

# Grundlegende Betrachtungen zur maschinellen Obsternte

Von **Horst Göhlich**, Göttingen

Für die Ernte von Kern- und Steinobst werden etwa 25—50% des gesamten Arbeitsaufwandes beim Anbau von Obst benötigt. Der Anteil schwankt je nach Frucht-, Baumart und verwendeter Hilfs- und Transportmittel. Dieser hohe Arbeitsaufwand verlangt heute mehr und mehr, andere arbeitssparende Erntemethoden zu suchen und anzuwenden. Die folgenden Betrachtungen beschränken sich auf Baumfrüchte. Nicht minder wichtig sind aber auch Verfahren zur Mechanisierung der Beerenobsternte.

Bei der hochmechanisierten Ernte von Feldfrüchten, wie beispielsweise Getreide, sind etwa 3 Arbeitsstunden pro acre<sup>1)</sup> nach amerikanischen Angaben notwendig; demgegenüber steht bei der manuellen Ernte von Obst ein Bedarf von 60—100 Arbeitsstunden pro acre. Das Verhältnis des Arbeitsaufwandes ist somit 1:20 bis 1:30. Das Verhältnis des Ertragerlöses liegt jedoch nur bei etwa 1:10. Diese Relationen sind in Deutschland ganz ähnliche.

Die hohe Empfindlichkeit der Früchte und die Anforderungen des Marktes an eine gute Qualität des Frischobstes setzen einer arbeitskraftsparenden maschinellen Ernte erhebliche Schwierigkeiten entgegen. Unter maschineller Ernte soll das Ernten von Obst ohne Berührung der einzelnen Früchte mit der Hand verstanden werden.

Der zunehmende Verbrauch von Obst für die Konservierung in den vergangenen Jahren verhalf zweifellos neuen Ernteverfahren, vornehmlich in den USA, zum Durchbruch. Die Weiterentwicklung der Verfahren macht es heute bereits möglich, auch Frisch- und Gefrierobst teilweise maschinell zu ernten.

Der erste Schritt, die Erntekosten zu verringern, wurde mit den verschiedensten Pflückhilfen zur Beschleunigung des Pflückvorganges getan. Ein weiterer Schritt bestand im Einsatz besserer und geeigneterer Transportmittel. Die Rationalisierung des Transportes mittels Spezialwagen und Schlepperstaplern führte bereits zu guten arbeitswirtschaftlichen Erfolgen. Die Pflückhilfen, wie beispielsweise rollende Leitern oder Platt-

<sup>1)</sup> 1 acre = 40,5 a

**Tafel 1.** Lohnkosten für das Pflücken bei verschiedenen Obstarten (nach *Mauch* [3])

	Beispiel für Verkaufserlös	Pflückleistung (Tagesmittel)	Anteil der Pflückkosten am Verkaufserlös (2,— DM/h Lohn)
	DM/kg	kg/AKh	%
Apfel-Hochstamm			
Anlegeleiter — 10 kg Pflückkorb			
schwacher Behang	0,40	40	12,5
starker Behang	0,40	65	7,6
Apfel-Niederstamm			
Schlitten-Stehleiter-Korb	0,72	100	2,8
Pflaume-Halbstamm			
Stehleiter-Korb	0,35	14	41,0
Sauerkirsche-Schattenmorelle			
Stehleiter-Korb mit Stiel	1,30	10	15,4
Süßkirsche-Hochstamm	0,85	6,5	36,0

Dr.-Ing. Horst Göhlich ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Landmaschinen-Institut der Universität Göttingen (Direktor: Prof. Dr.-Ing. Karl Gallwitz).

formen oder gar selbstfahrende Plattformen mit hydraulisch steuerbaren Pflückkabinen, die lediglich zur Beschleunigung des Pflückens gedacht sind, zeigten nicht immer den gewünschten Erfolg. Die hohen Investitionskosten, insbesondere der selbstfahrenden Geräte, stehen häufig in keinem ausgewogenen Verhältnis zum Gewinn [1].

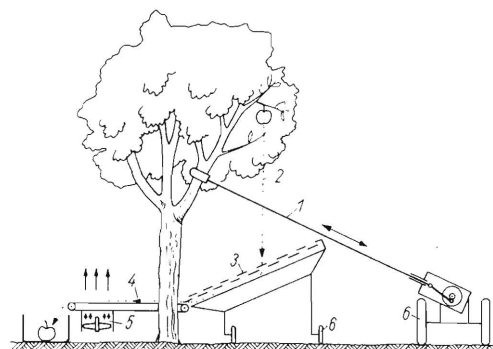
In Amerika experimentierte man u. a. mit Pflückstangen, die mittels Vakuum den Pflückvorgang der einzelnen Frucht werkstelligen und gleichzeitig die Frucht durch einen Schlauch in Behälter abführen sollten. Praktische Erfolge konnten wegen der schwierigen Handhabung nicht erreicht werden [2].

Eine fühlbare Senkung des Arbeitsaufwandes ist in ganz anderen Methoden zu suchen, die auf das Pflücken der einzelnen Frucht ganz verzichten. Nach der **Tafel 1** ist der Pflückkostenanteil am Gesamterlös beim Steinobst besonders hoch. Deshalb wird bei dieser Obstart in Deutschland die Mechanisierung zuerst einzusetzen haben. Wo der Ertragerlös, wie beim Qualitätskernobst, so hoch liegt, daß der Erntekostenanteil unter 10% liegt, wird man sich im Augenblick mit maschinellen Erntemethoden keinen wesentlich höheren Gewinn ausrechnen können — vorausgesetzt, daß die notwendigen Arbeitskräfte überhaupt zur Verfügung stehen.

## Bauarten der Erntemaschinen

Aus den Erfahrungen, die die Amerikaner beim mechanischen Schütteln von Nüssen und Oliven gemacht haben, entwickelte sich das kombinierte Schütteln und Auffangen mit Abfüllen in Kisten bzw. Behälter als eine Erntemethode auch für empfindliches Obst. Schätzungsweise wurden nach dieser maschinellen Methode in Kalifornien 1961 bereits 8—10% der Baumfrüchte, das sind vornehmlich Pflaumen, Aprikosen und Pfirsiche, geerntet. Die besonderen Kennzeichen dieses Ernteverfahrens sind in **Bild 1** dargestellt.

