

- TERWINDT, J. H. J.: Sand waves in the southern bight of the North Sea. *Marine Geol.* 10, 1971, p. 51–67.
- TESCH, P.: Duinstudies. *Tijdschr. Kon. Ned. Aardr. Gen.* XXXVII–XLVII. 1920–1930.
- TROLL, C.: Die geographische Landschaft und ihre Erforschung. *Studium Generale* 3. H. 4/5, p. 163–181, 1950.
- UHLIG, H.: *Physische Geografie in: Westermann's Lexikon der Geographie.* 1967.
- VEEN, A. W. L.: Schudden voor het gebruik, Rede bij ambtsaanvaarding Groningen, 1976, 28 p.
- VEEN, J. VAN: Onderzoekingen in de Hoofden in verband met de gesteldheid van de Nederlandse kust. *Diss. Leiden.* 1936.
- VEER, A. A. DE: Fysische Geografie en landschapsfysiognomie. *Geogr. Tijdschr. N.R. XI.* 1977, p. 214–221.
- VERSTAPPEN, H. TH.: Djakarta Bay. *Thesis Utrecht.* 1953.
- : *Geomorphology and Environment.* Rede bij ambtsaanvaarding I.T.C., Delft, 1968, 23 p.
- : Introduction to the ITC systems of geomorphological survey. *Geogr. Tijdschr. IV,* 1970, p. 85–91.
- VERSTAPPEN, H. TH. & R. A. VAN ZUIDAM: ITC system of geomorphological survey. *ITC textbook of photo-interpretation Chapt. VII.2.* 1968.
- VINK, A. P. A.: Bijdrage tot de kennis van loess en dekzanden i.h.bijz. van de Zuidoostelijke Veluwe. *Diss. Wageningen.* 1949.
- : *Landschap, bodem, mens.* Rede bij ambtsaanvaarding G.U. Amsterdam, Leiden, 1966, 39 p.
- : The role of physical geography in integrated surveys of developing countries. *T.E.S.G.,* 59, 1968, p. 294–312.
- : *Land Use in advancing Agriculture.* Berlin – Heidelberg – New York, 1975.
- VINK, T.: *De Lekstreek.* *Diss. Utrecht.* 1926.
- VISSCHER J.: *Das Hochmoor von Südost Drente.* *Diss. Utrecht.* 1931.
- VLAM, A. W.: Historisch-morfologisch onderzoek van enige Zeeuwsche eilanden T.K.N.A.G., LX, 1943, p. 1–101.
- WAART, J. P. DE: Reconstruction of the Cenozoic evolution of a polygenetic landscape near Cannes S.E. France. *Thesis Amsterdam.* 1971.
- WEISS, E. E. J.: *Landschap en ecologie.* *Geogr. Tijdschr. N.R. XI.* 1977, p. 195–205.
- WIGGERS, A. J.: *De wording van het Noordoostpoldergebied.* *Diss. Amsterdam.* 1955.
- : *De ontwikkeling in de relatie Fysische Geografie – Kwartaargeologie.* *Geogr. Tijdschr. N.R. XI,* 1977, p. 183–188.
- ZONNEVELD, I. S.: *Der Biesbosch in der Provinz Noord Brabant. Die Landschaftsentwicklung und Planungsaufgaben in einem Süßwasserzeiteidelta.* *Erdkunde XI,* 1957, p. 223–232.
- : *De Brabantse Biesbosch. Een Studie van een zoetwater getijdendelta.* *Bodemk. Studies no. 4. St. Bodemk. Wageningen,* 1960.
- : *Toegepaste Fysische Geografie.* *Geogr. Tijdschr. N.R. XI.* 1977, p. 224–232.
- ZONNEVELD, J. I. S.: *Het Kwartair van het Peel-gebied en de naaste omgeving.* *Med. Geol. Stichting Serie C VI,* no. 3. 1947.
- : *Waarnemingen langs de kust van Suriname.* *Tijdsch. Kon. Ned. Aardr. Gen. LXXI,* 1954, p. 18–31.
- : *Lithostratigrafische eenheden in het Nederlandse Pleistocene.* *Meded. Geol. Stichting N.S. 12,* 1958a, p. 31–64.
- : *Aardrijk en Aardrijkskunde.* Rede bij ambtsaanvaarding Utrecht. Groningen, 1958b, 22 p.
- : *Accumulation and erosion in the Lower Rhine area.* *Rep. of the VI th Int. Congres on Quaternary. Warsaw, Vol. III,* 1963, p. 403–410.
- : *Het landschap en de geografie.* *Geogr. Tijdschr. V,* 1971, p. 12–24.
- : *The terraces of the Maas (and the Rhine) downstream of Maastricht. L'évolution quaternaire des bassins fluviaux de la Mer du Nord méridionale.* *Luik,* 1974, p. 133–158.
- : *Some problems of tropical geomorphology.* *Zeitschr. f. Geom. N.F. 19,* 1975, p. 377–392.

## NEUERE VERSUCHE DER BESTIMMUNG DER PRIMÄRPRODUKTION DER WÄLDER UND FORSTLICHER ERTRAGSPOTENTIALE

5 Abbildungen und 3 Tabellen

HANS-WILHELM WINDHORST

*Summary:* Recent attempts at evaluating the primary productivity of forests and at estimating their economic potential

The paper shows that the results of the International Biological Program concerning the primary productivity of the biosphere have not found appropriate acknowledgement so far in geographical research. The author demonstrates that it is necessary to get a better insight into these problems not only for exact estimations of the possibilities of wood production in the specific forest formations but also for securing the food supplies especially in the developing countries. After explaining the various methods of measuring the primary productivity, several models of biologists, silviculturists, and geographers are compared. It is shown that it is almost impossible to compare these models

in detail, as they are constructed from different points of view and are based on different schemes for distinguishing forest formations. Nevertheless an attempt is made to develop a new model estimating the potential productivity of the forests of the earth. From this synopsis it can be seen that the production potential of the tropical rain forest is often over-estimated. This is especially dangerous because of the specific ecological situation of the humid tropics. If the developed countries do not bring in their knowledge in using these forests without destroying the ecosystem, far-reaching ecological as well as economic problems have to be expected. Selective exploitation as it is practiced now will have the effect that by the year 2000 no more primary forests in the tropics will be available for timber production.

Die Diskussion um die Tragfähigkeit der Erde, die Begrenztheit der fossilen und die eingeschränkte Regenerierbarkeit der pflanzlichen Rohstoffe haben weiten Bevölkerungskreisen verdeutlicht, daß es notwendig ist, sich mit Fragen der Belastbarkeit und Leistungsfähigkeit des Ökosystems Erde und seiner Subsysteme eingehend zu beschäftigen. Dabei kommt der Frage, wie groß die Primärproduktion auf der Erde ist, eine vorrangige Bedeutung zu. LIETH u. BOX (1972, S. 37) drücken dies in prägnanter Kürze aus, wenn sie sagen, daß die Zukunft der Menschheit von einer vernünftigen Nutzung der natürlichen Ressourcen abhängen wird. Dies verlangt eine sinnvolle Planung, welche wiederum auf praktikable Modelle angewiesen ist, die in weltweitem Maßstab die räumliche Verteilung der Primärproduktion und ihre Abhängigkeit von den sie steuernden Faktoren erkennen lassen. Der Lösung dieser Aufgaben hat man sich von seiten der Biologie vorrangig im Rahmen des IBP (International Biological Program) zugewandt. Die dort gefundenen Ergebnisse werden von weitreichender Konsequenz für zukünftige Planungen sein. Überraschenderweise haben die Resultate dieser weltweiten Forschungsprojekte in die Geographie bislang kaum Eingang gefunden.

Ziel dieses Beitrages ist es, neuere Versuche der Bestimmung der Primärproduktion im Hinblick auf ihre Aussagen zum Produktionspotential von Waldbeständen durchzumustern und schließlich zu einer Abschätzung des Ertragspotentials der Wälder der Erde zu gelangen. Hierin ist eine wichtige Aufgabe zu sehen, weil die Holzreserven der Erde begrenzt sind und in vielen Gebieten eine Übernutzung der Wälder bzw. ein Raubbau vorliegt (vor allem in den tropischen Regenwäldern und borealen Nadelwäldern). Dies stellt nicht nur ein Problem im Hinblick auf die Holzversorgung dar, sondern auch bezüglich einer gesicherten Nahrungsmittelversorgung (vgl. z. B. BRÜNING 1974, 1977). Die Kenntnis der Produktionsleistung bzw. des Ertragspotentials der einzelnen Waldformationsklassen ist notwendig für:

- die Abschätzung der Produktionsmöglichkeiten in den Bestandsformationen der Erde (vgl. WINDHORST 1978),
- Leistungsvergleiche,
- Planungsmaßnahmen bei zurückgehender Holzversorgung und Verknappung der Nahrungsreserven,
- Bestimmung der Mindestwaldflächen zur Sicherung der vielfältigen Aufgaben der Wälder (produktive und protektive Funktionen).

## I. Methoden der Bestimmung der Primärproduktion

Grundsätzlich kann man zwischen zwei Verfahren unterscheiden:

- der direkten Bestimmung der Primärproduktion durch unterschiedliche Meßverfahren (allometrische Verfahren),

- der indirekten Bestimmung mit Hilfe von Parametern, die Einfluß auf die Höhe der Primärproduktion haben (z. B. Temperatur, Niederschlag, Evapotranspiration).

### 1. Allometrische Verfahren

Einige dieser Verfahren sollen hier in kurzgefaßter Form vorgestellt werden, detaillierte Angaben finden sich bei LIETH (1975c, S. 237–263), WHITTAKER a. MARKS (1975, S. 55–118) und WHITTAKER a. WOODWELL (1971, S. 159–175).

