

Ergebnisse und Erfahrungen beim Einsatz von unvollständigen Blockanlagen (ALPHA-Gitter) in der Sortenprüfung

U. MEYER

1. Einleitung

Seit 1996 werden im Bundessortenamt neben Block- und Spaltanlagen auch spezielle unvollständige Blockanlagen (Alpha-Gitter) in den Wertprüfungen (Sortenzulassung) angelegt und ausgewertet. Die Ursache für die Einführung dieser Anlagemethoden lag in der ständig steigenden Anzahl der zu prüfenden Sorten. Insbesondere sind die Winterweizensortimente auf über 100 Sorten angestiegen. Geht man von einer Parzellengröße von 10-12 m² aus, so erreicht man schnell Blockgrößen von über 1000 m². Eine wichtige Voraussetzung in der Sortenprüfung ist das „*Ceteris paribus* Prinzip“. Die Erfahrungen aus dem Sortenwesen belegen, dass die Homogenität der Versuchsflächen bei Blockgrößen über 500 m² nicht mehr gewährleistet werden kann (BÄTZ u.a. 1987). Um die angemeldeten Sorten unter annähernd gleichen Bedingungen prüfen zu können, war es erforderlich, die Blockgrößen für bestimmte Sortimente zu reduzieren.

Die Nutzung von speziellen Anlagemethoden (z.B. Gitteranlagen) zur Reduzierung der Blockgrößen ist seit Jahrzehnten praxisüblich. Dazu werden die Blocks in unvollständige Teilblocks unterteilt. Es gibt eine Vielzahl unterschiedlicher Gitteranlagen. In den meisten Fällen stellen die Anlagemethoden bestimmte Anforderungen an deren Parameter:

- Anzahl Sorten
- Anzahl Wiederholungen (Blocks)
- Anzahl unvollständiger Teilblocks
- Anzahl Sorten je unvollständigem Teilblock
- Häufigkeit mit der ein Sortenpaar gemeinsam in einem Teilblock vorkommt

So muss in einem quadratischen Gitter die Anzahl der Sorten gleich dem Qua-

drat der Anzahl der Sorten im Teilblock sein. Die speziellen Anforderungen insbesondere an die Sortenanzahlen haben die Einführung der Gitteranlagen in das offizielle Prüfwesen behindert, da die Anzahl der zu prüfenden Sorten von den anmeldenden Züchtern bestimmt wird und vom Bundessortenamt nicht beeinflussbar ist. Das mögliche Ergänzen von „Füllsorten“ scheiterte auch an den zusätzlichen Kosten.

Die anfangs noch mangelnde Akzeptanz der zu berechnenden gewichteten Mittelwerte für die Sorten ist mittlerweile kein Hemmnis, da viele Züchterhäuser schon über Jahre Gitteranlagen als Standardanlagemethoden verwenden.

Gab es früher noch Probleme bei der Konstruktion des Anlageplanes für Gitteranlagen mit beliebigen Prüfgliedzahlen, so sind nun unter Nutzung neuer Konstruktionsverfahren (PATTERSON and WILLIAMS 1976) und moderner Software auch diese Hemmnisse beseitigt. Auch für die Versuchsauswertung gibt es immer mehr Möglichkeiten, um ganz spezielle Versuchsanlagen unter Verwendung von Statistikpaketen (z.B.: SAS) zu analysieren.

Im Bundessortenamt sollte schrittweise geprüft werden, ob sich insbesondere auch im zweifaktoriellen Fall (Sorten und Behandlungen) praxistaugliche Gitteranlagen finden lassen, die die eingeführten Spaltanlagen (split-plot) ablösen oder zumindest ergänzen können. Für bestimmte Pflanzenarten waren auch einfaktorische Anlagemethoden von Interes-

se. Folgende Pflanzenarten und Nutzungsrichtungen standen im Vordergrund der Untersuchungen (siehe *Tabelle 1*).