1. Die am Ast hängende Frucht soll vom Baum abgelöst werden. Hierzu wird eine Schwingung in den gesamten Baum oder in einen Teil eingeleitet und dabei die Frucht in Bewegung gesetzt. Massenkräfte rufen Zug- und Biegebeanspruchungen an der Aufhängung (Stengel oder Stiel) hervor und lösen die Frucht



**Bild 1.** Besondere Kennzeichen der maschinellen Ernte von Baumfrüchten.

- 1 Einleiten einer Schwingung und Ablösen der Frucht vom Ast
- 2 beschädigungsfreier Fall durch den Baum
- 3 Auffangen mit geringer Stoßbeanspruchung
- 4 Transport bis zum Sammelbehälter
- 5 Reinigung und Kühlung
- 6 leichte Beweglichkeit der Geräte

ab. Unter Umständen wird es möglich, mit einer vorausgehenden chemischen Behandlung das Ablösen der Frucht vom Stiel bzw. Ast noch zu erleichtern.

2. Die fallende Frucht soll möglichst nicht durch tiefer liegende Äste beschädigt werden. Hierbei kann eine geeignete Baumstruktur, Baumerziehung und Beschnitt mithelfen.

3. Die Frucht muß so aufgefangen werden, daß die zulässigen Druckbeanspruchungen beim stoßartigen Auftreffen nicht überschritten werden. Bei manchen Verarbeitungsf Früchten, wie z. B. bei Backpflaumen, wird eine starre Fangfläche ausreichend sein, bei anderen werden freigespannte Planen und ähnliches notwendig. Empfindlicheres Obst wie Äpfel, Pflirsiche oder Aprikosen verlangen ein besonders sorgfältiges Auffangen, wobei die Verzögerung beim Aufprall in ganz bestimmten Grenzen gehalten und ein Gegeneinanderprallen der fallenden Früchte auf der Fangfläche vermieden werden muß. Das kann z. B. durch Bänder geschehen, die über der Fangfläche gegebenenfalls in mehreren Lagen ausgespannt werden.

4. Die aufgefangenen Früchte müssen unmittelbar von der Fangfläche abtransportiert werden und in Behälter bzw. Kisten gelangen, in denen sie dann aus der Plantage heraus zum Sammelplatz gebracht werden können.

5. In manchen Fällen wird es vorteilhaft sein, Verunreinigungen herauszusortieren. Blätter, trockene Zweige und Schmutz kann beispielsweise durch einen Gebläseluftstrom absondert werden. Schlechte Früchte können auf einem Sortierband von Hand herausgelesen werden. In warmen Gegenden wird z. B. bei Kirschen eine unmittelbare Kühlung anzustreben sein. In den USA werden mitunter die Früchte in kaltes Wasser getaucht, wobei dann gleichzeitig eine Reinigung erfolgt.

6. Sowohl der Schüttler als auch der Fangrahmen müssen in der Plantage beweglich, d. h. möglichst fahrbar sein. Bodenunebenheiten und gewisse Hangneigungen sollen keine Schwierigkeiten verursachen.

In den **Bildern 2 bis 7** sind einige Kombinations- und Gestaltungsmöglichkeiten von Erntemaschinen schematisch dargestellt. Bild 2 zeigt die Ausführung eines auf einem Trägerfahrzeug montierten Schwingers mit Angriffspunkt in den Hauptästen.

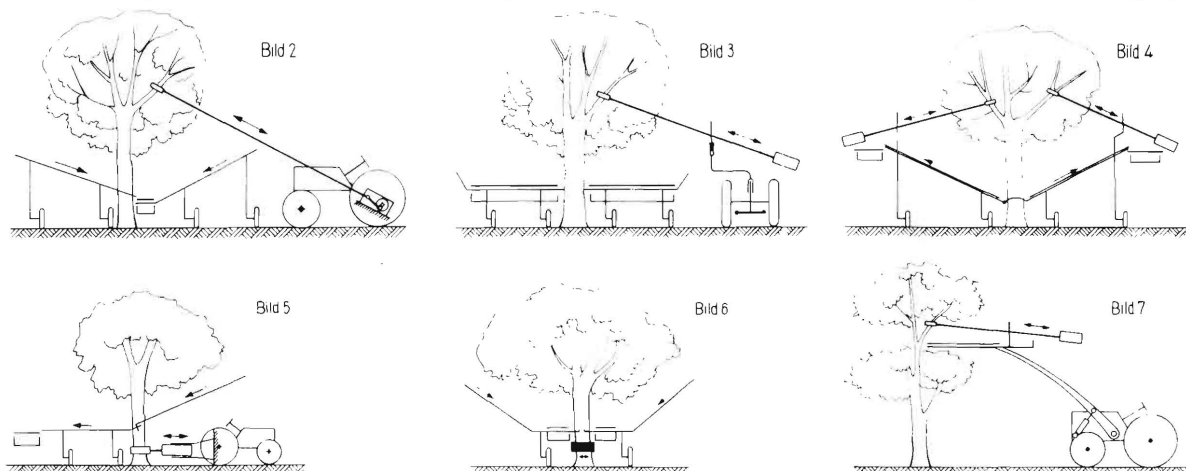
Bild 4 zeigt eine ganz andere Kombination. Schwinger mit Angriffspunkt in den Hauptästen sind unmittelbar auf jeder Fangrahmenhälfte montiert. Der in diesem Falle selbstfahrende Fangrahmen dient also gleichzeitig als Träger und Kraftquelle für die Schwinger. Beide Fangrahmenhälften sind nahezu identisch. Eine klappbare Brücke überdeckt den durch den Baumstamm notwendigen Spalt.