Bei den direkten Meßverfahren ist zu trennen nach (vgl. ART a. MARKS 1972):

- a) *mean tree technique* (Durchschnittsbaum-Methode): Die Produktionsleistung eines Waldbestandes und seine Biomasse werden nach einem Durchschnittsbaum geschätzt. Der Baum wird gefällt und eingehend analysiert. Diese Methode findet vorzugsweise bei gleichaltrigen Beständen Verwendung (vgl. z. B. OVINGTON u. a. 1967, WHITTAKER a. WOODWELL 1971).
- b) *stratified tree technique* (klassifizierende Einzelbaummethode): In ungleichaltrigen Beständen ist es notwendig, die Bäume in Klassen mit bestimmten Brusthöhendurchmessern einzuteilen und danach aus jeder Klasse einen Einzelbaum auszuwählen und zu untersuchen.
- c) *regression estimation technique* (andere Bezeichnungen sind: *dimension analysis of woody plants* [WHITTAKER, WOODWELL] und *allometry* [KIRA, SATOO]): Ziel dieses Verfahrens ist es, Korrelationen zwischen einfach zu messenden Größen (z. B. Brusthöhendurchmesser) und dem schwierig zu bestimmenden Zuwachs zu ermitteln. Das bislang wohl am weitesten gediehene Bestimmungsverfahren wurde am „Brookhaven National Laboratory“ in den USA entwickelt (WHITTAKER a. WOODWELL 1971).
- d) *unit area method* (Beispielflächen-Methoden): Hierbei werden entweder alle Individuen in zufällig ausgewählten kleinen Teilflächen geerntet, deren Zuwachs bestimmt und daraus auf den Gesamtzuwachs geschlossen (OVINGTON u. a. 1967) oder auf einer größeren Fläche werden alle Baumindividuen gefällt und analysiert und aus den Ergebnissen dann der Gesamtzuwachs für eine größere Vegetationseinheit geschätzt (SATOO 1970).

### 2. Sonstige Meßverfahren

Neben den allometrischen Verfahren bedient man sich noch anderer Methoden, um die Primärproduktion zu bestimmen bzw. abzuschätzen. Sie können hier nicht eingehend vorgestellt werden. Die wichtigsten Größen, die man in Relation zur produzierten Phytomasse setzt, sind:

- Beschirmungsgrad,
- Stammgrundfläche,

- Blattflächenindex,
- Gasaustausch (Cuvetten-Messungen),
- mikroklimatische Messungen (z. B. CO<sub>2</sub>-Anreicherung in bestimmten Schichten des Waldbestandes),
- Bodenatmung,
- Streuproduktion.

Weitere Hinweise zu den einzelnen Methoden finden sich in ART a. MARKS 1972, BRÜNING 1971, MITSCHERLICH 1975, WHITTAKER a. MARKS 1975 und WHITTAKER a. WOODWELL 1971.

3. Indirekte Bestimmung über Umweltparameter

Für die Fragestellungen der Wirtschaftsgeographie sind die unter I. 1. und 2. genannten Methoden wenig praktikabel, da sie umfangreiche Einrichtungen und zeitraubende Messungen voraussetzen. Im Hinblick auf die in der Einleitung genannten Zielsetzungen der Bestimmung der Primärproduktion sind Verfahren und Modelle vorzuziehen, die eine Korrelation zwischen dem Zuwachs an Phytomasse und den Umweltfaktoren beinhalten. Ist es möglich, Korrelationen herzustellen zu solchen Faktoren, die weltweit in ausreichender Dichte gemessen werden, lassen sich flächenbedeckende Karten konstruieren, die die regionale Verbreitung der Primärproduktion erfassen.

PATERSON (1956) hat als erster ein entsprechendes funktionales Modell vorgelegt. Sein CVP-Index berechnet sich aus folgender Formel (vgl. auch Abb. 1):

$$CVP = \frac{T_v \times P \times G \times E}{T_a \times 12 \times 100} \quad (1)$$

wobei:

- T<sub>v</sub> = die mittlere Temperatur des wärmsten Monats (°C)
- T<sub>a</sub> = die Spanne zwischen mittlerer Temperatur des wärmsten und kältesten Monats (°C)

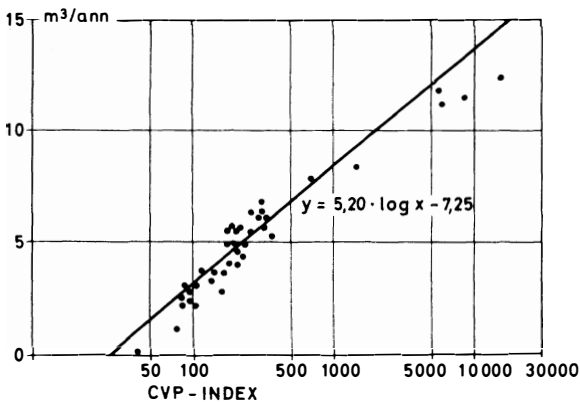


Abb. 1: Korrelation zwischen Rohholzzuwachs (m<sup>3</sup>/ha Jahr) und CVP-Index (nach: PATERSON 1956) (Gleichung 1)  
Correlation between increase of raw timber growth (m<sup>3</sup>/ha per year) and CVP Index (after: PATERSON 1956) (equation 1)

- P = der mittlere Jahresniederschlag in mm
- G = Vegetationszeit in Monaten; zur Vegetationszeit werden humide Monate gezählt, die eine Mindestdurchschnittstemperatur von + 3 °C erreichen. Dazu müssen mindestens zwei Monate der Vegetationszeit je eine Durchschnittstemperatur von + 10 °C halten. Die humiden Monate werden nach dem Ariditätsindex von LAUER und DE MARTONNE bestimmt:

$$i = \frac{12 \times P}{t + 10}$$

- E = der Evapotranspirationsreduzent gründet sich auf MILANKOWITSCHS Bestimmung der Einstrahlung bei Abwesenheit der Atmosphäre:

$$E = \frac{100 \times R_p}{R_s}$$

- wobei R<sub>p</sub> = Einstrahlung am Pol
- R<sub>s</sub> = Einstrahlung des zu berechnenden Ortes.

WECK (1959, S. 30) hat sich dafür ausgesprochen, das Produktionspotential nicht durch den CVP-Index direkt auszudrücken, sondern in t-Trockensubstanz anzugeben. Dies ist möglich, weil eine enge Korrelation zwischen dem CVP-Index und dem Zuwachs in t-Trockensubstanz pro Hektar besteht. WECK hat außerdem vorgeschlagen, den CVP-Index entsprechend den regional vorherrschenden Bedingungen zu modifizieren. BRÜNING (1971, S. 226) ist der Ansicht, daß der CVP-Index für globale Untersuchungen ungünstig ist, weil die Kovarianz zwischen den berücksichtigten Faktoren das jeweilige Ergebnis ungünstig beeinflusst.

In der Folgezeit wurden weitere funktionale Modelle entwickelt. LIETH hat die Primärproduktion durch Korrelation mit der potentiellen Evapotranspiration (1961) und dem Jahresniederschlag (1962) bestimmt, ROSENZWEIG (1968) durch Korrelation mit der tatsächlichen Evapotranspiration (zit. nach LIETH a. BOX 1972).

LIETH (1961):  $P = 1,5 PE - 100 \quad (2a)$

$P = 1,25 PE - 100 \quad (2b)$

- wobei: P = NPP in g/m<sup>2</sup>
- PE = potentielle Evapotranspiration in mm/Jahr

LIETH (1962):  $P = Y - 20 \quad (3)$

- wobei: P = oberirdische NPP in g/m<sup>2</sup>
- Y = Niederschlag in mm/Jahr

ROSENZWEIG (1968):  $\log_{10} P = 1,66 \log_{10} E - 1,66$  (4)  
 $P =$  oberirdische NPP in  $g/m^2$   
 $E =$  tatsächliche Evapotranspiration in  $mm/Jahr$

Die graphische Darstellung der Formeln 2a-4 zeigt Abb. 2. Weltkarten auf der Basis dieser Gleichungen lagen zunächst nicht vor. LIETH u. BOX (1972) haben später für die Formel von ROSENZWEIG eine Computerkarte erstellt, die jedoch in den feuchten Tropen zu hohe Produktionswerte aufweist, während in den trockenen und kalten Gebieten die Werte entweder mit den gemessenen übereinstimmen oder zu niedrig sind. Da im Rahmen des IBP in zunehmender Zahl Produktionsbestimmungen in unterschiedlichen Bestandsformationen der Erde vorgenommen wurden, konnte die Entwicklung verbesserter funktionaler Modelle und darauf basierender Weltkarten in Angriff genommen werden. Dieser Aufgabe widmeten sich insbesondere LIETH und BOX. Im Jahre 1971 hat LIETH sein *Miami-Model* vorgelegt, das die Primärproduktion auf der Grundlage der jährlichen Durchschnittstemperatur und des Jahresniederschlags bestimmt:

$$P = \frac{3000}{1 + e^{1,315 - 0,119 x}} \quad (5)$$

wobei:  $P =$  NPP in  $g/m^2$   
 $e =$  Basis des natürlichen Logarithmus  
 $x =$  durchschnittliche Jahrestemperatur

$$P = 3000 (1 - e^{-0,000664 x}) \quad (6)$$

wobei:  $x =$  Jahresniederschlag in  $mm$

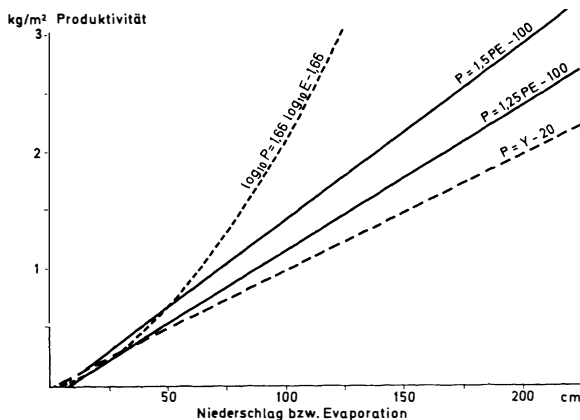


Abb. 2: Graphische Darstellung der Produktionsmodelle von LIETH (1961, 1962) und ROSENZWEIG (1968) (Gleichungen 2a, 2b, 3, 4)  
 Graphic presentation of the production models by LIETH (1961, 1962) and ROSENZWEIG (1962) (equations 2a, 2b, 3, 4)

