

Rand- und Nachbarwirkungen in landwirtschaftlichen Feldversuchen - Analysen und Konsequenzen

E. THOMAS

1. Einleitung - Das Phänomen

Das Ziel einer exakten Planung landwirtschaftlicher Feldversuche besteht darin, treffgenaue und präzise Versuchsergebnisse mit möglichst geringem Aufwand zu erzielen. Dabei ist die Planung der Versuchselemente (Teilstücke und Blocks) so vorzunehmen, dass störende Einflüsse ausgeschaltet, wenigstens in ihrer Wirkung eingeschränkt oder erfasst werden können.

Das allgemein dafür angewandte Mittel ist die Blockbildung. Es zeigt sich aber, dass das aus den verschiedensten Gründen unzureichend ist. Größere Prüfgliedanzahlen führen zu größeren Versuchen, und die Versuchsfläche weist dann häufig eine Heterogenität auf, die durch die Blockbildung nicht mehr zu beherrschen ist. Damit wird das ceteris paribus-Prinzip für die Prüfglieder im Block verletzt. Dem kann man durch Verwendung unvollständiger Blocks begegnen.

Mit einer Verkleinerung der Teilstücke soll dem ebenfalls entgegengewirkt und eine Minimierung des Aufwandes angestrebt werden. Dadurch kommen Störgrößen zur Wirkung wie die Konkurrenzefekte benachbarter Prüfglieder (Nachbarwirkungen), und wegen Bestrebungen zu technischer Vereinfachung (Mechanisierung) durch unbebaute Trennstreifen (ausgelassene Drillreihen) und Wegfall der Stirn- und Seitenränder die Randwirkungen.

Die folgenden Ausführungen werden sich mit diesen **Wirkungen auf den Pflanzenbestand einer Versuchsparzelle** beschäftigen, und wir werden uns zunächst darüber verständigen, was unter **Randwirkungen, Nachbarwirkungen und Konkurrenzwirkungen** zu verstehen ist.

Im Feldversuch stoßen an den Teilstückgrenzen Pflanzen aufeinander, die morphologisch und physiologisch mehr oder

weniger unterschiedlich konditioniert sein können. An den Teilstückrändern (wohlgemerkt ringsherum) finden die Pflanzen andere Wachstumsverhältnisse vor als im Kern der Parzelle.

Randwirkung ist die Reaktion der Pflanzen in Randregionen eines Bestandes auf den umgebenden Nachbarbestand (Nachbarwirkung) oder auf eine benachbarte freie Fläche (Randwirkung im engeren Sinne).

An ungeschützten Rändern (Stirnränder der Parzelle) besteht auch die Gefahr von Beschädigungen des Bestandes.

Nachbarwirkung ist die Reaktion der Randregion eines Bestandes auf einen benachbarten Pflanzenbestand (Konkurrenzwirkung).

Nachbarwirkungen entstehen durch genetisch bedingte **morphologische Unterschiede** der Prüfglieder (Pflanzenhöhe, Blattgröße, Blattanzahl, Blattstellung, Blattflächenindex, Bewurzelung, Bestockungsvermögen) oder **physiologische Unterschiede** (längere Turgeszens in Trockenperioden, Reifezeit, Aneignungsvermögen für Wasser und Nährstoffe/Ausprägung des Wurzelsystems), durch unterschiedliche **Behandlungen (Prüffaktorstufen)**, die über die Teilstückränder hinaus wirken: Düngung, Pflanzenschutzmaßnahmen (Abdrift), Bewässerung, Bestandsklima bei Bestandsdichtevarianten (Saatstärken, Reihentfernung, Einzelpflanzenabstand), Unterschiede in der Bestandsentwicklung (durch unterschiedliche Aussaattermine).

Nachbarwirkung kann aber auch durch Schädigungsdruck auf benachbarte Prüfglieder, z. B. durch Schädlingsbefall oder Lager, entstehen.

Rand- und Nachbarwirkungen (im engeren Sinne) können auch kombiniert wirken in Fällen, in denen schmale unbebaute Trennstreifen (Fehlreihen) benachbarte Prüfglieder trennen. Sie bie-

ten zusätzlichen Luft- und Bodenraum (zusätzliche Nährstoff- und Wasserversorgung) und freieren Lichteinfall, veränderte Temperaturverhältnisse und Luftbewegung (Pollen, Schaderreger). Dabei profitieren die Randreihen von dem freien Trennstreifen, die Nachbarwirkung wirkt aber in die Nachbarparzelle hinein. Trennstreifen mindern die Konkurrenzwirkung konkurrenzstarker auf konkurrenzschwache Prüfglieder, verstärken aber die Überlegenheit konkurrenzstarker Prüfglieder, da sich die fördernde Wirkung der unbebauten Trennstreifen mit der Überlegenheit der konkurrenzstarken Prüfglieder kombiniert.

Konkurrenz von Pflanzen untereinander bezieht sich im Wesentlichen auf Wurzelraum, Nährstoffe und Wasser, Luft- und Licht.

Konkurrenzwirkungen treten auch innerhalb eines Bestandes (intraplot competition) auf. Sie nehmen mit zunehmender Bestandsdichte zu. Bis zu einem gewissen Grade fördern sie die Bestandsentwicklung. Sie können verheerend wirken, wenn der Pflanzenbestand zu stark ist und die Ressourcen sehr gering sind (Mangel an Wurzelraum, Wasser Nährstoffen, Licht).

Beispiel: hohe Bestandsdichte bei Winterroggen auf leichten Böden; wegen des akuten Wassermangels können solche Bestände zugrunde gehen

Solche Wirkungen zeigen sich bei **Fehlstellen** im Bestand. Die Randpflanzen solcher Fehlstellen nutzen die freien Räume und können so die entstehenden Ausfälle weitgehend ausgleichen.

2. Die Untersuchung von Ursache und Wirkung von Rand- und Nachbarwirkungen

Bei einer aufmerksamen Beobachtung von Feldbeständen stellen wir fest, dass

Autor: Prof. Dr. Erhard THOMAS, Goethestraße 23, D-14482 POTSDAM



7	3			6			7			5			1			4			2			7
6	6			2			3			1			4			7			5			6
5	7			3			4			2			5			1			6			5
4	2			5			6			4			7			3			1			4
3	4			7			1			6			2			5			3			3
2	5			1			2			7			3			6			4			2
1	1			4			5			3			6			2			7			1

Abbildung 1a: Versuchsanlagen zur Ermittlung der Konkurrenzwirkung von Prüfgliedern, ein Block

Sorte	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	B	B	B	B	B	B
Reihe	8	7	6	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5	6	7	8

Abbildung 1c: Versuchsanlage zur Ermittlung der Reichweite von Nachbarwirkungen. Prüfglieder A und B, Einzelreihenernte.

diese Bestände ein bestimmtes Profil haben, den sogenannten Uhrglas-Effekt. An den Rändern der Bestände treten kräftigere, gedrungene Pflanzen auf. Aber auch andere Effekte kann man beobachten. Beeindruckend ist z. B. der überaus reiche Samenansatz an den Randpflanzen von Luzerne-Vermehrungsfeldern.

Auch in Feldversuchen werden uns solche Erscheinungen nicht entgehen. Sie werden besonders deutlich, wenn zur Trennung der Teilstücke Trennstreifen frei bleiben und unterschiedliche Bestandsstrukturen benachbart auftreten. Damit erhebt sich die Frage: inwieweit werden die Versuchsergebnisse davon beeinträchtigt?

Dazu gab es bereits seit Langem Beobachtungen und Untersuchungen, es soll hier nur auf Arbeiten von ARNY 1921, ROEMER 1925, BIELKA 1951, SCHREINER 1954, ROD und VONDRACEK 1965, BOLZ 1968, SAVILLE 1985, EVANS und LEWIN 1988, KUTTRUFF und BERENDONCK (1985), MERSINKOV, ZAPRJANOV und DIMOVA 1987 und KEMPTON und GREGORY 1986 hingewiesen werden. Im Ergebnis dieser Arbeiten zeigt sich, dass zwischen benachbarten Prüfgliedern Rand- und Nachbarwirkungen

auftreten, die weit in das benachbarte Teilstück hineinreichen können, die auf unterschiedliche Prüfglieder wechselnde Wirkungen haben können, und dass es möglich ist, Nachbarwirkungen zu quantifizieren, wenn hinreichende Informationen über etwaige Ursachen wie unterschiedliche Bestandshöhen vorliegen.

2.1 Spezielle Experimente

In den weiteren Ausführungen sollen insbesondere Ergebnisse von BÜCHSE (1999 und 2002), BÜCHSE et al. (2001), SEIBERT (1989) und TALBOT et al. (1995) zur Illustration der Rand- und Nachbarwirkungen herangezogen werden. Experimentelle Untersuchungen zu diesem Problem erfordern spezielle Versuchsanlagen, die sehr aufwendig sind. Die experimentelle Voraussetzung für die Ermittlung der Konkurrenzkraft einer Sorte ist, dass sie mit sich selbst und mit den anderen im Vergleich stehenden Sorten benachbart im Versuch vorkommt. Die Differenz zwischen dem Ergebnis bei eigener mit dem Ergebnis bei fremder Nachbarschaft bildet die Grundlage für die Beurteilung der Konkurrenzkraft eines Prüfgliedes. Die Abbildungen 1a, b, und c zeigen Versuchsanlagen, wie sie von BÜCHSE verwendet wurden. An den Ergebnissen der grau

7	3			6			7			5			1			4			2			7
6	6			2			3			1			4			7			5			6
5	7			3			4			2			5			1			6			5
4	2			5			6			4			7			3			1			4
3	4			7			1			6			2			5			3			3
2	5			1			2			7			3			6			4			2
1	1			4			5			3			6			2			7			1

Abbildung 1b: Vereinfachte Form

unterlegten Teilstücke werden die Nachbarwirkungen ermittelt. In den Versuch in Abbildung 1a und b sind die Prüfglieder mit allen anderen und mit sich selbst beidseitig einmal benachbart. Sie unterscheiden sich durch die Möglichkeiten der Randomisation. Bei der Versuchsanordnung 1a können die dreiteiligen Versuchseinheiten im Block zufällig verteilt werden. Anordnungen in Lateinische-Quadratstrukturen und Gitteranlagen sind möglich. In einer Versuchsanlage nach Abbildung 1c ist eine Randomisation ganzer Zeilen und innerhalb der Zeilen erforderlich. Abbildung 1c zeigt einen Versuch zur Ermittlung der Reichweite einer Nachbarwirkung.

