

Blattflächenindex und Lichtaufnahme in verschiedenen Apfel-Anbauformen

Die optimale Nutzung des Sonnenlichts ist von entscheidender Bedeutung für die Ertrags- und Qualitätsbildung im Obstbau. Eine hohe Lichtaufnahme durch die Baumkronen (Blattfläche) ist eine Voraussetzung für hohe Erträge, während eine gute Lichtverteilung innerhalb der Krone und die Vermeidung von Schattenzonen die Fruchtqualität und die Blütenknospenbildung verbessern. Mit anbautechnischen Massnahmen können Lichtaufnahme und -verteilung in einer Obstanlage beeinflusst werden. Voraussetzungen sind geeignete Methoden zur Messung des Blattflächenindex und der Lichtaufnahme sowie Grundlagen über die Zusammenhänge unter unseren klimatischen Bedingungen.

RICHARD BASTIAS,
CENTRO DE POMACEAS, UNIVERSIDAD DE TALCA. CASILLA 747-
TALCA, CHILE (ZUR ZEIT EIDG. FORSCHUNGSANSTALT WÄDENSWIL)
ALBERT WIDMER,
EIGENÖSSISCHE FORSCHUNGSANSTALT WÄDENSWIL

Mehrere Studien in Apfelanlagen haben eine gute Korrelation zwischen Blattflächenindex (Blattfläche pro Einheit Grundfläche), Lichtaufnahme und Produktivität gezeigt. Untersuchungen dieser Zusammenhänge liefern Grundlagen zur Optimierung der Anbauformen bezüglich Baumformen, Kronengrösse, Pflanzdichte, Pflanzsystem und Schnitt. Mit diesen Kenntnissen kann der Einfluss verschiedener Anbauformen auf den Ertrag und die Qualität besser beurteilt werden. Zur Abklärung der Zusammenhänge zwischen Lichtaufnahme und Blattflächenindex sind geeignete Methoden zur Bestimmung dieser Parameter in modernen Apfelanlagen notwendig.

Die Blattfläche pro Baum und pro ha und die räumliche Verteilung innerhalb der Baumkrone bestimmen den Anteil des durch das Blattwerk aufgenommenen Sonnenlichts. Eine möglichst hohe Lichtaufnahme ist entscheidend für das Ertragspotenzial, andererseits kann eine ungenügende Lichtverteilung in der Baumkrone die Fruchtqualität und die Blütenknospenbildung beeinträchtigen. Die Messung der Lichtaufnahme erfolgt mit punkt- oder stabförmigen Lichtsensoren. Der Blattflächenindex kann mit direkten und indirekten Methoden bestimmt werden. Die direkte Methode ist sehr arbeitsaufwändig und destruktiv, weil beim Auszählen ein Teil der Blätter für die Messung der durchschnittlichen Blattfläche entfernt wird. Bei der indirekten Methode werden verschiedene Geräte wie Mehrfach-Lichtsensoren, Demon Devices und LAI-2000 Plant Canopy Analyzer verwendet, welche auf den Zusammenhängen zwischen Blattflächenindex und Lichtdurchlässigkeit der Baumkrone basieren. Diese ermöglichen eine rasche

Messung des Blattflächenindex, müssen aber für die Anwendung in Obstanlagen geprüft werden. Basierend auf diesen Daten können verschiedene mathematische Modelle und empirische Methoden zur Berechnung der Lichtaufnahme unterschiedlicher Anbausysteme entwickelt werden. Der Blattflächenindex ist aber auch für weitere Fragen, beispielsweise im Pflanzenschutz (Optimierung der Applikationstechnik), von Interesse.

Zwei Methoden zur Bestimmung des Blattflächenindex wurden bewertet und verglichen, einerseits die direkte Methode mit Blattproben und andererseits die indirekte Methode mit dem LAI-2000 Plant Canopy Analyzer. In zwei Versuchsanlagen mit verschiedenen Anbauformen, Sorten, Pflanzdichten und Reihenrichtungen wurde der Zusammenhang zwischen Blattflächenindex und Lichtaufnahme untersucht. Die Resultate eines Jahres sind noch wenig aussagekräftig. In dieser Publikation stehen methodische Fragen zur Messung dieser Parameter im Vordergrund.

