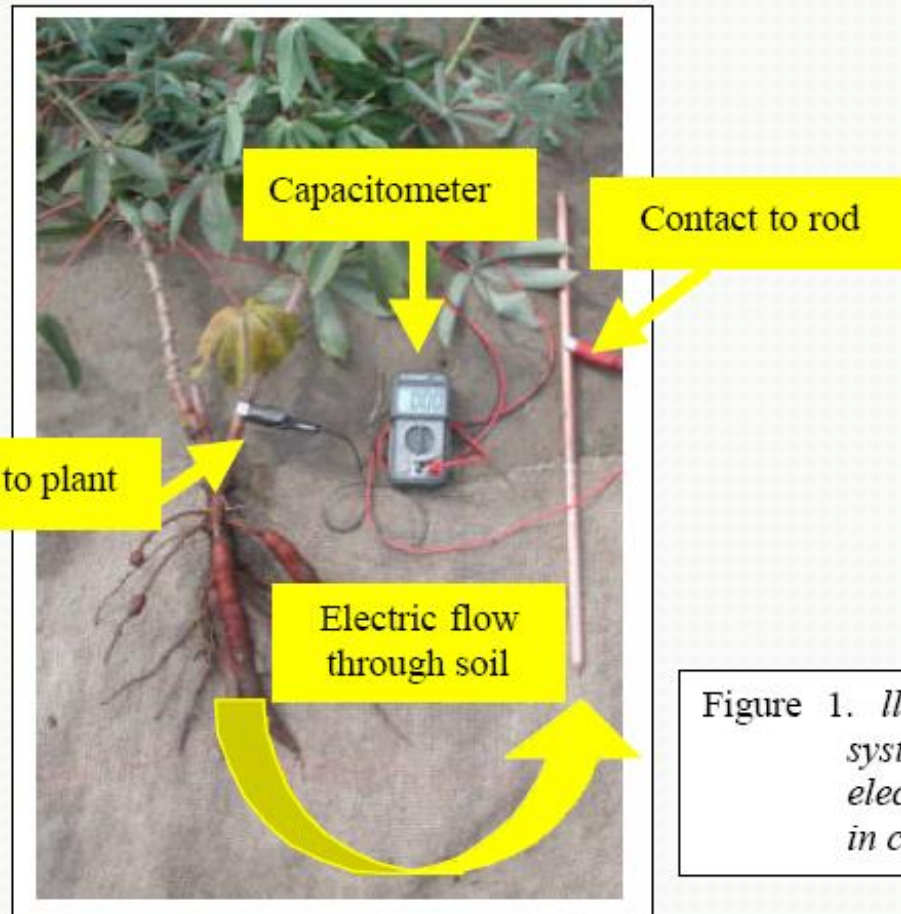
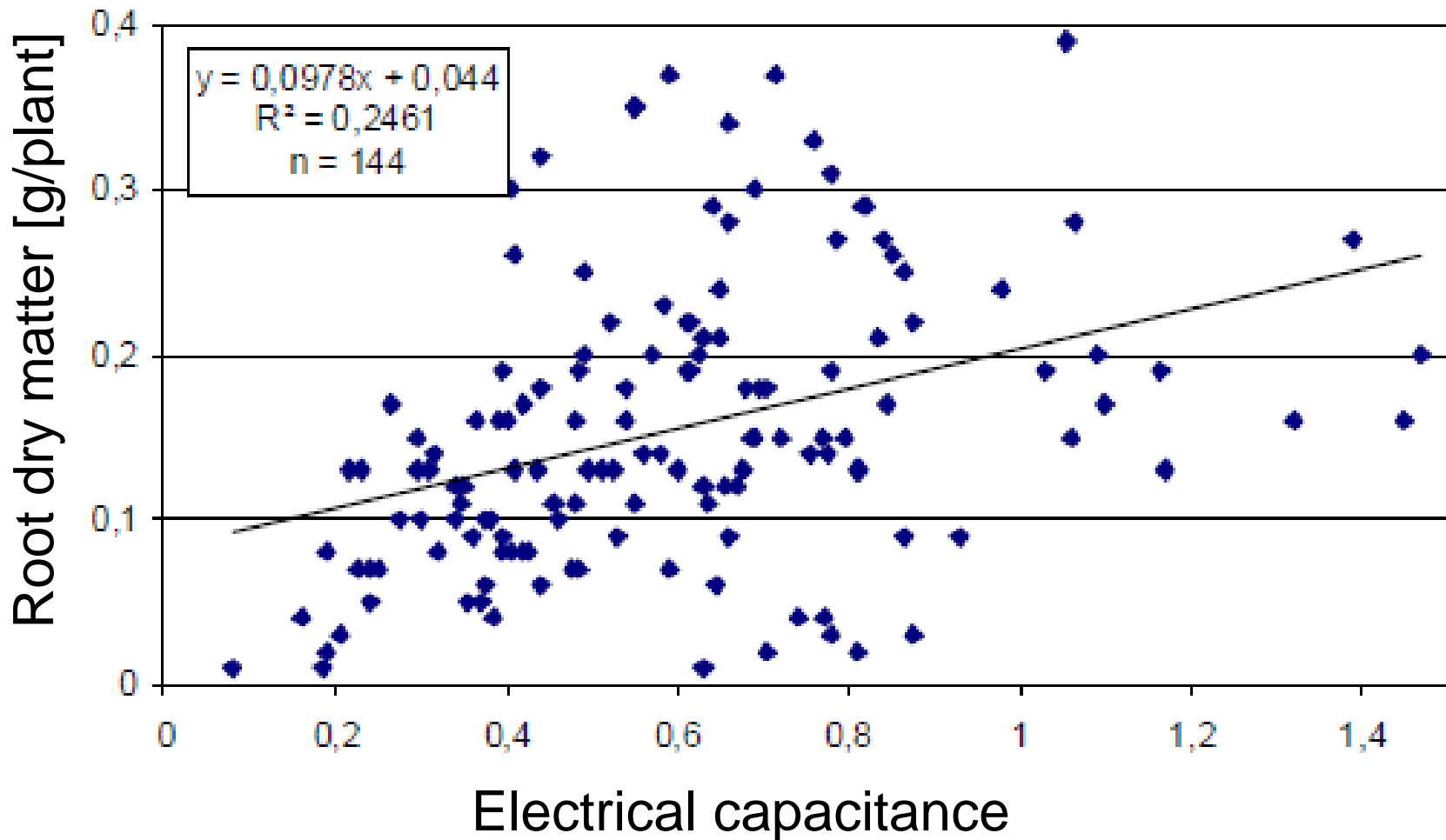


