

Schriften der Sudetendeutschen Akademie  
der Wissenschaften und Künste

Band 34

Forschungsbeiträge  
der Naturwissenschaftlichen Klasse

Seiten 97 - 126

VOLKER OPPITZ

## Diffusionsmodelle der Produktinnovation

„O lern die Welt beschauen  
Dann lern ihr auch sie lieben!  
Bemächtigt Euch der Tage,  
Die Jedem schnell zerstieben!  
Die Welt ist eine Tafel,  
Noch viel ist unbeschrieben.“<sup>1</sup>

### *Zusammenfassung*

Die Dynamik der Wissenschaften und der Übergang der Einzelmärkte zum Weltmarkt führen zur raschen Erneuerung der Güterbestände. Für die Wirtschaftswissenschaften entsteht die Aufgabe, Gesetzmäßigkeiten der dynamischen und statischen Ausbreitung der Produktinnovationen analytisch zu erfassen und mathematisch abzubilden. In diesem Sinn enthält der Beitrag eine induktive Modellentwicklung, verbunden mit einigen Anwendungsfällen.

### *Summary*

#### Dispersion Models of Product Innovations

Progress in scientific research and the transition from individual markets to the world market lead to a rapid turnover in the supply of goods. Research in economics aims to identify and analyze the principles behind the dynamic and static expansion of product innovation and to represent them in a mathematical model. This article presents and develops an inductive model, together with some examples of its application.

### *Zweck und Gegenstand*

#### *Anliegen*

Der Fortschritt der Wissenschaften drückt sich in Innovationen aus, den geistigen und stofflichen Früchten des Forschens. Im Wirtschaftsleben treten sie als Produkt auf; wie z.B. geistig, wenn ein Nachrichtentechniker ein Unternehmen berät, und stofflich als Fernsehgerät. Gesellschaftlicher Reichtum, verteilt auf die öffentliche

---

<sup>1</sup> August Graf von Platen, S.100. [28]

Hand, auf natürliche und juristische Personen, erweckt das Bedürfnis, ihm nicht nur ein geldliches Maß zuzuordnen, sondern den Produkten auch eine gewisse Messbarkeit ihrer funktionellen, künstlerischen, produktiven usw. Eigenschaften und der bisherigen sowie künftig zu erwartenden Ergebnisse zu verleihen. In diese Problemstellung ist der Beitrag einzuordnen. Er behandelt einen Vorschlag, die Ausbreitung von Produktinnovation, bezogen auf deren Entwicklungshöhe, mathematisch abzubilden. Deduktiv bildet eine Differentialgleichung [DGL] für die Entwicklungsgesetzmäßigkeit von Innovationen den Ausgangspunkt, um deren Ausbreitung mit nichtlinearen Beteiligungsfunktionen zu beschreiben; deren Anwendung auf ausgewählte Produkte erfolgt induktiv unter Anwendung der nichtlinearen Regressionsanalyse, um deren implizite Lösungsvariablen zu bestimmen. Das ursprüngliche statistische Material stammt aus eigener Industrietätigkeit<sup>2</sup>, die späteren Daten wurden Veröffentlichungen entnommen.

Voraussetzung der Berechnungen ist die Kenntnis der Innovationsgrade für Produktsorten und deren Produktgenerationen. Unter dem Innovationsgrad einer Produktsorte sind deren festgestellte Innovationseigenschaften zu verstehen, die sich aus ihrer Eignung für bestimmte Funktionen und Zwecke beim Anwender ergeben; er beschreibt die wissenschaftliche, technische und soziologische Nützlichkeit für den vorgesehenen Verwendungszweck, gestützt auf die Kenntnis der Marktbedürfnisse und Innovationseigenschaften des Produktes. Endgültig äußert er sich in der Marktbewährung der Produkte, subjektiv drückt er das persönliche Wertempfinden des Anwenders aus, wie nützlich ihm das zur Verfügung stehende Produkt ist.

Der statistischen Erhebung der Innovationsdaten liegt ein Rangfolgemodell zu Grunde, das eine systematische Aufschlüsselung der Parametervielfalt des Produktes erfordert, gegliedert in Zielparameter, Strukturparameter, Innovationsparameter und Erfüllungsparameter. Neben der Feststellung der Erfüllungsparameter mit rationalen Zahlen erfolgt auch für sogenannte sanfte Eigenschaften, wie z.B. Farbgestaltung, Bedienfreundlichkeit, die Bewertung durch linguistische Variablen: D.h., die betrachtete Eigenschaft wird genau beschrieben und mit einer Note bewertet. Eine Darstellung der analytischen Ermittlung der Werte der Erfüllungsparameter (Erfüllungssätze) erfolgt sowohl aus thematischen als auch Platzgründen in einem gesonderten Forschungsbericht<sup>3</sup>.

#### *Ausbreitung und Innovationen*

Beteiligungsfunktionen für die Ausbreitung der Produktinnovationen<sup>4</sup> helfen, die Struktur dieser Prozesse besser zu durchdringen; sie dienen der statistischen Auswertung empirischer Daten, der Aufbereitung betriebswirtschaftlicher Kennzahlen und der Begründung von Strategien der Forschung und Entwicklung [F&E] neuer

---

<sup>2</sup> Direktor Neue Technik, Maschinenbaubetrieb für Elektrotechnik/Elektronik „Elektromat“ Dresden.

<sup>3</sup> Vgl. Oppitz 2014. [27]

<sup>4</sup> „Entwicklung, Herstellung und Vermarktung einer für die Nachfrager neuen oder verbesserten Leistung...“. Hofbauer, S. 35. [6]

Produktgenerationen<sup>5</sup>; sie sind zusammen mit den in Nutzwerten<sup>6</sup> ausgedrückten Leistungsgrößen außerordentlich wichtig für die Unternehmensführung. Für die Beschreibung der (abschnittweisen) Dichte- oder (kumulativen) Summenverteilung empirischer Innovationsdaten werden sie als Diffusionsfunktionen unter Angabe der Werte- und Definitionsbereiche [DB] deduktiv mit DGL entwickelt oder induktiv aus dem mathematischen Funktionsvorrat übernommen.

Es liegt die Vermutung nahe, dass die Diffusionsfunktionen der in aufeinanderfolgenden Produktgenerationen auftretenden Innovationen<sup>7</sup> eine übergreifende Funktionskurve besitzen. Die jeweilige Sättigungsgrenze für eine Produktgeneration verweist i.d.R. auf grundlegende Erkenntnisgrenzen, wie z.B. eine Naturkonstante (etwa die Lichtgeschwindigkeit). Solche Steigerungsperioden der Ablösung einer Erzeugnisgeneration durch eine neue dürften bei vielen empirischen Analysen der Innovationsausbreitung vorzufinden sein (Abb. 1).

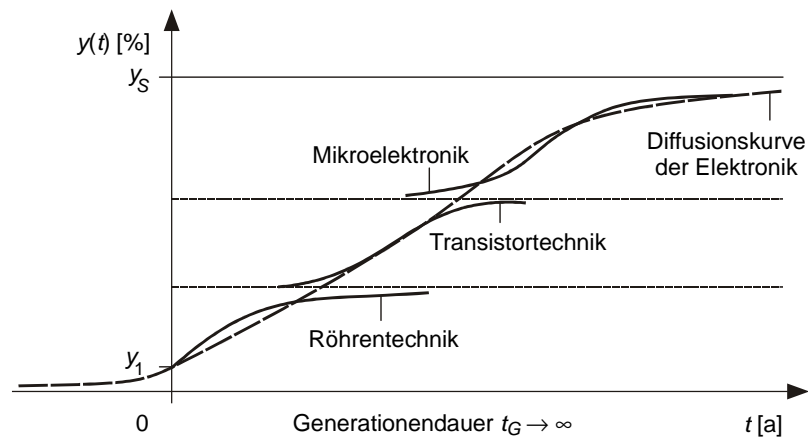


Abbildung 1: Dynamische Ausbreitung der Innovationen elektronischer Produkte

Die wissenschaftsorganisatorischen und marktwirtschaftlichen Ausbreitungstendenzen der Produkterneuerung entwickeln sich

- *dynamisch* von der Anfangsinnovation bis zur Sättigung; die letztmalige Innovation reproduziert den Bestand auf gleichbleibendem Niveau (Abb. 1);
- *statisch* vom Aufbau und bis zur ständigen Erneuerung der Bestandsstruktur in einem sozialen System, einerseits abhängig vom Nutzwert und Preis, andererseits von der Bedürfnislage und Kaufkraft (Abb. 2).