Bild 5 zeigt einen Schwinger mit Angriffspunkt am Baumstamm. Der Schwinger greift unterhalb des Fangrahmens nahezu an der Wurzel des Baumes an und versetzt den gesamten Baum in Schwingungen. Als Fangrahmen ist hier ein einteiliges Gerät dargestellt. Die rechte Fangfläche ruht während des Transportes von Baum zu Baum über der linken Seite. Zur Arbeit schwenkt die geteilte rechte Fangfläche aus und überdeckt den Schwinger. Bild 6 zeigt die Vereinigung von Stammschwinger mit einem beispielsweise selbstfahrenden Fangrahmen. Das selbstfahrende Gerät trägt den Schwinger in der Mitte unterhalb der Fangfläche. Erst umschließt der Schwinger den Baumstamm und dann klappt man die Fangflächen aus und unterfängt die Baumkrone. Bild 7 zeigt ein System, das von der Erziehung des Baumes sehr viel verlangen würde. Um die Fallhöhe und das Anschlagen in darunter liegenden Ästen zu reduzieren, könnte man den Baum zweietagig trimmen. Mit beispielsweise einem an einem Frontlader eines Schleppers montierten Fangrahmen mit Schwinger würde dann jede Etage bzw. jeder Hauptast getrennt abzurufen sein.

Je nach Fruchtart, Baumgröße und Bodenbeschaffenheit haben die verschiedenen Systeme ihre Vorzüge und Nachteile. Es wäre jedoch verfrüht, für unsere Verhältnisse schon ein Urteil abzugeben, da bei uns so gut wie noch keine Erfahrungen vorliegen.

#### Schüttel- bzw. Pflückvorrichtungen

Ein gewachsener Baum ist schwingungsmäßig ein recht kompliziertes System. Setzt man den gesamten Baum in Schwingungen, so wird die Fortleitung der Schwingungen über verschieden starke Äste bis zur Frucht mehrfach überlagert und gedämpft. Fruchtgewicht, Astverzweigung, Stiellänge und Haltekraft auf der einen und die eingeleitete Schwingung auf der



**Bilder 2 bis 7.** Kombinations- und Gestaltungsmöglichkeiten von Obsterntemaschinen.

Bild 2. Zweiteiliger Fangrahmen und Schlepperanbauschüttler;

Bild 3. Zweiteiliger Fangrahmen und Massenkraftschüttler auf eigenem Fahrgestell oder Schlepper;

Bild 4. Zweiteiliger Fangrahmen mit angebaute Massenkraftschüttler;

Bild 5. Fangrahmen mit Schwenkflügel und Stammschüttler am Schlepper;

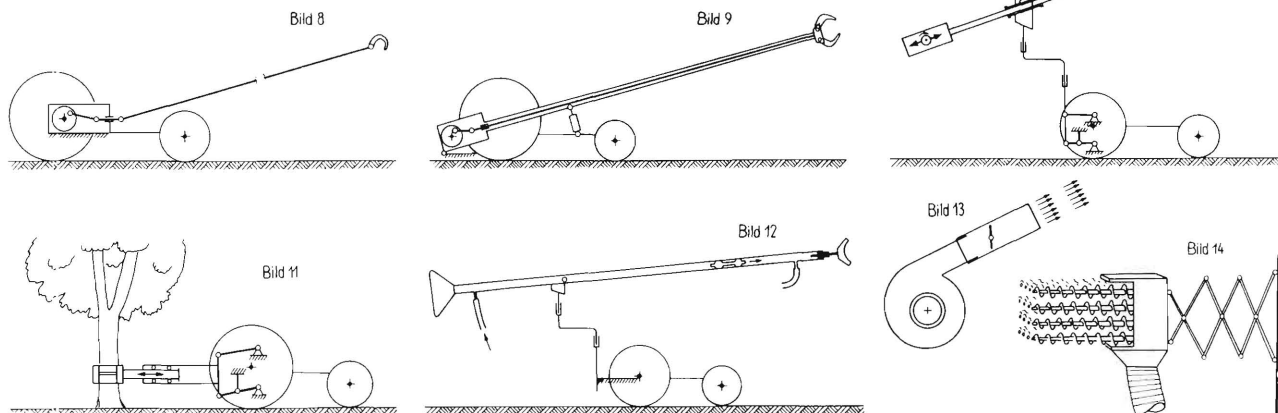
Bild 6. Selbstfahrende Obsterntemaschine mit eingebautem Stammschüttler;

Bild 7. Obsterntegerät für etagenweises Abernten an Hochstämmen.

Als Fangrahmen ist hier eine zweiteilige Ausführung dargestellt mit einem in der Mitte liegenden Längsförderband. Bild 3 zeigt ebenfalls einen auf einem Schlepper montierten Schwinger, der hier z. B. keinen Rückstoß auf das Fahrzeug ausübt und somit einfach als Dreipunktabgerät ausgebildet sein kann. Bei diesem Beispiel sind zwei Fangrahmenhälften mit horizontaler Fangfläche und Förderung auf der gesamten Breite gewählt.

anderen Seite beeinflussen den Ablösevorgang. Auch wenn man die Eigenschwingung des Baumes und jene der Frucht am Stengel kennt, ist nicht vorherzusagen, bei welcher eingeleiteten Schwingung die Frucht sich am ehesten löst. Praktische Einsätze zeigten, daß im allgemeinen Frequenzen im Bereich zwischen 10 und 20 Hz bei einem Schwingweg am Angriffspunkt von einigen Zentimetern am besten bis zur Frucht fortgeleitet wer-

den, ohne Beschädigungen an den Ästen hervorzurufen. Die dabei auftretenden Biegebeanspruchungen an der Frucht bewirken hauptsächlich das Ablösen.