2. Methoden

2.1 Konstruktion der Versuchsanlage

Zur Konstruktion geeigneter Versuchsanlagen wurde ein SAS-Programm erstellt, das auf Algorithmen von PATTERSON and WILLIAMS (1976) basiert. Aus sogenannten „generating arrays“ werden vollständige Wiederholungen (Blocks) konstruiert, die alle Sorten über unvollständige Teilblocks s verteilt. Jeder Teilblock besteht aus k oder $(k+1)$ Sorten. Ein beliebiges Sortenpaar kommt höchstens einmal in einem Teilblock vor. Die Teilblöcke sind innerhalb der Wiederholungen und die Sorten innerhalb der Teilblöcke randomisiert. Für die Randomisation wird die SAS-Prozedur „plan“ benutzt. Entgegen der „reinen Lehre der Randomisation“ werden die Sorten in der ersten Wiederholung nach Anbaunummern aufsteigend angeordnet und nicht randomisiert.

Die Anzahl der unvollständigen Teilblocks s und die Anzahl der Sorten k innerhalb eines Teilblocks werden so bestimmt, dass $k \leq s$ und die Anzahl der unvollständigen Teilblocks mit Sortenanzahl k minimal ist. Die Anzahl der unvollständigen Teilblocks wird vom Rechner so bestimmt, dass die oben genannte Regel erfüllt ist.

Tabelle 1: Pflanzenarten, Nutzungsrichtungen und Faktoren

Pflanzenart	Nutzungsrichtung	Faktoren
Sommergerste		Sorten, Behandlungen
Wintergerste		Sorten, Behandlungen
Winterweizen		Sorten, Behandlungen
Mais	Körnernutzung	Sorten
Mais	Silonutzung	Sorten

Autor: Dr. Uwe MEYER, Bundessortenamt, Postfach 610440, D-30604 HANNOVER



Neben dem eigenen Programm zur Konstruktion der Alpha-Gitter-Versuchsanlagen gibt es eine Software „ALPHA+“, die bei den Institutionen CSIRO (Australien) oder BIOSS (United Kingdom) bezogen werden kann (WILLIAMS and TALBOT 1993). Auch an der Universität Hohenheim gibt es Programme zur Konstruktion und Auswertung von Alpha-Gittern (UTZ 1987).

Die Anzahl der Sorten sollte größer als 20 sein. Im anderen Fall werden im Bundessortenamt die klassischen Block- und Spaltanlagen verwendet.

2.2 Biometrische Methoden

Die varianzanalytische Auswertung der Einzelversuche dient im Bundessortenamt mehr dazu die Güte der Versuchsergebnisse einzuschätzen und weniger dazu abschließend multiple Mittelwertvergleiche für die Sorten durchzuführen. Ziel ist es, treff- und wiederholungsgenaue Mittelwerte aus den Einzelversuchen für die Versuchsserie bereitzustellen. Fehlerbehaftete Versuchsergebnisse werden ausgesondert (Minus-Orte).

2.2.1 Der einfaktorische Fall (Einzelversuch)

Folgende Modellgleichung wird angenommen:

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + t(r)_{jk} + e_{ijk}$$

(ohne Wechselwirkung Sorte*Wiederholung)

mit μ - Gesamtmittel

α_i - Sorteneffekt ($\alpha_i = \mu_i - \mu$ und $\sum \alpha_i = 0$)

$t(r)_{jk}$ - vermengter Effekt der Teilblocks t mit dem Wiederholungseffekt r

e_{ijk} - Restfehler

Die Modellgleichung bildet die Grundlage für die Parametrisierung der entsprechenden Prozedur unter Nutzung der SAS-Software. Der Sorteneffekt wird als fixer Effekt und der vermengte Effekt der Teilblocks mit dem Wiederholungseffekt wird als zufälliger Effekt betrachtet.