<sup>5</sup> „In Europa liefern wir neuerdings das Common Rail der zweiten Generation für schwere Nutzfahrzeuge.“ Chur.

<sup>6</sup> Vgl. Oppitz 1979 [18], Oppitz 2000 [23]

<sup>7</sup> Vgl. Oppitz 2011/1, S. 357. [25]

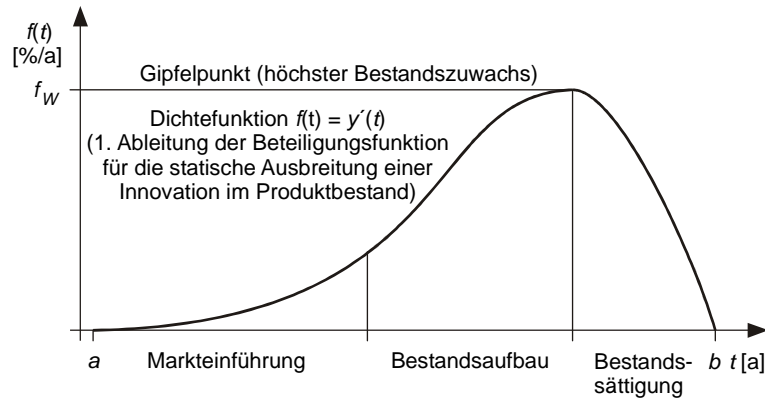


Abbildung 2: Statische Innovationsausbreitung im Anwenderbestand eines sozialen Systems

Diffusionsfunktionen der Innovation erlauben mit der Aufdeckung von Entwicklungsgesetzmäßigkeiten die Ableitung strategischer Zielsetzungen und Entscheidungen<sup>8</sup>. Ihre Plausibilität wird unter Auswertung empirischer Daten<sup>9</sup> getestet. Die verschiedenen Gesetzmäßigkeiten folgende Ausbreitung der Produktinnovationen begründet sich dynamisch durch F&E-Maßnahmen und statisch durch Marktstrategien. Die Kenntnis der Interaktionen zwischen Innovationen und Bedingungsgefüge, wie z.B. F&E-Kapazitäten, Kapitaleinsatz, ermöglicht strategische Folgerungen im Vergleich zu anderen Wettbewerbern. D.h., trotz vielfältiger Formen besitzen dynamische und statische Diffusionsfunktionen gemeinsame Merkmale, aus denen unternehmerische Strategien hervorgehen, die ihrer Komplexität wegen auf der Vorstandsebene zu behandeln und zu entscheiden sind.

#### Innovation und Nutzwert

Es ist sinnvoll, die Parameter stofflicher und geistiger (Dienste, Rechte) Produkte<sup>10</sup> in Kennzahlen darzustellen, wie z.B. den auf die Sättigungsinnovation  $y_S$  bezogenen Stand  $y_i$ . Der DB ihrer Häufigkeitsverteilung bestimmt die Anzahl der Daten in den Randklassen  $q_1, q_k$ : 1. linksseitig endlich, rechtsseitig offen<sup>11</sup>,  $a > -\infty$ ,  $b \rightarrow \infty$ :  $q_1 \geq 0, q_k \geq 5$ , 2. links- und rechtsseitig endlich<sup>12</sup>,  $a > -\infty, b < \infty$ :  $q_1 \geq 0, q_k \geq 0$  (Abb. 3), 3. zeitlos<sup>13</sup>,  $a \rightarrow -\infty, b \rightarrow \infty$ :  $q_1 \geq 5, q_k \geq 5$ .

<sup>8</sup> Vernetzung verschiedener Wissenschaftsdisziplinen in Bezug auf F&E-Kapazitäten, Investitionen, Leistungsziele, -grenzen, Lösungswege der Produktentwicklung usw.

<sup>9</sup> Datengewinnung aus Naturwissenschaft, Technik und Wirtschaft durch Feldforschung (Primärerhebung, Analysen, Beobachtungen) und Materialforschung (Sekundärerhebung, Recherche relevanter Publikationen usw.). Die Aussagekraft der Daten steigt, je mehr analytisch-rechnerische bzw. experimentelle Größen vorliegen.

<sup>10</sup> „Das Nutzenspotenzial in der Gestaltung der Nutzenskomponenten“. Hofbauer, S. 61. [6]

<sup>11</sup> Wie z.B. vom ersten Tischrechner (1949) bis zur x86-Architektur.

<sup>12</sup> Wie z.B. zweidimensionale Farbfernsehtechnik.

<sup>13</sup> Wie z.B. Gläser, vgl. Oppitz 1988, S. 198. [19]

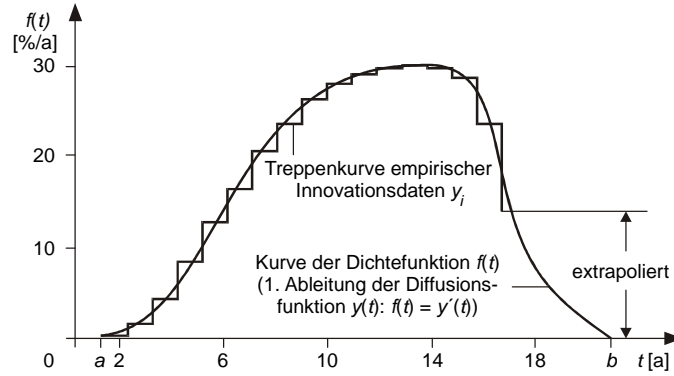


Abbildung 3: Diffusionsfunktion (glatte Kurve) einer empirischen Verteilung (Treppenkurve)

Die Bewertung der Gebrauchseignung des Produktes betrifft z.B. funktionelle Parameter, die u.a. mit linguistischen Variablen aufbereitet und gewichtet, nicht in Geld gemessen werden. Das Innovationspotential  $P_k$  künstlerischer, ökologischer, technischer usw. Parameter beruht auf einem Anfangs-  $y_1$ , Gegenwarts-  $y_n$ , Ziel-  $y_Z$  und Sättigungsnutzwert  $y_S$ :

$$P_k = \frac{y_Z - y_n}{y_S - y_1}, \quad \text{Bedingungen: } y_n \in [y_1, y_S], y_n < y_Z \leq y_S, \quad \text{Ziel: } P_k \rightarrow \text{Max!}$$

Die Punktbewertung der Parameter ist in verschiedener Form üblich. Vergleiche zwischen Bezugs- und Ist-Werten zeichnen sich durch einen hohen Grad der Sachlichkeit aus. Bei Wahl eines Bezugswertes kann z.B. ein Sollwert vorgegeben werden. Grenzwerte für eine Mindest- und Zielgrößen liefern unterschiedliche Ergebnisse, wie z.B.: A ... Standard, Festpunkt mit B ... Mindest-, C ... Höchst-, D ... Mindest- und Höchstforderung (Abb. 4).