**Bilder 8 bis 14.** Verschiedene Bauarten

- Bild 8. Kabelschüttler,
- Bild 9. Kurbelstangenschüttler für Äste,
- Bild 10 und 11. Massenkraftschüttler für Äste,

**Bild 8** stellt einen einfachen Seil Swinger dar. Der Seilhaken umschlingt den Ast, beim gestrafften Seil zieht eine Kurbel das Seil hin und her, wobei der federnde Ast die Rückstellkraft übernimmt. Ein einfaches System, das anfänglich in den USA benutzt wurde. Die großen Hübe, die hierbei notwendig sind, führten häufig zu Beschädigungen der Bäume und Äste. Das Trägerfahrzeug muß schwer genug sein, um die Reaktionskraft beim Zug aufnehmen zu können [4].

Der in **Bild 9** gezeigte Schüttlertyp hat in der Praxis in den USA Eingang gefunden. Ein Kurbel- oder ein Exzentertrieb bewegt eine in einem Gehäuse geführte Stange. Am äußersten Ende befindet sich eine Astklammer, die sich gewöhnlich hydraulisch öffnen und schließen läßt. Hiermit wird eine formschlüssige Verbindung zum Baum hergestellt. Beispielsweise lassen sich mit einem Hydromotor stufenlos alle Frequenzen einstellen. Die Auslenkung des Astes ist durch den Exzenterhub gegeben und wird auch tatsächlich erreicht, solange das Trägerfahrzeug in Ruhe bleibt, d. h. seine Masse groß genug ist. Die Schüttelstange kann hydraulisch gehoben und gesenkt werden. Als nachteilig bei diesem Schüttlersystem wirkt sich die auf das Trägerfahrzeug übertragene Vibration aus. Diese kann insbesondere bei größeren Bäumen sowohl für den Fahrer als auch für das Fahrzeug selbst sehr unangenehm sein. Das Anklammern ist häufig etwas zeitaufwendig, da die horizontale Bewegung durch die Schlepperstellung gegeben ist.

Der Schwinger nach **Bild 10** ist pendelnd aufgehängt und überträgt auf das Trägerfahrzeug so gut wie keine Schwingungen. Der Anbau kann dadurch an einem leichten Trägerfahrzeug oder auch unmittelbar am Fangrahmen erfolgen. Die Schwingung wird durch Unwuchten oder durch gegenläufig schwingende Massen erzeugt. Dieser Schwinger ist praktisch sehr leicht zu handhaben und wird in den USA in steigendem Maße verwendet. *Adrian* und *Fridley* aus Davis, Kalifornien, haben sich bei der Entwicklung dieses Systems sehr verdient gemacht [5]. Im Prinzip ganz ähnlich arbeitet der Schwinger nach **Bild 11**. In diesem Fall greift der Massenschwinger unmittelbar am Baumstamm an.

Bei den bisher besprochenen Schwingern handelt es sich um erzwungene periodische Schwingungen. Man kann aber auch durch einzelne Stöße auf die Zweige die Frucht zum Abfallen bringen. Seit jeher werden Nüsse und Mandeln mittels eines durch Holzhammer auf die Zweige ausgeübten Stoßes geerntet. Etwas wirksamer wird der Stoß durch einen pneumatisch arbeitenden Stoßschüttler nach **Bild 12**. Ein Freikolben in einem Rohr wird von Preßluft getrieben und stößt gegen einen am Ast angesetzten Puffer. Nach dem Stoß wird der Kolben ebenfalls durch Luftdruck in seine Ausgangslage gebracht und der Vorgang kann sich wiederholen. Hiermit kann man günstigenfalls in

von Schüttel- und Pflückvorrichtungen.

- Bild 12. Pneumatischer Schüttler,
- Bild 13. Frucht ablösen durch pulsierenden Luftstrahl,
- Bild 14. Pflückgerät für Orangen.

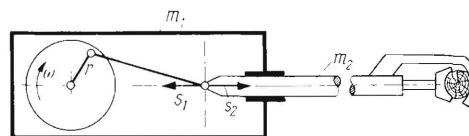
der Sekunde je einen Stoß ausüben. Ganz ähnlich arbeiten mit einer Kurbel getriebene Stoßschüttler. Ein Abschütteln der Früchte ist nur bedingt möglich. Verwendung finden solche Stoßschüttler zur selektiven Ernte ausgesprochen reifer Früchte [6].

Eine andere Möglichkeit, die Frucht in Schwingungen zu versetzen, besteht in einem pulsierenden Luftstrahl (**Bild 13**). Allerdings ist die Wirksamkeit sehr begrenzt. Der Leistungsaufwand ist hoch, weil die Verluste des Luftstrahls sehr groß sind. Praktische Versuche haben nicht befriedigt, da nur ein Teil der Früchte abgeschüttelt werden konnte [7].

Ein ganz anderes System hat man in Florida an Orangen erprobt. Ein Schneckenpaket, wie in **Bild 14** gezeigt, von etwa 1 m<sup>2</sup> Stirnfläche fährt in den Baum hinein. Der Abstand der Schnecken ist so gewählt, daß die Früchte zwischen den Schneckenrängen gehalten und nach außen transportiert werden, während Blätter und dünne Zweige durch die Zwischenräume hindurchgleiten können. Ein praktischer Erfolg mit diesem Gerät konnte allerdings bisher nicht erreicht werden.

### Das Prinzip der Massenkraftschüttler

Eine Kurbel- bzw. Exzenterwelle nach **Bild 15** sei durch einen Hydromotor angetrieben. Die Kurbelstange ist mit der Schüttlerstange verbunden. Kurbelgehäuse und Schüttlerstange sind gegeneinander beweglich. Die Masse  $m_1$  bildet das Kurbelgehäuse mit Kurbel und Antrieb,  $m_2$  wird durch Schüttlerstange und den mit der Klammer fest verbundenen Ast gebildet. Das Hubverhältnis beider Massen ist umgekehrt proportional dem Massenverhältnis. Soll die Auslenkung des Astes bei gegebenem Radius groß werden, muß  $m_1$  groß bzw.  $m_2$  klein gehalten werden.