Figure 1. *Illustration of the system to measure electric capacitance in cassava.*

González et al. 2007



Relationship between electrical root capacitance and root dry matter (144 oilseed rape plants, hydroponics)

(AUGUSTIN, unpublished BSc thesis)



GEORG-AUGUST UNIVERSITÄT GÖTTINGEN

Department für Nutzpflanzenwissenschaften

Züchterische Verbesserung der N-Effizienz bei Raps

Heiko C. Becker

- ❖ Genetische Variation
- ❖ Wurzelsystem
- ❖ Halbzwerg-Hybriden
- ❖ Ausblick

Höhere N-Effizienz durch Halbzwerge-Hybriden ?



Dwarf (ms Mutter)

Halbzwerge-Hybride

Normaltyp (Bestäuber)

Normaltyp Hybride



Halbzweg Hybride



Material

- zwei Populationen ($O \times D$, $H \times A$)
- Produktion von doppel-haploiden Linien (=völlig homozygote Genotypen), die 1 : 1 spalten für Zwergtyp und Normaltyp
- Herstellung von Testkreuzungen (= DH-Linie \times Tester), die 1 : 1 spalten für Halbzweig- und Normaltyp-Hybriden
- Anbau der Testkreuzungen im Feldversuch bei 2 N-Stufen