Messmethodik

Während der Saison 2001 wurden in zwei Versuchsanlagen in den Versuchsbetrieben Wädenswil und Güttingen der Blattflächenindex und die Lichtaufnahme gemessen. Die Pflanzungen waren im dritten beziehungsweise achten Standjahr. Die Anbausysteme sind in der Tabelle ersichtlich.

Direkte Methode zur Bestimmung des Blattflächenindex

Die Blattfläche pro Baum wurde bestimmt durch Auszählung sämtlicher Blätter bei je vier Bäumen pro Verfahren. Jedes 25. Blatt bei den älteren Bäumen und jedes 10. Blatt bei den jüngeren Bäumen wurde entnommen und die Blattfläche mit dem LI-COR LI-3100

Standort Anbauform und Reihenrichtung	Sorte	Pflanzdistanz (m)	Bäume/ha (inkl. 7% Ver- lustflächen)	Bezeichnung in den Grafiken
Wädenswil				
Einzelreihe, N-S	Jonagold	3,5 x 0,6	4450	J.ER (3,5 x 0,6)
V-System, N-S	Jonagold	3,5 x 0,6	4450	J.V (3,5 x 0,6)
Einzelreihe, N-S	Jonagold	3,5 x 0,9	2970	J.ER (3,5 x 0,9)
Einzelreihe, N-S	Jonagold	3,5 x 1,2	2230	J.ER (3,5 x 1,2)
Einzelreihe, N-S	Maigold	3,5 x 0,6	4450	M.ER (3,5 x 0,6)
V-System, N-S	Maigold	3,5 x 0,6	4450	M.V (3,5 x 0,6)
Einzelreihe, N-S	Maigold	3,5 x 0,9	2970	M.ER (3,5 x 0,9)
Einzelreihe, N-S	Maigold	3,5 x 1,2	2230	M.ER (3,5 x 1,2)
Güttingen				
Einzelreihe, N-S	Jonagold	3,35 x 0,7	3980	J.ER (3,35 x 0,7) N-S
V-System, N-S	Jonagold	3,35 x 0,7	3980	J.V (3,35 x 0,7) N-S
Einzelreihe, N-S+28°	Jonagold	3,50 x 0,7	3810	J.ER (3,5 x 0,7) N-S+28°
V-System, N-S+28°	Jonagold	3,50 x 0,7	3810	J.V (3,5 x 0,7)N-S+28°
Einzelreihe, N-S+64°	Jonagold	4,15 x 0,7	3220	J.ER (4,15 x 0,7)NS+64°
V-System, N-S+64°	Jonagold	4,15 x 0,7	3220	J.V (4,15 x 0,7)NS+64°
Einzelreihe, N-S+101°	Jonagold	3,5 x 0,7	3810	J.ER (3,5 x 0,7)NS+101°
V-System, N-S+101°	Jonagold	3,5 x 0,7	3810	J.V (3,5 x 0,7)NS+101°

Beschreibung der Anbauformen in den Versuchen Wädenswil (Pflanzung Herbst 1998) und Güttingen (Pflanzung Herbst 1993); Unterlage: M 27.

Messung der Lichtaufnahme

Die Messungen erfolgten an sonnigen, wolkenlosen Tagen zwei Stunden vor, während und zwei Stunden nach Sonnenhöchststand. Das einfallende Licht wurde oberhalb der Baumkrone mit einem punktförmigen Lichtsensor (LI-190-SA) und gleichzeitig das die Kronen durch-

dringende Licht unterhalb der Krone mit einem stabförmigen Sensor (LI-191 Line Quantum Sensor) bestimmt. Beide Sensoren messen die fotosynthetisch aktive Strahlung. Die Lichtmessungen unterhalb der Krone wurden in 25 cm-Intervallen quer zur Reihenrichtung von Mitte zu Mitte der Fahrgasse durchgeführt.

