

## 1 EINLEITUNG

In Hinsicht auf den Pflanzenbau ist jedem Standort von Natur aus eine bestimmte Produktivität gegeben. Sie basiert auf den Bodeneigenschaften und der Witterung. Entscheidend ist, in welchem Ausmaß ein Standort alle von einem Pflanzenbestand benötigten Wachstumsfaktoren zur Verfügung stellen kann. Die Menge einiger Wachstumsfaktoren läßt sich durch pflanzenbauliche Maßnahmen, z.B. Düngung und Beregnung, direkt beeinflussen. Bei anderen Wachstumsfaktoren ist dies unter Freilandbedingungen in aller Regel nicht der Fall. Hierzu zählen z.B. die Einstrahlung, die Temperatur und der CO<sub>2</sub>-Gehalt der Luft. Bei solchen Wachstumsfaktoren kann nur versucht werden die Ausnutzung durch den Pflanzenbestand zu erhöhen, indem Anbauverfahren und Pflanzenart an die Verhältnisse des Standortes angepaßt werden. Da die Pflanzenart, bzw. die Fruchtfolge, meist aus ökonomischen Gründen vorgegeben ist, verbleibt dem Pflanzenbauer nur die Optimierung des Anbauverfahrens. Um hohe Erträge zu realisieren, müssen vor allem die an einem Standort nicht veränderbaren Wachstumsfaktoren möglichst weitgehend für die Ertragsbildung der Pflanzen genutzt werden.

Bereits seit einiger Zeit ist bekannt, daß der Ertrag von Zuckerrüben in der gemäßigten Klimazone oft durch eine geringe Ausnutzung der Einstrahlung begrenzt wird (WATSON 1947). Seitdem wurden jedoch nur wenige Untersuchungen durchgeführt, die die Lichtausnutzung von Zuckerrübenbeständen detailliert behandeln - im deutschsprachigen Raum ist dem Autor der vorliegenden Arbeit keine bekannt. Eine der ersten Arbeiten, in denen der Ertrag von Zuckerrüben direkt in Abhängigkeit der aufgenommenen Einstrahlung dargestellt wird, stammt von SCOTT et al. (1973). Aus dieser Beziehung läßt sich ein zentraler Parameter zur Beschreibung der Lichtausnutzung ableiten, die "Radiation Use Efficiency".

Bei Untersuchungen des Wachstumsfaktors Licht ist die Kenntnis der Wechselwirkungen, die zwischen Blattfläche und Einstrahlung auftreten, essentiell. Reflexion, Absorption und Transmission sind in diesem Zusammenhang die zentralen Prozesse. Bei Pflanzenbeständen ist besonders die vertikale Verteilung des Lichtes von Interesse. Obwohl die vertikale Verteilung der Blattfläche eines

Pflanzenbestandes relativ inhomogen sein kann, stellten MONSI und SAEKI (1953) als erste fest, daß sich der vertikale Verlauf der Lichtintensität modellhaft mit dem Lambert-Beer'schen Gesetz beschreiben läßt. Die einzige Konstante in diesem Gesetz, der Extinktionskoeffizient, ist dabei allerdings abhängig von der räumlichen Anordnung der Blätter. Jede Pflanzenart besitzt daher einen spezifischen Extinktionskoeffizienten. Bei Zuckerrüben wurde dieser zuerst von SZEICZ (1974b) ermittelt. In späteren Arbeiten wurde dieses Thema theoretisch und experimentell intensiv behandelt und weitere, verfeinerte Modellgleichungen entwickelt - ein Überblick findet sich bei ROSS (1981).

Das Wachstum von Pflanzen wird, sofern sie einen Bestand bilden, nicht nur durch Boden und Witterung, sondern auch durch Nachbarschaftseffekte beeinflusst. Meist besteht die gegenseitige Beeinflussung aus einem Wettbewerb um knappe Wachstumsfaktoren, der sich negativ auf die Substanzbildung des einzelnen Individuums auswirkt. Findet dieser Wettbewerb ausschließlich zwischen Pflanzen einer Art statt, dann spricht man von intraspezifischer Konkurrenz.

Aufgrund der besonderen Eigenschaften von Licht unterscheidet sich die Konkurrenz um diesen Wachstumsfaktor erheblich von der anderer Wachstumsfaktoren. Licht kann im Gegensatz zu Wasser und Nährstoffen weder vom Boden noch von Pflanzen gespeichert werden. Wenn Licht nicht im Moment des Auftreffens von den Pflanzen zur Assimilation genutzt wird, dann ist es endgültig verloren. Da Licht auch nicht innerhalb einer Pflanze transportiert werden kann und sich die Blätter einer Pflanze in der Regel gegenseitig beschatten, findet Lichtkonkurrenz nicht nur zwischen Blättern verschiedener Individuen, sondern auch zwischen Blättern desselben Individuums statt. Wenn ein Blatt sehr intensiv von der darüber liegenden Blattfläche beschattet wird, so daß sich die Lichtintensität unterhalb des Kompensationspunktes befindet, dann stirbt es ab (DONALD 1961). Demzufolge hängt die Intensität der Lichtkonkurrenz nicht primär von der Bestandesdichte, sondern vom Blattflächenindex eines Bestandes ab. Nach DONALD (1961) ist Lichtkonkurrenz in landwirtschaftlichen Beständen immer von Bedeutung, sogar dann, wenn das Angebot an Wasser und Nährstoffen ertragsbegrenzend wirkt.