In diesen Versuchsanlagen hat BÜCHSE 1995 bis 1997 Versuche mit Zuckerrüben angestellt. Die Ergebnisse dieser Versuche sind anhand des bereinigten Zuckerertrages BZE in den Abbildungen 2 a und b dargestellt. Die Abbildungen zeigen die Wirkung konkurrenzschwacher und konkurrenzstarker Nachbarsorten auf den bereinigten Zuckerertrag (BZE, t/ha) von sieben Zuckerrübensorten. Die Sorten 1 - 3 sind als konkurrenzschwach anzusehen. In der Nachbarschaft konkurrenzschwacher Sorten (linke Säule) können sie sich leidlich behaupten, in der Nachbarschaft konkurrenzstarker Sorten (rechte Säule) werden sie erheblich beeinträchtigt.

Die Sorten 4 - 7 erscheinen als konkurrenzstark. In der Nachbarschaft konkurrenzschwacher Sorten sind die Pflanzen dieser Sorten von der Konkurrenz innerhalb ihrer eigenen Sorte weitgehend befreit und können auf Kosten der Nachbarn höhere Erträge erzielen. In der Nachbarschaft konkurrenzstarker Sorten kommen nur die graduellen Unterschiede in der Konkurrenzstärke der Sorten

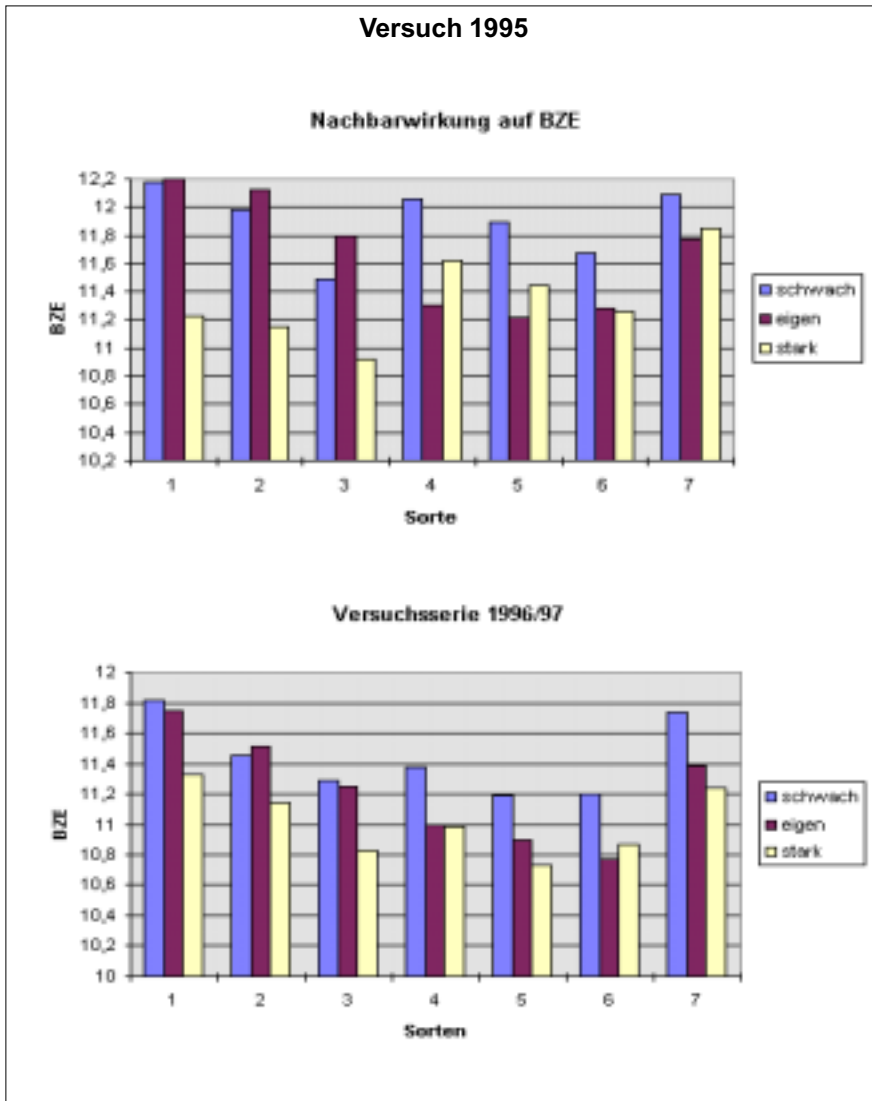


Abbildung 2: Konkurrenzwirkung bei Zuckerrüben (nach Versuchsergebnissen von BÜCHSE 1999)

linke Säule: BZE in der Nachbarschaft einer konkurrenzschwachen Sorte
 mittlere Säule: BZE bei eigener Nachbarschaft
 rechte Säule: BZE in der Nachbarschaft einer konkurrenzstarken Sorte
 Sorten 1 - 3 konkurrenzschwach
 Sorten 4 - 7 konkurrenzstark

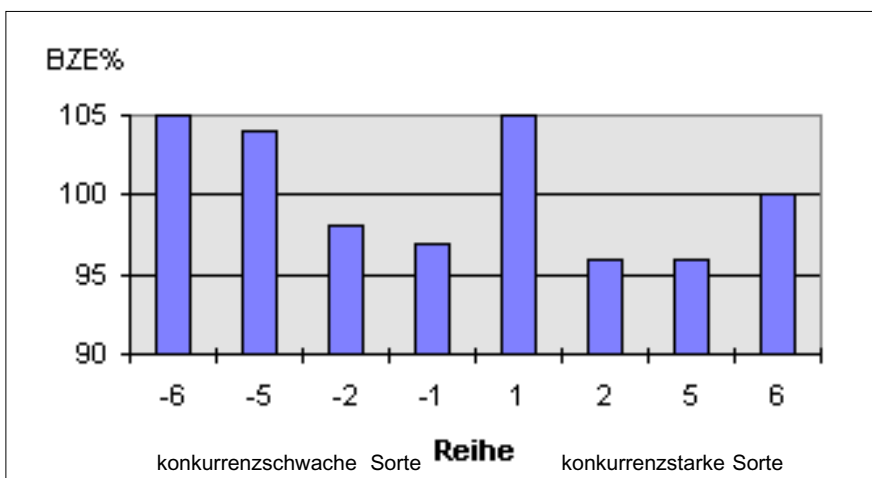


Abbildung 3: Reichweite des Nachbareinflusses in das Nachbarstück

zur Wirkung, es gibt geringere Unterschiede zum von Nachbarn unbeeinflussten Ertrag der Sorten.

Ein Vergleich der von Nachbarn unbeeinflussten Erträge, die quasi unter „normalen“ Bestandsbedingungen zustande gekommen sind (mittlere Säule), zeigt, dass in diesem Sortiment die ertragreicheren Sorten offensichtlich konkurrenzschwächer sind als die mit geringeren Erträgen. Bemerkenswert ist das Ergebnis hinsichtlich der Sorten 3 und 7, die etwa die gleiche Ertragsfähigkeit haben, sich aber in ihrer Konkurrenzkraft offensichtlich stark unterscheiden. In einer Sortenprüfung würden sie abhängig von der Konkurrenzkraft der benachbarten Prüfglieder recht erhebliche Ertragsdifferenzen aufweisen. Aber auch bei den anderen Sorten ist zu erkennen, dass die Treffgenauigkeit der Ertragschätzung durch Nachbarschaftswirkungen stark beeinträchtigt werden kann.

In einer Versuchsanlage nach *Abbildung 1c* wird die Reichweite des Nachbarschaftseinflusses untersucht. *Abbildung 3* zeigt die Ergebnisse der beiden ersten und der fünften und sechsten Reihen in den benachbarten Teilstücken anhand des relativen BZE. Die konkurrenzschwache Sorte weist in den ersten beiden Reihen eine starke Depression auf, erreicht in Reihe 5 und 6 ihr eigentliches Ertragspotential. Die konkurrenzstarke Sorte profitiert in der ersten Reihe so stark, dass zu den nächsten Reihen offenbar eine starke Konkurrenz innerhalb des Teilstücks wirksam wird. Das Ertragspotential der konkurrenzstarken Sorte ist wiederum geringer als das der konkurrenzschwachen.

Der Zeitpunkt des Auftretens von Konkurrenzwirkungen bei Zuckerrüben an den Teilstückrändern scheint je nach Konkurrenzkraft der Sorten unterschiedlich zu sein. So fand BÜCHSE signifikante Unterschiede in der Gesamt-Trockenmasse an den Randreihen bei konkurrenzstarken Sorten im August (signifikant höher), bei konkurrenzschwachen Sorten im September (signifikant geringer).