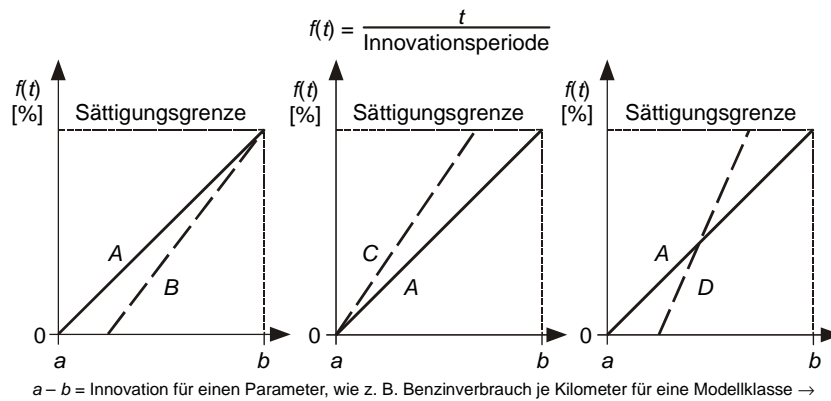


Abbildung 4: Einfluss bei linearer Skalierung der Innovationsparameter

Der Nutzwert stellt die Produkteignung für einen Gebrauchszweck nach *Nützlichkeit* (Marktforschung) und *Innovation* (Parameterbewertung) dar (Abb. 5).

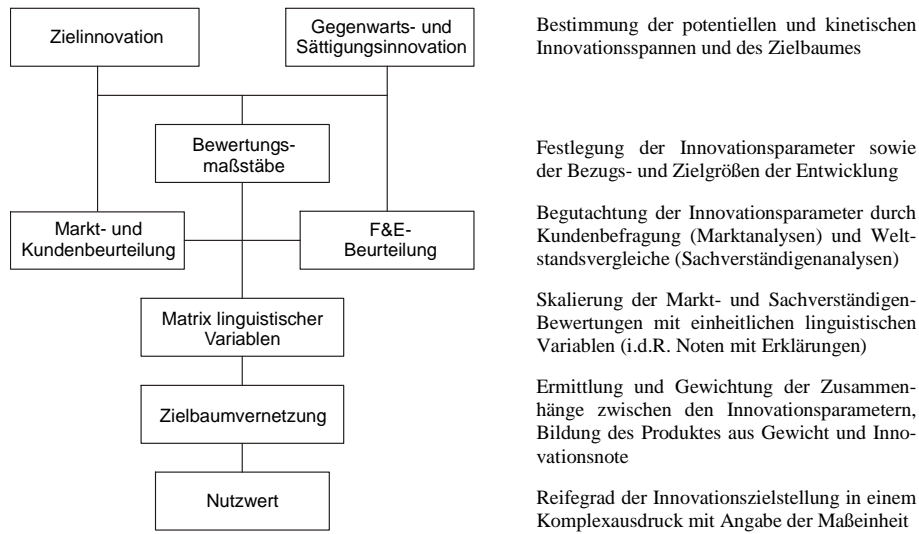


Abbildung 5: Einordnung der Innovationsparameter in die Nutzwertanalyse

Für die zusätzliche Erläuterung empfehlen sich Diagramme<sup>14</sup> (Abb. 6).

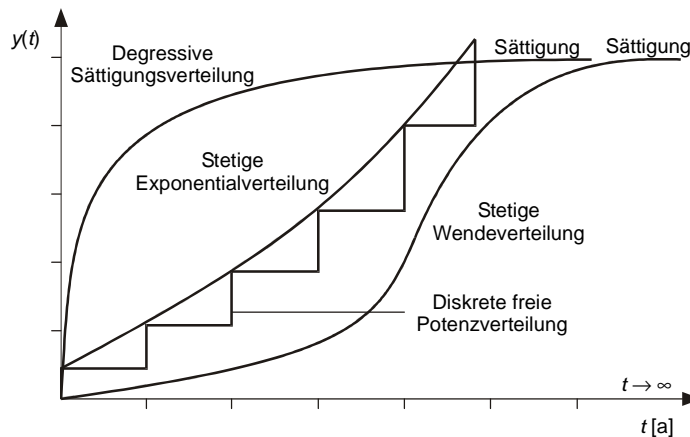


Abbildung 6: Stetige (glatte) und diskrete (stufige) Funktionskurven der Innovationen mit Identität der freien stetigen und diskreten Ausbreitung an den Periodengrenzen

Die i.d.R. nichtlinearen<sup>15</sup> eindimensionalen Diffusionsfunktionen erlauben das Auswerten empirischer Daten der Produktgenerationen<sup>16</sup> und die Begründung der

<sup>14</sup> Vgl. „Kreisdiagramm“, „Polarkoordinatendiagramm“, „Parallelkoordinatendiagramm“, Oppitz 2011/1, S. 31, bzw. „Netzgrafik des Nutzwertes ...“, Oppitz 2011/1, S. 358. [25]

Strategien für das bestmögliche Erreichen der Innovationsziele<sup>17</sup>, weil sie bei gleichem Startzustand eine von mehreren möglichen Ausprägungen annehmen können. Die *Sättigungsinnovationen*  $\{0 \leq y \leq y_s\}$ , *DB*  $\{-\infty \leq t \rightarrow \infty\}$ ,  $\{-\infty \leq t \rightarrow T\}$ , betreffen abnehmende oder wendische Anstiege.

Bei Feststellung ungenügender F&E-Potenz, wie z.B. Verharren auf Routinen, Behinderung des Schöpferturns, fehlende Wettbewerbsbereitschaft, geht es, falls gültige Forschungsalternativen für die Innovationsdauer  $t_Z$  bestehen, um höhere Innovationsziele.<sup>18</sup> Jede Gegenwartsinnovation  $y_n$  liefert den Startzustand für die Zielvorgabe der Nutzwertentwicklung<sup>19</sup>. Das ist notwendig, um der Nachfrage zu genügen und den Wettbewerb erfolgreich zu gestalten, aber auch deswegen, weil das weitere Entwickeln alter Produkte aufwendiger und unwirtschaftlicher ist. Langfristiges Forschungsziel ist die Innovationssättigung  $y_s$ , die Unternehmensstrategie verfolgt das rasche Verwirklichen des Innovationsziels  $y_Z$ . Dabei ist eine Innovationsstrategie zu Beginn ihrer Einführung oft einer gegenwärtigen F&E-Strategie unterlegen.<sup>20</sup> Da die Begründung jeder neuen, höheren Innovation aber näher an die übergreifende Kurve der Diffusionsfunktionen heranführt, erfordert sie auch eine verbesserte Zielinnovation  $y_Z$ .

### *Induktive Diffusionsmodelle der Innovation*

#### *Findung der Beteiligungsfunktion*

Die Suche nach einer Diffusionsfunktion verlangt eine ausreichende Anzahl passender Funktionen (Tab. 1), mathematische Vielseitigkeit<sup>21</sup> und Unwiderlegbarkeit getroffener Annahmen, weil „die Sprache der Mathematik durch die Verwendung

<sup>15</sup> Vgl. „Progressiver Zusammenhang zwischen Bewertungszahl und Parameterwerten“, Oppitz 2011/1, S. 359. Die Exponentialfunktion ( $t \rightarrow \infty$ ,  $y \rightarrow \infty$ ), wie z.B. CO<sub>2</sub>-Ausbreitung (vgl. Meadows, S. 59) wird im Beitrag nicht betrachtet. [25]

<sup>16</sup> Vgl. Oppitz 1977, S. 118, wie z.B.: Schwarz-Weiß-Fernsehen, Farbfernsehen, 3D-Farbfernsehen usw. [1]

<sup>17</sup> Wie z.B.: Stabilisieren des Funktionsprinzips, Verbesserung des Verfahrens, Optimierung der Innovationsdauer.

<sup>18</sup> Der engen Korrelation zwischen den relationalen Ausbreitungsgeschwindigkeiten des Wissens und neuer Produkte genügt i. d. R. mit entsprechendem Lag der gleichen Diffusionsfunktion  $y$ .