Hauptziel dieser Arbeit war es, die Ausnutzung des Wachstumsfaktors Licht bei Zuckerrüben zu quantifizieren, um damit die Grundlage für eine weitere Optimierung der Anbauverfahren zu schaffen. Zu diesem Zweck sollten folgende Versuchsfragen beantwortet werden:

- 1) Wie wirken sich die Faktoren Bestandesdichte, N-Düngung, Sorte, Beregnung und Standort auf den Blattflächenindex und den Ertrag von Zuckerrübenbeständen aus?
- 2) Läßt sich der Zusammenhang zwischen Blattflächenindex und Lichtabsorption mit einfachen Modellen ausreichend genau beschreiben, und wenn ja, wie hoch ist der Extinktionskoeffizient?
- 3) Wie hoch ist die Lichtausnutzung?

Weiterhin sollte untersucht werden, in welchem Ausmaß intraspezifische Konkurrenz in Zuckerrübenbeständen auftritt und ob sich diese nachteilig auf die Ertragsbildung auswirkt. Hierbei lag der Schwerpunkt wiederum beim Wachstumsfaktor Licht. Von besonderem Interesse war, ob ein für die Ertragsbildung optimaler Blattflächenindex existiert.

## 2 MATERIAL UND METHODEN

### 2.1 Versuchsanlagen

In den Feldversuchen wurden die Faktoren Bestandesdichte, N-Düngung, Sorte und Beregnung variiert. Es wurden maximal zwei Faktoren in einer Versuchsanlage kombiniert, wobei einer der Faktoren immer die Bestandesdichte war (Tab. 1). Die zweifaktoriellen Versuche (Typ I und II) waren balanciert, d.h. alle Stufen der beiden Faktoren wurden miteinander kombiniert.

**Tab. 1:** Kombinationen von Versuchsfaktoren, Jahren und Standorten

| Typ | Faktoren                | Jahre             | Standorte   | Anzahl |
|-----|-------------------------|-------------------|---|--------|
| I   | 1) Bestandesdichte<br>x | 1991              | Göttingen, Kalrath, Monsheim,<br>Sudenburg: a) mit Beregnung<br>b) ohne Beregnung | 10     |
|     | 2) N-Düngung            | 1992              |   |        |
| II  | 1) Bestandesdichte<br>x | 1991              | Göttingen   | 2      |
|     | 2) Sorte                | 1992              |   |        |
| III | 1) Bestandesdichte      | 1992<br>+<br>1993 | Göttingen   | 2      |

Die Kombination Bestandesdichte x N-Düngung (Typ I) wurde als Spaltanlage mit der N-Düngung als Großteilstück in vier Wiederholungen angelegt. Diese Versuchsanlage wurde 1991 und 1992 an vier Standorten durchgeführt. In Sudenburg befanden sich zwei Spaltanlagen, von denen eine ortsüblich beregnet wurde und die andere, so weit wie möglich (s. Kap. 2.3), keine Beregnung erhielt. Bei der Kombination Bestandesdichte x Sorte wurden beide Faktoren uneingeschränkt randomisiert. Diese Kombination wurde nur in Göttingen in Form einer Blockanlage mit vier Wiederholungen zweijährig geprüft (Typ II). Im Versuchstyp III wurde nur die Bestandesdichte variiert. 1992 wurde dieser Versuch ohne Wiederholungen und 1993 mit 5 Wiederholungen als Blockanlage angelegt.

In allen Versuchsanlagen hatte die einzelne Parzelle in der Regel eine Breite von 6 Reihen mit einem Abstand von 45 cm und eine Länge von 8 m. In Suderburg betrug 1991 der Reihenabstand 50 cm und die Parzellenlänge 7 m. In Göttingen waren die Parzellen bei Versuchstyp I und III 12 Reihen (1992 Typ III: 24 Reihen) breit.

## 2.2 Versuchsfaktoren

### 2.2.1 Bestandesdichte

1991 erfolgte die Aussaat aller Versuche mit einer speziellen Drillmaschine "System Øjord" (Hege 80) in Form einer Bandsaat. 1992 und 1993 wurde mit Einzelkorn-Drillmaschinen und einer Ablageentfernung von ca. 6 cm gearbeitet.

In den zweifaktoriellen Versuchsanlagen (Typ I und II) wurden alle Parzellen im 2-Blatt-Stadium der Zuckerrüben gleichmäßig auf einen Pflanzenabstand von ca. 18 cm vereinzelt. Mit dem verwendeten Reihenabstand von 45 cm ergab sich eine Ausgangsbestandesdichte von 125.000 Pflanzen je ha bzw. 45 Pflanzen je Reihe (8 m). Um 1991 in Suderburg bei einem Reihenabstand von 50 cm die gleiche Ausgangsbestandesdichte zu erzielen, wurde auf einen Pflanzenabstand von 16 cm vereinzelt. Im 4 bis 6-Blatt-Stadium wurden mit Hilfe der im folgenden beschriebenen Methode 5 Bestandesdichtestufen erstellt.

Zur Abstufung der Bestandesdichte wurde die Ausgangsbestandesdichte durch "künstliche" Bestandeslücken reduziert. Deren Häufigkeit und Größe wurde nach NEEB (1963) mit Gleichung 1 berechnet, wozu bei jeder Bestandesdichtestufe der entsprechende Feldaufgang (= Bestandesdichtestufe / Ausgangsbestandesdichte) simuliert wurde (Tab. 2). Durch diese Vorgehensweise wurde die Pflanzenverteilung mit abnehmender Bestandesdichte, bzw. abnehmendem Feldaufgang, zwangsläufig ungleichmäßiger, da im Mittel die Größe der Bestandeslücken zunahm.

$$L_x = p \cdot (1-p)^{(x-1)} \quad \text{mit: } x = \text{Vielfache des Pflanzenabstands (1, 2, \dots, n)} \quad (1)$$

$p$  = Feldaufgang als Teil von 1  
 $L_x$  = relative Häufigkeit des x-fachen Pflanzenabstands