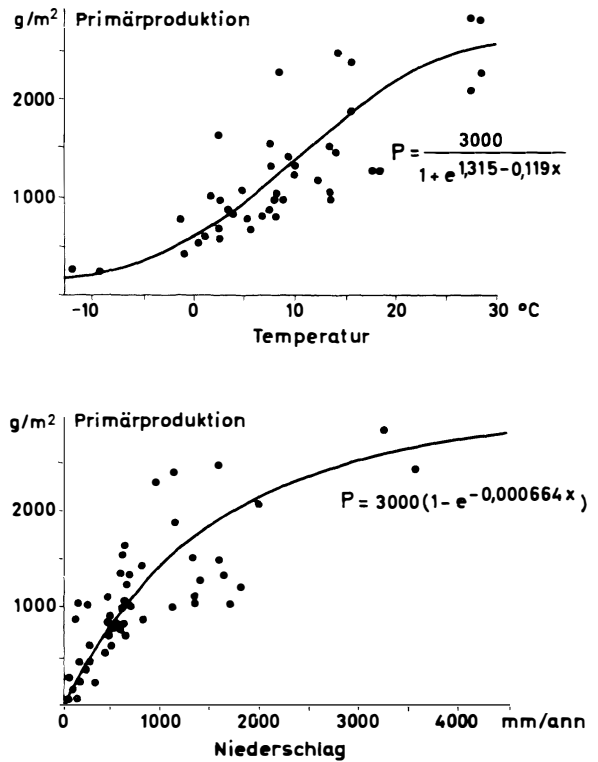


Abb. 3: Korrelation zwischen Primärproduktion und durchschnittlicher Jahrestemperatur (Gleichung 5) bzw. durchschnittlichem Jahresniederschlag (Gleichung 6) (nach: LIETH 1971)

Correlation between primary production and mean annual temperature (equation 5) or mean annual precipitation (equation 6) (after LIETH 1971)

Die graphische Darstellung der Gleichungen zeigt Abb. 3. Grundlage der Formeln sind 52 analysierte Stationen, für die Produktionsbestimmungen bekannt waren. Danach wurden etwa 1000 Klimastationen ausgewählt und für sie nach den Formeln die Primärproduktion bestimmt. An einem Punkt wurde jeweils der niedrigste Wert eingesetzt, der sich aus der Berechnung nach den Formeln (5) und (6) ergab. Die Resultate wurden in ein Computerprogramm eingegeben, das dann die Weltkarte ausdrückte (vgl. LIETH 1975a, S. 238-250).

Ein weiteres Produktionsmodell stellten LIETH u. BOX (1972) auf dem Internationalen Geographentag in Montreal vor. Es wird in der Literatur als *Montreal Model* oder *C. W. THORNTHWAITE Memorial Model* geführt. LIETH u. BOX setzten die Primärproduktion in Relation zur effektiven jährlichen Evapotranspiration. Grundlage der globalen Verteilung der Evapotranspiration ist GEIGERS (1965) Karte. Für die bereits beim *Miami Model* verwandten Stationen wurde dann die Korrelation zwischen der Primärproduktion

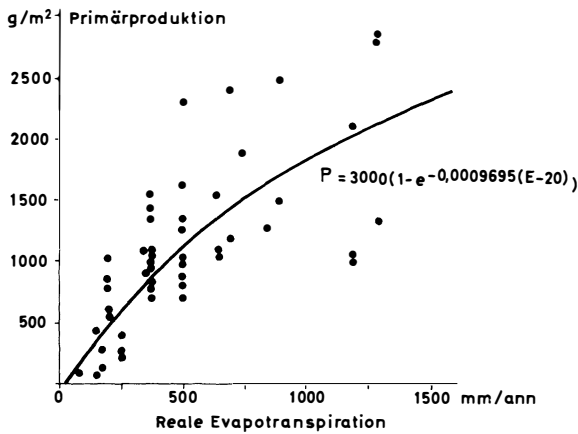


Abb. 4: Korrelation zwischen Primärproduktion und realer Evapotranspiration (Gleichung 7) (nach: LIETH und BOX 1972)

Correlation between primary production and real evapotranspiration (equation 7) (after LIETH and BOX 1972)

und der tatsächlichen Evapotranspiration bestimmt. Dabei ergab sich die Formel:

$$P = 3000 (1 - e^{-0,0009696 (E-20)}) \quad (7)$$

wobei: P = NPP in g/m<sup>2</sup>

e = Basis des natürlichen Logarithmus

E = jährliche effektive Evapotranspiration in mm

Die graphische Darstellung der Abhängigkeit zeigt Abb. 4. Für 850 Punkte wurde dann weltweit auf der Basis der Gleichung (7) die Primärproduktion bestimmt. Mit Hilfe des schon beim *Miami Model* eingesetzten SYMAP-Programms konnte darauf aufbauend eine Weltkarte erstellt werden.

Formel (7) erfüllt zwei Forderungen, die man an ein funktionales Modell zur Bestimmung der Primärproduktion stellen muß (vgl. LIETH u. BOX 1972, S. 43), ausgesprochen gut:

- die Kurve beginnt sehr nahe bei 0,
- die Kurve nähert sich einem Grenzwert, überschreitet ihn jedoch nicht.

Von LIETH liegen noch zwei weitere Weltkarten der Primärproduktion vor. Einmal ist es eine Computersimulation seiner 1964 veröffentlichten Karte der Kohlenstoffbindung (*Innsbruck Productivity Map*). Dazu kommt eine Karte, die sich aus der Korrelation zwischen Länge der Vegetationszeit und der Primärproduktion ergibt. Grundlage ist folgende Gleichung:

$$P = -1,57 + 0,0517 x \quad (8)$$

wobei: P = NPP in g/m<sup>2</sup>

x = Anzahl der Tage mit Photosynthese

Die Formel wurde auf der Basis von Produktionsmessungen im Osten der USA von READER (1973) entwickelt. Im globalen Maßstab bringt sie jedoch sehr viel geringere Gesamtwerte als die anderen Modelle.

RYABCHIKOV (1968) hat eine Formel vorgelegt, die eine Korrelation zwischen der Primärproduktion und dem hydrothermalen Ertragspotential herstellt:

$$K_p = \frac{W \cdot T_v}{36 R} \quad (9)$$

wobei: K<sub>p</sub> = Produktionspotential

W = durchschnittlicher jährlicher effektiver Niederschlag in mm (= tatsächlicher Niederschlag - Oberflächenabfluß)

T<sub>v</sub> = Wachstumszeit in 10-Tage Perioden (36 10-Tage Perioden = 1 Jahr)

R = durchschnittliche jährliche Strahlungsmenge in kcal/cm<sup>2</sup>

Abb. 5 zeigt die enge Korrelation zwischen Produktionspotential und der realen Primärproduktion. BAZILEVIC, RODIN und ROZOV (1971, 1975) dürften bei ihren Abschätzungen und der entwickelten Weltkarte auf diese Formel zurückgegriffen haben.

## II. Bestimmungen der Primärproduktion der Wälder

Die im folgenden analysierten Schätzungen der Primärproduktion entstammen unterschiedlichen Wissenschaftsbereichen. Von seiten der Biologie wurde angestrebt, die Primärproduktion der Pflanzendecke möglichst vollständig zu erfassen, d. h. für alle Pflanzenformationen einschließlich des Kulturlandes; die Forstwissenschaftler schränken sich zumeist auf die oberirdische Primärproduktion der Wälder ein, in der Waldwirtschaftsgeographie galt das besondere Augen-

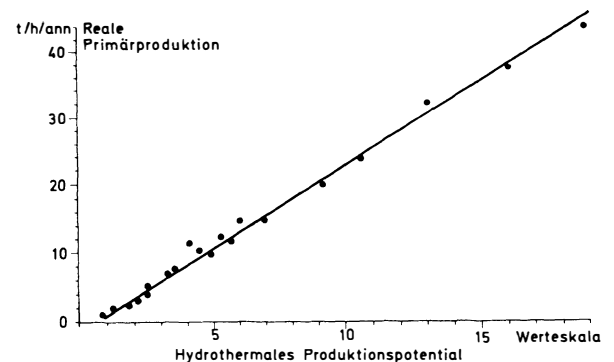


Abb. 5: Korrelation zwischen Primärproduktion und hydrothermalem Produktionspotential (Gleichung 9) (nach: RYABCHIKOV 1968)

Correlation between primary production and hydrothermal potential (equation 9) (after RYABCHIKOV 1968)

Tabelle 1: Bestimmungen der Primärproduktion und der Biomasse in terrestrischen Ökosystemen (unter besonderer Berücksichtigung der Wälder)