<sup>19</sup> „Es besteht die Notwendigkeit, die Erkenntnisse über die Anwender am Markt in den Produktionsentwicklungsprozess einzubeziehen und den Fokus auf den spezifischen Nutzen auszurichten.“ Hofbauer, S. 60. [6]

<sup>20</sup> Aus den Analysen der dynamischen Ausbreitung der Innovationen wird die bekannte Tatsache verständlich, dass eine neue Innovationsstrategie ziemlich oft auf Widerstand stößt.

<sup>21</sup> „Was wir heute Mathematik nennen, ist die Vereinigung von einem Klecks Logik und Mengenlehre, von etwas axiomatischer Theorie linear geordneter Körper, analytischer Geometrie und Topologie, die letztere sowohl im „allgemeinen“ Sinne (Grenzwerte und stetige Funktionen), die richtig so genannt wird (Differentiation), und etwas kombinatorischer Symbolmanipulation, die formale Integration genannt wird, von den ersten Schritten der klassischen Analysis der trigonometrischen Funktionen, der Exponentialfunktionen und der logarithmischen Funktionen ....“ Halmos, S. 7. [Seite 93, Ref. 15]



von Symbolen geprägt ist; diese sind kein Selbstzweck, sondern dienen dazu“, sie „mit Standardsymbolen kontrollierbar zu bezeichnen“.<sup>22</sup>

Name	Mathematischer Algorithmus
Gompertz-Funktion <sup>23</sup>	$y = y_S \cdot e^{b \cdot \kappa^{-t}}, t_W = \frac{\ln(-b)}{\ln \kappa}$
Janoschek-Funktion <sup>24</sup>	$y = y_S \cdot \left(1 - e^{-b \cdot t^\kappa}\right), t_W = \sqrt[\alpha]{\frac{\alpha - 1}{\alpha \cdot \kappa}}$
Johnson-Funktion <sup>25</sup>	$y = y_S \cdot e^x, x = \frac{-\kappa}{b+t}, t_W = \frac{\kappa}{2} - b$
Logistische Exponential-Funktion <sup>26</sup>	$y = y_S \cdot \frac{e^{\frac{\kappa}{2} \cdot t \cdot (2T-t)} - 1}{e^{\frac{\kappa}{2} \cdot T^2} - 1}, t_W = T - \sqrt{\frac{1}{\kappa}}$
Logistische Funktion <sup>27</sup>	$y = \frac{y_S}{1 + b \cdot e^{-\kappa t}}, t_W = \frac{\ln b}{\kappa}$
Potenz-Exponential-Funktion <sup>28</sup>	$y = y_S \cdot \left(\frac{t}{T}\right)^{\kappa T} \cdot e^{\kappa(T-t)}, t_W = T - \frac{T}{\sqrt{\kappa \cdot T}}$
Richards-Funktion <sup>29</sup>	$y = y_S \cdot \left(1 - b \cdot e^{\kappa t}\right)^\alpha, t_W = \frac{1}{\kappa} \cdot \ln\left(\frac{b}{\alpha}\right)$
Sinuspotenzfunktion <sup>30</sup>	$y = Y_S \cdot \sin^\kappa\left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{t}{T}\right), t_W = \frac{\pi \cdot \arctan(\kappa - 1)}{2 \cdot T}$
Sinuszeitpotenzfunktion <sup>31</sup>	$y = y_S \cdot \sin \frac{\pi}{2} \cdot \left(\frac{t}{T}\right)^\kappa, t_W = \frac{T}{\sqrt[3]{2}}$

*Tabelle 1: Übersicht wichtiger Beteiligungsfunktionen*

Der bestmögliche Zusammenhang zwischen Beteiligungsfunktion und empirischen Zeitreihen wird durch Beobachtung und Vergleich ihrer Verteilungen im Definitionsbereich des Innovationsprozesses gefunden und nicht – wie bei deduktivem For-

<sup>22</sup> Beutelspacher 1, S. 29. [Seite 93, Ref. 2]

<sup>23</sup> Vgl. Gompertz (1825), S. 513 – 585. [4]

<sup>24</sup> Vgl. Janoschek (1957), S. 25 ff. [7], Vgl. Sager (1978), S. 366 ff. [30]

<sup>25</sup> Vgl. Oppitz 2005. S. 247.

<sup>26</sup> Vgl. Oppitz 1977, S. 106 ff. [17]

<sup>27</sup> Vgl. Oppitz 1971 [14], 1974 [15], Oppitz 2011/2, S. 43 – 46. [26]

<sup>28</sup> Oppitz 1969, S. 467 ff. [13]

<sup>29</sup> Vgl. Richards (1959), S. 290 ff. [29]

<sup>30</sup> Oppitz 1961 S. 5 ff, entwickelt für die mathematische Serienplanung neuer Erzeugnisse. [11]

<sup>31</sup> Oppitz 1966 S. 775 ff. [12]

schen – aus der Kenntnis einer Gesetzmäßigkeit für die Innovationsausbreitung. Bei ihrer Auswahl wird davon ausgegangen, dass sich die monoton steigenden Diffusionsfunktionen  $y(t)$  mit Sättigung  $y(t \rightarrow \infty \text{ bzw. } t \rightarrow T) \rightarrow y_S$ , entweder mit ab-schwellendem oder wendischem Anstieg mit dem Wendepunkt  $y_W, t_W$  ausbreiten. Ob eine Beteiligungsfunktion brauchbar ist, zeigt der Plausibilitätstest.

### Induktive dynamische Diffusionsfunktion

Beteiligungsfunktion der dynamischen Diffusion  $y(t)$  ist die Sinuspotenzfunktion; umgeformt nach der Zeit  $t(y)$  ergibt sich daraus die Innovationsdauer  $t_Z$ .

**STU**

$$y(t) = y_0 + (y_S - y_0) \cdot \sin \alpha \left( \frac{\pi \cdot t}{2 \cdot t_G} \right), \quad 0 \leq t \leq t_G, \quad 0 \leq y_0 < y_S < \infty, \quad \alpha > 0$$

$$[y_0, \alpha] \equiv \sum_{i=1}^n (y(t_i) - y_i)^2 \rightarrow \text{Min!} \quad \sigma = \sqrt{\frac{1}{n-2} \cdot \sum_{i=1}^n (y(t_i) - y_i)^2}, \quad y_Z = y(t_Z) \rightarrow$$

$$t_Z = \frac{2 \cdot t_G}{\pi} \arcsin \alpha \sqrt{\frac{y_Z - y_0}{y_S - y_0}} \rightarrow t_D = t_Z - t_A, \quad t_B = t_D - t_F$$

Für die Regressionsanalyse<sup>32</sup> liegen Nutzwerte (Tab. 2) und Ziele für einen Kabel-formlegeautomaten<sup>33</sup> vor, um die Funktionsparameter zu ermitteln (Abb. 7).

Eingabe: Analysendauer (1905...1964)  $t_A = 60$  a, *Entstehungsdauer* (Lastenheft)  $t_F = 2,50$  a, Generationendauer (Prognose 1905...2060)  $t_G = 155,00$  a, Sättigungsinnovation (Digital-Automaten)  $y_S = 100,00$  %, *Zielinnovation* (analoger Kabelform-lege-Automat)  $y_Z = 65,60$  %.