SEIBERT (1989) beschränkt sich bei seinen Untersuchungen mit Winterweizen auf zwei Sorten (kurz- und langstrohg, K und L), die in allen Nachbarschaftskombinationen geprüft werden. Grund-

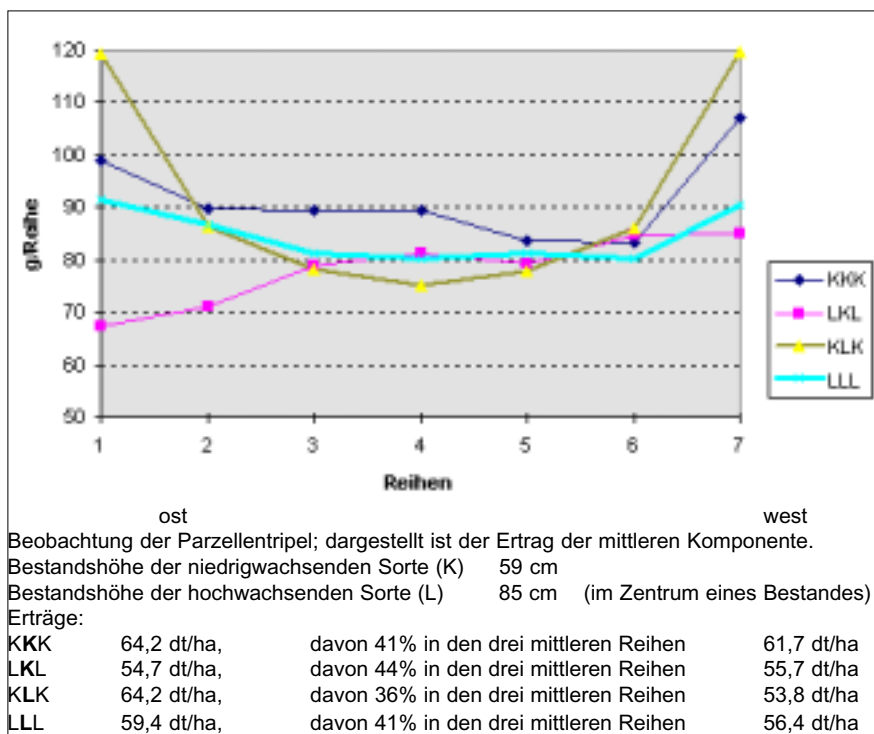


Abbildung 4: Ertragsprofil siebenreihiger Teilstücke Winterweizen 1979

plan für solche Versuche ist eine Prüfgliedfolge (L)LK KKL LLL K(K), in der alle für die Nachbarschaftskombinationen möglichen Teilstücktripel enthalten sind: KKK, KKL, LKK, LKL, KLK, KLL, LLK, LLL.

Eine analoge Folge nutzen LIN et al. (1985) zu einer modellhaften Untersuchung von Konkurrenzwirkungen bei der Sojabohne mit drei Sorten unterschiedlicher Wuchshöhe und Reifezeit (A, B, C): (A)CABBBCAAABABCBCCCA(C). Darin sind alle Teilstücktripel für 18 mögliche Nachbarschaftskombinationen enthalten.

Abbildung 4 zeigt die Bestandsprofile eines Winterweizenversuchs auf Quadratmeterparzellen von SEIBERT. Charakteristisch ist das KKK-Profil mit den stark geförderten Randreihen zu dem niedrigwachsenden Nachbarn und das gegensätzliche LKL-Profil mit den stark beeinträchtigten Randzonen über die jeweilige Randreihe hinaus (!).

Tabelle 1: Ertrag von Ährenachkommenschaften unter Nachbarschaftseinfluss

1979	g	g
KKK	253	183
KKL	228	207
LKK	233	206
LKL	196	248

Die in allen Fällen, selbst bei LKL, zu beobachtende Förderung der Randreihen beruht offensichtlich auf der Randwirkung einer Fehlreihe zum Nachbarn. Die auffällige Überlegenheit der 7. Reihe bei allen Varianten kann auf einem **Effekt der Himmelsrichtung** beruhen, den SEIBERT gefunden hat.

Die Ergebnisse einer Prüfung von Ährenachkommenschaften unter Konkurrenzbedingungen zeigt Tabelle 1. Es zeigt sich, dass sich Ertragsrelationen unter Nachbarschaftseinfluss völlig umkehren können. Einseitig fremde Nachbarn ergeben intermediäre Wirkungen.

Etwas Ähnliches zeichnet sich in einer Serie von Parzellenversuchen ab. Der Einfluss der Jahreswitterung ist offen-

sichtlich. 1979 war der Konkurrenzdruck offensichtlich besonders hoch, da die Wachstumsbedingungen schlechter waren als in den anderen Jahren (Tabelle 2 und Abbildung 5). Es ist deutlich zu sehen, dass die kurze Sorte unter der Konkurrenz der langen Sorte 1979 besonders stark leidet, während die lange Sorte in der Nachbarschaft der kurzen Sorte große Vorteile hat.

Abbildung 6 zeigt die sehr starke Randwirkung durch die Fehlreihe an den Teilstückrändern in diesem Jahr, die die kurze Sorte unter der Konkurrenz der langen Sorte nicht nutzen kann.

Unter den ungünstigen Bedingungen des Jahres 1979 kommen die Randwirkungen der unbestellten Trennreihe besonders stark zur Geltung (erkennbar bei KKK und LLL im Vergleich zu den jeweils anderen Nachbarn. Bei LKL wird diese Randwirkung durch die Konkurrenz des Nachbarn weitgehend kompensiert).

2.2 Analyse von Nachbarwirkungen auf der Grundlage statistischer Modelle

Mit Hilfe statistischer Analysen auf der Grundlage geeigneter statistischer Modelle kann eine Schätzung von Nachbarwirkungseffekten und eine entsprechend bereinigte Schätzung der Prüfgliedeffekte erfolgen.

Mit diesem Modell hat BÜCHSE (BÜCHSE et al., 2001) aus Versuchsergebnissen mit Winterraps unter Konkurrenz von 1998/99 korrigierte Leistungen im Reinbestand kalkuliert (Abbildung 7).

Hybridsorten erweisen sich gegenüber Liniensorten als konkurrenzstärker.

Ein Modell, das die Effekte der Nachbarprüfglieder berücksichtigt, hat die Form:

$$y_{ijklm} = \mu + \underline{b}_m(u_i) + s_i + u_j + \underline{su}_{ij} + n_j + m_k + e_{ijklm}$$

y_{ijklm}	Teilstückmesswert		
μ	Gesamtittel des Versuchs	$\underline{b}_m(u_i)$	zufällige Effekte
Umwelt			Effekt des m-ten Blocks in der l-ten
s_i	Effekt der i-ten Sorte	u_j	Effekt der j-ten Umwelt
n_j	Effekt des linken Nachbarn	\underline{su}_{ij}	Wechselwirkung Sorte-Umwelt
m_k	Effekt des rechten Nachbarn	e_{ijklm}	Resteffekt

Ein Modell, das die durch Unterschiede in der Pflanzenhöhe in Form einer Kovarianzanalyse lautet:

$$y_{ilm} = \mu + \underline{b}_m(u_i) + s_i + u_j + \underline{su}_{ij} + \beta(h_i - \frac{1}{2}(h_{i+1} + h_{i-1})) + e_{ilm}$$

h_i h_{i+1} h_{i-1} Pflanzenhöhe auf den Teilstücken i, i+1 und i-1

Tabelle 2: Relativerträge von Winterweizen bei Nachbareinfluss

	1978	1979	1980	*)	1981	**)
KKK	116	106	109	111	110	108
LKL	108	81	101	102	99	107
LLL	86	97,2	89	87	89	88
KLK	89	108	100	100	104	93
Ertragsmittel g	5094	3780	8300	7700	5000	4700

*) Hier war die Drillrichtung abweichend von den anderen Fälle OW

**) Hier wurden zwei andere Sorten verwendet, die sich in ihrer Konkurrenzkraft nicht so stark unterscheiden

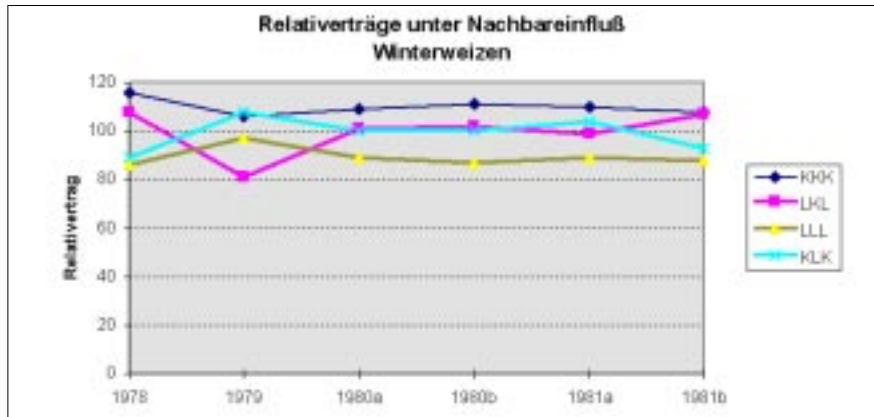


Abbildung 5: Relativerträge unter Nachbareinfluss

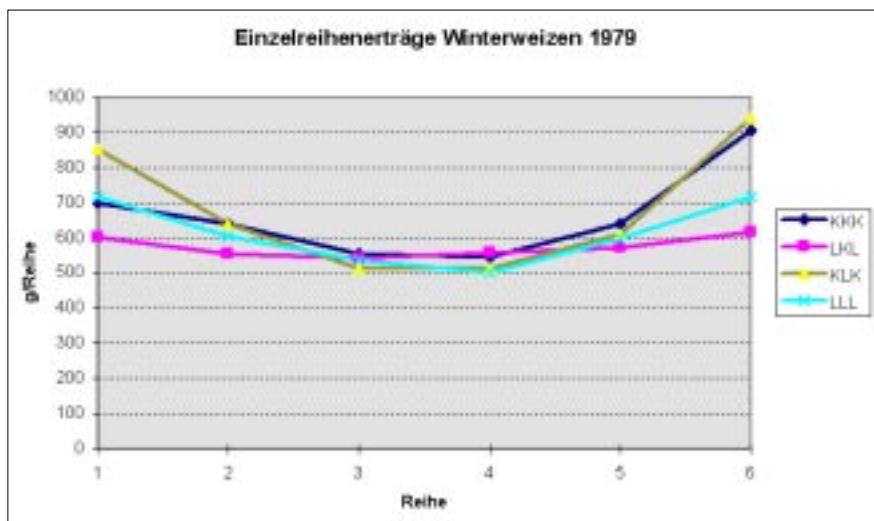


Abbildung 6: Ertragsprofile unterschiedlicher Nachbarschaftskonstellationen in sechsheilige Parzellen 1979