Für die Versuchsauswertung wurde die SAS-Prozedur „Mixed“ für gemischte Modelle (fixe und zufällige Effekte) verwendet:

```
proc mixed data=infile;
  class r t sorte;
  model m1=sorte/ddfm=satterth;
  random t(r);
  lsmeans sorte;
quit;
```

Der fixe Effekt „sorte“ wird im modelstatement aufgeführt und der zufällige Effekt „t(r)“ im random-statement. Nur

Tabelle 2: Art und Umfang der Alpha-Gitter-Versuchsserien

Jahr	Versuchsserie	Anzahl Orte	Anzahl Sorten	Anzahl Behandlungen
1996	Sommergerste	3 (Teilserie)	59	2
1997	Sommergerste	15	54	2
1998	Sommergerste	15	57	2
	Körnermais mittelfrüh	15	60	1
	Silomais mittelfrüh	15	89	1
1999	Sommergerste	15	60	2
	Körnermais mittelfrüh	15	54	1
	Silomais mittelfrüh	15	77	1
2000	Wintergerste zweizeilig	15	63	2
	Wintergerste mehrzeilig	15	38	2
	Sommergerste	15	60	2
	Winterweizen	15	108	2
	Silomais früh	15	57	1
	Silomais mittelfrüh	15	79	1
	Körnermais früh	15	38	1
	Körnermais mittelfrüh	15	69	1

Tabelle 3: Restfehler (Kleinteilstück) der Sommergerstenversuche 1996

Ort	MQ _{Rest} -Spaltanlage	MQ _{Rest} -Gitteranlage	in %
1	14,19	12,22	86
2	15,57	15,18	97
3	nicht auswertbar	nicht auswertbar	
Mittel			92

Tabelle 4: Restfehler (Kleinteilstück) der Sommergerstenversuche 1997

Ort	MQ _{Rest} -Spaltanlage	MQ _{Rest} -Gitteranlage	in %
1	9,52	7,18	75
2	6,99	4,27	61
3	4,33	3,17	73
4	10,02	6,82	68
5	5,28	4,51	85
6	9,10	7,74	85
7	11,64	3,09	27
8	5,17	4,14	80
9	7,97	3,56	45
10	6,90	2,68	39
11	10,94	5,86	54
12	27,96	14,69	53
13	12,30	7,29	59
14	20,55	9,89	48
15	15,04	5,36	36
Mittel			59

die Prozedur „Mixed“ berechnet die Fehlerterme korrekt. Die Prozedur „GLM“ ist für diese Auswertungen nicht geeignet.

Die Option „ddfm=satterth“ korrigiert die Freiheitsgrade (LITTLE u.a. 1996). Mit dem lsmeans-statement können die adjustierten Mittelwerte berechnet werden.

2.2.2 Der zweifaktorielle Fall (Einzelversuch)

Folgende Modellgleichung wird angenommen:

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + r_k + t(\beta r)_{ijk} + e_{ijkl}$$

mit

μ - Gesamtmittel

α_i - Sorteneffekt ($\alpha_i = \mu_i - \mu$ und $\sum \alpha_i = 0$)

β_j - Behandlungseffekt ($\beta_j = \mu_j - \mu$ und $\sum \beta_j = 0$)

$(\alpha\beta)_{ij}$ - Wechselwirkung ($(\alpha\beta)_{ij} = \mu_{ij} - \mu$ und $\sum_i (\alpha\beta)_{ij} = 0$ und $\sum_j (\alpha\beta)_{ij} = 0$)

r_k - Wiederholungseffekt ($r_k = \mu_k - \mu$ und $\sum r_k = 0$)

$t(\beta r)_{ijk}$ - vermengter Effekt der Teilblocks t mit der Wechselwirkung Behandlung*Wiederholung (βr)