Indirekte Methode mit dem LAI-2000 Plant Canopy Analyzer

Mit dem LAI-2000 Plant Canopy Analyzer (LAI-2000, LiCor Inc, Lincoln, Nebraska, USA, Abb. 1) sind noch wenig Erfahrungen im Obstbau vorhanden. Dieses Instrument erfasst die die Baumkrone durchdringende Strahlung mit einer Fischaugen-Linse, in der fünf konzentrische Sensoren den Lichteinfall in fünf Winkeln messen. Das Gerät berechnet und speichert den Blattflächenindex in einem Datenlogger.

Die besten Bedingungen für die Messungen mit dem LAI-2000 herrschen bei gleichmässig bedecktem Himmel oder bei Sonnenuntergang und -aufgang. Bei klarem Himmel wird der Blattflächenindex unterschätzt. Da die Messungen bei unterschiedlicher Bewölkung erfolgten, wurde die Fischaugen-Linse zur Reduktion des direkten Sonnenlichts mit einer 90°-Kappe abgedeckt. Zuerst wurde bei vier Bäumen pro Verfahren die Strahlung oberhalb der Baumkrone und anschliessend auf dem Boden unter den Bäumen in jeweils vier Richtungen gemessen (Abb. 2).

Die Lichtaufnahme pro Baum, berechnet aus der Differenz der Messungen oberhalb und unterhalb der Krone, wird in % des total einfallenden Lichtes (100%) im Durchschnitt des ganzen Tages angegeben.

Ergebnisse

Versuch Wädenswil

Die Belichtungsmessungen zeigten, dass Sorte, Pflanzdichte und Anbauform die durch die Baumkrone aufgenommene Lichtmenge beeinflussten (Abb. 3). Bei

Abb. 2: Indirekte Methode zur Messung des Blattflächenindex mit dem LAI-2000 Plant Canopy Analyzer. Die Strahlung wird oberhalb und unterhalb der Baumkronen in je vier Richtungen gemessen.

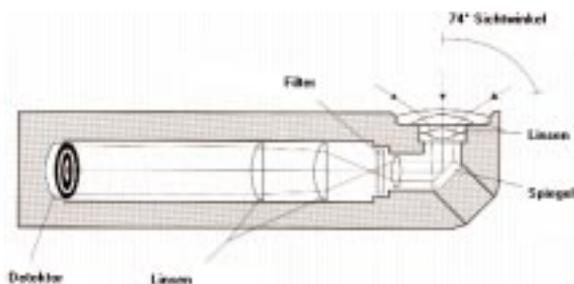
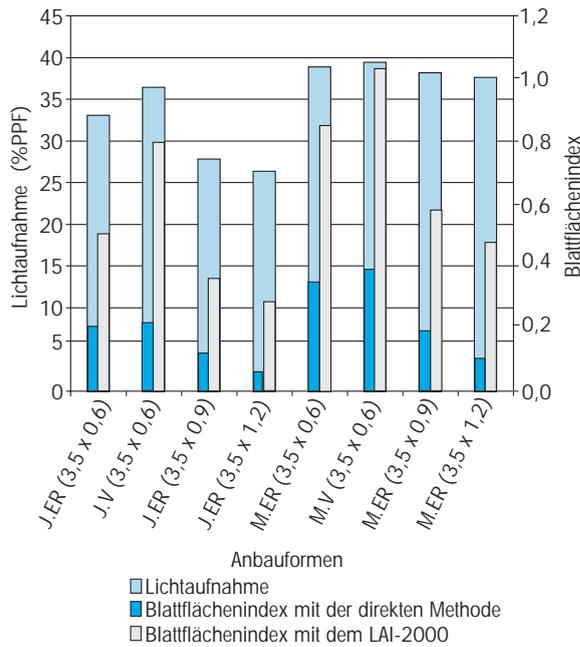


Abb. 1: Schema des LAI-2000 Sensorkopfes.