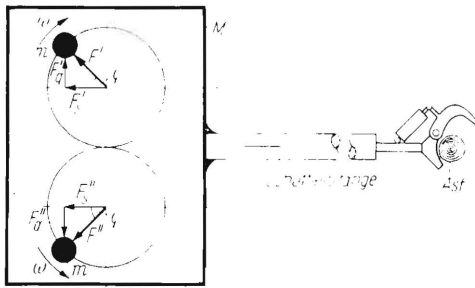
**Bild 15.** Massenkraftschüttler mit entgegengesetzt schwingenden Massen.

$$2r = s_1 + s_2 \quad \frac{s_2}{s_1} = \frac{m_1}{m_2}$$

Schwingungsauslag des Astes am Schwingeransatz:

$$s_2 = \frac{2r m_1}{m_1 + m_2}$$

Der Massenkraftschüttler nach **Bild 16** arbeitet mit rotierenden Unwuchten, dessen Massenkräfte sich in der Schwingungsrichtung addieren und quer dazu aufheben. Bei gegebener Unwucht ist die Gesamtmasse  $m_{ges}$  möglichst klein zu halten, um einen großen Schwingweg zu erzielen.



**Bild 16.** Massenkraftschüttler mit zwei rotierenden Unwuchten.

- $F$  Fliehkraft einer Unwucht
- $F_s$  Fliehkraftkomponente in Schwingungsrichtung
- $F_q$  Fliehkraftkomponente quer zur Schwingungsrichtung
- $m$  Masse der Unwucht
- $r$  Radius der Umlaufbahn der Unwucht
- $\omega$  Winkelgeschwindigkeit der Unwucht
- $m_{ges}$  gesamte schwingende Masse (Schwinger + Ast)
- $c_{Ast}$  Federkonstante des Astes
- $s$  Schwingungsamplitude

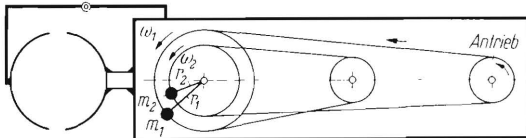
$$F'' = F'' = m r \omega^2$$

$$F_s' + F_s'' = 2 F \cos \varphi = 2 F \cos(\omega t)$$

$$F_q' + F_q'' = F \sin \varphi - F \sin \varphi = 0$$

$$s = \frac{2 F \cos(\omega t)}{\sqrt{(\omega^2 m_{ges} - c_{Ast})^2}}$$

Ein interessantes und ebenso wirksames Prinzip zeigt **Bild 17**. Zwei Massen rotieren gleichzeitig um einen Mittelpunkt mit unterschiedlicher Drehzahl. Die resultierende Kraft aus  $P_1$  und  $P_2$  überlagert sich der einfachen rotierenden Fliehkraft mit der Schwebungsfrequenz  $\omega_{res} = \omega_2 - \omega_1$ . Die Richtung der Maximalkraft wandert somit um. Damit wird der Baum, in allen Richtungen pulsierend, erregt. Das ist für das Schüttelerggebnis sehr günstig, da das Schwingungsverhalten der verschiedenen orientierten Äste, und damit auch der Früchte, von der erregten Schwingungsrichtung abhängt. Alle Teile des Baumes gelangen somit einmal in ihren optimalen Schwingungsbereich.

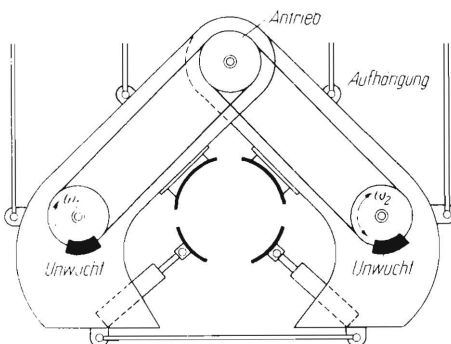


**Bild 17.** Massenkraftschüttler mit zwei rotierenden Unwuchten ungleicher Winkelgeschwindigkeit.

$$P_1 = m_1 r_1 \omega_1^2 \quad P_2 = m_2 r_2 \omega_2^2$$

Mit der Schwebungsfrequenz  $\omega_{res} = \omega_2 - \omega_1$  ist die umlaufende resultierende Kraft  $\vec{P}_{res} = \vec{P}_1 + \vec{P}_2$  (vektoriell addiert).

**Bild 18** zeigt einen weiteren Typ eines Stammschüttlers. Das Prinzip bei gegenseitig laufenden Unwuchten ist dem in **Bild 16** gleich. Ist der Drehsinn beider Unwuchten gleichsinnig, erfolgt eine kreisförmige Rührbewegung am Stamm. Letztere erwies sich gegenüber der hin- und hergehenden Bewegung als wirkungs-



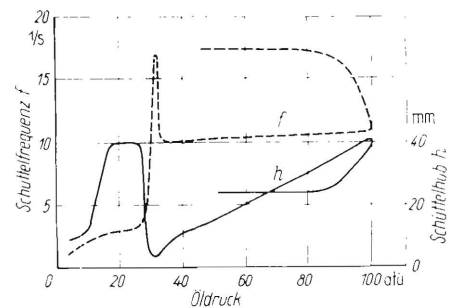
**Bild 18.** Massenkraftschüttler mit zwei rotierenden Unwuchten. Rotierende Schüttelbewegung, wenn  $\omega_1 = \omega_2$  ist; hin- und hergehende Schüttelbewegung, wenn  $\omega_1 = -\omega_2$  ist.

voller, da alle Früchte einmal, wie bereits bei dem vorhergehenden Schüttler, in ihrer bevorzugten Schwingungsrichtung erregt werden.

Der Schwinger wird mit einer Klammer am Ast oder Stamm formschlüssig verbunden. Damit ein Ast oder Stamm infolge der unregelmäßigen Gestalt stellenweise keine zu hohen Druckschwingungen erleidet, ist ein Ausgleichspolster erforderlich. Allerdings darf hierdurch keine Minderung des Schwingweges auftreten. Die zu übertragenden Kräfte sind beim Stammschüttler besonders hoch. Damit verbunden ist eine Gefahr der Rindenbeschädigung, die für das Wachstum eines Baumes sehr gefährlich sein kann. Stammschwinger greifen unmittelbar an der Wurzel an. Das heißt, das ganze Wurzelwerk des Baumes gerät ebenfalls in Schwingungen. Nach den ersten Erfahrungen aus drei Jahren scheinen sich die berechtigten Bedenken hiergegen jedoch etwas zu zerstreuen, es sei denn, jüngste Erfahrungen sagen etwas anderes aus.