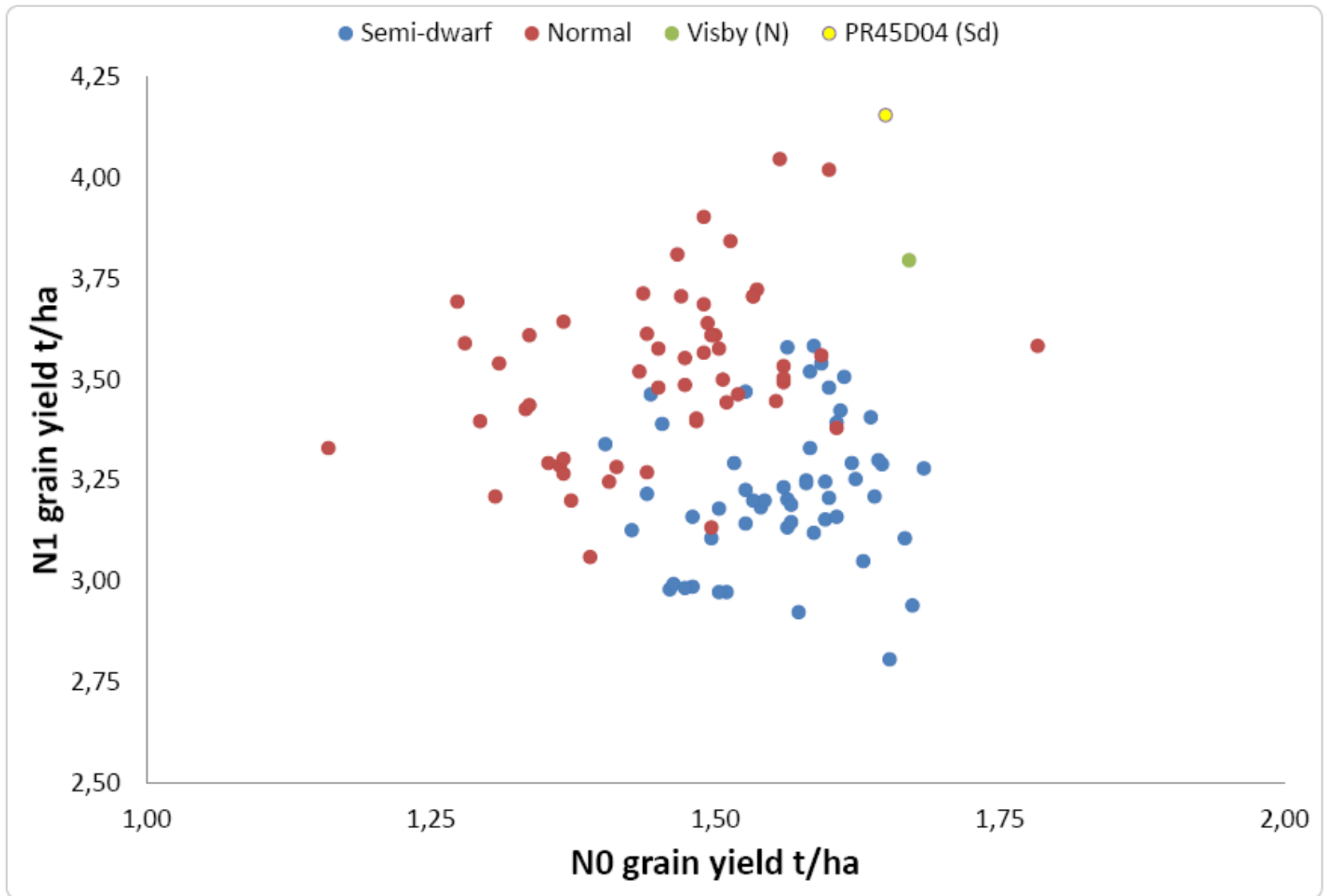


Sebastian Miersch

Mean values of 54 semi-dwarf and 54 normal-type testcrosses (mean of 3 environments)