Abb 3: Rechts Zusammenhang zwischen Blattflächenindex (LAI-2000 und direkte Methode) und der Lichtaufnahme im Versuch Wädenswil im dritten Standjahr.



der Sorte Maigold waren die Werte höher als bei Jonagold. Die Lichtaufnahme nahm bei beiden Sorten mit steigender Pflanzdichte zu und war bei gleicher Baumzahl im V-System leicht höher als in der Einzelreihe. Zwischen dem Blattflächenindex, ermittelt mit der direkten Methode und mit dem LAI-2000 Plant Canopy Analyzer, und der prozentualen Lichtaufnahme der Baumkronen konnte ein Zusammenhang mit den Korrelationskoeffizienten $R^2=0,56$ beziehungsweise

0,70 ermittelt werden (Abb. 4 und 5). Die Messungen mit dem LAI-2000 ergaben deutlich höhere Werte als die direkte Methode. Offenbar wurde der Blattflächenindex in der jungen Anlage mit geringer Blattfläche mit der indirekten Methode (LAI-2000) überschätzt. Mit diesen einjährigen Resultaten ist eine zuverlässige Beurteilung dieser Zusammenhänge noch verfrüht. Die Messungen werden in den nächsten Jahren weitergeführt.

Versuch Güttingen

Die Lichtaufnahme der Baumkronen in diesem Versuch wurde vor allem durch die Reihenrichtung, die Anbauform und die Pflanzdistanzen beeinflusst (Abb. 6). Die Verfahren J.ER (4,15 x 0,7) N-S+64°, J.V (4,15 x 0,7), N-S+64°, J.ER (4,15 x 0,7) N-S+101° zeigten die tiefste prozentuale Lichtaufnahme ($\leq 50\%$), während die übrigen Systeme höhere Werte erreichten ($\geq 60\%$). Die Lichtaufnahme war im V-System höher im Vergleich zur Einzelreihe, mit Ausnahme der Reihenrichtung N-S. Der Blattflächenindex mit der direkten Methode ergab eine gute Korrelation mit der Lichtaufnahme ($R^2=0,72$, Abb. 7). Mit der indirekten Methode (LAI-2000 Analyzer) war die Korrelation tiefer ($R^2=0,25$, Abb. 8).

Folgerungen

In diesen Untersuchungen stand die Erarbeitung der Messmethodik im Vordergrund, insbesondere die Bestimmung des Blattflächenindex mit dem LAI-2000 Plant Canopy Analyzer im Vergleich zur direkten Methode und der Zusammenhang mit der Lichtaufnahme

Abb 4: Vergleich der durchschnittlichen prozentualen Lichtaufnahme mit dem Blattflächenindex (direkte Methode) im Versuch Wädenswil im dritten Standjahr. Korrelationskoeffizient $R^2=0,56$, (n=8).

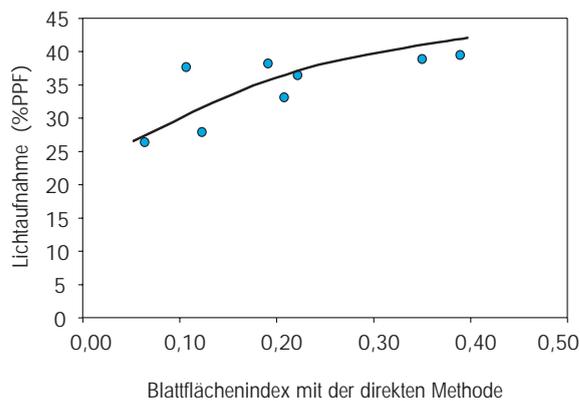


Abb. 5: Vergleich der durchschnittlichen prozentualen Lichtaufnahme mit dem Blattflächenindex (indirekte Methode mit dem LAI-2000) im Versuch Wädenswil im dritten Standjahr. Korrelationskoeffizient $R^2=0,70$, (n=8).