e_{ijkl} - Restfehler

Tabelle 5: Ertragswertzahlen (EWZ) für Sommergerste

Sorte	EWZ			Sorte	EWZ
	Spaltanlage				Alphagitter
1	95,7			2	96,5
2	95,7			3	96,6
3	96,4			1	96,9
4	96,6			8	97,2
5	96,6			5	97,3
6	96,8			7	97,4
7	97,0			4	97,4
8	97,0			6	97,6
9	97,2			9	98,2
10	98,0			10	98,9
11	98,5			13	98,9
12	98,9			12	99,4
13	98,9			11	99,5
14	99,5			14	99,5
15	100,1			15	100,5
16	100,2			19	100,9
17	100,6			16	100,9
18	100,8			17	101,1
19	101,3			18	101,5
20	101,3			20	101,6
21	101,4			21	101,7
22	101,5			25	101,7
23	101,6			24	101,9
24	101,7			23	102,0
25	101,8			22	102,0
26	101,8			26	102,2
27	102,1			27	102,6
28	102,4			28	102,8
29	102,4			29	103,1
30	102,5			30	103,2
31	102,6			32	103,3
32	102,9			31	103,6
33	103,3			35	104,0
34	103,7			34	104,1
35	104,0			33	104,3
36	104,5			38	105,0
37	104,6			36	105,1
38	104,6			40	105,4
39	104,9			37	105,5
40	105,0			39	105,9
41	105,8			45	106,2
42	106,0			41	106,2
43	106,1			44	106,3
44	106,1			48	106,5
45	106,2			42	106,6
46	106,6			47	106,7
47	107,0			43	106,7
48	107,2			49	106,8
49	107,2			46	107,2
50	107,2			50	107,3
51	108,6			52	109,0
52	108,8			51	109,1
53	109,1			54	109,8
54	109,7			53	110,4

Analog zum einfaktoriiellen Fall bildet die Modellgleichung die Grundlage für die Parametrisierung der entsprechenden Prozedur unter Nutzung der SAS-Software. Der Sorten-, der Behandlungs- und der Wiederholungseffekt werden als fixe Effekte und der vermengte Effekt der Teilblocks mit der Wechselwirkung Behandlung*Wiederholung wird als zufälliger Effekt betrachtet.

Für die Versuchsauswertung wurde die SAS-Prozedur „Mixed“ für gemischte Modelle (fixe und zufällige Effekte) verwendet:

```
proc mixed data=infile;
  class r beh t sorte;
  model m1 = r beh sorte sorte*beh/
  ddfm = satterth;
  random t(r*beh);
  lsmeans sorte sorte*beh;
quit;
```

Die fixen Effekte „sorte“, „beh“ werden im model-statement aufgeführt und der zufällige Effekt „t(r*beh)“ im random-statement. Nur die Prozedur „Mixed“ berechnet die Fehlerterme korrekt. Die Prozedur „GLM“ ist für diese Auswertungen nicht geeignet. Die Option „ddfm = satterth“ korrigiert die Freiheitsgrade (LITTLE u.a. 1996). Mit dem lsmeans-statement können die adjustierten Mittelwerte berechnet werden.

3. Datenmaterial

Während in den ersten zwei Jahren (1996-1997) das Sommergerstensortiment im Vordergrund stand, kamen später einige Mais-, Wintergersten- und Winterweizensortimente hinzu. Es sind grundsätzlich die Sortimente des ersten Prüfjahres untersucht worden, da nur diese hohe Sortenanzahlen aufweisen. Im Jahr 2000 wurden acht Versuchsserien als Alpha-Gitter angelegt. In der Tabelle 2 sind Art und Umfang der als Alpha-Gitter angelegten Versuchsserien dargestellt:

Alle Untersuchungen wurden an den Merkmalen „Korntrag“ bzw. „Grünmasseertrag“ durchgeführt.

4. Ergebnisse

4.1 Ergebnisse der Sommergerstenversuche 1996

Die zur Beurteilung der Güte der Einzelversuche verwendeten Restfehler (MQ_{Rest}) wurden für die klassische Spalt-

anlage und für die Alpha-Gitter-Anlage berechnet. In der *Tabelle 3* sind die Einzelergebnisse aufgeführt:

4.2 Ergebnisse der Sommergerstenversuche 1997

Im Durchschnitt über die 15 Einzelorte reduzierten sich die Restfehler der Alpha-Gitter-Anlage auf 59% der klassischen Spaltanlage. In der *Tabelle 4* sind die Einzelergebnisse aufgeführt:

4.3 Ergebnisse der Mais- und Sommergerstenversuche 1998

Die mittleren Restfehler der einfaktoriellen Alpha-Gitter über alle Orte lagen 1998 für das Körnermaissortiment bei 82%, für das Silomaissortiment bei 61% und für das Sommergerstensortiment bei 64%.

