

# Biologische Verfahrenstechnik – Voraussetzung zur Qualitätserhaltung von Obst

Von Helmut Sinn, Hohenheim\*)

DK 634.1/2:631.558.1:634.004.12

Durch die mechanischen und thermischen Grundverfahren, die bei der Obstproduktion zur Anwendung kommen, werden die Obstfrüchte unterschiedlichen Beanspruchungen ausgesetzt, die eine Qualitätsbeeinflussung nicht ausschließen.

Aufgabe der biologischen Verfahrenstechnik ist es, durch systematische Grundlagenuntersuchungen die physikalischen, chemischen und biologischen Stoffeigenschaften der Rohprodukte zu erarbeiten, um wirtschaftliche, ertrags- und qualitätserhaltende Verfahrenstechniken entwickeln zu können. Eine durch Maschinen oder Anlagen bedingte Beanspruchung der Frucht darf die Grenze nicht überschreiten, von der ab die Qualität des Erzeugnisses mittelbar oder unmittelbar verschlechtert wird.

## 1. Einleitung

Die begrenzten Produktionsquellen, der zunehmende Verbrauch an Obstprodukten wie auch der stetige Zwang zu ertrags- und qualitätserhaltenden Produktionsverfahren und die Verknappung von Arbeitskräften, verbunden mit steigenden Löhnen, prägen die Verfahrenstechniken bei der Gewinnung von Obstprodukten [1].

Hinsichtlich der Qualitätserhaltung kann dabei aber oft erst im Nachhinein eine definitive Aussage über die Eignung eines Verfahrens getroffen werden, da es häufig an Stoffkennwerten zur notwendigen Berechnung bzw. Beurteilung fehlt. Aufgabe der biologischen Verfahrenstechnik ist es deshalb, durch systematische Grundlagenuntersuchungen die physikalischen, chemischen und biologischen Stoffeigenschaften der einzelnen Obstfrüchte zu erarbeiten, um wirtschaftliche, ertrags- und qualitätserhaltende Verfahrenstechniken entwickeln zu können. Die Obstfrüchte werden durch die bei den Erntearbeiten und der Lagerung angewandten mechanischen und thermischen Grundverfahren des Trennens, Förderns, Transportierens, Klassierens, Lagerns und Kühlens unterschiedlichen Beanspruchungen ausgesetzt, die eine Qualitätsbeeinflussung nicht ausschließen.

Im Gegensatz zu den meisten landwirtschaftlichen Ernteprodukten reifen Obstfrüchte selten zum selben Zeitpunkt und sind sehr anfällig für Beschädigungen.

Anhand einiger Beispiele im Verfahrensablauf bei der Obstgewinnung soll im folgenden die Wichtigkeit der Stoffeigenschaften aufgezeichnet werden.

Vorgetragen auf der Jahrestagung der VDI-Fachgruppe <Landtechnik> am 17. Okt. 1974 in Stuttgart.

\*) *Dipl.-Ing. Helmut Sinn ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Technik im Obst-, Gemüse- und Weinbau an der Universität Hohenheim.*

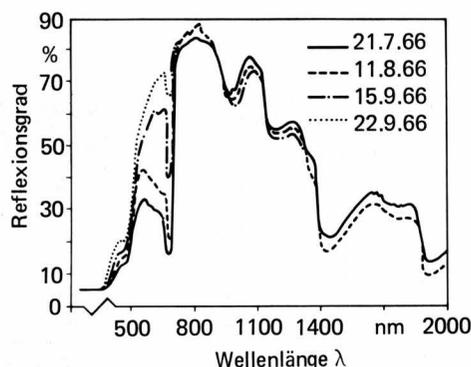
## 2. Verfahrensablauf und biologisch-technische Stoffeigenschaften

### 2.1 Reifebestimmung

Eine wichtige Rolle für die Qualität bzw. für die Qualitätserhaltung spielt die Festlegung des Erntetermins. Obst für den Sofortverbrauch sollte in einem solchen Reifezustand geerntet werden, daß es dem Verbraucher ohne äußere oder innere Schäden und genußreif angeboten werden kann. Früchte, die für die Lagerung bestimmt sind, dürfen weder zu früh noch zu spät geerntet werden. Bei einem zu zeitigen Erntetermin besteht die Gefahr einer Fruchtwelke im Lager. Des weiteren werden die Geschmacksstoffe und die Farbe ungenügend ausgebaut. Wartet man aber zu lange mit der Ernte, wird infolge der fortgeschrittenen Reife die Lagerdauer beeinträchtigt.