Für den Astschwinger kann die Lage des Ansatzpunktes sehr wichtig sein. Mit größerem Abstand vom Stamm werden die erforderlichen Kräfte geringer, die Anzahl der erforderlichen Ansatzpunkte wird aber heraufgehen. Da man mit der erzwungenen Schwingung bei der zweiten bis vierten Ordnung der Asteigenschwingung liegt, ist die Lage des Ansatzpunktes auch hinsichtlich des Nullpunktes bzw. Schwingungsbauches des erregten Astes von Bedeutung.

Bei einem Schüttler mit konstantem Hub, d. h. mit großer Gegenmasse (vgl. **Bild 9**), kann jede gewünschte Frequenz erzwungen werden. Der freie Massenkraftschüttler dagegen reagiert nicht auf jede Frequenz. Die Masse und die Federkonstante des Astes bestimmen hauptsächlich die erzeugten Frequenzen. Der in **Bild 19** dargestellte Verlauf von Frequenz und Schwingweg ist im Labor mit einem Meßbaum aufgenommen worden. Die Eigenfrequenz des Meßbaumes entspricht etwa der eines Baumes mit 12 cm Stammdurchmesser. Die Eigenfrequenz erster Ordnung liegt bei 2,8 Hz, die zweite Ordnung bei etwa 10 Hz. Bei der Aufnahme des Diagrammes wurde der Öldruck des Hydromotors langsam vergrößert. Frequenz, Schwingungsausschlag und Antriebsleistung wurden mit einem Schwingungsschreiber aufgezeichnet. Die Auswertung ergab den hier dargestellten Verlauf. Die Frequenz erreichte bald die Eigenschwingungen erster Ordnung und verharrte dort in einem gewissen Druckbereich. Dabei ergab sich ein großer Schwingungsausschlag. Beim Überschreiten eines gewissen Druckes sprang die Frequenz schnell in den Bereich der Eigenschwingung zweiter Ordnung. Hier verharrte die Schwingung bei zunehmender Amplitude und Leistung, bis auch dieser Bereich plötzlich in einen dritten überging. Durch den zurückgehenden Schwingungsausschlag trat hier ein Druckabfall ein.



**Bild 19.** Schüttelfrequenz und Schüttelhub bei einem Massenkraftschüttler mit entgegengesetzt schwingenden Massen in Abhängigkeit vom Öldruck des Schwingermotors.

Aus Zeitlupenaufnahmen beim Schütteln von Bäumen kann man den Effekt des Überganges aus einer Frequenz in die andere an der Bewegung der Frucht erkennen. Die an längeren dünnen Zweigen hängenden Früchte reagierten in manchen Frequenzbereichen kaum, während sie beim Übergang von einem Eigenschwingungsbereich in den anderen am stärksten bewegt wurden.

Beim Schütteln des gesamten Stammes mit Angriffspunkt am oberen Stammende entleeren sich die in Schwingungsrichtung



orientierten Hauptäste besser, als die quer zur Schwingungsrichtung liegenden. Diese Erscheinung läßt sich durch die unterschiedliche Schwingungssteifigkeit erklären.

Das Massenverhältnis von Kurbelgehäuse und Antrieb zur Schüttlerstange war bei dem vorliegenden Gerät 1:1,3. Bei Änderung der Masse des Kurbelgehäuses stellt sich ein anderes Schwingungsverhalten ein. Künftigen Versuchen bleibt es vorbehalten, bei den in der Praxis auftretenden Astgrößen eine optimale Abstimmung der Massen zu finden.

### Antrieb und Leistung der Schüttler

Hydromotoren eignen sich für den Antrieb besonders gut, weil erstens das Gewicht pro Leistungseinheit besonders niedrig ist, zweitens die Betriebsdrehzahl sich nicht wesentlich von der Schwingerfrequenz unterscheidet, drittens das dem Öldruck proportionale Drehmoment ausreichend hoch ist und viertens die Drehzahl sich leicht regeln läßt. Messungen bei praktischen Versuchen an den verschiedensten Bäumen haben ergeben, daß zum Erreichen einer Frequenz von 14 Hz und einem Hub von 24 mm an einem Ast von 10 bis 12 cm Durchmesser am Ansatz mit einem Motor mit 32 1/min Schluckmenge ein Druck von 80 atü benötigt wird. Dabei leistet der Motor etwa 4,5 PS. Der Gesamtleistungsverbrauch des Systems unter Einschluß der Pumpe, Ventile und Leitungen sowie der Riemenverluste liegt natürlich entsprechend dem Gesamtwirkungsgrad höher.

### Auffangvorrichtungen

Die Gestaltung der Auffangvorrichtung hängt unmittelbar mit den Eigenschaften der Früchte zusammen. Die Früchte müssen so aufgefangen werden, daß keine unzulässigen Beschädigungen eintreten. Eine einwandfreie Definition über das, was eine unzulässige Beschädigung ist, also über die Art und den Grad einer Beschädigung gibt es nicht. Allerdings hat man bei der Festlegung der Marktqualitäten von Obst gewisse Angaben über die Art von Beschädigungen gemacht. Ein Apfel der A-Qualität darf beispielsweise keine Druckstellen oder sonstigen Beschädigungen aufweisen. Eine Druckstelle tritt dann ein, wenn die Druckbeanspruchung so hoch wird, daß ein Zellenbruch unterhalb der Schale erfolgt. Ein anschließender Oxydationsprozeß des Fruchtwassers führt zur Braunfärbung des Fruchtfleisches einer solchen Stelle.