Autor	Jahr	NPP gesamt		NPP Wald		Biomasse gesamt		Biomasse Wald		Landfläche 10 <sup>6</sup> qkm	Waldfläche 10 <sup>6</sup> qkm
		t/ha	10 <sup>9</sup> t	t/ha	10 <sup>9</sup> t	t/ha	10 <sup>9</sup> t	t/ha	10 <sup>9</sup> t		
<b>BIOLOGIE</b>											
JUNGE u. CZEPLAK (= LIETH	1968 1964)	6,85	96,0	–	–	–	–	–	–	140,0	–
WHITTAKER u. WOODWELL	1969	7,3	108,0	14,6	73,0	125,0	1852	336,0	1680	149,0	50,0
BAZILEVIC, RODIN u. ROZOV	1970	12,8	171,5	16,8	84,1	160,9	2402,6	392,0	1960	149,3	50,0
LIETH	1972	6,7	100,2	12,9	64,5	–	–	–	–	149,0	50,0
WHITTAKER u. LIKENS	1973	7,2	107,4	14,4	69,7	123,0	1835	340,2	1650	149,0	48,5
LIETH	1975	6,7	100,2	12,9	64,5	–	–	–	–	149,0	50,0
LIETH	1975	8,2	121,7	16,3	81,6	–	–	–	–	149,0	50,0
WHITTAKER u. LIKENS	1975	7,82	117,5	15,2	73,9	122,0	1837	340,2	1650	149,0	48,5
Box (Innsbr. Modell, = LIETH	1972)	7,48	104,9	–	–	–	–	–	–	140,2	–
Box (Miami Modell, = LIETH	1972)	8,88	124,5	–	–	–	–	–	–	140,2	–
LIETH u. BOX (Thorntw. Mem. Modell)	1975	8,46	118,7	–	–	–	–	–	–	140,3	–
OLSON	1975	8,25	122,1	16,3	78,2	–	–	–	–	148,0	48,0
<b>FORSTWIRTSCHAFT</b>											
WECK	1961	–	–	1,78 <sup>1)</sup>	4,43 <sup>2)</sup>	–	–	–	–	–	24,8 <sup>3)</sup>
BRÜNING	1971	–	–	10,7	44,0 <sup>4)</sup>	–	–	–	–	–	39,5
BRÜNING	1974	–	–	10,4	42,8 <sup>4)</sup>	–	–	–	–	–	41,0
<b>GEOGRAPHIE</b>											
WINDHORST	1974	–	–	1,87 <sup>1)</sup>	4,67 <sup>2)</sup>	–	–	–	–	–	24,9 <sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Ertragspotential (= einbringbarer Holzertrag)

<sup>2)</sup> gesamtes Ertragspotential

<sup>3)</sup> potentiell produktive Wälder

<sup>4)</sup> oberirdische Biomasse

NPP = Netto-Primärproduktion

merk der einbringbaren Holzernte (= Holzmasse im Nachhaltsbetrieb). Diese verschiedenartigen Ansatzpunkte sind bei einer vergleichenden Analyse zu berücksichtigen.

### 1. Bestimmungen der Primärproduktion und der Biomasse von seiten der Biologie

LIETH (1972, S. 2–3) unterscheidet in der Erforschung der Stoffproduktion drei Phasen.

Phase 1: Aristoteles bis Liebig

(350 v. Chr.–1850 n. Chr.).

Phase 2: Liebig bis zum Beginn des IBP (1850–1960).

Phase 3: Seit Beginn des IBP (seit 1969).

Eine Zusammenstellung der Abschätzungen seit LIEBIG findet sich bei LIETH (1975a, S. 12–13). Wir werden uns hier vor allem den Bestimmungen zuwen-

den, die im Rahmen des IBP erarbeitet wurden. In einer tabellarischen Übersicht (Tab. 1) sind die wichtigsten vorliegenden Modelle getrennt nach Forschungsbereichen in chronologischer Reihenfolge aufgeführt.

Es sind 12 Bestimmungen der Biologie berücksichtigt worden. Wo es möglich war, sind die Werte für die Biomasse und die Primärproduktion in Relation gesetzt worden zu den entsprechenden Werten für die Festlandsflächen. Die Angaben für die Gesamtproduktion schwanken zwischen  $96,0 \cdot 10^9$  t Trockensubstanz und  $171,5 \cdot 10^9$  t. Der Wert von BAZILEVIC, RODIN u. ROZOV (1971) liegt weit über denen anderer Autoren. Sie selbst nennen folgende Ursachen für das höhere Ertragspotential:

1. Viele Autoren haben sich auf Angaben aus zweiter Hand berufen und bei der Abschätzung grobe Extrapolationen vorgenommen,

2. viele Autoren dürften den Anteil der unterirdischen Biomasse bei der Produktionsleistung viel zu gering eingeschätzt haben,
3. bis vor kurzem fehlten Daten, die auf moderne Analysenmethoden zurückgehen.

Es kann hier keine vollständige Kritik dieser Aussagen vorgenommen werden, einige Ansatzpunkte seien jedoch angedeutet:

- Die jüngeren Schätzungen von z. B. WHITTAKER, WOODWELL oder LIETH gehen ebenfalls auf sehr detaillierte Analyseverfahren zurück,
- insbesondere das Verfahren am „Brookhaven National Laboratory“ hat sehr exakte Kenntnisse über den jährlichen Zuwachs gebracht,
- die sowjetischen Autoren stellen nicht eindeutig dar, wie sie zu einer Reihe von Produktionsangaben gelangt sind,
- die Angabe, sie bezögen sich auf die Zeit vor der agrarwirtschaftlichen Nutzung, kann nicht zutreffen, da sie im Text eine Waldfläche von  $50 \cdot 10^6 \text{ km}^2$  angeben, ebenso wie eine Reihe US-amerikanischer Autoren und LIETH, die jedoch das Kulturland gesondert ausweisen,
- es besteht offensichtlich eine Diskrepanz zwischen ihren Textaussagen und der Summation ihrer einzelnen Tabellenwerte bzgl. der Flächenangaben, der Biomasse und der Primärproduktion.

Deshalb müssen noch andere als die von ihnen genannten Gründe die großen Differenzen bedingen. Für eine Reihe vor allem tropischer Vegetationseinheiten sind ihre Werte weitaus höher als die der übrigen Autoren. Trotz der von LIETH (1975d) revidierten Angaben liegt seine Gesamtproduktionsleistung für die Landflächen immer noch etwa ein Drittel niedriger als die der sowjetischen Biologen. Die große Zahl der von ihnen unterschiedenen Einheiten (106) läßt die Frage aufkommen, ob nicht bei einer größeren Zahl der Werte Schätzungen eingegangen sind, die auf der Formel von RYABCHIKOV (1968) beruhen, da bislang Produktionsmodelle in dieser Differenziertheit nicht vorliegen.

Nach den übrigen Schätzungen, die sehr viel dichter beieinander liegen, ist ein Gesamtwert für die Primärproduktion der Festlandsflächen zwischen  $110$  und  $120 \cdot 10^9 \text{ t}$  Trockensubstanz pro Jahr wahrscheinlich. Dieser Wert deckt sich gut mit den von BOX (1975) vorgenommenen Auswertungen der Computerkarten von LIETH.

Die Angaben für die Nettoprimärproduktion der Wälder variieren von  $64,5$  bis  $84,1 \cdot 10^9 \text{ t}$ . Eine Anmerkung ist hier zum Wert von BAZILEVIC, RODIN u. ROZOV notwendig. Die Autoren selbst nennen  $84,1 \cdot 10^9 \text{ t}$ , addiert man jedoch die Einzelwerte der Pflanzenformationen, die von ihnen als Wald deklariert werden, gelangt man zu mehr als  $100 \cdot 10^9 \text{ t}$ . Da aus dem Text nicht zu ersehen ist, welche Flächen sie

später in ihrer Summenbildung berücksichtigt haben, konnte nur der Wert  $84,1 \cdot 10^9 \text{ t}$  übernommen werden. Dieser Summe nähert sich LIETH (1975d) in seiner letzten Schätzung stark an. Leider sind bislang keine Auswertungen seiner Computersimulationen auf der Basis der unterschiedenen Vegetationseinheiten durchgeführt worden, so daß von hierher keine vergleichende Wertung der sonstigen Angaben vorgenommen werden kann. Die von WHITTAKER und seinen Mitautoren vorgelegten Übersichten liegen etwa  $10$ – $15\%$  unter denen von LIETH.

Die Summen für die Waldflächen bewegen sich zwischen  $48,0$  und  $50,0 \cdot 10^6 \text{ km}^2$ , für die Biomasse der Bestände zwischen  $1650$  und  $1911 \cdot 10^9 \text{ t}$ , woraus zu entnehmen ist, daß der jährliche Zuwachs an Biomasse bei  $4,5$ – $4,6\%$  des Gesamtvorrates liegt, wobei jedoch in den einzelnen Waldformationsklassen unterschiedliche Werte erreicht werden.

### 2. Bestimmungen der Primärproduktion und der Biomasse seitens der Forstwirtschaft

Man sollte erwarten, daß die Forstwirtschaftslehre sich Fragen der Primärproduktion der Wälder in besonderem Maße zugewendet hätte. Eine Durchsicht der Literatur zeigt jedoch sehr schnell, daß dies, zumindest was globale Modelle betrifft, nicht der Fall ist. Bestimmungen der Primärproduktion liegen in größerer Zahl zwar für einzelne Baumarten oder bestimmte Waldgebiete vor, doch sind Schätzungen auf der Basis der Waldformationsklassen sehr selten.

WECK (1961) hat eine erste Übersicht des globalen Ertragspotentials vorgelegt. Dabei geht er von einer Waldfläche aus ( $2,48 \cdot 10^9 \text{ ha}$ ), die weit unter denen der Biologen rangiert. Die Ursache ist darin zu sehen, daß er nur die Wälder berücksichtigt, auf denen die „natürlichen Standortbedingungen die Errichtung einer forstlichen Nachhaltwirtschaft aussichtsreich erscheinen lassen“ (S. 73). Das gesamte Ertragspotential setzt er mit  $4,43 \cdot 10^9 \text{ t}$  Trockensubstanz/Jahr an. Aussagen über die stockende Biomasse trifft er nicht. BRÜNING hat sich in letzter Zeit eingehender mit der Primärproduktion der Wälder befaßt (1971, 1974, 1977). Er erfaßt nur die oberirdischen Primärproduktion, da der Wurzelzuwachs bislang für die Forstwirtschaft nahezu unbedeutend ist. Seine Flächenangaben liegen etwa  $20\%$  unter den in II. 1. aufgeführten Übersichten. Der oberirdische Holzzuwachs wird von ihm mit  $44,0$  (1971) bzw. die oberirdische Biomasseproduktion mit  $42,8 \cdot 10^9 \text{ t}$  (1974) angegeben.

