



UNIVERSITY OF
HOHENHEIM

Ist Stickstoffnutzungseffizienz in Sortenprüfungen berücksichtigt?

Langzeitergebnisse aus Wertprüfungen von Getreide und Winterraps

Friedrich Laidig

Biostatistik

Institut für Kulturpflanzenwissenschaften
der
Universität Hohenheim

Gemeinsame Arbeit von

Hans-Peter Piepho, Universität Hohenheim, Stuttgart

Till Feike, Institut für Strategien und Folgenabschätzung, JKI, Kleinmachnow

Caroline Lichthardt, Bundessortenamt, Hannover

Antje Schierholt, Georg-August-Universität, Göttingen



- Wurde ein Züchtungsfortschritt für NUE und damit korrelierter Merkmale in der Sortenprüfung erreicht?
- Gibt es Potential, NUE in Sortenprüfungen zu verbessern?



Gliederung

- Daten
- Modell für Gesamttrend und Züchtungsfortschritt
- Korrelation zwischen Merkmalen der NUE
- Erbllichkeit der NUE
- Zusammenfassung



Daten (1)

		Year	Observations	No. of trials	No. of varieties
Crop	Code				
Winter wheat	WW	1983–2021	25290	897	852
Winter rye hybrid varieties	Hyb	1989–2021	7712	569	244
Spring wheat	SW	1983–2021	9546	640	155
Spring barley	SB	1983–2021	18619	836	738
Winter oil seed rape	WOSR	1995–2021	25655	696	797

WW Winterweizen; *WR* Winterroggen, *Hyb* Hybridsorten; *SW* Sommerweizen; *SB* Sommergerste; *WOSR* Winterraps

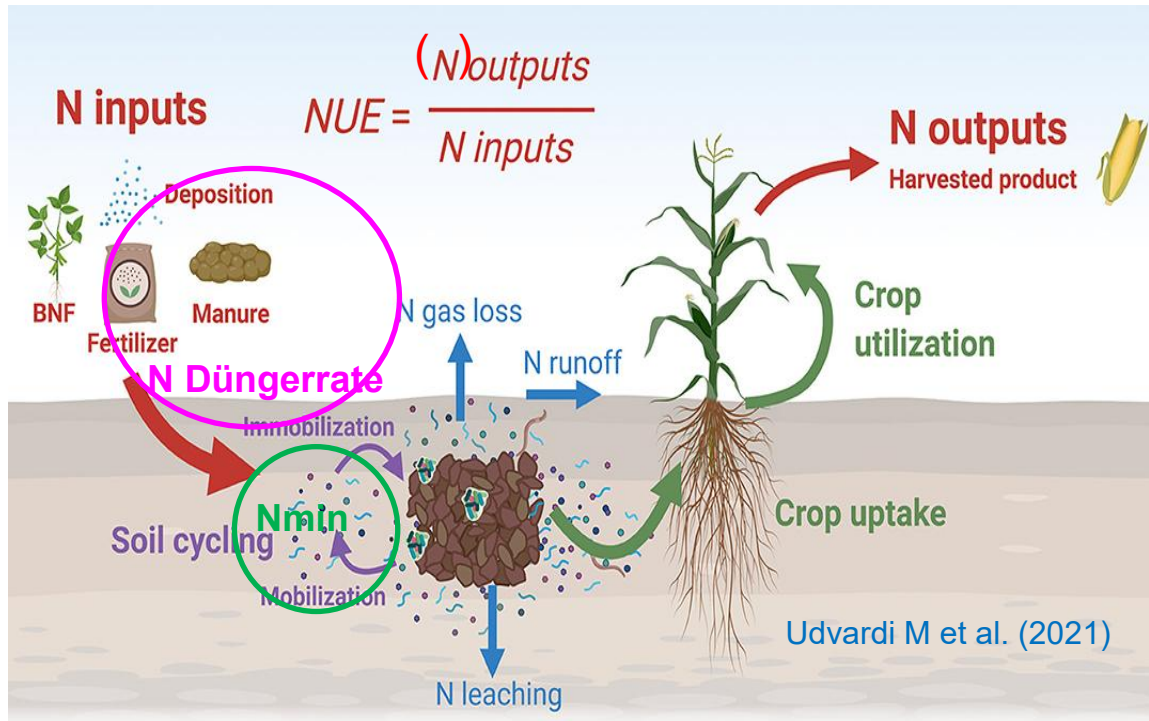


Daten (2)