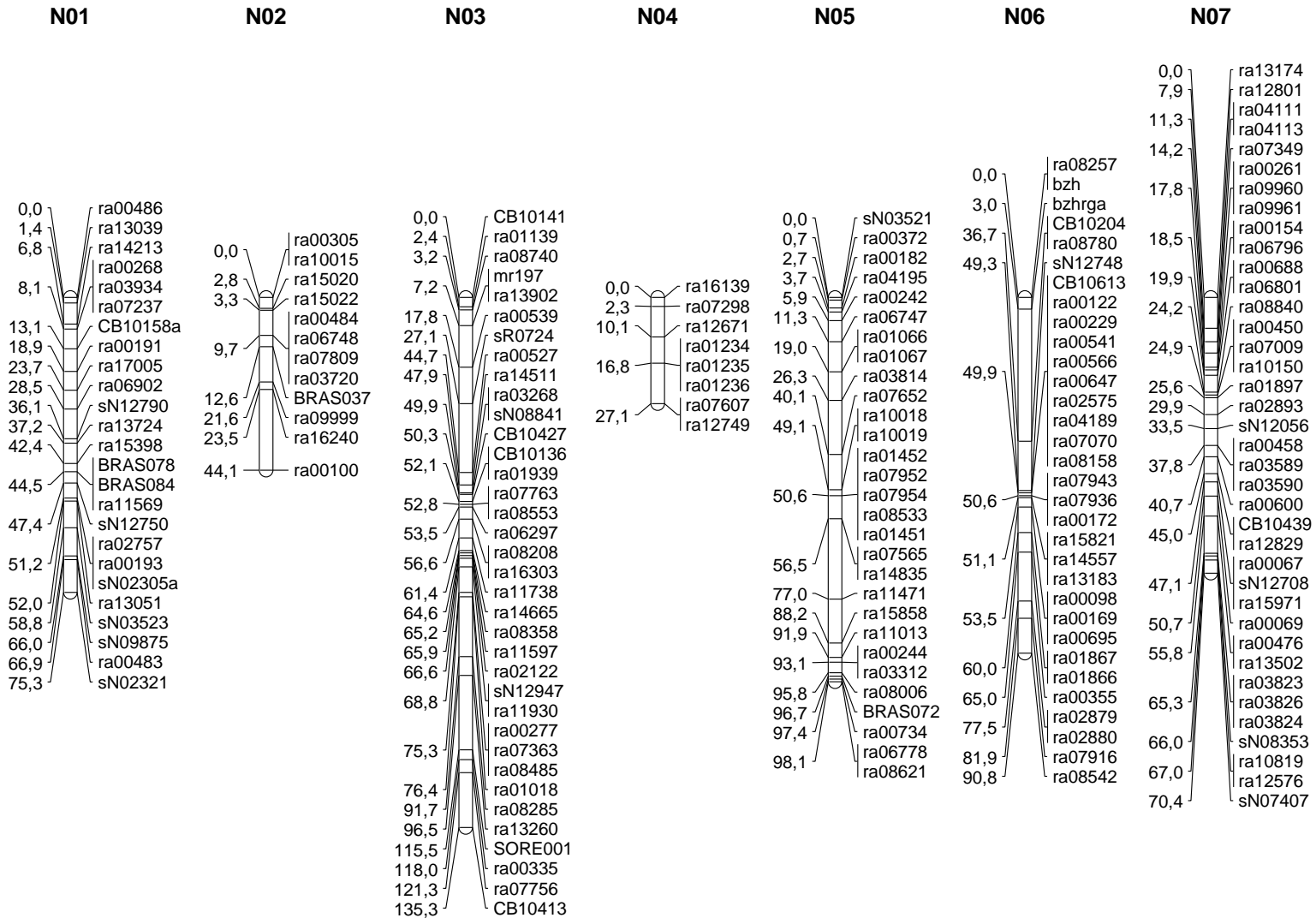
		Grain t/ha DM		Straw t/ha DM		HI	
N0	Semi-dwarf	1.56	**	2.87	**	0.35	**
	Normal	1.45		3.48		0.29	
N1	Semi-dwarf	3.22	**	3.94	**	0.45	
	Normal	3.52		4.36		0.45	

Sebastian Miersch (unpublished results)