### 3. Bestimmung des Ertragspotentials der Wälder seitens der Geographie

Obwohl von geographischer Seite Tragfähigkeitsberechnungen im Sinne der Ernährungskapazität mehrfach durchgeführt wurden, sind kaum Ermittlungen darüber angestellt worden, welches Ertragspotential den Wäldern innewohnt. Als erster Versuch, diesem Mangel zu begegnen, kann die Arbeit von PATER-

SON (1956) gelten, der auf der Grundlage seines CVP-Indexes zu einer Weltkarte gelangte, die neben dem jeweiligen Indexwert auch die potentielle Produktivität (in  $\text{m}^3/\text{ha}$ ) erkennen läßt. Allerdings hat er keine statistische Übersicht zusammengestellt, aus der die Gesamtprimärproduktion zu entnehmen ist. Auf die Einwände gegen den CVP-Index wurde bereits hingewiesen.

Vf. (1974, 1976) hat nach Auswertung vorliegender Literatur der Geographie und Forstwissenschaft sowie einiger Arbeiten von Biologen eine Modifizierung der Abschätzung von WECK (1961) vorgenommen. Sowohl bezüglich der angegebenen Flächenwerte als auch der jeweiligen Ertragspotentiale ergaben sich Abweichungen. Die Gesamtwaldfläche wurde mit  $2,49 \cdot 10^9$  ha allerdings aufgrund wenig differenzierter Ausgangsdaten nur unbedeutend verändert, das Ertragspotential mit  $4,67 \cdot 10^9$  t Trockensubstanz bestimmt.

Dieser Überblick zeigt, daß wegen der unterschiedlichen Frageansätze die einzelnen Modelle nur bedingt miteinander verglichen werden können.

### III. Biomasse und Primärproduktion in den Waldgürteln bzw. Waldformationsklassen der Erde

Nach Durchmusterung der globalen Übersichten und der Einordnung der Wälder in diese soll nun eine Zusammenstellung (Tab. 2) der Primärproduktion und der Biomassevorräte getrennt nach Waldgürteln bzw. Waldformationsklassen erfolgen.

#### 1. Bestimmungen der Biologie

Eine erste Durchsicht zeigt, daß zwischen Modellen zu trennen ist, die nur Produktionsbestimmungen beinhalten und solchen, die zusätzliche Aussagen zur Biomasse treffen. Ein Vergleich der einzelnen Modelle gestaltet sich ausgesprochen schwierig, weil die jeweils unterschiedenen Waldgürtel, Waldformationsklassen etc. stark voneinander abweichen. Dennoch läßt die Gegenüberstellung einige wichtige Aussagen zu:

- Die Angaben zu den Waldflächen schwanken zwischen 48,0 und  $52,9 \cdot 10^6$  qkm. Etwa 25% der Wälder sind dem borealen Waldgürtel zuzurechnen, 50% den tropischen Wäldern, das restliche Viertel entfällt auf die subtropischen Wälder und die der gemäßigten Zone.
- Die durchschnittliche Produktionsleistung wird im globalen Mittel mit 12,9 bis 16,6 t/ha angegeben, wobei jüngere Schätzungen mit 15,2 bis 16,3 t/ha dichter beieinander liegen.
- Die jährliche Primärproduktion der Wälder dürfte insgesamt etwa 75 bis  $85 \cdot 10^9$  t Trockensubstanz ausmachen, wobei ein Wert von  $80 \cdot 10^9$  t wahrscheinlich ist. Davon entfallen 10–12% auf die borealen Nadelwälder, nahezu zwei Drittel auf die Tropenwälder und der Rest auf die subtropischen Wälder und die der gemäßigten Zone.

- Die Angaben für die Biomasse in den Wäldern bewegen sich zwischen 1650 und  $1911 \cdot 10^9$  t Trockensubstanz. Davon sind in den borealen Nadelwäldern etwa 14–15% vorhanden und in den Tropenwäldern 55–60%, woraus sich die großen Holzreserven dieses Waldgürtels entnehmen lassen.

Setzt man die gefundenen Angaben in Relation zu der Primärproduktion und vorhandenen Biomasse der gesamten Festlandfläche, gelangt man zu folgenden Aussagen:

- Die Wälder nehmen etwas mehr als ein Drittel der Festlandsfläche der Erde ein.
- Auf dieser Fläche fallen jährlich etwa zwei Drittel der Primärproduktion an.
- In den Wäldern sind etwa 90% der gesamten Biomasse der Kontinente gespeichert. Insbesondere die letzten Feststellungen lassen erkennen, welcher Stellenwert den Wäldern der Erde im Rahmen der gesamten Primärproduktion zukommt.

#### 2. Bestimmungen der Forstwirtschaft

Die Forstwirtschaftslehre ist, ohne die gesamte Primärproduktion aus den Augen zu verlieren, insbesondere an der oberirdischen Holzproduktion bzw. dem einbringbaren Ertrag aus der Bewirtschaftung der Wälder interessiert. In diese Richtung zielen deshalb auch die Übersichten von BRÜNING (1971, 1974) und WECK (1961).

Während WECK das Ertragspotential der Wälder erfaßt, die eine nachhaltige Bewirtschaftung erfolgreich erscheinen lassen, stellt BRÜNING die oberirdische Biomasse bzw. Holzproduktion zusammen. BRÜNINGS Tabellen zeigen, daß er die vorhandenen Waldflächen etwa 20% niedriger ansetzt als die Biologen. Während die Fläche der borealen Wälder von ihm höher abgeschätzt wird, gelangt er im Bereich der Tropen und der gemäßigten Zone zu deutlich niedrigeren Werten, vor allem bei den immergrünen tropischen Regenwäldern.

Aus den Angaben von WECK ist zu entnehmen, daß nur etwa 60% der von BRÜNING ausgewiesenen Wälder eine Überführung in den Nachhaltsbetrieb erfolgreich erscheinen lassen. Aus ihnen können etwa 10% der jährlichen Holzproduktion als Holzernte eingebracht werden. Die aufgeführten Übersichten lassen folgende Aussagen zu:

- Etwa zwei Drittel der oberirdischen Holzmasse fallen in den Tropenwäldern an, 11% in den borealen Nadelwäldern und zwischen 8 und 9% in den kühlgemäßigten Laub- und Mischwäldern.
- Das Ertragspotential verteilt sich nach WECK in folgender Weise auf die Formationsklassen: 61% Tropenwälder, 12,5% boreale Nadelwälder, 19,5% sommergrüne Wälder, 7% Regen-, Lorbeer- und Hartlaubwälder.
- Ein Vergleich mit den relativen Flächenanteilen der einzelnen Waldformationsklassen verdeutlicht die



Tabelle 2: Primärproduktion, Biomasse und Ertragspotential der Wälder der Erde getrennt nach Waldformationsklassen (Synopsis biologischer, forstwissenschaftlicher und geographischer Bestimmungen)

Waldformationsklassen	Fläche		Produktion			Biomasse			Wald in Relation zur Festlandsfläche		
	10 <sup>6</sup> qkm	%	t/ha	10 <sup>9</sup> t	%	t/ha	10 <sup>9</sup> t	%	(%)	Produktion (%)	Biomasse (%)
<b>BIOLOGIE</b>											
WHITTAKER u. WOODWELL 1969 (publ. 1971)											
Tropenwälder	20,0	40,0	20,0	40,0	54,8	450	900	53,6	13,4	36,7	48,6
Wälder d. gem. Zone	18,0	36,0	13,0	23,4	32,1	300	540	32,1	12,1	21,5	29,2
Boreale Wälder	12,0	24,0	8,0	9,6	13,1	200	240	14,3	8,1	8,8	13,0
gesamt	50,0	100,0	14,6	73,0	100,0	336	1680	100,0	33,6	67,0	90,8
BAZILEVIC, RODIN u. ROZOV 1970 (engl. 1971)											
Boreale Wälder	17,4	32,9	6,5	11,3	12,9	226	394	20,6	11,7	6,5	16,4
Subboreale Wälder	6,6	12,5	12,4	8,2	9,4	378	250	13,1	4,4	4,8	10,4
Suptropische Wälder	4,8	9,1	18,9	9,1	10,3	313	151	7,9	3,2	5,3	6,3
Tropische Wälder	24,1	45,5	24,6	59,1	67,4	464	1117	58,4	16,1	34,5	46,5
gesamt	52,9	100,0	16,6	87,7	100,0	361	1912	100,0	35,4	53,8	79,6
LIETH 1972 und LIETH 1975											
Trop. Regenwald	17,0	34,0	20,0	34,0	52,6	--	--	--	11,4	33,9	--
Regengrüner Wald	7,5	15,0	15,0	11,3	17,5	--	--	--	5,0	11,3	--
Sommergrüner Wald	7,0	14,0	10,0	7,0	10,9	--	--	--	4,7	7,0	--
Mediterr. Hartlaubw.	1,5	3,0	8,0	1,2	1,9	--	--	--	1,0	1,2	--
Subtrop. Mischwald	5,0	10,0	10,0	5,0	7,8	--	--	--	3,4	5,0	--
Boreale Wald	12,0	24,0	5,0	6,0	9,3	--	--	--	8,1	6,4	--
gesamt	50,0	100,0	12,9	64,5	100,0	--	--	--	33,6	64,4	--
OLSON 1973 (publ. 1975)											
Nadelwälder	15,0	31,2	13,0	19,6	25,1	--	--	--	10,1	16,1	--
Sommergrüne Laubwäld.	8,0	16,7	21,7	17,3	22,1	--	--	--	5,4	14,2	--
Regenwäld. d. gem. Zone	1,0	2,1	26,1	2,6	3,3	--	--	--	0,7	2,1	--
Trop. u. subtropische Regenwälder	10,0	20,8	32,6	32,6	41,7	--	--	--	6,7	26,7	--
Trockenwälder	14,0	29,2	4,3	6,1	7,8	--	--	--	9,5	5,0	--
gesamt	48,0	100,0	16,3	78,2	100,0	--	--	--	32,4	64,1	--
WHITTAKER u. LIKENS 1973											
Trop. Regenwälder	17,0	35,1	20,0	34,0	48,7	450	765	46,4	11,1	31,7	41,7
Regengr. trop. Wälder	7,5	15,5	15,0	11,2	16,1	350	260	15,8	5,0	10,4	14,2
Subtrop. immergr. Wälder	5,0	10,3	13,0	6,5	9,3	350	175	10,6	3,4	6,1	9,5
Sommergrüne Wälder der gemäßigten Zone	7,0	14,4	12,0	8,4	12,1	300	210	12,7	4,7	7,8	11,4
Boreale Wälder	12,0	24,7	8,0	9,6	13,8	200	240	14,5	8,1	8,9	13,1
gesamt	48,5	100,0	14,4	69,7	100,0	340,2	1650	100,0	32,6	64,9	89,9
LIETH 1975 (in v. DOBBEN)											
Trop. Regenwald	17,0	34,0	28,0	47,3	58,0	--	--	--	11,4	38,9	--
Regengrüne Wälder	7,5	15,0	17,5	13,2	16,2	--	--	--	5,0	10,8	--
Sommergrüne Wälder	7,0	14,0	10,0	7,0	8,6	--	--	--	4,7	5,8	--
Mediterr. Hartlaubw.	1,5	3,0	8,0	1,2	1,5	--	--	--	1,0	1,0	--
Subtrop. Mischwälder	5,0	10,0	10,0	5,0	6,1	--	--	--	3,4	4,1	--
Boreale Wälder	12,0	24,0	6,5	7,8	9,6	--	--	--	8,1	6,4	--
gesamt	50,0	100,0	16,3	81,6	100,0	--	--	--	33,6	67,0	--
WHITTAKER u. LIKENS 1975											
Trop. Regenwald	17,0	35,1	22,0	37,4	50,6	450	765	46,4	11,1	31,8	41,6
Trop. saisonale Wälder	7,5	15,5	16,0	12,0	16,2	350	260	15,8	5,0	10,2	14,2
Wälder d. gem. Zone											
- immergrün	5,0	10,3	13,0	6,5	8,8	350	175	10,6	3,4	5,5	9,5
- laubabwerfend	7,0	14,4	12,0	8,4	11,4	300	210	12,7	4,7	7,1	11,4
Boreale Wälder	12,0	24,7	8,0	9,6	13,0	200	240	14,5	8,1	8,2	13,1
gesamt	48,5	100,0	15,2	73,9	100,0	340,2	1650	100,0	32,6	62,8	89,8