- Behandlungsstufe 2 (N-Düngung, Pflanzenschutz, Wachstumsregler, einheitliche Behandlung aller Sorten eines Ortes)
- Prüfdauer 3 Jahre (Prüfzyklus)
- Eine bis drei Prüfserien pro Jahr (S1, S2, S3 Sorten im 1., 2. und 3. Prüfwahl)
Sommerweizen (nur eine Prüfserie)
- Daten für Getreide, 8 Orte pro Prüfserie, Winterraps alle Orte.

Daten (3)

Stickstoffnutzungseffizienz (NUE) ein komplexer und dynamischer Prozess bei der Ertragsbildung
Interaktion zwischen Boden, Umwelt, Pflanze und Anbaumaßnahmen



N Input

verfügbares N = **N Rate** + **N_{min}**

Output

Kornertrag, N Ertrag (N im Korn)

Stickstoffnutzungseffizienz

$NUE = (N) \text{ Ertrag} / \text{verfügbares N}$

Gesamttrend und Züchtungsfortschritt (1)

NUE und korrelierte Merkmale

- Kornertrag (GYLD) dt ha⁻¹
- Proteingehalt im Korn % (GPC) (8 Orte)
- N Ertrag (NYLD) kg N ha⁻¹ (berechnet aus GYLD und N Gehalt abgeleitet von GPC)
- NUE von
 - N Ertrag (NYLD_{NUE}) kg N im Korn pro kg verfügbarem N (N Rate + Nmin)
 - Kornertrag(GYLD_{NUE}) kg Korn pro kg verfügbarem N

Gesamttrend und Züchtungsfortschritt (2)

Gesamtmodell

$$y_{ijkl} = \mu + Y_k + L_j + (LYT)_{jkl} + (GY)_{ik} + \epsilon_{ijkl} \Rightarrow$$

$$y_{ijkl} = \mu + \alpha_1 t_k + \alpha_2 t_k^2 + Y'_k + L_j + (LYT)_{jkl} + (GY)_{ik} + \epsilon_{ijkl}$$