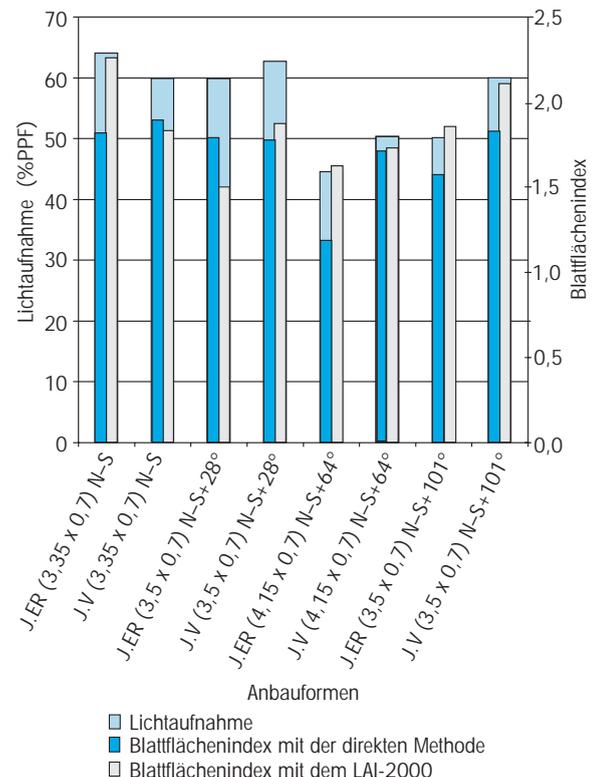
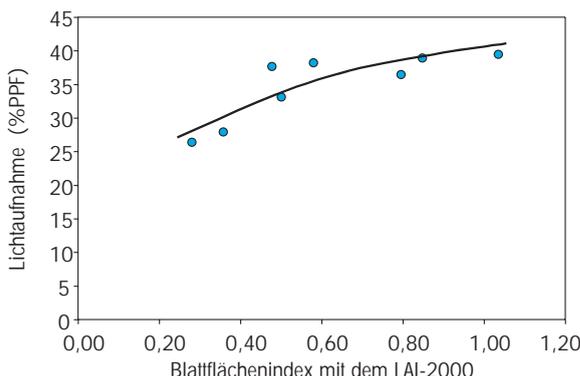


Abb. 6: Zusammenhang zwischen Blattflächenindex (LAI-2000 und direkte Methode) und der Lichtaufnahme im Versuch Güttingen im achten Standjahr.

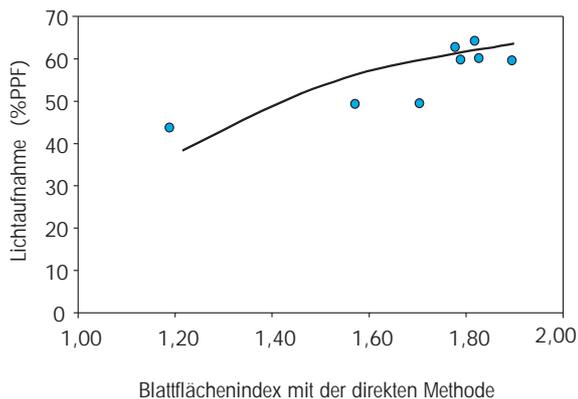


Abb. 7: Vergleich der durchschnittlichen prozentualen Lichtaufnahme mit dem Blattflächenindex (direkte Methode) im Versuch Güttingen im achten Standjahr. Korrelationskoeffizient $R^2=0,72$, ($n=8$).