## Fortsetzung von Tabelle 2

Waldformationsklassen	Fläche 10 <sup>6</sup> qkm %		Produktion t/ha 10 <sup>8</sup> t %			Bemerkungen
<b>FORSTWIRTSCHAFT</b>						
WECK 1961						
Äquatorialer Regenwald						Ertragspotential der Wälder, in denen eine nachhaltige Bewirtschaftung Aussicht auf Erfolg hat
– untere Stufe	4,40	18	3,5	1,540	35	
– Bergstufe	0,48	2	3,0	0,144	3	
Monsunwälder und Feuchtsavannen	2,63	11	1,8	0,474	11	
Trockensavannen und trockene Gebirgswälder der Tropen	5,30	21	1,0	0,530	12	
Temperierte Regenwälder und Lorbeerwälder	0,20	1	7,2	0,143	3	
Wälder der Hartlaubformation	1,775	7	1,0	0,178	4	
Sommergrüne Wälder und Gebirgsnadelwälder	3,93	16	2,2	0,865	19,5	
Boreale Nadelwälder	6,055	24	0,9	0,556	12,5	
gesamt	24,77	100	1,79	4,430	100	
BRÜNING 1971						
Tropenwälder						Nur die oberirdische Biomasse ist erfaßt
– immergrün	5,5	13,9	21	11,55	26,2	
– wechselgrün (humid)	7,5	19,0	17	12,75	29,0	
– wechselgrün (arid)	7,0	17,7	7	4,90	11,1	
Warmgemäßigte Mischwälder	3,6	9,1	18	6,50	14,8	
Kühlgemäßigte Mischwälder	2,6	6,6	11	2,60	5,9	
Kühlgemäßigte Nadelwälder	1,3	3,3	7	0,91	2,1	
Boreale Wälder						
– humid	6,0	15,2	6	3,60	8,2	
– subhumid	6,0	15,2	2	1,20	2,7	
gesamt	39,5	100,0	10,7	44,01	100,0	
BRÜNING 1974						
Perhumider immergrüner tropischer Hochwald	5,5	13,4	21	11,55	27,0	Nettoproduktion an oberirdischer Biomasse
Humider regengrüner Hochwald	7,5	18,3	17	12,70	29,7	
Subhumider regengrüner Hochwald	7,0	17,1	7	4,90	11,4	
Xeromorphe Wälder und Gehölze	0,5	1,2	3	0,15	0,4	
Wälder der warmgemäßigten Zone	3,6	8,8	13,8	5,00	11,7	
Wälder der kühlgemäßigten Zone	3,9	9,5	9,5	3,70	8,6	
Wälder und Gehölze der kaltgemäßigten Zone	13,0	31,7	3,7	4,80	11,2	
gesamt	41,0	100,0	10,4	42,80	100,0	
<b>GEOGRAPHIE</b>						
WINDHORST 1974 und 1976						
Äquatorialer Regenwald						Ertragspotential der Wälder, in denen eine nachhaltige Bewirtschaftung Aussicht auf Erfolg hat
– untere Stufe	4,40	17,6	3,4	1,496	32,0	
– Bergstufe	0,48	1,9	2,5	0,120	2,6	
Monsunwälder und Feuchtsavannen	2,63	10,6	1,8	0,473	10,1	
Trockensavannen und trockene tropische Gebirgswälder	5,30	21,3	1,0	0,530	11,3	
Temperierte Regenwälder	0,06	0,3	8,3	0,052	1,1	
Lorbeerwälder	0,14	0,6	6,6	0,091	2,0	
Hartlaubwälder	1,78	7,1	1,5	0,266	5,7	
Sommergrüne Wälder und Gebirgsnadelwälder	3,93	15,7	3,0	1,179	25,2	
Boreale Nadelwälder	6,21	24,9	0,75	0,466	10,0	
gesamt	23,93	100,0	1,87	4,673	100,0	

Tabelle 3: Das Ertragspotential der Wälder der Erde

Bestandsformation	Geschätzte Fläche		Geschätztes Ertragspotential		
	Mio. ha	%	t/ha · Jahr	Mio. t	%
Tropischer Regenwald					
– untere Stufe	418	17,1	3,5	1463,0	27,0
– Bergstufe	45	1,8	2,9	130,5	2,4
Regenrüne Feuchtwälder	260	10,7	2,0	520,0	9,6
Regenrüne Trockenwälder und Gebirgstrockenwälder	510	20,9	1,0	510,0	9,4
Temperierte Regenwälder und Lorbeerwälder	20	0,9	6,0	120,0	2,2
Hartlaubwälder	170	7,0	1,3	221,0	4,1
Sommergrüne Wälder und Gebirgsnadelwälder	395	16,2	4,0	1580,0	29,2
Boreale Nadelwälder	620	25,4	1,4	868,0	16,1
<b>Welt</b>	<b>2438</b>	<b>100,0</b>	<b>2,2</b>	<b>5412,5</b>	<b>100,0</b>

herausragende Stellung der immergrünen tropischen Regenwälder im Rahmen der globalen Holzproduktion (nicht zu verwechseln mit dem Ertragspotential!).

### 3. Bestimmungen der Waldwirtschaftsgeographie

Vf. (1974, 1976) hat in den bereits genannten Arbeiten eine Modifizierung der Angaben von WECK vorgelegt. Besonders die veränderten Ertragswerte für die Hartlaubwälder, sommergrünen Wälder und borealen Nadelwälder haben die Abweichungen gegenüber WECK bewirkt. Die borealen Wälder stellen demnach nur noch 10% des Gesamtpotentials, die sommergrünen Wälder etwa 25%, die äquatorialen Regenwälder der unteren Stufe mit 32% den höchsten Beitrag.

## IV. Das Ertragspotential der Wälder im Lichte neuerer Produktionsbestimmungen

Nach Analyse bislang vorliegender Produktivitätsbestimmungen der Wälder soll abschließend der Versuch unternommen werden, auf dieser Grundlage zu einem neuen Modell des Ertragspotentials zu gelangen. Der beschrittene Weg kann nur kurz angedeutet werden:

- Die Flächenwerte aus der Aufstellung des Vf. wurden im Bereich der Tropen und des borealen Nadelwaldgürtels verändert.
- Für die einzelnen Waldformationsklassen wurden entweder die jeweils häufigsten Werte oder Durchschnittswerte der Primärproduktion eingesetzt.
- Nach den Angaben von RODIN u. BAZILEVIC (1966) und anderer Autoren wurde der Holzanteil an der oberirdischen Biomasse abgeschätzt.
- Durch Multiplikation der sich daraus ergebenden Werte mit den von WECK (1961) und Vf. (1974) bestimmten Reduktionsfaktoren konnte danach das durchschnittliche Ertragspotential für die jeweiligen Waldformationsklassen bestimmt werden.

Tab. 3 zeigt das resultierende Modell des Ertragspotentials der Wälder der Erde. Ein Vergleich mit den Modellen von WECK (1961) und Vf. (1974, 1976) läßt folgende Unterschiede deutlich werden. Auffallend ist zunächst, daß der immergrüne tropische Regenwald der unteren Stufe nicht mehr die Formationsklasse mit dem höchsten relativen Anteil am Gesamtertragspotential ist. Dies geht nicht auf eine Verringerung des durchschnittlichen Ertragspotentials dieser Wälder zurück, denn gegenüber dem Ansatz von 1974 ist es sogar noch etwas erhöht worden, sondern vor allem auf Modifizierungen im Bereich der sommergrünen Wälder und borealen Nadelwälder. Sollte jedoch in Zukunft die Forstwirtschaft in der Lage sein, die Holzverluste und den Nutzungsgrad bei der Bewirtschaftung der Tropenwälder zu erhöhen, würde sich ein niedrigerer Reduktionsfaktor ergeben und damit ein höheres Ertragspotential. Dies allerdings dürfte wohl ebenso nur auf dem Wege über eine nachhaltige Forstwirtschaft erreichbar sein, wie das großflächige Einbringen schnellwachsender Holzarten, die in der Zellulose- und Papierindustrie Verwendung finden könnten.