Jahr	t [a]	y [%]	Jahr	t [a]	y [%]	Jahr	t [a]	y [%]
1905	5	14,97	1930	30	21,15	1950	50	34,24
1910	10	15,07	1940	40	24,93	1955	55	37,75
1915	15	18,23	1945	45	33,38	1960	60	41,98

*Tabelle 2: Empirische Nutzwerte der Kabelformlege-Betriebsmittel*

<sup>32</sup> Alle Berechnungen erfolgen mit OR\_MAT® [CD ROM]. Vgl. Oppitz 2011/2, S. 50/75. Eingabedaten stehen nach dem Formelblock vor einer Trennlinie, dahinter die Ergebnisdaten. [26]

<sup>33</sup> Elektromat Dresden, Patent „Kabelformlegeautomat“ 1964. Vgl. Oppitz 1971 [14], 1977. [17]

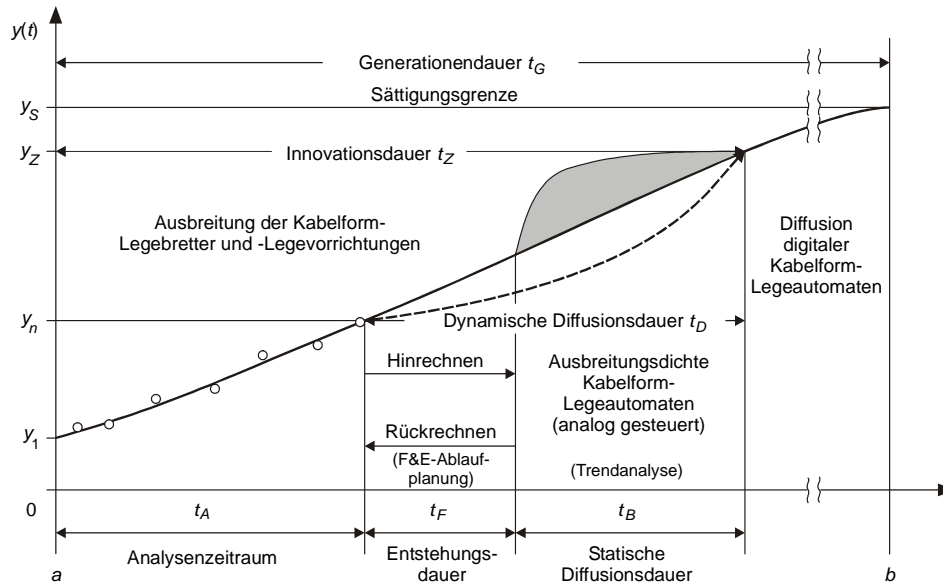


Abbildung 7: Produktinnovationen der Kabelformlege-Betriebsmittel (Prinzipische)

Krümmungsexponent	$\alpha$	=	2,05025	
Umfang der Zeitreihe	$n$	=	9	St.
Standardabweichung	$\sigma$	=	1,57856	%/a
Statische Ausbreitungsdauer	$t_B$	=	37,05	a
Dynamische Ausbreitungsdauer	$t_D$	=	39,55	a
Innovationsdauer	$t_Z$	=	99,55	a
Anfangsinnovation (Handverlegung)	$y_0$	=	14,87	%

Deduktive dynamische Diffusionsfunktion

Die Begründung der Diffusionsfunktion<sup>34</sup>  $y$  durch DGL<sup>35</sup> beruht auf der „Vernunftkenntnis aus der Konstruktion der Begriffe“<sup>36</sup>; sie beschreibt Entwicklungsgesetze der Innovationen und das Änderungsverhalten zwischen der Variablen  $x$  und ihren Funktionen  $y = f(x)$ , nicht ihre gegenseitigen Abhängigkeiten oder Ableitungen. Grundsätzlich lässt sich jede Funktionsschar mit  $n$  Parametern durch eine DGL  $n$ -ter Ordnung wiedergeben und umgekehrt. Vereinfachend gilt, dass der Innovationsprozess vom Ausgangszustand und seiner empirischen Verteilung abhängt, obwohl er noch weiteren Einflüssen unterliegt. Die Innovationsausbreitung  $dy/dx$  ist proportional abhängig von der Innovationskraft  $\beta$ , der verfügbaren Inno-

<sup>34</sup> Möglich ist auch die Übernahme einer analogen Funktion mit Identitäten.

<sup>35</sup> Ausgangspunkt ihrer Entwicklung sind dynamische Verhältnisse zwischen Quantitäten. Vgl. Oppitz 1999, S. 701. [22]

<sup>36</sup> Kant, S. 19. [Seite 93, Ref. 16]

tionsspanne ( $y_s - y$ ) und der F&E-Kapazität  $x$  mit der Potenz  $n$  als Verkörperung der Kapitalproduktivität der Forschung (Abb. 8).

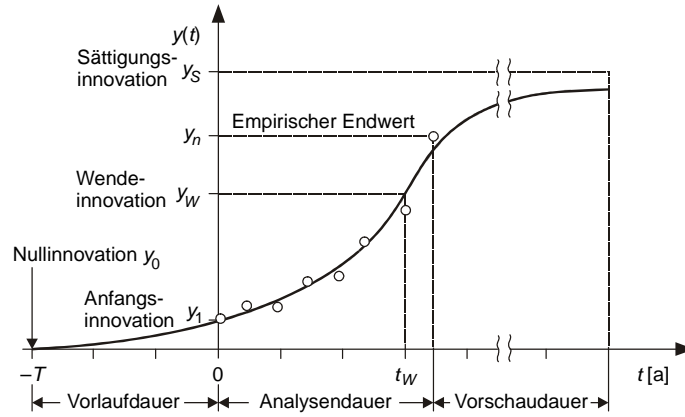


Abbildung 8: Funktionsstruktur

$$\frac{dy}{dx} = \beta \cdot (y_s - y) \cdot x^n, \quad v = y_s - y, \quad dv = -dy \rightarrow \frac{dv}{dx} = -\beta \cdot v \cdot x^n \rightarrow$$

$$\int \frac{dv}{v} = -\beta \cdot \int x^n \cdot dx \rightarrow \ln v = -\beta \cdot \frac{x^{n+1}}{n+1} + I \rightarrow v = e^{-\beta \cdot \frac{x^{n+1}}{n+1}} \cdot e^I$$

Die Diffusionsfunktion  $y$  enthält den zeitabhängigen Term  $x = x(t; T)$  mit der Vorlaufdauer  $T$ , die Anfangsinnovation  $y_1 = y(0)$  und die Sättigungsgrenze  $y_s$ , über die hinaus keine Innovation auch bei größter F&E-Kapazität steigen kann. Aus der Diffusionstheorie ist bekannt, dass eine Innovation umso schwieriger wird, je mehr sie sich der Sättigung nähert. Durch Einführung der Parameter  $\alpha$ ,  $\kappa$  und deren Umformungsterme entsteht die allgemeine Lösung der Diffusionsfunktion  $y$ :

$$\alpha = n+1, \quad \kappa = \frac{-\beta}{n+1} = \frac{-\beta}{\alpha}, \quad y = y_s - v \rightarrow v = e^{\kappa \cdot x^\alpha} \cdot e^I \rightarrow y = y_s - e^{\kappa \cdot x^\alpha} \cdot e^I.$$

Die Nullsetzung der 2. Ableitung zeigt bei Vernachlässigung der Integrationskonstanten, bei welchen Ausprägungen der Funktionsparameter satte oder wendische Ausbreitung vorliegt:

$$y' = \alpha \cdot \kappa \cdot \frac{x^\alpha}{x} \cdot y = u \cdot y, \quad u = \alpha \cdot \kappa \cdot x^{\alpha-1}, \quad u' = \alpha \cdot (\alpha - 1) \cdot \kappa \cdot x^{\alpha-2} = u \cdot \frac{\alpha - 1}{x},$$

$$y'' = u' \cdot y + y' \cdot u = u \cdot y \cdot \left( \frac{\alpha - 1}{x} + u \right) = \frac{u \cdot y}{x} \cdot (\alpha - 1 + u \cdot x) = \frac{u \cdot y}{x} \cdot (\alpha - 1 + \alpha \cdot \kappa \cdot x^\alpha) = 0.$$

Die Ausbreitung der Innovationen ist im Wertebereich  $y \in [0, y_S]$ , DB:  $x \in [0, \infty]$  wendisch, wenn die nullgesetzte 2. Ableitung eine Wendestelle  $x_W$  aufweist, sonst satt (Abb. 9):

$$\alpha - 1 + \alpha \cdot \kappa \cdot x_W^\alpha = 0 \rightarrow \kappa < 0 \begin{cases} 0 < \alpha < 1, & x_W \rightarrow 0 & \text{Satte Ausbreitung} \\ \alpha > 1, & x_W = \sqrt[\alpha]{\frac{1-\alpha}{\alpha \cdot \kappa}} & \text{Wendische Ausbreitung} \end{cases}$$