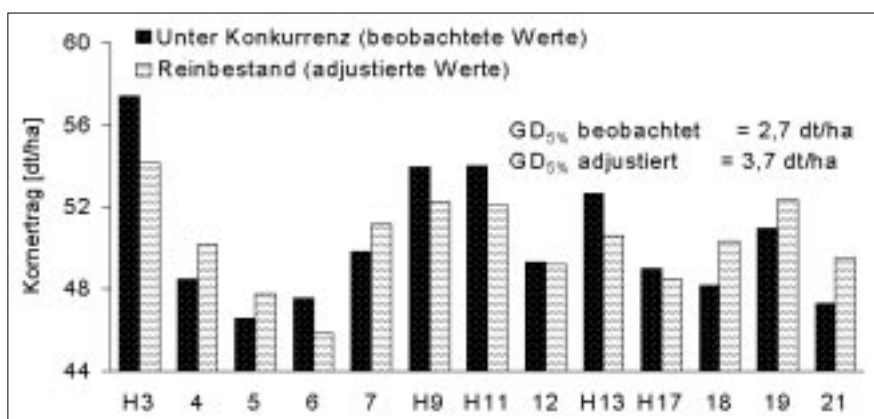


Abbildung 7: Sortenleistung unter Konkurrenz und kalkulierte Leistung im Reinbestand; H = Hybridsorten

Tabelle 3: Regressionskoeffizienten [dtxha⁻¹xcm⁻¹] der Kovariablen Pflanzenlängendifferenz auf den Parzellen-ertrag von Wintertraps (BÜCHSE 2002)

	lange Sorten β	kurze Sorten
1997	0,0665	0,0046
1998	0,0450	0,0797
1999	0,0208	0,0689
Mittel	0,0441	0,0511

Aus dreijährigen Versuchen mit Wintertraps konnten die in Tabelle 3 zusammengestellten Regressionskoeffizienten an zwei verschiedenen langen Teilsortimenten ermittelt werden. Bei einem cm Höhendifferenz ist im Mittel eine Ertragswirkung von 5 kg/ha zu erwarten. Eine nennenswerte Korrektur der Ergebnisse gelang über die Berücksichtigung der Höhendifferenz nicht in gleicher Weise wie mit dem ersten Modell.

TALBOT et al. (1995) bemühen sich, aus umfangreichen Sortenversuchen mit zahlreichen Kulturen die Verzerrung (bias), die durch Nachbarschaftseinflüsse in den Versuchsergebnissen entsteht, abzuschätzen. Sie verwenden dazu das Modell

$$y_{ij} = \mu + \beta_j + v_i + \sum \alpha_k Z_k + e_{ij}$$

- β_j Blockeffekt am Teilstück j
- v_i Sorteneffekt
- α_k Konkurrenzeffekt der Sorte k
- Z_k = +2 für die Sorte, die auf dem Teilstück j steht
- = -1 für die Sorten, die auf Teilstück j-1 und j+1
- = +1 für Sorten auf einem Randteilstück (mit nur einem Nachbarn)
- = 0 sonst

Der Konkurrenzeffekt beschreibt das Ausmaß (%) der Minderung oder Erhöhung des Teilstückertrages einer Sorten, wenn sie von anderen Sorten benachbart ist. Die Versuche werden im Allgemeinen in zwei Varianten mit und ohne Fungizidbehandlung durchgeführt.

In Abbildung 8 und Tabelle 4 sind die Konkurrenzeffekte dargestellt und ihre statistischen Maßzahlen aufgeführt. Offensichtlich wird die Verzerrung durch Fungizidbehandlung gemindert, ihre Spannweite ist wesentlich kleiner als in der Variante ohne Fungizidbehandlung.

Die Konkurrenzgrade schwanken z. T. beträchtlich in den Jahren (Abbildung 9). Es ist aber deutlich zu erkennen, dass Sorte 1 eine konkurrenzstarke Sorte ist,

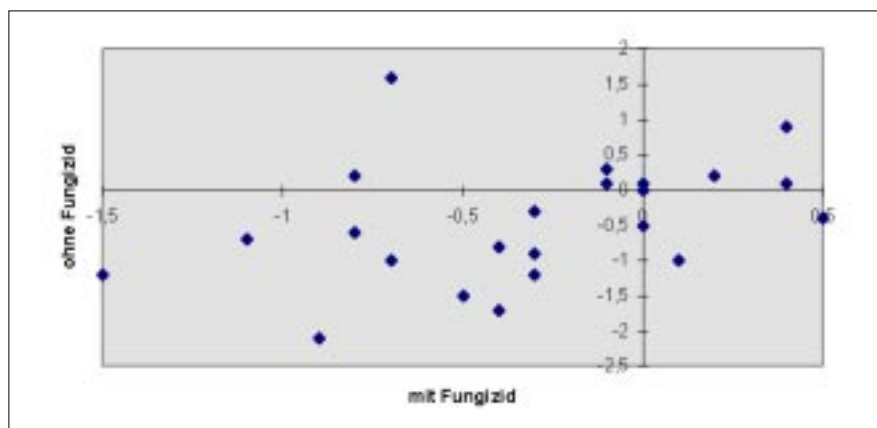


Abbildung 8: Konkurrenzeffekte (%) von 26 Winterweizensorten mit und ohne Fungizidbehandlung

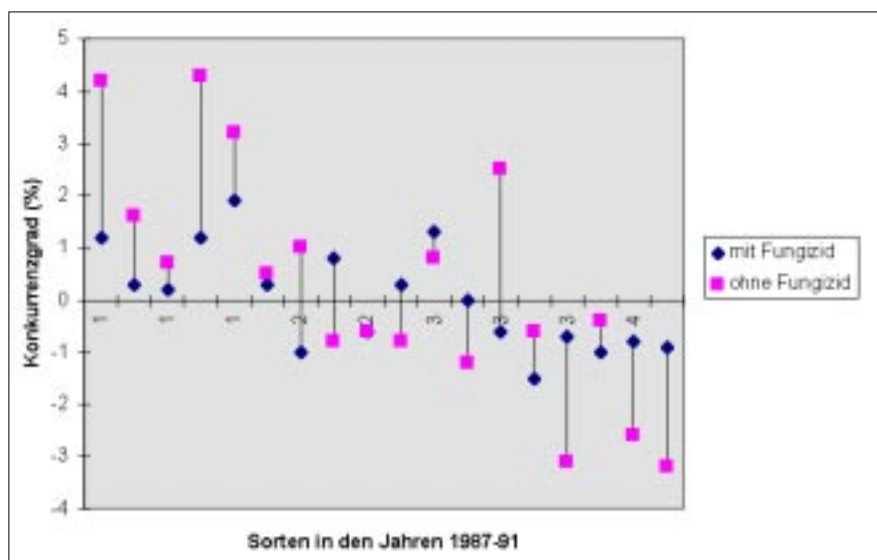


Abbildung 9: Variabilität des Konkurrenzgrades von 4 Winterweizensorten in den Jahren 1987-91 (Sorte 4 nur 3 Jahre)

Tabelle 5: Morphologische Charakteristik der Konkurrenzkraft von Zuckerrüben (nach BÜCHSE 1999)

	konkurrenzschwache ZR-Sorten	konkurrenzstarke ZR-Sorten
Blattstiele	kürzer	länger (4cm) steilere Blattstellung
Anteil des Blattapparates an TM (gesamt)	höher	
Höhe des Blattapparates		höher (10 cm)
Blattflächenindex	geringer	höher
Rübenanteil an TM-Ges.	größer	kleiner
Durchwurzelung	schwächer	stärker

während Sorte 4 konkurrenzschwach ist und die beiden anderen Sorten eine intermediäre Stellung einnehmen. Sorte 3 zeigt ohne Fungizidbehandlung eine besondere Empfindlichkeit auf Jahreseffekte, was auf unterschiedlichen Befallsdruck schließen lässt.

2.3 Der Einfluss von Pflanzenmerkmalen auf den Konkurrenzeffekt

Die Pflanzenhöhe wurde bereits als ein Merkmal erkannt, das einen wesentli-

chen Konkurrenzeffekt hervorruft. Auf der anderen Seite ist aber auch klar geworden, dass es noch andere Einflüsse vonseiten der Pflanzen geben muss, die die Konkurrenzkraft mitbestimmen.

BÜCHSE (2002) ermittelt aus den Ergebnissen von drei Versuchsjahren für Winterraps partielle Regressionskoeffizienten einer multiplen Regression für die Abhängigkeit des Konkurrenzeffektes

Tabelle 4: Konkurrenzeffekte in einer Winterweizen-Versuchsserie (TALBOT et al., 1995)

α	mit Fungizid	ohne Fungizid
Mittelwert	-0,1538	-0,1769
Median	-0,2	-0,35
Varianz	0,44	1,39
Stand.abw.	0,666	1,179
Minimum	-1,5	-2,1
Maximum	1,3	2,8
Spannweite	2,8	4,9

von Hybridsorten (0/1)

$$b = -0,662 \text{ dt/ha}$$

von der Pflanzenlänge (cm)

$$b = -0,051 \text{ dt/ha}$$

von der Lagerneigung (1-9)

$$b = -0,507 \text{ dt/ha.}$$

Für Zuckerrüben zeigt er, wie morphologische Merkmale die Konkurrenzkraft charakterisieren (Tabelle 5). Bemerkenswert ist auch, dass ein enger Zusammenhang zwischen Blattflächenindex und Pflanzenhöhe besteht.

TALBOT et al. (1995) haben die Bedeutung verschiedener Merkmale für den Konkurrenzgrad ebenfalls in ihre Untersuchungen einbezogen. Ihre Ergebnisse (Tabelle 6) bestätigen das für Zuckerrüben (Pflanzenhöhe, Blattapparat) und Winterraps (Pflanzenhöhe, Lager) bisher Gesagte. Pflanzenhöhe hat generell einen großen Einfluss, aber auch Stängelfestigkeit, Reife und Krankheiten spielen eine Rolle.