Wann tritt nun eine solche Druckbeschädigung ein? *Gaston* und *Levin* [8] haben Äpfel der verschiedensten Sorten aus verschiedenen Höhen gegen harte, nicht deformierbare Unterlagen fallen lassen und die kritische Fallhöhe ermittelt. Danach gibt es Sorten, die bereits bei einem Fall von 2 cm Höhe Druckstellen erleiden, während andere erst bei 4 cm die gleiche Erscheinung zeigen. Um in der Sprache der Festigkeitslehre Angaben über die Festigkeitseigenschaften zu erhalten, haben *Mohsenin* und *Göhlich* [9] Untersuchungen über die mechanischen Eigenschaften von Obst angestellt. Mit den angegebenen Untersuchungsmethoden wird es möglich, die zulässigen Druckbeanspruchungen, Verformungen bzw. Verformungsenergien zu ermitteln. Unter zulässig wird in diesem Falle jene Beanspruchung verstanden, die noch gerade keinen Zellenbruch verursacht. Danach beträgt die zulässige Verformungsenergie bei einem Apfel zum Erntezeitpunkt beispielsweise 0,16 kp cm/cm<sup>2</sup>, die zulässige Druckbeanspruchung 6,5 kp/cm<sup>2</sup>.

Aus diesen Angaben kann man die erforderliche Verzögerungseigenschaft der Auffangvorrichtung vorausbestimmen. Nimmt man das Gewicht eines Apfels mit 0,15 kp an, seine Fallhöhe mit 3 m, so hat er beim Auftreffen eine Energie von 45 kp cm. Ohne Berücksichtigung des Luftwiderstandes ist seine Geschwindigkeit beim Auftreffen 7,65 m/s. Nimmt man eine Kontaktfläche von 2 cm<sup>2</sup> an, so muß die Verzögerungskraft unter 13 kp bleiben. Das würde bei einer gleichmäßigen Verzögerung eine Nachgiebigkeit der Fangfläche von mindestens 3,5 cm erfordern.

Die Weiterleitung der Früchte bis in die Kiste muß ebenfalls der Beschädigungsempfindlichkeit angepaßt sein, d. h., die Geschwindigkeit der Früchte darf nicht zu groß werden, damit Stöße beim Rollen nicht zu Beschädigungen führen. Die Forderung nach leichter Beweglichkeit des Fangrahmens innerhalb der

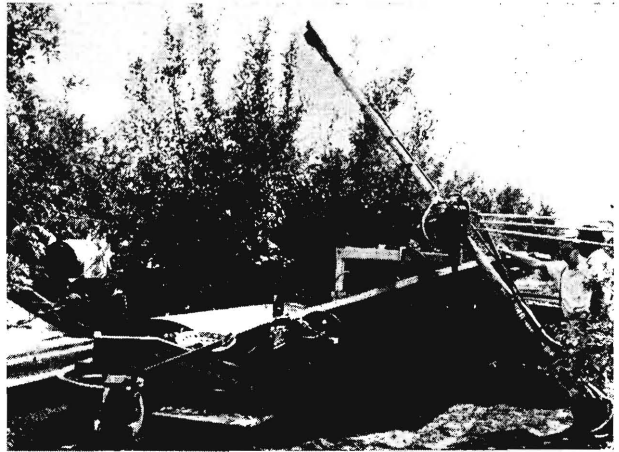


Bild 20. Massenkraftschüttler an einer Fangrahmenhälfte angebaut.

Plantage unter den häufig tief herunterhängenden Zweigen führt zu besonderen Konstruktionsmerkmalen. Die einfachste Bauart wäre eine tragbare Ausführung. Bis zu einer Größe von 5 × 5 m ist das Tragen noch möglich. Für größere Fangflächen — Mittel- und Hochstämme verlangen etwa 6 × 6 m — ist eine fahrbare Ausführung vorzuziehen. Inwieweit der Rahmen ziehbar oder schiebbar bzw. selbstfahrend sein soll, wird von der Art und Größe der Plantage bzw. der zur Verfügung stehenden Ernte-



Bild 21. Fangrahmen mit ausfahrbaren Flügeln.

fläche abhängen. Grundsätzlich wird man die Rahmen so flach wie möglich konstruieren, um mit den herabhängenden Zweigen nicht in Kollision zu kommen. Auf der anderen Seite sollte man eine Plantage durch einen geeigneten Schnitt der Bäume und durch eine entsprechende Bodenbearbeitung für eine maschinelle Ernte vorbereiten und zu tief herabhängende Äste entfernen.

In den Bildern 20 bis 22 werden einige Beispiele ausgeführter Obsterntemaschinen gezeigt.

### Ernteleistung

Welche Ernteleistungen sind mit Obsterntemaschinen zu erreichen? Zeitstudien bei der Ernte von Pflaumen und Pfirsichen in Kalifornien haben ergeben, daß 65% bis 75% Arbeitsstunden durch die maschinelle Ernte eingespart werden können [6]. Ganz ähnliche Einsparungen zeigten sich nach *Levin* und *Gaston* [11] bei Sauerkirschen. Hiernach können mit einer 7köpfigen Mannschaft durchschnittlich 12 Bäume je Stunde geerntet werden, das sind etwa 100 Bäume je Tag. Setzt man einen Ertrag von etwa 40 kg Kirschen je Baum an, so würde die 7köpfige Mannschaft ebensoviel ernten wie 30 bis 35 Pflücker. Das bedeutet, daß mit Hilfe der Maschine ein Arbeiter 4 bis 5 Pflücker ersetzen könnte, wobei in der gleichen Zeit die gleiche Menge geerntet werden kann.



**Bild 22.** Am Schlepper angebauter Stammschüttler. (Der Fangrahmen überdeckt im Betrieb den Schüttler.)

Eine eingearbeitete Mannschaft von 3 Arbeitern kann nach den hier geschilderten Erntemethoden bei Pfirsichen beispielsweise 30 Bäume je Stunde abernten, bei Zwetschen für die Konservierung etwa 40 bis 60 Bäume je Stunde. Dabei werden 90% bis 95% der auf dem Baum hängenden Früchte effektiv geerntet [6].

Bei der maschinellen Ernte von Pfirsichen zur Konservierung hat sich nach Untersuchungen von *Fridley* u. a. [6] gezeigt, daß bei den maschinellen Erntemethoden etwa 10% der Früchte mehr beschädigt sind als bei der Ernte von Hand. Nach dem Gesichtspunkt der Verarbeitungsmöglichkeit in den Konservenfabriken hat sich jedoch ein wesentlich geringerer Prozentsatz ergeben. Bei Zwetschen entstehen für den Anbauer durch die maschinelle Ernte so gut wie keine Mehrverluste gegenüber Handarbeit.

Im Jahre 1962 sind im Landmaschinen-Institut Göttingen in Zusammenarbeit mit dem Institut für Obstbau und Baumschule der Technischen Hochschule Hannover in Sarstedt mit einem Massenkraftschüttler eigener Herstellung in Kirschen, Äpfeln und Pflaumen eine Reihe Untersuchungen unternommen worden. Dabei ging es darum, das Schwingungsverhalten der verschiedenen Bäume kennenzulernen und zu studieren, unter welchen Bedingungen und zu welchem Prozentsatz sich die verschiedenen

Fruchtarten mit diesem Verfahren abernten lassen. Sorte, Reifegrad und Baumgröße spielen hierbei eine wichtige Rolle.

Bei normal großen Mittel- und Hochstammanlagen lassen sich bei Äpfeln und Pflaumen 85% bis 95% bei etwa 3- bis 4maligem Angriff abernten. Auch bei Kirschen, die sich bekanntlich schwer abschütteln lassen, sind die Aussichten für eine maschinelle Ernte gut. Mit einem zunächst provisorisch gebauten Fangrahmen ergaben erste Zeitstudien bei der Ernte von Pflaumen eine Ernteleistung von 16 Bäumen je Stunde bei 4 Arbeitskräften. Der Fangrahmen war zweiteilig und bestand aus einer über einem Rohrgestell gespannten Plastikplane. An der einen Hälfte befand sich ein Transportband, das die von den Fangflächen heranrollenden Früchte nach außen in Kisten abfüllte.

### Zusammenfassung

Eine fühlbare Senkung der Kosten für die Obsternte ist durch eine maschinelle Erntemethode möglich, bei der die Früchte nicht von Hand berührt werden. Bestimmte Einschränkungen hinsichtlich Obstart, Qualität des Ernteproduktes und Verwendungsart sind einzuräumen. In USA hat sich bereits ein Erntesystem bewährt, bei dem die Früchte durch bestimmte Schwingungen abgeschüttelt und durch Fangvorrichtungen aufgefangen, gesammelt und in Kisten abgefüllt werden. Die herabfallende Frucht kann durch bestimmte Maßnahmen an den Fangvorrichtungen so aufgefangen werden, daß gewisse Qualitätsstufen eingehalten werden. Für die konstruktive Ausbildung der Schwinger und Fangvorrichtungen gibt es verschiedene Lösungsmöglichkeiten. Ohne Einschränkung kann das Verfahren für Verwertungsobst Anwendung finden. Eigene Versuche während der Ernte 1962 ließen Einsatzmöglichkeiten dieses neuen Ernteverfahrens auch in unserem Obstbau erkennen.

Der Erfolg neuer Erntemethoden ist nicht allein durch eine gute konstruktive Lösung zu gewährleisten. Auch die Kulturen müssen auf die arbeitssparenden Methoden und Maschinen hin angepaßt werden. Dabei wird es sich nicht immer vermeiden lassen, daß man mit dem traditionellen Intensivanbau zugunsten arbeitswirtschaftlicher Vorteile bricht und gewisse Verlustprozente und Mindererträge in Kauf nimmt. Zumindest für einen Teil des Obstbaues wird dieser Trend in Zukunft Bedeutung erlangen. Nicht auf dem höchsten Ertrag je Fläche, Baum oder Strauch wird der Schwerpunkt des Anbaus liegen, sondern auf dem Gewinn, der je Arbeitskraft mit geeigneter Ausrüstung erzielbar ist.

### Schrifttum

- [1] *de Haas, P. G.*: Arbeiterleichterung an hohen Bäumen durch Mannheber? *Der Erwerbsobstbau* 3 (1961) H. 8, S. 141/43.
- [2] *Quackenbusch, H. E., B. A. Stout* u. *S. K. Ries*: Pneumatic tree-fruit-harvesting. *Agric. Engng.* 43 (1962) S. 458/61.
- [3] *Mauch, A.*: Technische Hilfen bei der Obsternte. *Mitt. d. DLG* 76 (1961) S. 1468/72.
- [4] *Lamouria, L. H., A. T. Hartmann, R. W. Harris* u. *C. R. Kaupke*: Mechanical harvesting of olives, peaches and pears. *Transactions of ASAE* 4, Nr. 1, 1961.
- [5] *Adrian, P. A.* u. *R. B. Fridley*: New tree shaker. *Calif. Agric.* 15, Nr. 8, 1961.
- [6] *Fridley, R. B.* u. a.: Mechanical harvesting of cling peaches. *University of California, Res. Progr. Rept.* 1960.
- [7] *Brewer, H. L., R. B. Fridley* u. *P. A. Adrian*: Blower shaker. *Calif. Agric.* 15, Nr. 9, 1961.
- [8] *Gaston, H. P.* u. *S. H. Levin*: How to reduce apple bruising? *Mich. State College, Special Bul.* 374, 1951.
- [9] *Mohsenin, N. N.* u. *H. Göhlich*: Techniques for determination of mechanical properties of fruits and vegetables as related to design and development of harvesting and processing machinery. *Journal of Agric. Engng. Research* 7 (1962) Nr. 4, S. 300/15.
- [10] *Levin, J. H., H. P. Gaston, S. L. Hedden* u. *R. F. Wittenberger*: Mechanizing the harvest of red tart cherries. *Mich. Agr. Exp. Stat. Quart. Bul.* 42, Nr. 4, 1960.