Yield of 54 semi-dwarf and 54 normal-type testcrosses (3 environments)

Sebastian Miersch (unpublished results)

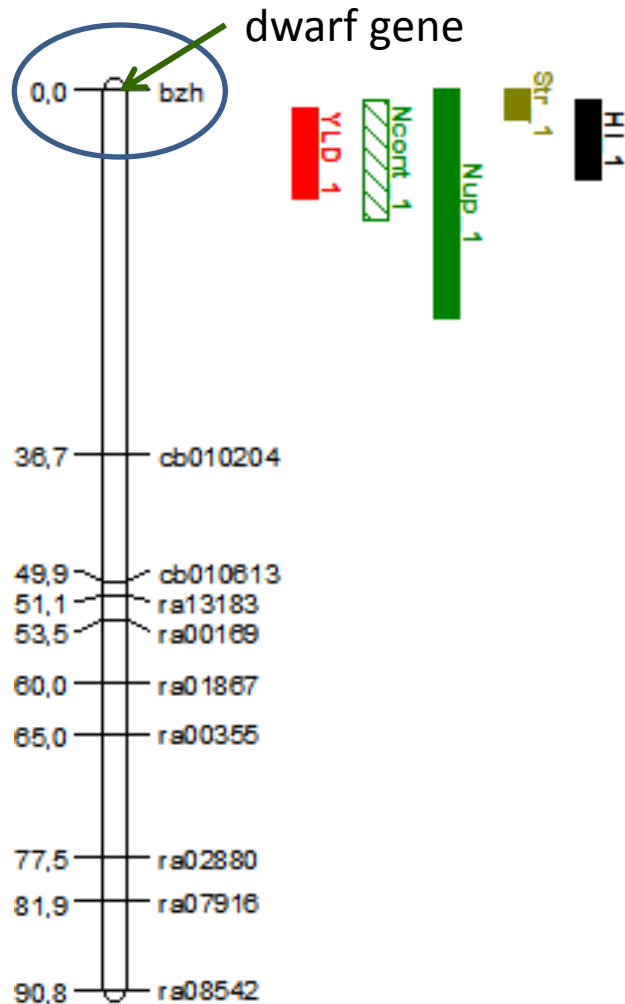


Molekulare Marker

„Genotyping“ Markeranalysen (5 000 markers): 30 € / Genotyp

„Phenotyping“ Feldversuche (5 Umwelten): 200 €/ Genotyp

A06



Mapped QTL for Grain yield (GY), Nitrogen content EoF (NC) and Nitrogen uptake EoF (Nup), Straw (Str) and HI under low N conditions

QTL	LG	Pos. [cM]	CI [cM]	a
GY_1	A06	6,0	2,0 - 11,0	0,19
NC_1	A06	7,0	1,0-13,0	0,13
Nup_1	A06	1,0	0,0 - 23,0	-1,42
Str_1	A06	0,0	0,0 - 3,0	-0,22
HI_1	A06	2,0	1,0 - 9,0	0,04

LG = linkage group, CI = confidence interval, a = additive effect

Grain yield t/ha (3 environments)

N content in % (3 environments)

N uptake (end of flowering) kg/ha (3 environments)

Straw t/ha + HI (2 environments Gö 2011 + Gö 2012)