3. Auswirkungen von Rand- und Nachbareffekten auf die Aussagekraft der Ergebnisse

Gehen wir davon aus, dass Nachbarwirkungen bestehen, dann entspricht diese Vorstellung dem Modell 1 der Tabelle 7. In der Regel wird bei der Auswertung eines Feldversuchs die Varianzanalyse auf der Basis des Modells 2 der Tabelle 7 durchgeführt. Da dabei die Nachbareffekte nicht berücksichtigt werden, „infiltrieren“ sie sozusagen die Prüfglied- und Resteffekte und führen so

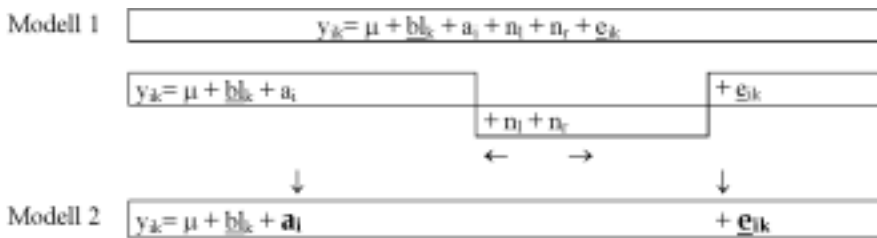
- zu **verzerrten Schätzungen der Prüfgliedeffekte**, konkurrenzstarke Prüfglieder werden überschätzt, konkurrenzschwache Prüfglieder werden unterschätzt, und
- zur **Erhöhung des Versuchsfehlers** (systematische Komponente) und damit zur

Tabelle 6: Einfluss von Pflanzenmerkmalen auf den Konkurrenzeffekt (Regressionskoeffizienten) (nach TALBOT et al.)

Merkmal	Hafer	Wintergerste	Winterweizen	Raps	Mais	Zuckerrübe
Pflanzenhöhe	0,15/0,17	0,12	0,14/0,08	0,06	0,12	0,21
Stengelfestigkeit				-1,12		
Lager				-0,88	0,6	
Blattapparat						0,57
Reife			-0,34	0,45	-1,18	
Krankheiten		0,12 Braunrost	0,15 Mehltau	-0,27 Mehltau		

Teilstückbreiten: Getreide 1,8 - 2,2 m; Raps 2,1 - 4,3 m, Mais und Zuckerrüben 1,5 m

Tabelle 7: Wirkung der linken und rechten Nachbarprüfglieder n_l und n_r



Minderung der Präzision, Restvarianz und Grenzdifferenz werden erhöht.

In der Pflanzenzüchtung führt das bei der Selektion dazu, dass die Varianzkomponente σ_A^2 nicht unverzerrt geschätzt wird, und das hat Auswirkungen die Schätzung der Heritabilität, Intraklasskorrelation und Wiederholbarkeit. Die Folge davon ist, dass der mögliche Zuchtfortschritt nicht voll ausgeschöpft wird.

Leistungsfähige Genotypen sind häufig wenig konkurrenzstark. Dann kommt es zu einer Fehlselektion, wenn genotypische Werte und Konkurrenzkraft negativ korrelieren. Es wird auf Konkurrenzkraft selektiert.

In *Tabelle 8* ist die Verschiebung der Sortenrangfolge unter Konkurrenz bei Zuckerrüben in den Sortenversuchen 1995 und 1996/97 (vgl. *Abbildung 2*) beschrieben. Die Konkurrenzeffekte sind von Jahr zu Jahr unterschiedlich und in diesen Fällen besonders wirksam, da es sich um dreireihige Teilstücke handelt. Ihre Wirkung wird durch verschiedene Teilstückgrößen und -formen variieren (SINGH,

1967). Der Selektionserfolg ist von der genotypischen Varianzkomponente abhängig, die in den Heritabilitätskoeffizienten eingeht und unter Konkurrenz der Nachbarparzellen nicht unverzerrt geschätzt werden kann:

$$R = i \times h^2 \times \sigma_p \equiv \frac{S}{\sigma_p} \times \frac{\sigma_G^2}{\sigma_p^2} \times \sigma_p$$

SPITTERS (1984) hat Korrekturmöglichkeiten auf der Grundlage der genetischen Korrelation zwischen Beständen mit und ohne Konkurrenzeinfluss und des Verhältnisses zwischen den genotypischen Variationskoeffizienten mit und ohne Konkurrenzeinfluss entwickelt.

In den vorliegenden Untersuchungen wird für entsprechende Kalkulationen bei Winterraps ein $r = 0,7 / 0,9$ (Einfach-/ Doppelparzellen) und bei Zuckerrüben $r = 0,6 / 0,85 / 0,95$ (ein- / drei- / sechsreihig) und für das Verhältnis zwischen den Variationskoeffizienten (genotypisch) mit und ohne Konkurrenzeinfluss CV_G (Reinbestand) / CV_G (nachbarbeeinflusst) = $0,6 - 1$ (BÜCHSE 2002) angenommen.

Tabelle 8: Verschiebung der Sortenrangfolge unter Konkurrenz bei Zuckerrüben in Sortenversuchen mit dreireihigen Parzellen (nach Daten von BÜCHSE 1999)

	Sorten	Ränge im Reinbestand	Ränge unter Konkurrenz
1995	konkurrenzschwach	1, 2, 3	4, 6, 7
	konkurrenzstark	4, 5, 6, 7	1, 2, 3, 5
1996/97	konkurrenzschwach	1, 2, 3, 4	1, 2, 3, 7
	konkurrenzstark	5, 6, 7	4, 5, 6

Die Korrelation ist um so höher und das CV-Verhältnis ist um so enger, je besser die Ausschaltung von Konkurrenzeffekten gelingt.

4. Maßnahmen zur Kontrolle der Rand- und Nachbarwirkungen in landwirtschaftlichen Feldversuchen

Im Streben nach Versuchsergebnissen mit hoher Treffgenauigkeit und Präzision sucht der Versuchsansteller nach Möglichkeiten, den störenden Einfluss von Rand- und Nachbareffekten auszuschalten bzw. unter Kontrolle zu halten. Dazu können Maßnahmen dienen, die Rand- und Nachbarschaftswirkungen, vor allem Konkurrenzeffekte

- vermeiden oder möglichst weitgehend einschränken,
- zwischen den Prüfgliedern ausgleichen,
- erfassen und ermöglichen, bei der statistischen Auswertung die Effekte rechnerisch zu eliminieren.

Solche Möglichkeiten können mit geeigneter Versuchstechnik, Versuchsmethodik und Auswertungsmethodik entwickelt werden.

4.1 Versuchstechnische Maßnahmen

Eine vollständige Abschirmung von Rand- und Nachbarwirkungen gelingt durch ausreichend große Anlageteilstücke, aus denen heraus Ernteteilstücke zur Messwerterfassung benutzt werden (*Abbildung 10*).

Stirnränder

In vielen Versuchen glaubt man, auf Schutzränder an den Stirnseiten der Teilstücke verzichten zu können, da der Randeinfluss auf alle Prüfglieder gleichermaßen wirkt. Es gibt aber zahlreiche Hinweise darauf, dass bei Prüfgliedern mit unterschiedlichem Bestandsaufbau unterschiedlich starke Randeinflüsse auftreten. Außerdem ist die Gefahr mechanischer Beschädigungen vom Wege her nicht zu vernachlässigen.

Breitere Teilstücke, vollständige Ernte

Breite Teilstücke haben ein günstigeres Verhältnis von Randlänge zu Fläche.

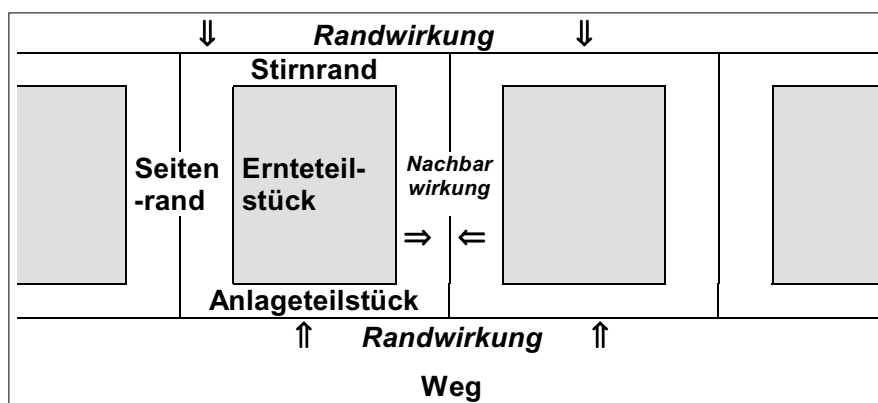


Abbildung 10: Teilstückstruktur zur Abschirmung von Rand- und Nachbarwirkungen

Deshalb fallen Randeffekte nicht mehr so stark ins Gewicht, wenn breite Teilstücke in ihrer ganzen Breite geerntet werden.

Breitere Teilstücke, Kernernte (Ernteteilstück)

Das entspricht der Teilstückanlage in *Abbildung 10*. Bei ausreichend breiten Stirn- und Seitenrändern werden Randwirkungen völlig vermieden.

Vorteil: bessere Treffgenauigkeit (Vermeidung des Bias)

Nachteile: hoher Aufwand (Fläche, Saatgut, Material, Maschinen, Zeit und Arbeit) auf der größeren Fläche kann eine Bodenheterogenität innerhalb der Blocks zu Verminderung der Präzision führen (hohe Restvarianzen und Grenzdifferenzen). Das kann durch unvollständige Blocks weitgehend vermieden werden.

Allerdings werden bei Drillkulturen, damit die Erntefläche exakt eingehalten

werden kann, meistens Drillreihen ausgelassen (Fehl- oder Trennreihen), die wiederum Randwirkungen hervorrufen können. Gelegentlich wird empfohlen, diese freien Flächen ganz oder teilweise der Erntefläche zuzurechnen, um damit den höheren Ertrag der Randreihen zu berücksichtigen. Aber auch hier können Wechselwirkungen mit den Prüfgliedern auftreten. Der Einfluss des Randes kann abhängig von Prüfgliedern, Standort und Jahreswitterung unterschiedlich sein.

Eine **Verminderung der Randpflanzendüngung** kann ebenfalls zur Vermeidung von Rand- und Nachbarwirkungen beitragen.