$$E(y_{ijkl}) = \mu + \alpha_1 t_k + \alpha_2 t_k^2.$$

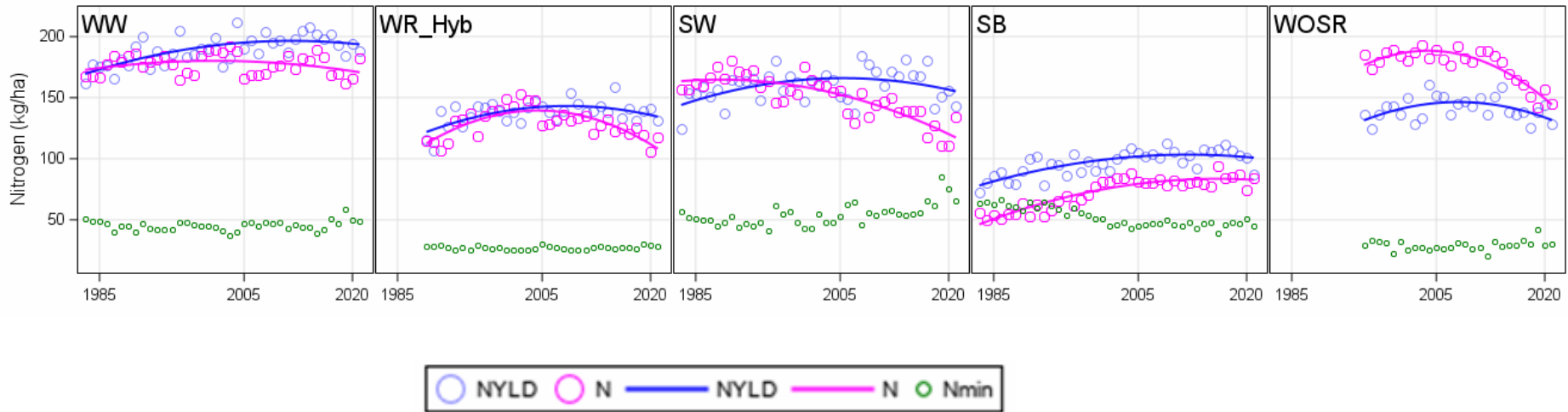
Trend Funktion

$$Diff = E(y_{ijkl} | t_k = 2021) - E(y_{ijkl} | t_k = 1995) = \alpha_1 (2021 - 1995) + \alpha_2 (2021^2 - 1995^2)$$

Züchtungsfortschritt

y_{ijkl}	Beobachtung Sorte $\times$ Ort $\times$ Jahr $\times$ Prüfung
L_j	Ort
t_k	Erntjahr
Y_k	Genotype und Jahr vermenegt
Y'_k	Abweichung des Jahreseffekt vom Gesamttrend
LYT_{jkl}	Prüfung innerhalb Ort und Jahr
$(GL)_{ij}$	G $\times$ L Interaktion
$(GY)_{ik}$	G $\times$ Y Interaktion
ϵ_{ijkl}	Restfehler

Geamtrend (1995-2021) (3)



WW Winterweizen; *WR* Winterroggen, *Hyb* Hybridsorten; *SW* Sommerweizen;
SB Sommergerste; *WOSR* Winterraps, *SLF* Ackerzahl
N N Rate; *NYLD* N Ertrag; *Nmin* mineralisiertes N im Boden

Züchtungsfortschritt 1995-2021 (2)

Crop	N yield kg ha ⁻¹					N kg ha ⁻¹				
	1995	2021	Diff	%	sig	1995	2021	Diff	%	sig
Winter wheat	187.4	194.0	6.6	3.5	ns	180.3	170.0	-10.3	-5.7	ns
Winter rye Hyb	134.1	135.1	1.1	0.8	ns	130.4	107.8	-22.6	-17.4	***
Spring wheat	160.9	155.0	-5.9	-3.6	ns	164.6	111.2	-53.4	-32.4	***
Spring barley	94.3	102.3	8.0	8.5	*	67.2	78.5	11.3	16.8	**
Winter oil seed rape	131.4	131.6	0.1	0.1	ns	176.9	143.5	-33.4	-18.9	***
	Grain protein conc. %					Grain yield dt ha ⁻¹				
	1995	2021	Diff	%	sig	1995	2021	Diff	%	sig
Winter wheat	13.1	12.5	-0.6	-4.4	**	95.4	103.3	7.9	8.3	**
Winter rye Hyb	10.5	9.3	-1.2	-11.2	***	84.9	96.6	11.6	13.7	**
Spring wheat	14.0	13.9	0.0	-0.2	ns	76.8	74.4	-2.3	-3.0	ns
Spring barley	10.8	10.3	-0.5	-4.5	ns	64.0	72.4	8.4	13.2	**
Winter oil seed rape	18.8	17.4	-1.4	-7.6	**	44.8	48.6	3.8	8.5	*
	NUE of N yield kg kg ⁻¹					NUE of Grain yield kg kg ⁻¹				
	1995	2021	Diff	%	sig	1995	2021	Diff	%	sig
Winter wheat	0.85	0.91	0.06	7.3	*	43.0	48.3	5.2	12.2	***
Winter rye Hyb	0.89	1.00	0.11	11.9	ns	56.4	71.6	15.2	27.0	***
Spring wheat	0.76	0.88	0.12	16.0	*	36.2	42.4	6.2	17.1	*
Spring barley	0.76	0.83	0.07	8.7	ns	51.9	59.0	7.2	13.9	*
Winter oil seed rape	0.66	0.77	0.12	17.9	***	20.9	27.3	6.4	30.8	***