Die differenzierten Produktionsbestimmungen aus den Wäldern der gemäßigten Zonen machen die Modifizierung der Potentiale in der genannten Weise notwendig. Die Produktionsleistungen der südlichen Abschnitte des borealen Nadelwaldgürtels, die zunächst in einen Nachhaltsbetrieb übergeführt werden dürften, ist offenbar in der Vergangenheit unterschätzt worden. Die Einheitlichkeit der Bestände und der geringe Holzverlust bei der Bringung werden nach den jetzt vorliegenden Kenntnissen Erträge von 1,7 t Trockensubstanz (= 3,8 m<sup>3</sup>/ha) ermöglichen. In den weiter polwärts gelegenen Waldgebieten dürften immer noch 1,1 t/ha oder 2,4 m<sup>3</sup> anfallen, so daß ein Durchschnittswert für die mittelfristig in Nachhaltsbetriebe überzuführenden Nadelwälder von 1,4 t/ha (= 3,1 m<sup>3</sup>) realistisch ist. Damit steigt der relative Anteil der borealen Nadelwälder am Gesamtertragspotential auf 16,1% an. Die detaillierten Analysen der sommer-

grünen Wälder im Rahmen des IBP machen auch hier eine Erhöhung des durchschnittlichen Potentials notwendig. Damit erreicht diese Formationsklasse einen Anteil von 29,2% am Gesamtpotential, also etwa soviel wie die äquatorialen Wälder insgesamt. Wegen der vielfältigen Funktionen, die diesen Wäldern jedoch in den Industriestaaten zukommt, wird großflächig kaum ein Ertrag von 4 t/ha Trockensubstanz einzubringen sein (vgl. WINDHORST 1978, S. 103ff.). Daraus resultiert notwendigerweise eine höhere Nutzung der borealen und tropischen Wälder.

Setzt man das Ertragspotential in Relation zu den gegenwärtig eingeschlagenen Holzmengen, ergibt sich folgendes Bild:

Ertragspotential (10 <sup>6</sup> t Trockensubstanz)	Einschlag (1975)	Einschlag in % des Ertrags- potentials
5412,5	1431	26,4

Im Jahre 1975 wurde also etwas mehr als ein Viertel des Ertragspotentials der Wälder genutzt. Dabei ist jedoch nicht das Holz erfaßt, das bei Rodung verlorengeht. Dieser Wert zeigt, daß der wirtschaftende Mensch das Potential der Wälder bislang nur zu einem geringen Teil nutzt. Allerdings schließt dies nicht aus, daß in den gut zugänglichen Tropenwaldgebieten und im borealen Nadelwald, aber auch in den waldarmen Gebieten mit mediterranem Klima, Übernutzungen vorkommen. Bei der Bewertung dieses Zahlenwertes darf natürlich nicht unberücksichtigt bleiben, daß große Teile der borealen Nadelwälder in Kanada und Sibirien und auch der tropischen Regenwälder (z. B. Amazonien) noch gar nicht oder erst in Ansätzen in die Nutzung einbezogen sind. Dazu kommt, daß in den Industriestaaten der Nordhalbkugel im Nahbereich der Ballungszentren die Wälder ebenfalls nur in begrenztem Umfange genutzt werden. Zu bedenken ist auch, daß die verwendeten Flächenwerte z. T. grobe Schätzungen sind. Auf diese Problematik hat Vf. bereits mehrfach verwiesen (1974 u. 1978, S. 31ff.). Auch darf nicht unberücksichtigt bleiben, daß in zunehmendem Maße in den Innertropen Wald durch Übernutzung und Rodung im Potential geschwächt wird oder endgültig verlorengeht. BRÜNING (1977) schätzt, daß die Waldfläche der Tropen jährlich mindestens um 1% abnimmt. Etwa in 20–30 Jahren werden keine Primärwälder mehr für die Holznutzung zur Verfügung stehen.

Eine Bewirtschaftung der Wälder nach dem Nachhaltsprinzip wird der Menschheit mittelfristig die Holzversorgung sichern können, allerdings nur, wenn man den geökologischen Bedingungen der einzelnen Waldformationsklassen Rechnung trägt. Unüberlegte großflächige Waldrodungen zum Zwecke der Gewinnung landwirtschaftlicher Nutzflächen können jedoch in den Innertropen binnen weniger Jahrzehnte sowohl

die Möglichkeiten der Versorgung mit dem Rohstoff Holz als auch den notwendigen Grundnahrungsmitteln vor unüberwindbare Probleme stellen. Einer Überschätzung der Leistungsfähigkeit dieses Großraumes möchten die hier genannten Zahlen entgegentreten. Die Fortsetzung der gegenwärtig dominierenden selektiven Exploitation mit all ihren Negativwirkungen und die vorgenommenen Waldrodungen werden wahrscheinlich schon um die Jahrtausendwende zu einer merklichen Verknappung der wertvollsten Tropenhölzer führen, wenn nicht weitreichende Schutz- und Verjüngungsmaßnahmen eingeleitet werden. Diese Maßnahmen sind jedoch bislang nur von den Industriestaaten zu finanzieren. Wegen der geringeren Tragfähigkeit vieler Böden im Bereich der dauerfeuchten Tropen (vgl. WEISCHET 1977) muß bei steigenden Bevölkerungszahlen mit zunehmender ökonomischer Instabilität gerechnet werden. Die Möglichkeiten des Dauerfeldbaues sind als gering anzusehen, eher scheint dem kombinierten land- und forstwirtschaftlichen Anbau Erfolg beschieden zu sein, weil er sowohl die Nahrungsversorgung sichern kann, als auch zur Erhaltung leistungsfähiger Wälder beiträgt.

#### Literatur

- ART, H. W. a. P. L. MARKS: A summary table of biomass and net annual primary production in forest ecosystems of the world. In: Young, H. E. (ed.): Forest Biomass Studies. Orono, Maine 1972, S. 1–32.
- BAZILEVIC, N. I. a. L. E. RODIN: Geographical regularities in productivity and the circulation of chemical elements in the earth's main vegetation types. In: Soviet Geogr., Rev. Transl. 12 (1971), S. 24–53.
- BAZILEVIC, N. I., L. E. RODIN a. N. N. ROZOV: Geographical aspects of biological productivity. In: Soviet Geogr., Rev. Transl. 12 (1971), S. 293–317.
- BOX, E.: Quantitative evaluation of global primary productivity models generated by computers. In: Lieth, H. a. R. H. Whittaker (eds.): Primary Productivity of the Biosphere. Berlin, Heidelberg, New York 1975, S. 265–283.
- BRÜNING, E. F.: Forstliche Produktionslehre (= Europäische Hochschulschriften XXV/1). Bern, Frankfurt/M. 1971.
- : Ökosysteme in den Tropen. In: Umschau 74 (1974), S. 405–410.
- : Leistungen und Leistungsgrenzen der Wälder der Erde. In: Forstarchiv 46 (1977), S. 105–108.
- DUVIGNEAUD, P. (Ed.): Productivity of Forest Ecosystems. Proc. Brussels Symp., 1969. Paris 1971 (= Ecology and Conservation, 4).
- ECKHARDT, F. E. (Ed.): Functioning of Terrestrial Ecosystems at the Primary Production Level. Proceedings of the Copenhagen Symposium. Liège 1968.