4.4 Ergebnisse der Mais- und Sommergerstenversuche 1999

Die mittleren Restfehler der einfaktoriellen Alpha-Gitter über alle Orte lagen 1999 für das Körnermaissortiment bei 81%, für das Silomaissortiment bei 74% und für das Sommergerstensortiment bei 60%.

4.5 Ergebnisse der Versuche 2000

Die mittleren Restfehler der einfaktoriellen Alpha-Gitter über alle Orte lagen 2000 für das zweizeilige Wintergersten-

sortiment bei 64%, für das mehrzeilige Wintergerstensortiment bei 66% und für das Sommergerstensortiment bei 54%.

4.6 Veränderungen in der Ertragswertzahl bei Sommergerste

Für einzelne Pflanzenarten werden zusätzlich sogenannte Indizes gebildet, um die Sorten, die in das nächste Prüffahr aufsteigen, zu selektieren. Für die Sommergerstensortimente wird nach der Mittelwertbildung über die Orte eine Ertragswertzahl berechnet, die sich aus der Ertragszahl, der Resistenzzahl und der Qualitätszahl zusammensetzt.

In der *Tabelle 5* sind die Ertragswertzahlen (EWZ in %) für ein Sommergerstensortiment eingetragen. Die Sorten sind gemäß der Ertragswertzahlen aus den Spaltanlagen und den Alphagitteranlagen den Rängen nach geordnet.

Die Adjustierung der Mittelwerte im Merkmal „Kornertrag“ verändert die Mittelwerte aus der Alphagitterauswertung gegenüber der Spaltanlagenauswertung (lsmeans-statement in SAS). Die Rangverschiebungen werden in der *Tabelle 5* durch die Pfeile pro Sorte markiert. Es ist auffällig, dass sich die Ränge nur unwesentlich verschieben. Während einige Sorten keine Rangverschiebung aufweisen, beträgt die maximale Rangverschiebung nur 4. Die entsprechende Korrelation beträgt 0,9975 (n=54).

4.7 Schlussfolgerungen

Ein- und zweifaktorielle Alpha-Gitter-Anlagen sind im Sortenwesen geeignet, störende Einflüsse der zu großen Blocks bei klassischen Block- und Spaltanlagen auszuschalten. Mit Hilfe spezieller Programme lassen sich die notwendigen Anlagepläne konstruieren und die Versuchsauswertungen (SAS-Prozedur „Mixed“) vereinfachen. Im Bundessortenamt wurden in den letzten fünf Jahren positive Erfahrungen beim Einsatz von Alphagitteranlagen gesammelt. Neben Sommergerste, Wintergerste und Winterweizen wurden die Alphagitter auch für Körner- und Silomaissversuche eingesetzt. Die Reduktion der Fehlervarianz für den Sortenvergleich (Kleinteilstückfehler) variierte über die Pflanzenarten und Jahre von 54 bis 97%.

Die Adjustierung der Mittelwerte verändert die Rangreihenfolge der Sorten nur unwesentlich.

Literaturverzeichnis

- BÄTZ, G., H. DÖRFEL, A. FUCHS und E. THOMAS, 1987: Einführung in die Methodik des Feldversuchs. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin
- PATTERSON, H. D. and E. R. WILLIAMS, 1976: A new class of resolvable incomplete block designs. *Biometrika* (1976), 63, 1, pp.83-92
- UTZ, H. F., 1987: Große Prüfgliedanzahlen in Spaltanlagen. Vortrag auf dem 33. Biometr. Kolloquium der Dt. Region der Internat. Biometr. Gesellschaft., Trier, 1987
- WILLIAMS, E. R. and M. TALBOT, 1993: ALPHA+, Experimental Designs for Variety Trials and Multi-Treatment Experiments. Program description