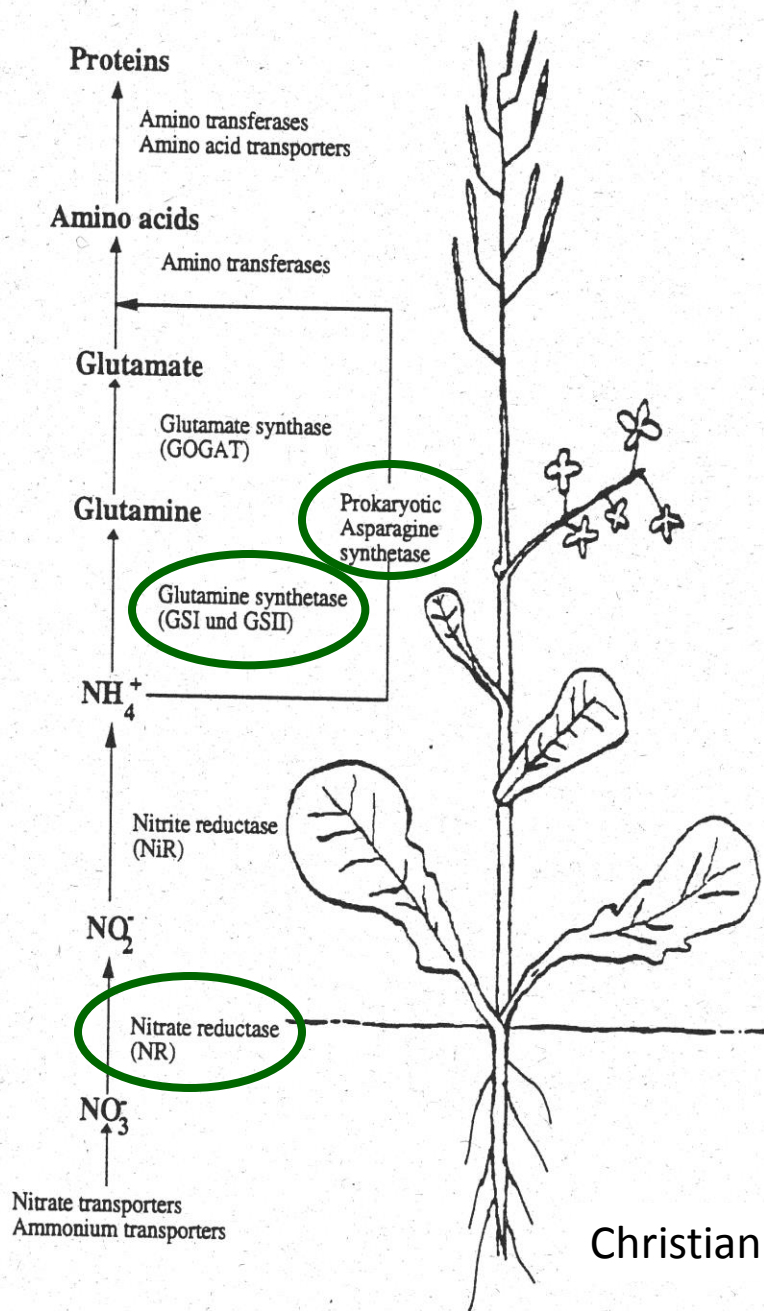
GEORG-AUGUST UNIVERSITÄT GÖTTINGEN

Department für Nutzpflanzenwissenschaften

Züchterische Verbesserung der N-Effizienz bei Raps

Heiko C. Becker

- ❖ Genetische Variation
- ❖ Wurzelsystem
- ❖ Halbzwerg-Hybriden
- ❖ **Ausblick**



Transgenic approaches:
 Bacterial asparagine synthetase
 Glutamine synthetase
 Nitrate reductase

Christian Möllers

The Model Organism *Arabidopsis thaliana*

- Dicot used as model organism in many studies
- 5 chromosomes, 120 mb genome and ~30,000 genes
- Brassicaceae family – synteny
- Self fertilization
- World-wide natural variation



Erol-Oztolan & Keurentjes

The NUE-CROPS approach



A. thaliana

B. rapa

Oilseed rape (*B. napus*)

Materials and Methods

- Plant Material:
 - HapMap population (353 accessions)
- Growth Conditions:
 - On rockwool bloks, covered to prevent algea
 - 1mM N (Deficiency) vs 5mM N (Control)
- Association Mapping:
 - Full set of densely SNP markers: 250,000 SNPs
 - Based on Linkage Disequilibrium
 - Therefore, detection of significant SNPs within 20kb will give us a QTL region which might be associated with NUE