- GEIGER, R.: World Atmosphere Series of Maps, Map No. WA6: Annual Effective Evapotranspiration. Darmstadt 1965.
- GOLLEY, F.: Productivity and mineral cycling in tropical forests. In: *Productivity of World Ecosystems* (Seattle Symp.), Washington, D.C. 1975, S. 106–115.
- JORDAN, C. F.: Productivity of a tropical forest and its relation to a world pattern of energy storage. In: *Journal of Ecology* 59 (1971), S. 127–142.
- JUNGE, C. E. a. G. CZEPLAK: Some aspects of the seasonal variation of carbon dioxide and ozone. In: *Teelus* 20 (1968), S. 422–434.
- KIRA, T. a. T. SHIDEL: Primary production and turnover of organic matter in different forest ecosystems of the Western Pacific. In: *Japan. Journal Ecol.* 17 (1967), S. 70–87.
- LESER, H.: *Landschaftsökologie*. Stuttgart 1976.
- LIETH, H.: Ein Beitrag zur Frage der Korrelation zwischen mittleren Klimawerten und Vegetationsformationen. In: *Berichte der Dtsch. Bot. Ges.* 69 (1958), S. 169–176.
- : Versuch einer kartographischen Darstellung der Produktivität der Pflanzendecke der Erde. In: *Geogr. Taschenb.* 1964/65, S. 72–80.
- : Über die Primärproduktion der Pflanzendecke der Erde. In: *Angew. Botanik* 46 (1972), S. 1–37.
- : Historical survey of primary productivity research. In: Lieth, H. a. R. H. Whittaker (eds.): *Primary Productivity of the Biosphere*. Berlin, Heidelberg, New York 1975, S. 7–16 (1975a).
- : Primary productivity of the major vegetation units of the world. In: Lieth, H. a. R. H. Whittaker (eds.): *Primary Productivity of the Biosphere*. Berlin, Heidelberg, New York 1975, S. 203–215 (1975b).
- : Modelling the primary productivity of the world. In: Lieth, H. a. R. H. Whittaker (eds.): *Primary Productivity of the Biosphere*. Berlin, Heidelberg, New York 1975, S. 237–263 (1975c).
- : Primary productivity in ecosystems: comparative analysis of global patterns. In: v. Dobben, W. a. R. H. Lowe-McConnell (eds.): *Unifying Concepts in Ecology*. The Hague 1975, S. 67–88 (1975d).
- LIETH, H. a. E. BOX: Evapotranspiration and primary productivity; C. W. Thornthwaite memorial model. In: *Publications in Climatology* XXV (1972), No. 5, S. 37–46.
- LIETH, H. a. R. H. WHITTAKER (Eds.): *Primary Productivity of the Biosphere* (= Ecological Studies 14). Berlin, Heidelberg, New York 1975.
- MITCHERLICH, G.: *Wald, Wachstum und Umwelt*. Bd. 3: Boden, Luft und Produktion. Frankfurt/M. 1975.
- OLSON, J. S.: Gross and net production of terrestrial vegetation. In: *Journal of Ecology* 52 (1964), S. 99–118.
- : Terrestrial Ecosystems. In: *Encyclopedia Britannica*, vol. 18 (1974), S. 144–149.
- : Productivity of forest ecosystems. In: *Productivity of World Ecosystems* (Seattle Symp.). Washington, D.C. 1975, S. 33–43.
- OVINGTON, J. D.: Quantitative ecology and the woodland ecosystem concept. In: Cragg, J. B. (ed.): *Advances in Ecological Research* 1 (1962), S. 103–192.
- OVINGTON, J. D., W. G. FORREST a. J. S. ARMSTRONG: Tree biomass estimation. In: Young, H. E. (ed.): *Symposium on Primary Productivity and Mineral Cycling in Natural Ecosystems*, 1967, S. 4–31.
- PATERSON, S. S.: *The Forest Area of the World and its Potential Productivity*. Göteborg 1956.
- READER, R.: Leaf Emergence, Leaf Coloration, and Photosynthetic Period-Productivity Models for the Eastern Deciduous Forest Biome. Diss. Chapel Hill, North Carolina 1973.
- REICHLÉ, D. E. (Ed.): *Analysis of Temperate Forest Ecosystems* (= Ecological Studies 1). Berlin, Heidelberg, New York 1973.
- RODIN, L. E. a. N. I. BAZILEVIC: The biological productivity of the main vegetation types in the northern hemisphere of the world. In: *Forestry Abstracts* 27 (1966), S. 369–372.
- RODIN, L. E., N. I. BAZILEVIC a. N. N. ROZOV: Productivity of World Ecosystems (Seattle Symp.) Washington, D.C. 1975, S. 13–26.
- ROCHOW, J. J.: Estimations of above-ground biomass and primary productivity in a Missouri forest. In: *Journal of Ecology* 62 (1974), S. 567–577.
- ROSENZWEIG, M. L.: Net primary productivity of terrestrial communities: prediction from climatological data. In: *The American Naturalist* 102 (1968), S. 67–74.
- RYABCHIKOV, A. M.: Hydrothermal conditions and the productivity of plant mass in the principal landscape zones. In: *Vestnik MGU, Geogr.*, Moskau 5 (1968), S. 41–48.
- SATOO, T.: A synthesis of studies by the harvest method: Primary production relations in the temperate deciduous forests of Japan. In: Reichle, D. E. (ed.): *Analysis of Temperate Forest Ecosystems*. Heidelberg u. New York 1973, S. 55–72.
- WALTER, H.: *Vegetationszonen und Klima*. Stuttgart 1977<sup>3</sup>.
- WANNER, H.: Soil respiration, litter fall and productivity of a tropical rain forest. In: *Journal of Ecology* 58 (1970), S. 543–547.
- WECK, J.: Regenwälder, eine vergleichende Studie forstlichen Produktionspotentials. In: *Die Erde* 90 (1959), S. 10–37.
- WECK, J. u. C. WIEBECKE: *Weltforstwirtschaft und Deutschlands Forst- und Holzwirtschaft*. München 1961.
- WEISCHET, W.: *Die ökologische Benachteiligung der Tropen*. Stuttgart 1977.
- WHITTAKER, R. H.: Estimation of net primary production of forest and shrub communities. In: *Ecology* 42 (1961), S. 177–180.
- : *Communities and Ecosystems*. New York 1971<sup>3</sup>.
- WHITTAKER, R. H. a. G. E. LIKENS: Primary production: the biosphere and man. In: *Human Ecology* 1 (1973), S. 357–369.
- : The biosphere and man. In: Lieth, H. a. R. Whittaker (eds.): *Primary Productivity of the Biosphere*. Berlin, Heidelberg, New York 1975, S. 305–328.
- WHITTAKER, R. H. a. P. L. MARKS: Methods of assessing terrestrial productivity. In: Lieth, H. a. R. H. Whittaker (eds.): *Primary Productivity of the Biosphere*. Berlin, Heidelberg, New York 1975, S. 55–118.

- WHITTAKER, R. H. a. G. M. WOODWELL Measurement of net primary production of forests. In: Duvigneaud, P. (ed.): Productivity of Forest Ecosystems. Paris 1971, S. 159–175.
- WINDHORST, H.-W.: Gedanken zur räumlichen Ordnung der Forstwirtschaft. In: Geogr. Ztschr. 60 (1972), S. 357–374.
- : Das Ertragspotential der Wälder der Erde. In: Studien zur Waldwirtschaftsgeographie (= Beihefte zur Geogr. Ztschr. H. 39). Wiesbaden 1974, S. 1–25.
- : The forests of the world and their potential productivity. In: Plant Research and Development vol. 3 (1976), S. 40–59.
- : Geographie der Wald- und Forstwirtschaft. (= Teubner Studienbücher Geographie). Stuttgart 1978.
- WOODWELL, G. M. a. R. H. WHITTAKER: Primary productivity in terrestrial ecosystems. In: Am. Zoologist 8 (1968), S. 19–30.
- YOUNG, H. E. (Ed.): Forest Biomass Studies, Orono, Maine 1972.

## DER HOPFENANBAU IN DER PROVINZ LEÓN (SPANIEN) – EINE DIFFUSIONSANALYSE<sup>1)</sup>

Mit 5 Abbildungen und 5 Tabellen

TONI BREUER

*Summary:* Hop cultivation in the León Province of Spain – a diffusion analysis

The subject under investigation is the diffusion of hop cultivation in the León Province over the period 1950–1972. Cultivation is carried out by small agricultural enterprises which have taken up hop cultivation in a situation of relative distress. – i.e. when subjected to economic pressure. Since hop cultivation is conducted on a contractual basis, two different steering mechanisms meet in the process of diffusion: the determining influence of the institution which offers the contracts, and the neighbourhood effect in the sense of an invitation to follow suit. This gives rise to two different types of innovation centres.

### *Problemstellung*

Altkastilien gehört zu den traditionell landwirtschaftlich geprägten mediterranen Binnenräumen, die in der geographischen Literatur häufig mit wirtschaftlichen Passivräumen gleichgesetzt werden. Initiativen, die auf positive wirtschaftliche Veränderungen der Kulturlandschaft abzielen, gehen hier fast ausschließlich von staatlichen Stellen aus. Erinnerung sei etwa an die Projekte zur Erschließung bewässerungsfähigen Landes mit dem Ziel einer Intensivierung der Landwirtschaft. Andere staatliche Aktivitäten sollen die Industrieansiedlung in ländlichen Räumen fördern („Entwicklungspole“) und damit die Landflucht verhindern. Neben solchen spektakulären Großprojekten finden jedoch in den konservativ geprägten Binnenräumen Spaniens kulturlandschaftliche Entwicklungen, die auf privater Initiative basieren, kaum Beachtung. Die Bedeutung solcher Veränderungen sollte aber nicht unterschätzt werden, weil die dabei erzielten Fortschritte unter Umständen nachhaltiger wirksam wer-

den und sich als dauerhafter erweisen als vom Staat angestrebte Strukturverbesserungen.

Im Mittelpunkt der vorliegenden Fallstudie steht die Ausbreitung des Hopfenanbaus in der Provinz León, die auf der Grundlage der individuellen Adoptionsentscheidung des einzelnen Bauern erfolgte. Bei der Diffusionsanalyse sollen im wesentlichen drei Aspekte besondere Berücksichtigung finden:

- Welche Faktoren sind für die Adoption der neuen Kultur als auslösendes Moment wirksam gewesen?
- Wie ist der Prozeß der Ausbreitung verlaufen? Ist er mit agrargeographischen Innovationen im Sinne BORCHERDTS vergleichbar?
- Hat die Annahme der neuen Kultur in wirtschafts- und sozialgeographischer Hinsicht irgendwelche Folgen für den betroffenen Raum und sind diese meßbar?

### *Der Hopfenanbau in Spanien*

Der Devisenmangel des spanischen Staates während des Bürgerkrieges war 1937 der Anlaß für die Gründung einer privatwirtschaftlichen Vereinigung der spanischen Brauereien zur Förderung des nationalen Hopfenanbaus (S.A.E. de Fomento del Lúpulo). Gleichzeitig wurde die erste staatliche Anbauverordnung erlassen. Damals baute man geringe Mengen Hopfen im immerfeuchten Nordwesten des Landes (Galicien, Asturien) an. Ein relativer Anbauschwerpunkt war die Provinz La Coruña, wo 1941 mit rd. 5000 kg getrockneten Hopfens die erste nennenswerte Ernte erzielt wurde (ESCAURIAZA 1946). Im Jahre 1950 versuchte man dann in der Provinz León den Hopfenanbau im Bewässerungsfeldbau. Dieser erwies sich schon bald als höchst erfolgreich. Bereits 1955 wurde in León mehr Hopfen als in La Coruña erzeugt. Seitdem ist der Anteil Leóns an der nationalen Produktion kontinuierlich gestiegen, während der Anteil der ursprünglichen Hopfenprovinzen La Coruña,

<sup>1)</sup> Das Material für die vorliegende Fallstudie wurde auf zwei Reisen im Frühjahr und Spätsommer 1977 gesammelt. Die zweite Reise wurde dankenswerter Weise durch eine Beihilfe der Deutschen Forschungsgemeinschaft unterstützt.