In Wertprüfungen beträchtlicher Fortschritt für NUE, trotz N Reduktion

ns not significant
 * significant a 5%-level
 ** significant a 5%-level
 *** significant a 5%-level

Korrelation zwischen Ertrag, N Ertrag, Proteingehalt und NUE

Gesamt (Marginal)	r_M
Genotyp	r_G
Umwelt	r_E
G×E -Interaktion	$r_{G \times E}$
Rest	r_ϵ

Genotyp, Umwelt, und $G \times E$ Korrelation (2)

		WW	WR Hyb	WOSR	SW	SB	Mean
Observations	n	19089	4730	25524	3867	13318	
Genotypes	n_G	682	212	797	108	543	
NYLD GYLD	r_G	0.28	0.08	0.68	0.40	0.32	0.35
	$r_{G \times E}$	0.76	0.81	0.36	0.88	0.75	0.71
	r_E	0.84	0.76	0.86	0.90	0.79	0.83
	r_ε	0.79	0.74	0.54	0.84	0.70	0.72
	r_M	0.79	0.75	0.81	0.89	0.78	0.80
NYLD GPC	r_G	0.33	0.68	0.62	0.66	0.45	0.55
	$r_{G \times E}$	0.13	0.29	-0.02	-0.20	0.20	0.08
	r_E	0.26	0.38	0.40	0.14	0.47	0.33
	r_ε	0.35	0.48	0.33	0.19	0.58	0.38
	r_M	0.26	0.39	0.40	0.16	0.47	0.34
GYLD GPC	r_G	-0.81	-0.69	-0.21	-0.42	-0.70	-0.57
	$r_{G \times E}$	-0.52	-0.28	-0.16	-0.61	-0.45	-0.40
	r_E	-0.31	-0.31	-0.11	-0.28	-0.15	-0.23
	r_ε	-0.25	-0.12	-0.09	-0.34	-0.10	-0.18
	r_M	-0.38	-0.31	-0.11	-0.30	-0.16	-0.25

Selektion auf höheren N Ertrag nicht kontraproduktiv zu Selektion auf höheren Kornertrag und Proteingehalt

WW Winterweizen; *WR* Winterroggen, *Hyb* Hybridsorten; *SW* Sommerweizen; *SB* Sommergerste; *WOSR* Winterraps; *NYLD* N Ertrag im Korn; *GPC* Proteingehalt im Korn; *GYLD* Kornertrag; n Anzahl Beobachtungen ; n_G Anzahl Genotypen *G* Genotyp; ε Restfehler; $G \times E$ Genotyp $\times$ Umwelt ; *E* Umwelt ; *M* Gesamt (Marginal)

Genotyp, Umwelt und $G \times E$ Korrelation (3)