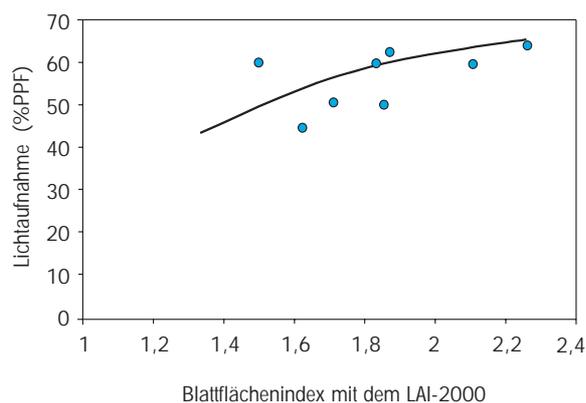


Abb. 8: Vergleich der durchschnittlichen prozentualen Lichtaufnahme mit dem Blattflächenindex (indirekte Methode mit dem LAI-2000) im Versuch Güttingen im achten Standjahr. Korrelationskoeffizient $R^2=0,25$, ($n=8$).

me durch die Baumkrone. Die einjährigen Resultate zeigen, dass mit den beschriebenen Methoden Unterschiede zwischen den Anbauformen (Sorten, Pflanzdichte, Reihenrichtung) bezüglich Lichtaufnahme und Blattflächenindex bestimmt werden konnten. Die Bestimmung des Blattflächenindex mit der direkten Methode (Anzahl Blätter und durchschnittliche Blattfläche) ist im Vergleich zum LAI-2000 Plant Canopy Analyzer enger korreliert mit der Lichtaufnahme. Für eine praxisreife Anwendung des LAI-2000 sind weitere Messungen im Feld erforderlich.

Das LAI-2000-Messgerät kann in Zukunft eine geeignete Methode sein zur Bestimmung des Blattflächenindex und der Lichtaufnahme in Obstanlagen, ausser bei unterschiedlichen Reihenrichtungen. Diese beeinflussen den Verlauf der Lichtaufnahme, was sich auf die Blattflächenmessungen mit dem LAI-2000 auswirken kann. In den nächsten Jahren werden weitere Erfahrungen mit der Messmethodik gesammelt und die Zusammenhänge zwischen Blatt-

flächenindex, Lichtaufnahme, Ertrag und Fruchtqualität untersucht, mit dem Ziel, Modelle zur Optimierung der Anbauformen unter unseren klimatischen Bedingungen zu entwickeln.

Literatur

- McPherson E. and Peper P.: Comparison of five methods for estimating leaf area index of open-grown deciduous trees. *Journal of Arboriculture*, 24(2): 98-111, 1998.
- Palmer J.: Recent developments on light and fruit tree canopies. *Acta Horticultrae*, 349: 99-109, 1993.
- Wagenmakers P.: Light relations in orchard systems. Thesis Dr. Landbouwniversiteit Wageningen. 151p, 1995.
- Welles J. and Norman J.: Instrument for indirect measurement of canopy architecture. *Agron. J.*, 83: 818-825, 1991.
- Wünsche J., Lakso A. and Robinson T.: Comparison of four methods for estimating total light interception by apple trees of varying forms. *HortScience*, 30(2): 272-276, 1995.
- Wünsche J. and Palmer J.: Comparison of non-destructive methods for estimating leaf area of apple tree canopies. *Acta Hort*, 243:175-184, 1998.

RÉSUMÉ

L'index de la surface foliaire et l'absorption de la lumière dans différents systèmes de culture de pommes

À l'aide de mesures techniques on peut influencer l'absorption et la distribution de la lumière dans un verger de pommes. Les conditions préalables sont des méthodes appropriées pour mesurer l'index de la surface foliaire et l'absorption de la lumière, ainsi que des connaissances de base sur les interactions existantes dans nos conditions climatiques.

Dans ces recherches on s'est concentré sur le développement de la méthode de mesure, en particulier la détermination de l'index de la surface foliaire avec le LAI-2000 Planet Canopy Analyzer en comparaison avec la méthode directe, et le rapport avec l'absorption de la lumière par la cime. Avec ces méthodes, on a pu déterminer des différences entre les modes de culture (variétés, densités de plantation, orientation des rangées) concernant l'absorption de la lumière et l'index de la surface foliaire. Pour un emploi du LAI-2000 dans la pratique, des mesures supplémentaires seront nécessaires dans les prochaines années.