Anhand einiger Ergebnisse aus Modellversuchen von HAGEDORN (1989) soll die Wirksamkeit der Teilstückplanung illustriert werden.

Die Ergebnisse eines Vergleichs von Teilstückformen unterschiedlich breiten Trennflächen zeigt *Tabelle 10*. Der An-

teil der Erntefläche an der Teilstückfläche nimmt zu von 71 auf 90%.

Die Randlänge nimmt erheblich ab (33 → 17 → 12 → 9 m), die Randwirkung nimmt dementsprechend ab und damit auch die Ertragsdifferenzen zwischen Ernte- und Anlageteilstück. Der Unterschied zwischen ein und zwei Fehlreihen ist dabei nicht sehr groß, bei größeren unbebauten Rändern ist die Bevorzugung der Randreihen sehr deutlich.

Die Ergebnisse eines Düngungsversuchs mit unterschiedlichen Teilstückformen und verschiedenen breiten Trennstreifen (*Tabelle 11*) zeigen ebenfalls, dass der Randeffect stark von der Randlänge des Teilstücks abhängig ist, und breite Trennstreifen und ein längerer Rand besonders die stärker gedüngte Variante fördern.

Der Einfluss von Seiten- und Stirnrändern auf den Ertrag von Kartoffeln und Zuckerrüben ist in *Tabelle 12* dargestellt. Die Differenz zwischen Ernte- und Anlageteilstück ist erheblich. Das ist offensichtlich auf den Einfluss des Stirnrandes zurück zu führen, denn wenn diese eliminiert werden, ist nur noch eine Nachbarwirkung der Sorte 'Libana' (Reifegruppe 4) zu beobachten. Sie nutzt die Nachbarwirkung und auch die zutage tretende Randwirkung an der Stirnseite der Teilstücke besser aus als 'Adretta' (Reifegruppe 2), das kann an der Reifegruppe liegen (oder an der Jahreswitterung).

Analoge Ergebnisse sind im Vergleich der Düngestufen zu Kartoffeln und bei Zuckerrüben zu beobachten.

Tabelle 10: Ertragsdifferenz zwischen Ernte- und Anlageteilstück bei unterschiedlichen Teilstückformen. Ganzpflanzenernte Sommergerste (nach HAGEDORN 1989)

Teilstücklänge m	Teilstückfläche m ²	Reihenanzahl		relative Ertragsdifferenz % unbebauter Rand		
		Ernteteilstück	Anlageteilstück	12 cm	25 cm	100 cm
16,5	10,3/14,4	5	7	12,5	12,3	22,6
8,5	12,7/13,8	11	13	9,4	7,7	18,1
6,0	12,75/14,25	17	19		4,0	6,1
4,5	13,5/14,6	24	26	1,5	1,8	2,9

Tabelle 11: Einfluss der Teilstückform, der Anzahl der Trennreihen und der N-Düngung auf den Kornertrag von Sommergerste (nach HAGEDORN 1989)

Maße m	Teilstückfläche m ²	Randlänge m	eine Fehlreihe Ertrag (dt/ha) in den N-Düngungsstufen (kg/ha)			
			0	70	0	70
1,75 x 9	15,75	21,5	44,6	63,2	55,3	72,4
2,75 x 4,5	12,375	14,5	45,4	58,9	47,5	61,6
4,25 x 3,5	14,875	15,5	40,8	58,4	45,7	61,0

Tabelle 12: Einfluss der Randreihen und Stirnränder auf den Teilstückertrag von Kartoffeln und Zuckerrüben (nach HAGEDORN 1989)

Sorte/Jahr	Ernteteilstück			ohne Stirnränder		ohne Randreihen	
	4 Reihen dt/ha	6 Reihen dt/ha	%	6 Reihen dt/ha	%	4 Reihen dt/ha	%
Adretta 1985	332	357	+8,0	320	-2,8	353	+6,3
Libana 1986	465	509	+9,3	490	+5,5	510	+10
N-Düngung							
0	341	374	9,7	342	0,2	371	8,8
120	373	409	9,6	387	3,8	399	7,0
180	382	421	10,2	394	3,1	411	7,6
Zuckerrüben							
Rüben	408	479	+17,5	446	9,4	474	16,1
Blatt	202	270	+33,7	209	3,5	276	36,5

4.2 Versuchsmethodische Maßnahmen

Spezielle Versuchsanlagen zum Ausgleich der Nachbarwirkungen: nachbarbalancierte Versuchsanlagen

Der Ausgleich von Nachbar- oder Konkurrenzwirkungen von Prüfgliedern auf benachbarten Teilstücken soll dadurch erreicht werden, dass jedes Prüfglied jedes andere einmal als Nachbarn hat. Der Grad der Nachbarbalancierung kann verschieden sein:

vollständig balanciert: jedes Prüfglied hat jedes andere **auf beiden Seiten** einmal als Nachbarn,

teilweise balanciert: jedes Prüfglied hat jedes andere **auf einer Seite** einmal als Nachbarn,

unvollständig balanciert: nicht alle Prüfgliedpaare kommen als Nachbarn vor.

Es gibt auch Versuchsanlagen, in denen jedes Prüfglied auch mit sich selbst einmal benachbart ist. Dabei sind Randteilstücke in die Konstruktion der Versuchsanlage einbegriffen, weil durch sie erst eine Nachbarbalance erreicht werden kann. Die Konstruktion solcher Versuche basiert - ähnlich wie die der α -Anlagen - auf Regeln der numerischen Mathematik. Man kann zur Versuchsplanung vorhandene Pläne, erzeugende Felder oder einfache Entwicklungsalgorithmen und Randomisation durch zirkuläre Permutation nutzen.

AZAIS, BAILEY und MONOD (1993) haben einen Katalog solcher vollständig „nachbarbalancierter Blockanlagen mit Randteilstücken“ veröffentlicht.

Eine solche nachbarbalancierte Blockanlage mit v Prüfgliedern setzt immer voraus, dass

- die Anzahl der Wiederholungen $r = v - 1$ (oder ein Vielfaches davon) und dass
- in unvollständigen Blocks die Anzahl der Prüfglieder je Block $k = v - 1$ ist.

Damit ist gewährleistet, dass jedes Prüfglied jedes andere einmal als rechten und einmal als linken Nachbarn hat. Oft trifft das auch noch auf den übernächsten Nachbarn zu (nachbarbalanciert auf Distanz 2).

Die erforderliche hohe Anzahl von Wiederholungen (etwa gleich Anzahl der Prüfglieder) schränkt den Anwendungsbereich solcher Versuchsanlagen stark ein. In *Tabelle 13* sind die Typen dieser Versuchsanlagen mit ihren Konstruktionsvorschriften zusammengestellt. Die Typen sind nach unvollständigen und vollständigen Blocks und der Anzahl der Prüfglieder differenziert.

In den *Abbildungen 11* und *12* sind eine vollständig und eine teilweise nachbarbalancierte Versuchsanlage dargestellt. In der teilweise nachbarbalancierten Anlage hat jedes Prüfglied jedes andere und sich selbst einmal als Nachbarn. Damit wird ein gewisser Nachteil der Nachbarbalancierung wenigstens teilweise aufgehoben, denn das konkurrenzschwächste Prüfglied ist immer von stärkeren benachbart.

Gruppierung der Prüfglieder nach ihrer Konkurrenzkraft und Anordnung der Gruppen in speziellen Versuchsanlagen

Wenn Informationen über Merkmale der Prüfglieder vorliegen, die die Konkurrenzkraft wesentlich bestimmen, wie z.B. die Wuchshöhe der zu vergleichenden Genotypen, kann man Gruppen von Prüfgliedern bzw. Teilsortimente bilden und

Tabelle 13: Übersicht über die Typen der vollständig nachbarbalancierten Blockanlagen mit Randteilstücken (nach AZAIS, BAILEY und MONOD (1993))

	Unvollständige Blockanlagen	Vollständige Blockanlage
Typ 0	$v =$ Primzahlpotenz $v = 4, 8, 9, 16, \dots$	$v =$ geradzahlig > 6 (für $v = 4$ u. 6 keine Lösung) Versuchspläne tabelliert
Typ 1	$v =$ Primzahl oder ungerade und nicht Primzahl, $v = 3, 5, 7, 11, 15,$ Entwicklung nach $+1 \pmod v$	Prüfgliedanzahl $v = 9, 15$ erzeugende Felder tabelliert Entwicklung nach $+1 \pmod{v-1}$
Typ 2	$v =$ geradzahlig, keine Potenz von 2 $v = 6, 10, 12, 14, \dots$ erzeugende Felder tabelliert Entwicklung nach $+1 \pmod{v-1}$	nicht existent
Typ 3	nicht existent	$v =$ ungeradzahlig $v = 3, 5, 7, 11, 13, 17, \dots$ Entwicklung nach $0, i, 2i, 3i, \dots, (v-1)i \pmod v$ $i =$ Blocknummer

im Versuch so anordnen, dass Konkurrenzeffekte mindestens stark vermindert werden. Eine Möglichkeit besteht darin zu vermeiden, dass extrem verschiedene

Prüfglieder im Versuch benachbart auftreten. BESAG und KEMPTON (1986) haben solche Versuchspläne vorgeschlagen, die sowohl in vollständigen Blocks,

als Gitteranlagen oder in Alpha-Anlagen angelegt werden können.

In der Alpha-Anlage (Abbildung 13) mit drei Gruppen ist gesichert, dass Prüfglieder der Gruppen 1 und 3 niemals benachbart auftreten. An den Rändern sind Teilstücke der gleichen Gruppe anzufügen.

Die Bildung von Gruppen gleicher Konkurrenzkraft und Nachbarschaftswirkung kann konsequent zu einer Anordnung der Prüfglieder auf Kleinteilstücken in Großteilstücken für jede Gruppe in einer Versuchsanlage führen. Dadurch entsteht eine **Spaltanlage mit hierarchischer Klassifikationsstruktur** (Abbildung 14) (BÜCHSE et al., 2001). Es gibt keine Kreuzklassifikation zweier Faktoren, sondern zwei Hierarchie-Ebenen, die Gruppen und innerhalb der Gruppen die Prüfglieder, und die übliche hierarchische Struktur wird um die Blockbildung erweitert. Zwischen den Gruppen-Großteilstücken sollten ausreichend breite Randteilstücke eingeschaltet werden, um die Nachbarschaftseffekte abzuschränken.