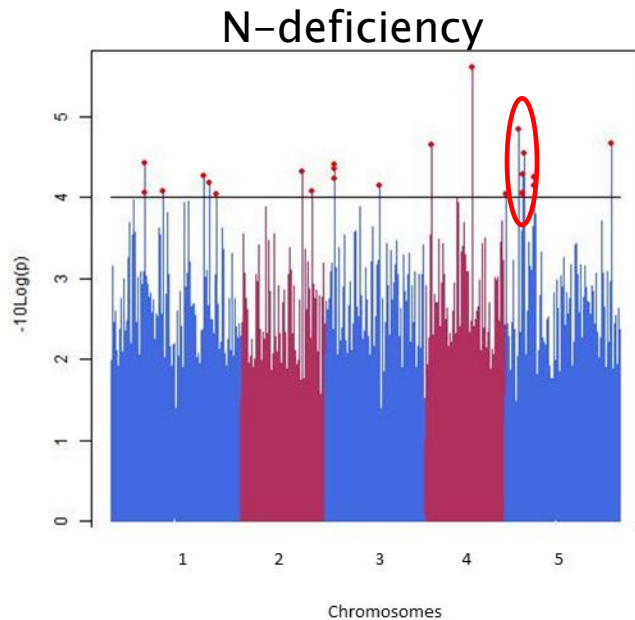
N deficiency

Control

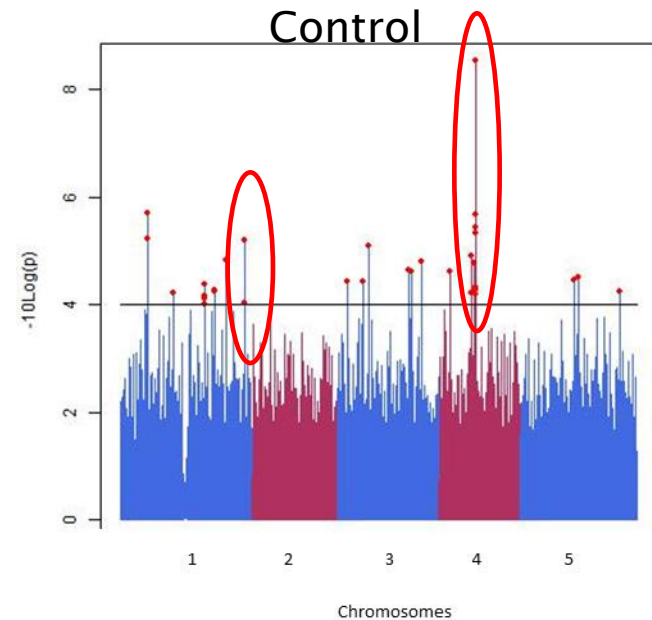


Erol-Oztolan & Keurentjes

GWA Mapping Dry Weight



AT5G13550 Sulfate transporter
(SULTR4;1)



AT1G75960 AMP-dependent
synthetase and ligase family protein
AT4G14400 Accelerated cell death 6
(ACD6)

Erol-Oztolan & Keurentjes

Summary *Arabidopsis*

AT2G28800 Albino 3 (Alb3)
AT5G47120 Bax inhibitor 1 (BI-1)
AT5G47110 chlorophyll a/b binding protein gene (LIL3:2)
AT2G02590 Unknown
AT3G05090 Lateral Root Stimulator 1 (LRS1)
AT1G22170 Phosphoglycerate mutase family protein
AT2G14835 Ring/U box superfamily protein
AT5G13380 Auxin responsive GH3 family protein
AT4G14400 Accelerated cell death 6 (ACD6)
AT5G13550 Sulfate transporter (SULTR4;1)
AT1G75960 AMP-dependent synthetase and ligase family protein
AT1G52070 Mannose-binding lectine super family protein
AT3G46540 ENTH/VHS family protein
AT4G26990 Unknown
AT4G27010 Embryo defective 2788

15 candidate genes



Zusammenfassung

- **Variation für N-Effizienz besteht auch in angepasstem Zuchtmaterial**
- **Das Wurzelsystem ist von entscheidender Bedeutung für die N Aufnahme, aber züchterisch nur sehr schwer zu erfassen**
- **Halbzwerghybriden könnten ein Weg zur Verbesserung der N-Effizienz bei Raps sein**

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit