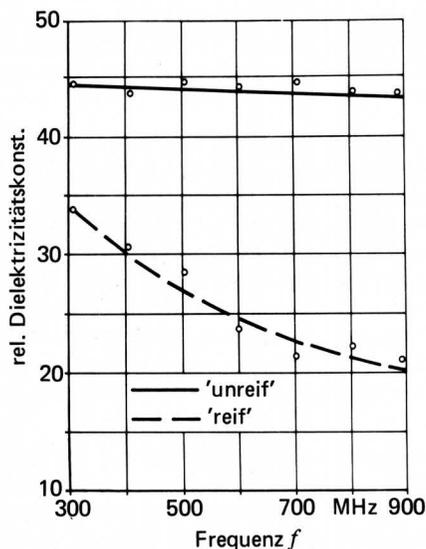
Mögliche Anhaltspunkte zur Reifebestimmung sind dabei mechanische, optische, elektrische, chemische oder biologische Stoffeigenschaften, wie die Fruchtfleischfestigkeit, die Farbe der Fruchtschale, das Reflexionsverhalten, das Verhalten als Dielektrikum, der Zuckergehalt, der Grad des Stärkeabbaues, der Geschmack oder das Ausscheiden von flüchtigen Aromastoffen. Mit zunehmender Reife nimmt die Fruchtfleischfestigkeit ab; bedingt durch die Auflösung des Protopektinnetzes in den alternden Zellwänden und der damit verbundenen Bildung von wasserlöslichem Pektin. Dieser Vorgang setzt sich bis zum Teigigwerden überreifer Früchte fort.

Für die Reifebestimmung mittels optischer Stoffeigenschaften kann das Reflexionsvermögen der Früchte herangezogen werden. Dabei werden die Früchte mit monochromatischem Licht von unterschiedlicher Wellenlänge angestrahlt und der Reflexionsgrad gemessen [2]. Bemerkenswert ist hierbei, wie **Bild 1** zeigt, die sich mit zunehmender Reife einstellende Erhöhung des Reflexionsgrades im Wellenlängenbereich um 670 nm. Die Ursache liegt darin, daß mit der Reife das Lichtabsorptionsvermögen des Chlorophylls abnimmt.



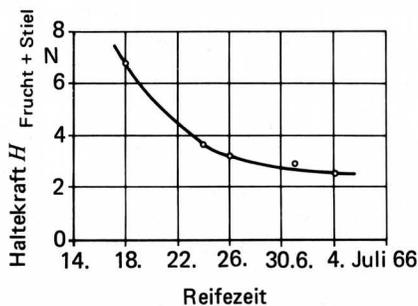
**Bild 1.** Das Reflexionsvermögen von Birnen in Abhängigkeit von der Wellenlänge des Lichtes und von der Frucht reife.

Auch mit Hilfe der Dielektrizitätskonstanten lassen sich unterschiedliche Reifestadien ermitteln [3]. Befindet sich beispielsweise ein Apfel als Dielektrikum in einem hochfrequenten elektrischen Wechselfeld, so liegt dessen auf das Vakuum bezogene Dielektrizitätskonstante unter der eines Apfels mit geringerem Reifegrad, **Bild 2**. Gleichzeitig sinkt mit zunehmender Frequenz beim reiferen Apfel die Dielektrizitätskonstante stärker ab. Die Abhängigkeit der relativen Dielektrizitätskonstanten vom Reifegrad ist eine Folge des prozentualen Wassergehaltes der Frucht. Bekanntlich nimmt bei Obstfrüchten der Wassergehalt mit dem Reifegrad ab. Die genannten Stoffeigenschaften können auch für eine selektive Ernte oder für Klassierverfahren herangezogen werden. Beispiele dafür sind die Ernte von Erdbeeren und das Sortieren von Kirschen bei der Verarbeitung zu Cocktaillkirschen.



**Bild 2.** Die relative Dielektrizitätskonstante von Äpfeln in Abhängigkeit von der Frequenz und vom Reifezustand.

Eine weitere Methode zur Reifebestimmung mißt die Größe der Haltekräfte zwischen Frucht und Stiel [4]. Wie aus **Bild 3** zu entnehmen ist, werden die Haltekräfte bei den meisten Obstarten durch Bildung eines korkartigen Trenngewebes mit zunehmender Reife geringer.



**Bild 3.** Haltekraft von Sauerkirschen in Abhängigkeit von der Frucht reife.

## 2.2 Ernte, Zwischenlagerung und Transport

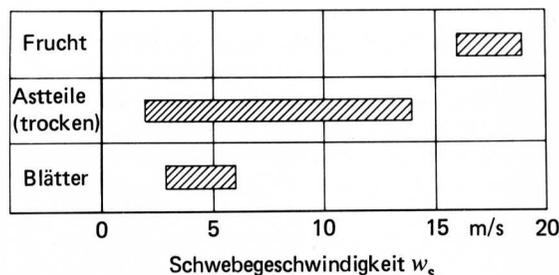
Beim Einsatz von Schüttelgeräten sind die Früchte beim Herabfallen durch den Baum, beim Aufprallen auf den Boden oder auf Auffangvorrichtungen und beim Weitertransport in Sammelbehältern Stoß- und Druckbeanspruchungen ausgesetzt. Wird dabei die zulässige Beanspruchung überschritten, treten Druckstellen, Zellerstörungen unter der Schale und Schalenrisse auf.

Zellerstörungen führen bei hartfleischigen Obstarten, wie Äpfeln, zu einer Verfärbung des Fruchtfleisches, die durch die Oxidation des freiwerdenden Zellsaftes hervorgerufen wird. Bei weichfleischigen Früchten, wie Kirschen, kommt es außerdem häufig zu Saftverlusten.

Neben den Druck- und Stoßbeanspruchungen sind beim Auffangen der fallenden Frucht und beim Sammeln in Transportbehältern die Bewegungswiderstände wichtige Stoffkennwerte. Fallversuche an Kirschen zeigten, daß die Fallgeschwindigkeit einer Frucht mit Stiel wesentlich größer ist als derjenigen ohne Stiel [5]. Kirschen mit Stiel sind dadurch beim Auffangen eher Beschädigungen und anderen Qualitätseinbußen ausgesetzt. Zum anderen ist die Kenntnis der Reibungswiderstände einer Frucht Voraussetzung für die Festlegung der Fangflächenneigung von schirmartigen Auffangvorrichtungen. Hier besteht nämlich die Gefahr einer Fruchtbeschädigung, wenn die herabfallenden Früchte auf solche treffen, die noch auf der Fangfläche liegen. Um dies zu vermeiden, muß dafür gesorgt werden, daß die Früchte zügig von der Fangfläche abrollen. Andererseits darf aber auch die Rollgeschwindigkeit der Frucht nicht zu groß werden, da sie sonst nach dem Abrollen beim Aufprall auf vorhandene Fördereinrichtungen beschädigt wird.

## 2.3 Reinigen

Zum Trennen bzw. Abscheiden der beim Schütteln mit abfallenden Blätter und abgestorbenen Holzteilchen müssen der Strömungswiderstand bzw. die Schwebegeschwindigkeit der einzelnen Stoffe bekannt sein. Durch die unterschiedlichen Schwebegeschwindigkeiten von Frucht und Verunreinigungen ist, wie **Bild 4** zeigt, beispielsweise eine Reinigung bei Kirschen im Windsichter möglich [6].



**Bild 4.** Schwebegeschwindigkeiten von Kirschen, Astteilen und Blättern.

## 2.4 Klassieren

Qualitätsmerkmale für das Klassieren der Obstfrüchte können neben den mechanischen Stoffeigenschaften, wie geometrische Abmessungen, Massen und Dichten auch optische, wie Farbe und Aussehen, oder elektrische Stoffeigenschaften sein. Für ein eventuelles Verfahren zum Klassieren nach dem Beschädigungsgrad kann das unterschiedliche Widerstandsverhalten der Frucht in einem Wechselstromkreis als Qualitätsnorm herangezogen werden. Der Wechselstromwiderstand von Früchten ändert sich mit der Frequenz des Wechselstromes. Des weiteren wird dieses frequenzabhängige Widerstandsverhalten auch noch vom Beschädigungsgrad der Frucht beeinflusst. Mit wachsendem Beschädigungsgrad der Frucht nimmt der rein kapazitive Widerstand ab. Damit kann aus dem Verhältnis von niederfrequentem zu hochfrequentem Wechselstromwiderstand der Frucht ein Maß für deren Beschädigungsgrad abgeleitet werden [7].

physikalische Stoffeigenschaften				chemische Stoffeigenschaften	biologische Stoffeigenschaften
mechanisch	thermisch	optisch	elektrisch		
geom. Abmessungen Masse Dichte Bewegungswiderst. Haltekraft Festigkeit	Wärmeausdehnung spez. Wärme Wärmeleitung Atmungswärme	Farbe Aussehen Reflexionsvermögen	Verhalten als Dielektrikum Widerstandsverh. bei Wechselstrom	Säuregehalt Zuckergehalt Wassergehalt Ausscheiden flüchtiger Aromastoffe Grad des Stärkeabbaues	Reifegrad Ausbildung eines Trenngewebes Atmungsintensität Geschmack Verhalten gegen bio-chem. Mittel

**Bild 5.** Stoffeigenschaften von Obstfrüchten – Kenndaten für die Qualitätserhaltung.

## 2.5 Lagerung

Sinn und Zweck einer langfristigen Lagerung ist die künstliche Verzögerung des Reifeprozesses und damit der Genußreife durch entsprechende Lagerbedingungen. Ausschlaggebend dafür sind von seiten der Frucht ihre thermischen, chemischen und biologischen Stoffeigenschaften. Wichtige thermische Stoffeigenschaften für die Lagerung bzw. für die Qualitätserhaltung sind die Wärmeleitfähigkeit, die spezifische Wärme und die Atmungswärme der eingelagerten Früchte. Von seiten der chemischen und biologischen Stoffeigenschaften sind der Abgabeverlauf von flüchtigen Aromastoffen und die Atmungsintensität notwendige Kennwerte. Flüchtige Aromastoffe, die von den lagernden Früchten gebildet und ausgeschieden werden, steigern die Atmungsintensität der Früchte. Dadurch wird ihre Reife gefördert und die Schalenbräune der Früchte beschleunigt.

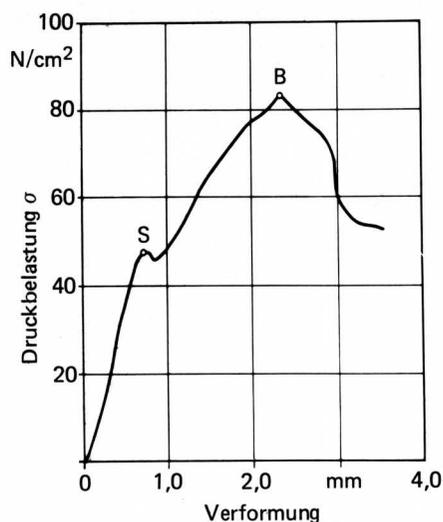
In **Bild 5** sind einige wichtige Stoffeigenschaften von Obstfrüchten zusammengefaßt. Einschränkend muß dazu gesagt werden, daß diese Zusammenstellung keinen Anspruch auf Vollständigkeit erhebt.

## 3. Obst aus stoffkundlicher Sicht

Bei der Erforschung der biologisch-technischen Eigenschaften von Obstfrüchten müssen neben den physiologischen Vorgängen auch Kenntnisse über die Struktur und den Aufbau dieser landwirtschaftlichen Rohprodukte vorausgesetzt werden. Im Gegensatz zu den Metallen und Kunststoffen, die sich aus Kristalliten bzw. aus gleichartigen Makromolekülketten mit unterschiedlicher Anordnung – teilkristallin oder amorph – zusammensetzen, bestehen pflanzliche Produkte aus Zellen. Aufgrund ganz spezieller Aufgaben haben sich die Zellen differenziert und zu Zellverbänden, den Geweben, zusammengeschlossen. Obstfrüchte sind natürliche, organische, porige Festkörper mit einem inhomogenen Aufbau und einem ausgeprägten anisotropen Verhalten. Zudem sind die Obstfrüchte andauernden biochemischen Veränderungen unterworfen. Hinzu kommt noch, daß auf sie schon beim Wachstum verschiedene Faktoren einwirken, die nicht ohne Einfluß auf die biologisch-technischen Stoffeigenschaften bleiben. Gemeint sind der Boden, die Lage, das Klima, der Standraum sowie die Kultur- und Pflegemaßnahmen.

Der Aufbau und die genannten Einflußgrößen erschweren das eindeutige Festlegen der Stoffeigenschaften. Sie variieren von Frucht zu Frucht. Während bei Werkstoffen in erster Linie die Belastbarkeit des Materials hinsichtlich der Verwendung als Konstruktionselement interessiert, steht bei den Obstfrüchten das Widerstandsverhalten gegen Beschädigungen und Verletzungen durch äußere Einwirkungen hinsichtlich der Qualitätserhaltung im Vordergrund.

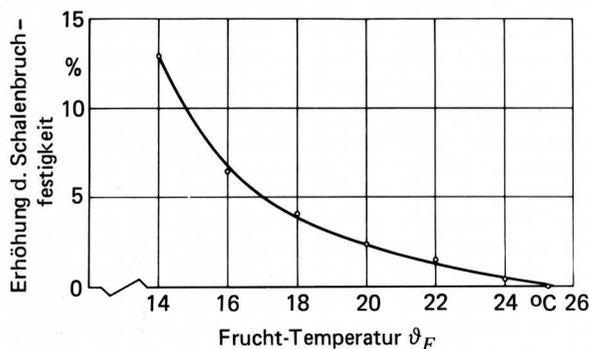
Das mechanische Verformungsverhalten dieser Früchte ist eng mit den rheologischen Begriffen Verformung und Fließen verbunden. Obstfrüchte werden vorwiegend Druckbeanspruchungen ausgesetzt, entweder bei gegenseitiger Berührung oder bei Druck gegen ebene Flächen, beispielsweise in Sammel- oder Transportbehältern. Um Aufschlüsse über das Verformungsverhalten von Obstfrüchten zu erhalten, wendet man vorwiegend Verfahren an, die von den Festigkeitsprüfungen der Werkstoffe her bekannt sind. Üblich ist die Aufnahme eines Kraft-Verformungs-Diagrammes der Frucht bei Druckbeanspruchung durch einen zylindrischen Stempel. Bei vielen Obstarten ist der Kraft-Verformungs-Verlauf bzw. der Spannungs-Verformungs-Verlauf nach einem mehr oder weniger linearen Anstieg durch einen auffälligen Absatz gekennzeichnet, **Bild 6**. Dieser Absatz – in **Bild 6** mit S bezeichnet – kann mit der bei elastischen Werkstoffen bekannten Streckgrenze verglichen werden. Man bezeichnet ihn in Anlehnung daran als biologische Streckgrenze. Die biologische Streckgrenze ist ein Maß für die Fruchtfleischfestigkeit. Sie zeigt den Beginn der ersten Zellbrüche im Fruchtfleisch und damit das Eintreten einer Beschädigung an. Wie erwähnt, ist die Fruchtfleischverfärbung bei hartfleischigen Obstarten ein sichtbares Zeichen dafür. Bei weiterer Belastung wird die Fruchtschale durchstoßen. Es kommt zum Schalenbruch. Hinsichtlich der Qualitätserhaltung ist die Schalenbruchfestigkeit aber nur ein sekundärer Wert, da ja schon vorher Fruchtfleischverletzungen auftraten.



**Bild 6.** Spannungs-Verformungs-Diagramm von Äpfeln bei Druckbelastung.

S = biologische Streckgrenze  
B = Schalenbruch

Bei weichfleischigen Früchten, wie Kirschen, kann aber meistens keine biologische Streckgrenze ausgemacht werden. In diesen Fällen wird dann die Schalenbruchfestigkeit als zulässiger Grenzwert herangezogen. Einfluß auf diese Kenngrößen und auf das Verformungsverhalten haben auch die Temperatur und die Verformungsgeschwindigkeit. Eine Temperaturabsenkung steigert die Festigkeit der Frucht [6]. Bei Sauerkirschen, zum Beispiel, nimmt die Schalenbruchfestigkeit um etwa 13 % zu, wenn die Fruchttemperatur statt 25 °C nur 14 °C beträgt, **Bild 7**. Dies ist ein Grund, weshalb bei dieser Fruchtart kurz vor dem Abernten der Baumraum mit Wasser besprüht bzw. der Transport in gekühltem Wasser vorgenommen werden sollte [8]. Durch die damit verbundene Temperaturabsenkung wird die Festigkeit erhöht und die Anfälligkeit für Beschädigungen gemindert. Untersuchungen über das Verformungsverhalten von Äpfeln bei Stoßbeanspruchungen, also bei sehr hohen Verformungsgeschwindigkeiten, zeigten, daß beispielsweise die Verformung bis zum Eintreten von Zellzerstörungen in etwa der Verformung bei der quasi-statischen Druckbelastung entsprach. Die Verformungsenergie, die bis zum Zellbruch aufgebracht werden kann, ist aber bei der Stoßbelastung fast doppelt so hoch [9, 10].



**Bild 7.** Schalenbruchfestigkeit von Sauerkirschen in Abhängigkeit von der Fruchttemperatur.

Mit den genannten Festigkeitskennwerten lassen sich also wichtige Hinweise für qualitätserhaltende Maßnahmen ableiten. Beispiele dafür sind die Berechnung der zulässigen Fallhöhen der Früchte bei einem mechanischen Ernteverfahren, die konstruktive Ausbildung von Auffangvorrichtungen oder die Auswahl eines geeigneten Auffangmaterials.

#### 4. Zusammenfassung

Ganz allgemein ist zu bemerken, daß für die Entwicklung und Konstruktion von Maschinen und Anlagen im Obstbau die gegenseitigen Voraussetzungen von Rohprodukt und Maschine bekannt sein sollten. Bei einer maschinellen Ernte sollte das Erntegut derart geborgen werden können, daß vor dem weiteren Verarbeiten eine Qualitätserhaltung gewährleistet ist. Eine durch Maschinen oder Anlagen bedingte Beanspruchung der Frucht darf die Grenzen nicht überschreiten, von denen aus eine mittelbare oder unmittelbare Qualitätsverschlechterung nicht mehr auszuschließen ist. Anforderungen von seiten der Maschine an das Rohprodukt sind gleichzeitiger Reifezeitpunkt und in etwa gleichmäßige biologisch-technische Stoffeigenschaften. Eine Lösung dieser Probleme ist aber nicht nur Aufgabe von Ingenieuren, sondern auch von Pflanzzüchtern und Biologen.

#### Schrifttum

Bücher sind durch ● gekennzeichnet

- [ 1 ] Moser, E.: Verfahrenstechnik in Intensivkulturen Aufgaben und Bedeutung für Industrie und Wissenschaft. Grndl. Landtechnik Bd. 24 (1974) Nr. 3, S. 83/86.
- [ 2 ] Bittner, D.R. u. K.H. Morris: Optical properties of selected fruits vs maturity. Trans. ASAE Bd. 11 (1968) Nr. 4, S. 534/36.
- [ 3 ] Thompson, D.R. u. G.L. Zachariah: Dielectric theory and bioelectrical measurements (Part. II Experimental) Trans. ASAE Bd. 14 (1971) Nr. 2, S. 214/15.
- [ 4 ] ●Hardenberg, D.W. von: Die Mechanisierung der Ernte von Stein- und Strauchbeerenobst. KTBL-Berichte ü. Landtechnik Bd. 115 (1967).
- [ 5 ] Tennes, B.R., J.H. Levin u. B.A. Stout: Sweet cherry properties useful in harvesting and handling equipment design. Trans. ASAE Bd. 12 (1969) Nr. 4, S. 710/14.
- [ 6 ] Moser, E.: Physikalische Eigenschaften von Kirschen für die mechanische Ernte, die Zwischenlagerung und den Transport in Wasser. (In Vorbereitung)
- [ 7 ] ●Mohsenin, N.N.: Physical properties of plant and animal materials Bd. 1 New York, London und Paris: Gordon and Breach 1970.
- [ 8 ] Tennes, B.D., R.D. Diener, J.H. Levin u. R.T. Whittenberger: Firmness and pitter loss studies of tart cherries. Trans. ASAE Bd. 13 (1970) Nr. 6, S. 810/13.
- [ 9 ] Göhlich, H. u. N.N. Mohsenin: Untersuchungen über mechanische Eigenschaften von Obst unter besonderer Berücksichtigung einer maschinellen Ernte. Landt. Forschung Bd. 12 (1962) Nr. 4, S. 103/107.
- [ 10 ] 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. J. Agric. Engng. Res. Bd. 7 (1962) Nr. 4, S. 300/15.