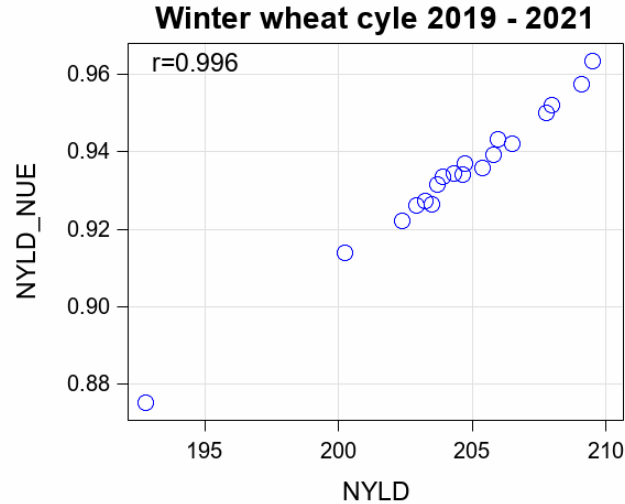
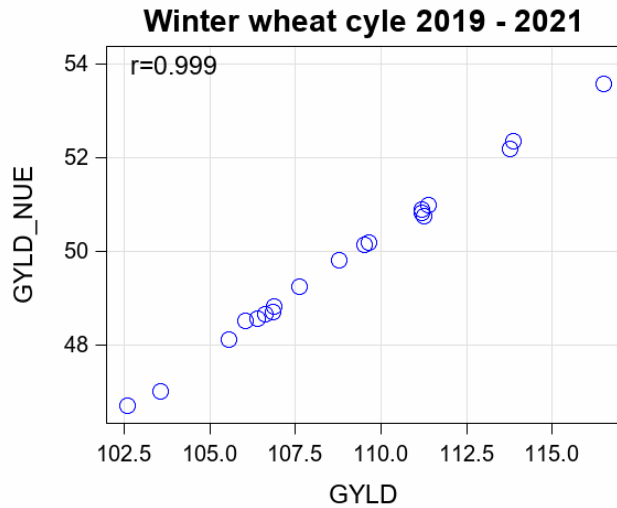
		WW	WR Hyb	SW	SB	WOSR	Mean
Observations	n	19089	4730	3867	13318	21564	
Genotypes	n_G	682	212	108	543	797	
NYLD with NYLD _{NUE}	r_G	1.00	1.01	1.00	1.00	1.00	1.00
	$r_{G \times E}$	0.98	1.00	0.98	0.99	0.93	0.98
	r_E	0.59	0.42	0.68	0.83	0.33	0.57
	r_ε	0.98	0.89	0.98	0.99	0.92	0.95
	r_M	0.63	0.44	0.70	0.84	0.37	0.60
GYLD with GYLD _{NUE}	r_G	1.00	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00
	$r_{G \times E}$	0.97	0.96	0.99	0.99	0.96	0.97
	r_E	0.61	0.41	0.71	0.80	0.30	0.57
	r_ε	0.98	0.93	0.98	0.99	0.92	0.96
	r_M	0.65	0.44	0.73	0.81	0.35	0.60

Rang der Genotyp-Werte
einer Sorte für Korn- und
N-Ertrag ist gleich dem
Rang der NUE-Werte

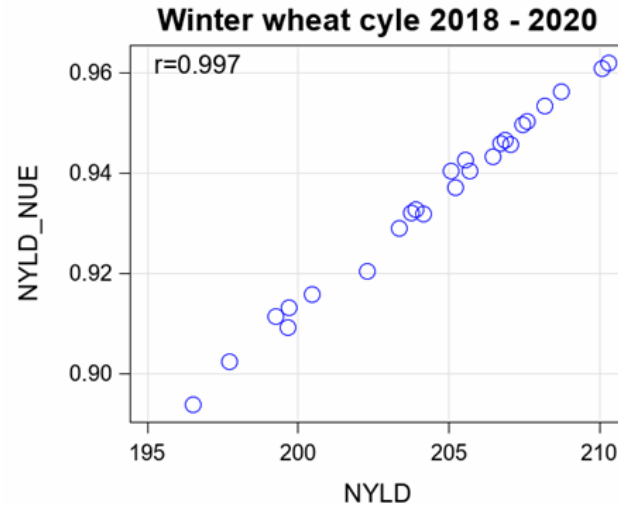
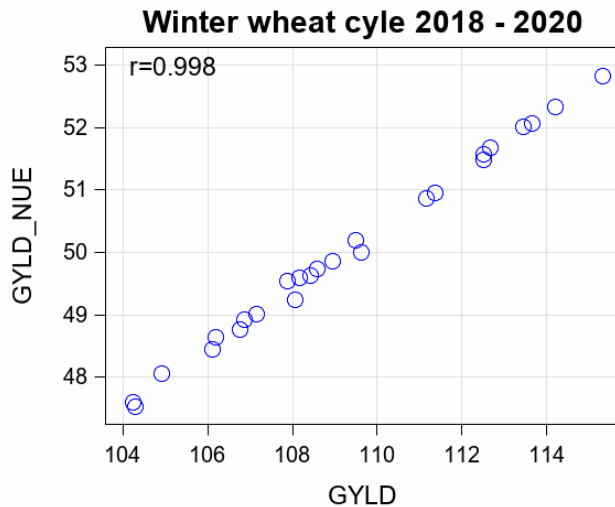
WW Winterweizen; *WR* Winterroggen, *Hyb* Hybridsorten; *SW* Sommerweizen; *SB* Sommergerste; *WOSR* Winterraps;
NYLD N Ertrag im Korn; *GPC* Proteingehalt im Korn; *GYLD* Kornertrag; *NYLD_NUE* (*GYLD_{NUE}*) NUE N Ertrag;
GYLD_NUE (*GYLD_{NUE}*) NUE Kornertrag; n Anzahl Beobachtungen ; n_G Anzahl Genotypen; G Genotyp; ε Rest;
 $G \times E$ Genotyp $\times$ Umwelt ; E Umwelt ; M Marginal