Damit ergibt sich als Modell für die Prüfmerkmalswerte:

$$y_{ijk} = m + b_k + g_i + e_{ik} + a_{j(i)} + e_{ijk}$$

- b_k Blockeffekt ($k = 1, \dots, r$)
- g_i Effekt der Gruppe ($i = 1, \dots, g$; $g =$ Anzahl der Gruppen, Großteilstücke)

Block	6	Rand							Rand			Jedes Prüfglied hat jedes andere einmal als rechten und einmal als linken Nachbarn
	5	2	3	4	5	6	0	1	2	3		
	4	5	2	6	3	0	4	1	5	2		
	3	1	4	0	3	6	2	5	1	4		
	2	2	1	0	6	5	4	3	2	1		
	1	5	3	1	6	4	2	0	5	3		
		5	0	2	4	6	1	3	5	0		

Abbildung 11: Anlageplan einer vollständig balancierten Versuchsanlage mit Randteilstücken für $v = 7$

$v = 10$

0	0	1	9	2	8	3	7	4	6	5	5
1	1	2	0	3	9	4	8	5	7	6	6
2	2	3	1	4	0	5	9	6	8	7	7
3	3	4	2	5	1	6	0	7	9	8	8
4	4	5	3	6	2	7	1	8	0	9	9

Abbildung 12: Strukturplan einer teilweise nachbarbalancierter Versuchsanlage $v = 10$

20 Prüfglieder Gruppe 1 (1,2,3,4),
 Gruppe 2 (5,6,7,8,9,10,11,12,13 14 15 16),
 Gruppe 3 (17,18,19,20)

3 Wiederholungen, $k=4$

erzeugendes Feld

0	0	0	0
0	1	2	3
0	4	3	2

6	1	14	11	2	12	17	7	8	3	13	18	19	9	4	14	5	15	20	10
2	1	2	2	1	2	3	2	2	1	2	3	3	2	1	2	2	2	3	2
2	8	20	14	5	18	12	6	1	7	19	13	16	3	15	9	17	11	10	4
1	2	3	2	2	3	2	2	1	2	3	2	2	1	2	2	3	2	2	1
9	5	16	13	20	12	8	4	2	15	6	18	17	10	1	14	19	7	3	11
2	2	2	2	3	2	2	1	1	2	2	3	3	2	1	2	3	2	1	2

Abbildung 13: Alpha-Anlage zur Vermeidung der Nachbarwirkung durch Gruppierung der Prüfglieder nach der Stärke ihrer Nachbarwirkung

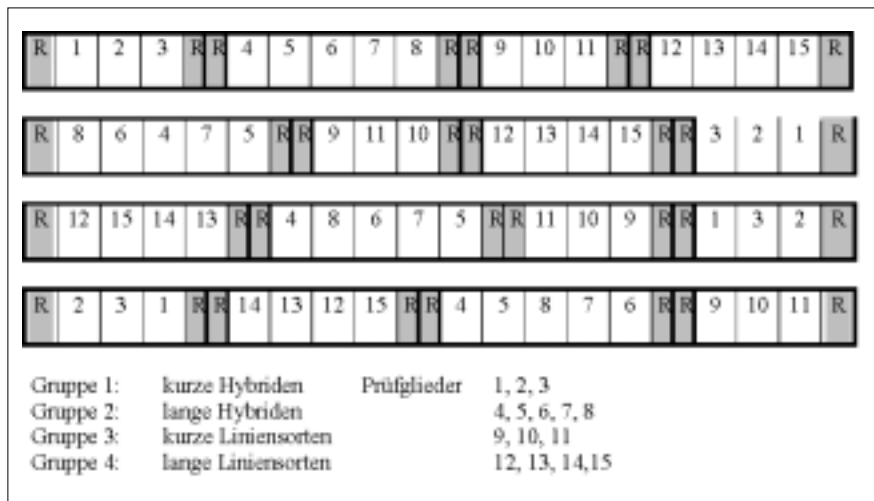


Abbildung 14: Spaltanlage mit hierarchischer Prüfgliedstruktur. Beispiel Winterraps-Teilsortimente

Tabelle 14: Varianztabelle einer Spaltanlage mit hierarchischer Prüfgliedstruktur, Prüfgliedgruppen: (1-3); (4-8); (9-11); (12-15); r = 4; B = 15

Variationsursache	Freiheitsgrade	
Total	$r \times a \times b - 1$ oder $r \times B - 1$ *)	56
Gesamt A	$r \times a - 1$	12
Blocks	$r - 1$	3
Gruppen (Hauptwirkung A)	$a - 1$	3
Rest A	$(r - 1) \times (a - 1)$	6
Gesamt B	$r \times a \times (b - 1)$; $r \times (B - a)$	44
Sorten (Hauptwirkung B)	$a \times (b - 1)$ bzw. $B - a$	11
Rest B	$(r - 1) \times a \times (b - 1)$; $(r - 1) \times (B - a)$	33

*) Die unteren Freiheitsgrade gelten für ungleiche Gruppengröße, B = Anzahl der Prüfglieder

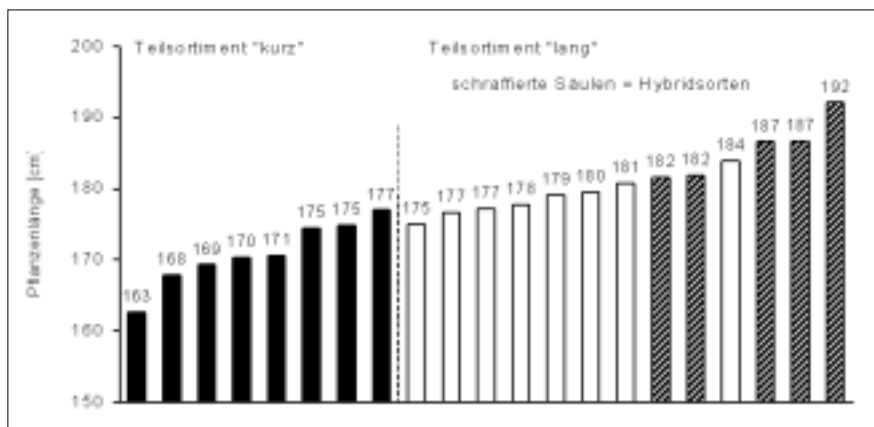


Abbildung 15: Pflanzenlängen und Teilsortimente Bundessortenversuch Winterraps 1999

- e_{ik} Resteffekt der Großteilstücke
- $a_{j(i)}$ Effekt des Prüfgliedes j der i-ten Gruppe (j = 1, ..., v)
- e_{ijk} Resteffekt der Kleinteilstücke

Die Varianzanalyse gleicht der der Spaltanlage; es gibt aber keine Wechselwirkung (Tabelle 14).

Die Mittelwerte der Prüfglieder können innerhalb der Gruppen und über die

Gruppen hinweg verglichen werden. Die Varianz der Differenzen zweier Prüfglieder aus verschiedenen Gruppen einer Spaltanlage ist eine Linearkombination der beiden Restvarianzen, wodurch ein solcher Vergleich mit einer größeren Grenzdifferenz erfolgt. Für die Signifikanzschranke zu einem solchen Test muss eine geeignete Näherung gefunden werden, was wegen der ungleichen Gruppen-

größen besondere Aufmerksamkeit erfordert. Die übliche Approximation nach SATTERTHWAITTE genügt im Fall gleicher Gruppengrößen. Im „schwach-nicht-orthogonalen“ Fall bei ungleichen Gruppengrößen ist eine verbesserte Näherung nach KENWARD/ROGER heranzuziehen. Beachtet werden sollte auch der Umstand, dass negative Varianzkomponentenschätzungen auftreten können (BÜCHSE et al., 2001).

(Eine Modellrechnung wurde mit SAS MIXED, NOBOUND, Approximation nach KENWARD/ROGER durchgeführt).

Ein Vergleich der Gruppenmittel, der Aufschluss über die Beziehung der Konkurrenzskraft zum Prüfmerkmal (z.B. Ertrag) geben kann, ist ebenfalls möglich.

Für die Bildung von Teilsortimenten muss die Konkurrenzskraft der Prüfglieder weitgehend bekannt sein. Da die Ursachen nicht leicht zu identifizieren sind, ist das oft schwierig. Es wurde bereits darauf hingewiesen, dass die Wuchshöhe nicht der alleinige Verursacher von Konkurrenzwirkungen sein kann.

Die Abbildung 15 zeigt, dass selbst die Wuchshöhen schwer zu gruppieren sind. Als weiteres Gruppierungsmerkmal kann auch die genetische Konstitution der Prüfglieder herangezogen werden, wie das im Beispiel der Abbildung 15 erfolgt ist (BÜCHSE, 2002). Hier wird neben der Wuchshöhe auch in Hybriden und Liniensorten unterschieden und in internen Selektionsprüfungen wird ein Züchter in frühen Stufen bereits Kenntnisse über konkurrenzbestimmende Merkmale erlangt haben, dass eine entsprechende Gruppierung vorgenommen werden kann.

4.3 Auswertungsmethodik

Ein allgemeines Ziel der Versuchsauswertung ist eine von Störgrößen weitgehend bereinigte treffgenaue und präzise Schätzung von Effekten und Varianzkomponenten. Da Nachbarschafts- oder Konkurrenzeffekte als Störgrößen solche unverzerrten Schätzungen beeinträchtigen, kann mit einer Auswertung auf der Basis von Modellen, die diese Störgröße einbeziehen, deren Wirkung teilweise, weitgehend oder gänzlich eliminiert werden. Auf einige Modelle zur Ermittlung solcher Störgrößen wurde bereits hingewie-

sen. Sie können prinzipiell auch der Bereinerung der Prüfgliedeffekte dienen. Einige Möglichkeiten seien hier aufgeführt (PHILIPPEAU, G., DAVID, O., MONOD, H. 1996, DAVID, O., MONOD, H., AMOUSSOU, J. 2000, GOLDRINGER, I., BRABANT, P., KEMPTON, R.A. 1994, KUNERT, J. 2000).