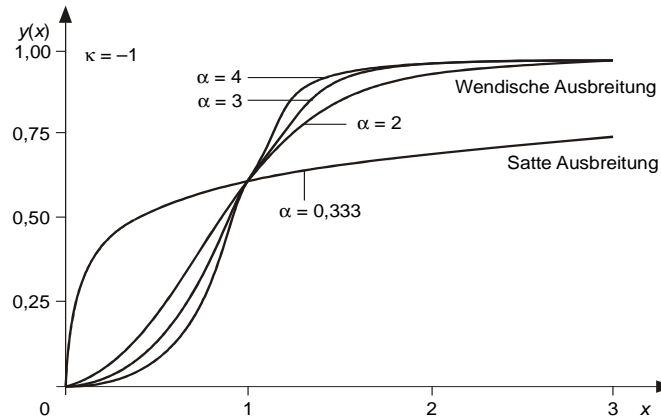


Abbildung 9: Funktionskurven der dynamischen Ausbreitung der Innovationen

Die Parameter: Vorlaufdauer  $T$ , Krümmungs-  $\alpha$  und Ausbreitungsexponent  $\kappa$  bestimmen die Bewegungen und Begrenzungen der Veränderung der Diffusionsfunktion, die Ausformung der Funktion  $y$  erfordert die Einführung der Zeitabhängigkeit der Investitionsfunktion  $x = 1 + t/T$  und die Bestimmung der Integrationskonstanten  $e^I$  mit den Anfangsbedingungen  $y(t = -T) = y_0$  und  $y(t = 0) = y_1$ :

$$y = y_S - e^{\kappa \cdot x^\alpha} \cdot e^I, \quad x = 1 + \frac{t}{T}, \quad \rightarrow \quad y = y_S - e^I \cdot e^{\kappa \left(1 + \frac{t}{T}\right)^\alpha}$$

$$y_0 = y(t = -T) = y_S - e^I \rightarrow e^I = y_S - y_0 \rightarrow$$

$$y = y_S - (y_S - y_0) \cdot e^{\kappa \left(1 + \frac{t}{T}\right)^\alpha}, \quad y_1 = y(t = 0) = y_S - (y_S - y_0) \cdot e^\kappa \rightarrow$$

$$\frac{y_S - y_1}{y_S - y_0} = e^\kappa \rightarrow \text{NB: } \kappa = \ln \frac{y_S - y_1}{y_S - y_0}, \quad y = y_S - (y_S - y_0) \cdot e^{\kappa \left(1 + \frac{t}{T}\right)^\alpha} \rightarrow$$

$$\boxed{\kappa < 0, \quad 0 < \alpha < 1, \quad \rightarrow \quad \lim_{t \rightarrow \infty} y = y_S - (y_S - y_0) \cdot e^{\kappa \left(1 + \frac{t}{T}\right)^\alpha} = y_S}$$

Die Bestimmtheit der Funktionsparameter  $\alpha$ ,  $\kappa$ ,  $T$  hängt wesentlich von der Wertangabe der Innovationsschranken  $y_0(t = -T)$ ,  $y_1(t = 0)$ ,  $y_S(t \rightarrow \infty)$  und der Zufallsstichprobe  $y_i$  ab mit Zuweisung der Anfangsinnovation  $y_1 \geq y_0$ :

$$\kappa = \ln \frac{y_S - y_1}{y_S - y_0}, \quad y = y_S - (y_S - y_0) \cdot e^{\kappa \left(1 + \frac{t}{T}\right)^\alpha}, \quad [T, \alpha] \equiv \sum_{i=1}^n (y(t_i) - \tilde{y}_i)^2 \rightarrow \text{Min!}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-2} \cdot \sum_{i=1}^n (y(t_i) - \tilde{y}_i)^2}, \quad t_Z = T \cdot \left( \frac{1}{\kappa} \cdot \alpha \cdot \sqrt{\frac{y_S - y_Z}{y_S - y_0}} - 1 \right), \quad t_D = t_Z - t_A, \quad t_B = t_D - t_F$$

$$t_W = T \cdot \left( \alpha \cdot \sqrt{\frac{1 - \alpha}{\alpha \cdot \kappa}} - 1 \right), \quad \text{falls } \alpha > 1 \rightarrow y_W = y(t_W)$$

Die Parameter der Diffusionsfunktion werden wie folgt bestimmt:

- Berechnung des *Ausbreitungsexponenten*  $\kappa < 0$  wegen  $y_0 < y_1$  aus der potentiellen  $(y_S - y_0)$  und kinetischen Innovationsspanne  $(y_S - y_1)$ .
- Regressionsanalytische Ermittlung des *Krümmungsexponenten*  $\alpha$ , der *Vorlaufdauer*  $T$  und der Standardabweichung  $\sigma$ .
- Ermittlung der statischen  $t_B$ , der dynamischen Ausbreitungsdauer  $t_D$  und der Innovationsdauer  $t_Z$ ; bei Vorliegen des entsprechenden Krümmungsexponenten  $\alpha > 1$  wird der Wendepunkt  $y_W$ ,  $t_W$  ermittelt.

Es folgt die Ausgabe der Funktionswerte und -kurve als Grundlage für die betriebsökonomische Analyse und Vorausschau auf die dynamische und statische Ausbreitung verschiedener Innovationsprozesse. Unter Angabe der OR\_MAT-Kennungen (drei Großbuchstaben) werden Praxisbeispiele für die satter und wendische Ausbreitung von Innovationen berechnet.

### *Beispiele satter Ausbreitung der Innovation*

Die satter dynamische Innovationsausbreitung ( $0 < \alpha < 1$ ) besitzt einen großen Vorhaltungswinkel; je höher er ist, desto rascher wachsen die Innovationen.

#### *Additionsgeschwindigkeit der Personal-Computer [PC]*

**INA**

Die 1. PC-Generation (Zuse) besteht aus Halbleiter-Transistoren ( $v \approx 20 \dots 1000$  Operationen je s [OP/s]), die 2. (ENIAC) aus Elektronenröhren ( $v \approx 10000$  OP/s), die 3. aus Schaltkreisen ( $v \approx 500\,000$  OP/s), die 4. aus hochintegrierten Schaltkreisen ( $v \approx 10\,000\,000$  OP/s). Alle weiteren PC-Generationen erlauben in Einheit von Soft- und Hardware (Nano-Technologie, organische Chips) noch höhere Rechengeschwindigkeiten.

Eingaben: *Entstehungsdauer*  $t_F = 2,50$  a, *Nullinnovation*  $y_0 = 10^0$  OP/s, *Sättigungsinnovation*  $y_S = 10^{10}$  OP/s, *Zielinnovation*  $y_Z = 10^{9,12}$  OP/s (Tab. 3).

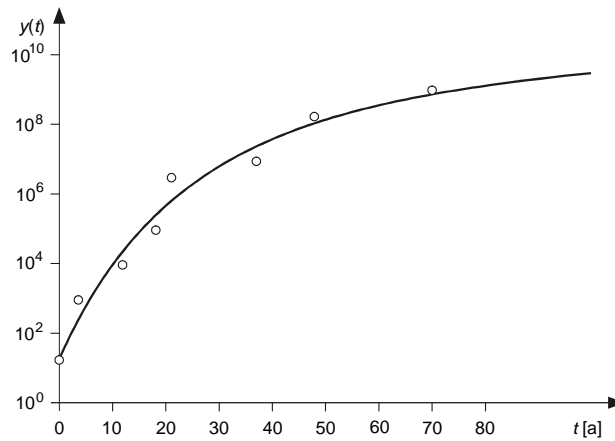
Ausgaben: Funktionskurve, Parameter- und Funktionswerte (Tab. 4, Abb. 10).