Genotyp, Umwelt und $G \times E$ Korrelation (4)

Beispiele: Korrelation zwischen Sortenmittel (3 Jahreszyklus)



NYLD N-Ertrag;
GYLD Korntrag;
NYLD_NUE NUE N-Ertrag;
GYLD_NUE NUE Korntrag;



Heritabilität für Sortenmittel (3 Jahreszyklus)

	Number of locations							NYLD	GPC	GYLD	NUE of	
Crop	n	n_1	n_2	n_3	n_{12}	n_{13}	n_{23}	H^2	H^2	H^2	NYLD	GYLD
Winter wheat	24	8	8	8	0	0	4	0.83	0.96	0.90	0.82	0.90
Winter rye Hyb	24	8	8	8	0	0	6	0.61	0.89	0.65	0.54	0.63
Spring wheat	21	7	7	7	5	6	5	0.74	0.90	0.62	0.69	0.59
Spring barley	23	8	8	7	0	0	3	0.57	0.78	0.72	0.56	0.72
Winter oil seed rape	36	9	13	14	0	1	7	0.85	0.94	0.80	0.84	0.79
Mean	25.7	7.9	8.8	8.9	1.0	1.4	5.0	0.72	0.89	0.74	0.69	0.73

N-Ertrag hat vergleichbare Aussagewert wie Kornertrag.
Aus biometrischer Sicht: Geeignet als Merkmal in Sortenprüfungen

n Anzahl Versuche pro Zyklus; n_1, n_2, n_3 Anzahl Orte Prüffahr 1, 2 and 3; n_{12}, n_{13}, n_{23} überlappende Orte

NYLD N-Ertrag; GYLD Kornertrag; GPC Proteingehalt; NUE Stickstoffnutzungseffizienz



Zusammenfassung

- Wurde ein Züchtungsfortschritt für NUE und damit korrelierter Merkmale in der Sortenprüfung erreicht? **Ja!**
 - N Düngerrate reduziert – 6% bis - 32%
 - NUE Ertrag stark erhöht 12% bis 31%
 - NUE N Ertrag mittelstark erhöht 7% bis 18%
- Gibt es Potential, NUE in Sortenprüfungen zu verbessern? **Ja!**
 - Heritabilität für N Ertrag etwa so hoch wie für Kornertrag
 - Selektion auf N Ertrag nicht kontraproduktiv zu höherem Ertrag und Proteingehalt

Literatur

- Laidig F, Feike T, Lichthardt C, Schierholt A, Piepho H.P. (2024) Breeding progress of nitrogen use efficiency of cereal crops, winter oilseed rape and peas in long-term variety trials. *Theor Appl Genet* 137:45
- Udvardi M et al. (2021) A Research Road Map for Responsible Use of Agricultural Nitrogen. *Front. Sustain. Food Syst.* 5:660155