Auswertung als Blockversuch

Je besser es durch geeignete Versuchstechnik oder Versuchsmethodik gelingt, Konkurrenzeffekte zu vermeiden oder auszugleichen, desto mehr ist eine Auswertung nach dem ganz elementaren Modell der Varianzanalyse eines Blockversuches berechtigt:

$$y_{ik} = \mu + \underline{b}l_k + a_i + e_{ik}$$

Einbeziehung konkurrenzcharakterisierender Kovariabler

Eine Bereinerung der Prüfgliedeffekte kann durch die Einbeziehung von Kovariablen, die die Konkurrenz verursachen (z.B. Pflanzenhöhe), in eine **Kovarianzanalyse mit der mittleren Differenz zur Pflanzenhöhe der benachbarten Prüfglieder** erfolgen nach dem Modell

$$y_{ik} = \mu + \underline{b}l_k + a_i + b' dh_{ik} + e_{ik}$$

$dh_{ik} = h_{nl} + h_{nr} - 2 h_{ik}$; b = Regressionskoeffizient

Allerdings ist die Konkurrenzwirkung oft so komplexer Natur, dass sie durch eine Kovariable nicht immer hinreichend erfasst werden kann.

Einbeziehung der Effekte benachbarter Prüfglieder

Einbeziehung der Effekte der linken und rechten Nachbarprüfglieder n_l und n_r

$$y_{ik} = \mu + \underline{b}l_k + a_i + n_l + n_r + e_{ik}$$

Einbeziehung eines lokalen Trends in der Nachbarschaft

$$y_{ik} = \mu + \underline{b}l_k + a_i + \lambda x (n_l + n_r) + e_{ik}$$

5. Schlussbetrachtung

In landwirtschaftlichen Feldversuchen werden Teilstück-Bestände genetisch, morphologisch und physiologisch stark variierender Pflanzen oder Bestände unter variierenden Wachstumsbedingungen nebeneinander angebaut, um miteinander verglichen zu werden. Die Wirkung der Prüfglieder geht häufig über die eigenen

Teilstückgrenzen hinaus und in benachbarte Teilstückflächen hinein. Diese Nachbarwirkungen verursachen eine Konkurrenz zwischen benachbarten Pflanzenbeständen um Wurzelraum zur Ausbreitung des Wurzelsystems, um Nährstoffe, Wasser, um Luftraum zur oberirdischen Entwicklung, um Licht, Wärme, Luft (CO_2). Die Konkurrenzkraft eines Pflanzenbestandes beruht auf morphologischen und physiologischen Unterschieden der Prüfglieder, auf unterschiedlichen Behandlungen (Prüffaktorstufen). Randwirkungen im engeren Sinne treten an freien Bestandsgrenzen oder unbewachsenen Trennstreifen zwischen den Teilstücken auf.

Dadurch werden die Prüfgliedeffekte verfälscht und verzerrte Schätzungen können zu falschen Schlussfolgerungen führen.

Das wirksamste Mittel zur Wahrung der Aussagekraft von Versuchen ist die Anlage genügend großer und breiter Teilstücke als Anlageteilstücke, in denen das Ernteteilstück durch Seiten- und Stirnränder gegen Rand- und Nachbarwirkungen geschützt ist. Der dadurch entstehende zusätzliche Aufwand kann dadurch minimiert werden, dass ausreichend große Ernteteilstücke eine Präzision gewährleisten, die rechtfertigt, eine Wiederholung einzusparen. Durch Trennstreifen zum Abgrenzen der Ernteteilstücke bei Drillkulturen können Randwirkungen entstehen. Man kann Trennstreifen auch nachträglich aus dem etablierten Bestand heraus schneiden. Das ist aber erstens ein technisches Problem, zweitens weiß man zu wenig darüber, wann Konkurrenzeffekte wirksam werden. Bei Zuckerrüben ist das zu einem ziemlich späten Entwicklungszeitpunkt beobachtet worden. Auf der Basis hochentwickelter Sensortechniken sind technische Lösungen zum Herausschneiden der Trennreihen oder sogar für eine exakte Einhaltung der Ernteparzelle ohne Trennstreifen denkbar.

Spezielle Versuchsanlagen zum wirksamen Ausgleich von Konkurrenzeffekten sind nur für kleine Prüfgliedanzahlen zu empfehlen. Für umfangreiche Sortimente sollte man sich um eine Gruppierung der Prüfglieder bemühen. Zur richtigen und umfassenden Charakterisierung der Konkurrenzkraft von Prüfgliedern sind noch umfangreiche Untersuchungen not-

wendig. Teilsortimente sollten in Spaltanlagen mit hierarchischer Prüfgliedstruktur geprüft werden. Die Auswertungsmethodik dafür ist entwickelt und erprobt. In der statistischen Versuchsauswertung können Zusatzinformationen über Teilstücknachbarn (Wuchshöhendifferenzen, Effekte der Nachbarprüfglieder, lokale Trends) für die Adjustierung der Prüfgliedeffekte zu einer Verbesserung der Treffgenauigkeit beitragen.

Literatur:

- AZAIS, J., R.A. BAILEY and H. MONOD, 1993: A catalogue of efficient neighbour-designs with border plots. *Biometrics*, 49, 1252-1262
- BAILEY, R., 1991: Neighbour-balanced designs for interfering treatments. Vortrag, 37. Biometrisches Kolloquium, Hamburg
- BESAG, J. and R. KEMPTON, 1986: Statistical analysis of field experiments using neighbouring plots. *Biometrics* 42, 231-251
- BÜCHSE, A., 1999: Bedeutung und Ursachen von Nachbarschaftseffekten in Sortenversuchen bei Zuckerrüben. Diss., Cuvillier Verlag Göttingen
- BÜCHSE, A., E. THOMAS and V. GUIARD, 2001: Bildung von Teilsortimenten zur Vermeidung von Nachbarschaftseffekten in Sortenversuchen. Tagungsbericht der Sommertagung der Arbeitsgruppen Landwirtschaftliches Versuchswesen Gülzow, 21. Juni 2001, herausgegeben von der Arbeitsgruppe Biometrie und Agrarinformatik der Martin Luther-Universität Halle/S.
- BÜCHSE, A., 2002: Optimierung der Versuchstechnik bei Winterraps. UFOP-Schriften Heft 18
- DAVID, O. and R.A. KEMPTON, 1996: Designs for interference, *Biometrics* 52, 224-233
- DAVID, O., H. MONOD and J. AMOUSSOU, 2000: Optimal complete block designs to adjust for interplot competition with a covariance analysis. *Biometrics* 56, 389-393
- GOLDRINGER, I., P. BRABANT and R.A. KEMPTON, 1994: Adjustment for competition between genotypes in single-row plot trials of winter wheat (*Triticum aestivum*). *Plant Breeding* 112, 294-300
- HAGEDORN, A., 1989: Untersuchungen über den Einfluss von unbebauten Randstreifen sowie der Nachbarwirkung auf die Versuchsgenauigkeit in Feldversuchen mit Getreide, Kartoffeln und Zuckerrüben. Forschungsbericht, Martin-Luther-Universität Halle/S.
- KEMPTON, R.A., A. ROB, O. DAVID, OLIVIER, 1996: Designs for Interference in Crop Experiments. Invited Papers. The XVIIIth International Conference (IBC 96), 89-96, Amsterdam
- KEMPTON, R.A., R.S. GREGORY, W.G. HUGHES and P.J. STOEHR, 1986: The effect of interplot competition on yield assessment in Triticale trials. *Euphytica*, Wageningen 35, 257-265
- KUNERT, J., 2000: Randomization of neighbour balanced designs. *Biom.J.* 42 (2000) 1, 111-118

- KUTTRUFF, E. und C. BERENDONCK, 1985: Einfluss der Trennungsbreite zwischen den Ernteparzellen bei Gräserversuchen auf den Ertrag. *Wirtschaftseigenes Futter*, Frankfurt/M. 31, 139-149
- MERSNIKOV, N., St. ZAPRJANOV, D. DIMOVA, 1987: Über die Notwendigkeit innerer Trennstreifen in vergleichenden Gerstensorten-Feldversuchen. (bulg.), *Rast. Nauk, Sofija* 24, 5, 31-35
- LIN, C.S., G. POUHINSKY and H.D. VOLDENG, 1985: Design and model for investigating competition effects from neighbouring test plots. *Can. J. Plant Sci.* 65, 1073-1077
- PHILIPPEAU, G., O. DAVID and H. MONOD, 1996: Interplot competition in cereal variety trials. *Invited Papers. The XVIIIth International Conference (IBC 96)*, 107-116, Amsterdam
- ROD, J. und J. VONDRACEK, 1967: Studium der Randwirkung an einigen Ertragscharakteristiken. *Tag.-Ber. 86 der Akad. D. Landw.-Wissensch. der DDR*, 57-62
- SEIBERT, L., 1989: Untersuchungen zur Beeinflussung des Ertrages durch Nachbarparzellen unterschiedlicher Wuchshöhe, im Hinblick auf die Effizienz der Ertragsselektion während des Züchtungsverlaufes bei Winterweizen. *Diss. Wien*
- SINGH, K.-D., 1967: Vollständige Varianzen und Kovarianzen in Pflanzenbeständen III. Monte-Carlo-Versuche über den Einfluss der Konkurrenz zwischen Genotypen auf die Voraussage des Ausleseerfolges. *Z. Pflanzenzüchtg.*, 57, 3, 190-253
- SPITTERS, C.J.T., 1984: Effect of inter genotypic competition on selection. *Proceedings of the 10th Congress of the European Association of the Research on Plant Breeding, EU-CARPIA*. Herausgeber: Lange, W., Zeven, A.C. und Hogenboom, N.G.
- TALBOT, M., A.D. MILNER, M.A.E. NUTKINS and J.R. LAW, 1995: Effect of interference between plots on yield performance in crop variety trials. *Journal of Agr. Sc. Cambridge* 124, 335-342