$t$	$x$	Jahr	G	$t$	$x$	Jahr	G
0	1,30	1941	1.	21	6,50	1962	3.
4	3,00	1945	2.	37	7,00	1978	4.
12	4,00	1953	2.	48	8,25	1987	5.
18	5,00	1959	2.	70	9,00	2011	5.

*Tabelle 3: Additions­geschwindigkeit in Zehnerpotenz  $v = 10^x$  [INC], G ... PC-Generation*

$t$ [a]	$x$	Jahr	$t$ [a]	$x$	Jahr	$t$ [a]	$x$	Jahr
0	1,30	1941	25	6,28	1966	50	8,17	1991
5	2,86	1946	30	6,79	1971	55	8,40	1996
10	4,01	1951	35	7,23	1976	60	8,60	2001
15	4,93	1956	40	7,59	1981	65	8,78	2006
20	5,67	1961	45	7,91	1986	70	8,92	2011

*Tabelle 4: Funktionell bestimmte Additions­geschwindigkeit in Zehnerpotenzen  $v = 10^x$*



*Abbildung 10: Additions­geschwindigkeit ausgewählter PC*

Vorlaufdauer	$T$	=	2,70	a
Krümmungsexponent	$\alpha$	=	0,84228	
Ausbreitungsexponent	$\kappa$	=	-0,13926	
Umfang der Zeitreihe	$n$	=	8	St.
Standardabweichung	$\sigma$	=	$10^{0.43882}$	OP/s
Analysendauer	$t_A$	=	70,00	a
Statische Ausbreitungsdauer	$t_B$	=	5,33	a
Dynamische Ausbreitungsdauer	$t_D$	=	7,83	a
Innovationsdauer	$t_Z$	=	77,83	a
Anfangsinnovation	$y_1$	=	$10^{1.3}$	OP/s
Gegenwartsinnovation	$y_n$	=	$10^9$	OP/s

*Fehlerfreie Laufzeiten vernetzter Computer [DVA]*

**IND**

Aus der Statistik der fehlerfreien Laufzeiten des Computernetzes eines Unternehmens soll eine Vorausschau auf die künftige Entwicklung abgeleitet werden.

Eingaben: *Entstehungsdauer*  $t_F = 2,00$  a, *Nullinnovation*  $y_0 = 10^2$  h/a, *Sättigungsinnovation*,  $y_S = 10^8$  h/a, *Zielinnovation*  $y_Z = 10^6$  h/a (Tab. 5).

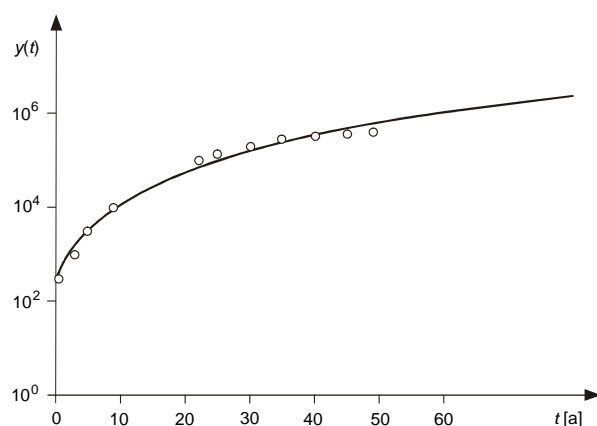
Ausgaben: Funktionskurve, Parameter- und Funktionswerte (Tab. 6, Abb. 11).

Jahr	Nr.	x	Jahr	Nr.	x	Jahr	Nr.	x	Jahr	Nr.	x
1963	0	2,50	1972	9	4,00	1993	30	5,28	2008	45	5,55
1966	3	3,00	1985	22	5,00	1998	35	5,40	2012	49	5,60
1968	5	3,50	1988	25	5,12	2003	40	5,49			

*Tabelle 5: Mittlere fehlerfreie Laufzeiten  $\tau = 10^x$  in einem internen PC-Netz*

Jahr	Nr.	x	Jahr	Nr.	x	Jahr	Nr.	x
1968	5	3,53	1988	25	4,98	2008	45	5,66
1973	10	4,06	1993	30	5,18	2013	50	5,79
1978	15	4,43	1998	35	5,36	2018	55	5,91
1983	20	4,73	2003	40	5,52	2023	60	6,01

*Tabelle 6: Funktionelle fehlerfreie Laufzeiten  $\tau = 10^x$  in einem internen PC-Netz*



*Abbildung 11: Fehlerfreie Laufzeiten im internen PC-Netz*

Vorlaufdauer	$T$	=	0,62	a
Krümmungsexponent	$\alpha$	=	0,55536	
Ausbreitungsexponent	$\kappa$	=	-0,08701	
Umfang der Zeitreihe	$n$	=	11	St.
Standardabweichung	$\sigma$	=	$10^{0.13353}$	h/a
Analysendauer	$t_A$	=	49,00	a



Statische Ausbreitungsdauer	$t_B$	=	8,36	a
Dynamische Ausbreitungsdauer	$t_D$	=	10,36	a
Innovationsdauer	$t_Z$	=	59,36	a
Anfangsinnovation	$y_1$	=	$10^{2.5}$	h/a
Gegenwartsinnovation	$y_n$	=	$10^{5.6}$	h/a

*Elektronik-Betriebsmittel in Autowerkstätten*

**INF**

Der Bestand an elektronischen Betriebsmitteln wurde seit 1980 erfasst (Tab. 7), die Innovationssättigung  $y_s = 100\%$ , entspricht einem (vertraulichen) Kapitalwert des Betriebsmittelbestandes an elektronischen Ausrüstungen einschließlich PC. Die Parameterwerte, Funktionskurve und berechneten Funktionswerte werden ausgegeben (Tab. 8, Abb. 12).

Jahr	$t$ [a]	$y$ [%]	Jahr	$t$ [a]	$y$ [%]	Jahr	$t$ [a]	$y$ [%]
1980	0	3,96	1995	15	36,18	2010	30	54,18
1985	5	18,64	2000	20	43,04	2011	31	54,63
1990	10	24,72	2005	25	48,76	2012	32	55,97

*Tabelle 7: Bestandsentwicklung elektronischer Betriebsmittel*

Entstehungsdauer	$t_F$	=	4,00	a
Nullinnovation	$y_0$	=	0,00	%
Sättigungsinnovation	$y_s$	=	100,00	%
Zielinnovation	$y_Z$	=	66,00	%

Vorlaufdauer	$T$	=	1,09	a
Krümmungsexponent	$\alpha$	=	0,88158	
Ausbreitungsexponent	$\kappa$	=	-0,04041	
Umfang der Zeitreihe	$n$	=	9	St.
Standardabweichung	$\sigma$	=	1,03062	%/a
Analysendauer	$t_A$	=	32,00	a
Statische Ausbreitungsdauer	$t_B$	=	7,96	a
Dynamische Ausbreitungsdauer	$t_D$	=	11,96	a
Innovationsdauer	$t_Z$	=	43,96	a
Anfangsinnovation	$y_1$	=	3,96	%
Gegenwartsinnovation	$y_n$	=	55,97	m <sup>2</sup> /h

Jahr	$t$ [a]	$y$ [%]	Jahr	$t$ [a]	$y$ [%]	Jahr	$t$ [a]	$y$ [%]
1980	0	3,96	1995	15	35,29	2010	30	54,07
1985	5	16,87	2000	20	42,45	2011	31	55,07
1990	10	26,91	2005	25	48,65	2012	32	56,04

*Tabelle 8: Funktionswerte der Bestandsentwicklung elektronischer Betriebsmittel*

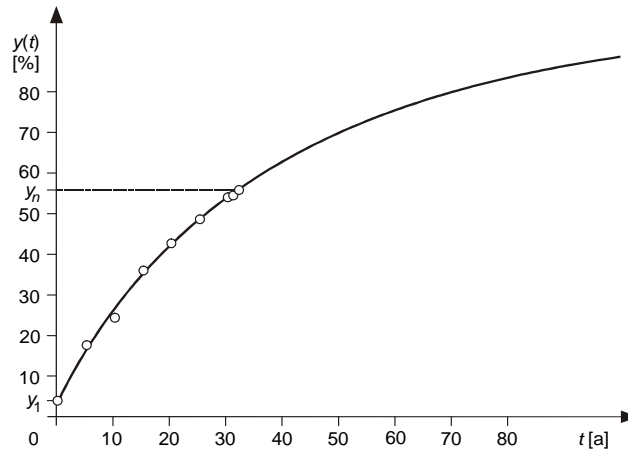


Abbildung 12: Bestandsentwicklung elektronischer Betriebsmittel

*Beispiele wendischer Ausbreitung der Innovation*

Wegen des Krümmungsexponenten  $1 < \alpha$  entsteht ein Wendepunkt  $t_w, y_w$ , der anschwellende Anstieg geht in einen abschwelenden bis zur Sättigung über, die Funktionskurve von der Links- in eine Rechtskrümmung. Die Berechnung erlaubt Schlüsse, wie das Leistungsprofil hinsichtlich der dynamischen Ausbreitung der Innovationen optimiert werden kann.

*Entwicklung der Webtechnik*

**INE**

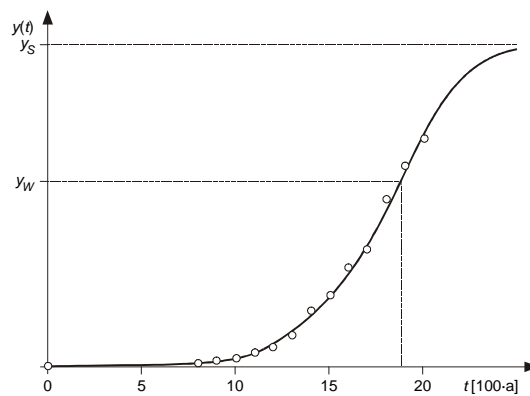
Über die Entwicklung der Weberei, besonders der Teppich-Webtechniken, liegen historische Innovationsdaten  $y$  [ $m^2/h$ ] vor (Tab. 9). Die Parameterwerte, Funktionskurve und berechneten Funktionswerte sind auszugeben (Tab. 10, Abb. 13).

Jahr	$t$	$y$ [ $m^2/h$ ]	Jahr	$t$	$y$ [ $m^2/h$ ]
0	0	1,01	1400	14	65,72
800	8	5,05	1500	15	83,66
900	9	8,18	1600	16	116,27
1000	10	10,52	1700	17	137,75
1100	11	17,38	1800	18	196,53
1200	12	23,37	1900	19	235,04
1300	13	37,55	2000	20	266,36

Tabelle 9: Schätzwerte der Stundenleistung von Webtechniken

Entstehungsdauer	$t_F$	=	0,25	100-a
Nullinnovation	$y_0$	=	1,01	$m^2/h$
Sättigungsinnovation	$y_S$	=	373,00	$m^2/h$
Zielinnovation	$y_Z$	=	300,00	$m^2/h$

Vorlaufdauer	$T$	=	7,31	100·a
Krümmungsexponent	$\alpha$	=	8,18930	
Ausbreitungsexponent	$\kappa$	=	-0,00003	
Umfang der Zeitreihe	$n$	=	14	St.
Standardabweichung	$\sigma$	=	5,20901	m <sup>2</sup> /h
Analysendauer	$t_A$	=	20,00	100·a
Statische Ausbreitungsdauer	$t_B$	=	0,49	100·a
Dynamische Ausbreitungsdauer	$t_D$	=	0,74	100·a
Wendestelle	$t_W$	=	18,71	100·a
Innovationsdauer	$t_Z$	=	20,74	100·a
Anfangsinnovation	$y_1$	=	1,01	m <sup>2</sup> /h
Wendewert	$y_W$	=	218,37	m <sup>2</sup> /h
Gegenwartsinnovation	$y_n$	=	266,36	m <sup>2</sup> /h



*Abbildung 13: Leistungskurve der Webtechnik*

<b>Jahr</b>	<b><math>t</math></b>	<b><math>y</math> [m<sup>2</sup>/h]</b>	<b>Jahr</b>	<b><math>t</math></b>	<b><math>y</math> [m<sup>2</sup>/h]</b>
800	8	5,23	1500	15	83,13
900	9	8,07	1600	16	112,75
1000	10	12,44	1700	17	148,25
1100	11	18,96	1800	18	188,45
1200	12	28,39	1900	19	230,95
1300	13	41,62	2000	20	272,29
1400	14	59,59	2100	21	308,62

*Tabelle 10: Funktionswerte der Stundenleistung von Webtechniken*

*Innovationstrend der Haushaltswaschgeräte*

**INH**

Die Bestimmung von Wendestelle  $t_W$  und -wert  $y_W$  der Innovationen der Haushaltswaschgeräte gründet sich auf eine Zeitreihe (Tab. 11) ihrer Nutzwerte<sup>37</sup> mit Angabe der Vorlauf-  $y_0$ , Sättigungs-  $y_S$  und Anfangsinnovation  $y_1$ . Der Einfluss weiterer Faktoren wird durch die Standardabweichung  $\sigma$  erfasst. Die Ermittlung der Parameterwerte erlaubt das Ziehen von Schlüssen, wie die dynamische und statische Ausbreitung der Innovationen optimiert werden kann (Tab. 12, Abb. 14).

Entstehungsdauer	$t_F$	=	1,75	a
Nullinnovation	$y_0$	=	0,00	%
Sättigungsinnovation	$y_S$	=	100,00	%
Zielinnovation	$y_Z$	=	92,33	%

$t$ [a]	$y$ [%]	Jahr	$t$ [a]	$y$ [%]	Jahr	$t$ [a]	$y$ [%]	Jahr
0	7,20	1915	55	46,70	1970	85	74,70	2000
25	14,62	1940	65	56,20	1980	90	81,09	2005
35	26,73	1950	75	62,70	1990	95	85,15	2010
45	32,70	1960	80	67,80	1995	98	89,17	2013

*Tabelle 11: Zeitreihe bisheriger Innovationen*

$t$ [a]	$y$ [%]	Jahr	$t$ [a]	$y$ [%]	Jahr	$t$ [a]	$y$ [%]	Jahr
25	18,25	1940	55	43,40	1970	85	75,72	2000
30	21,50	1945	60	48,72	1975	90	80,43	2005
35	25,14	1950	65	54,20	1980	95	84,65	2010
40	29,17	1955	70	59,76	1985	100	88,33	2015
45	33,57	1960	75	65,27	1990	105	91,42	2020
50	38,33	1965	80	70,64	1995	110	93,93	2225

*Tabelle 12: Innovationstrend für die Gerätegenerationen*

Vorlaufdauer	$T$	=	175,42	a
Krümmungsexponent	$\alpha$	=	7,44471	
Ausbreitungsexponent	$\kappa$	=	- 0,07472	
Umfang der Zeitreihe	$n$	=	12	St.
Standardabweichung	$\sigma$	=	2,29767	%
Analysendauer	$t_A$	=	98,00	a
Statische Ausbreitungsdauer	$t_B$	=	6,93	a
Dynamische Ausbreitungsdauer	$t_D$	=	8,68	a
Wendestelle	$t_W$	=	68,35	a
Innovationsdauer	$t_Z$	=	106,68	a
Anfangsinnovation	$y_1$	=	7,20	%
Wendewert	$y_W$	=	57,92	%
Gegenwartsinnovation	$y_n$	=	89,17	%

<sup>37</sup> Oppitz 1994, S. 20. [20]

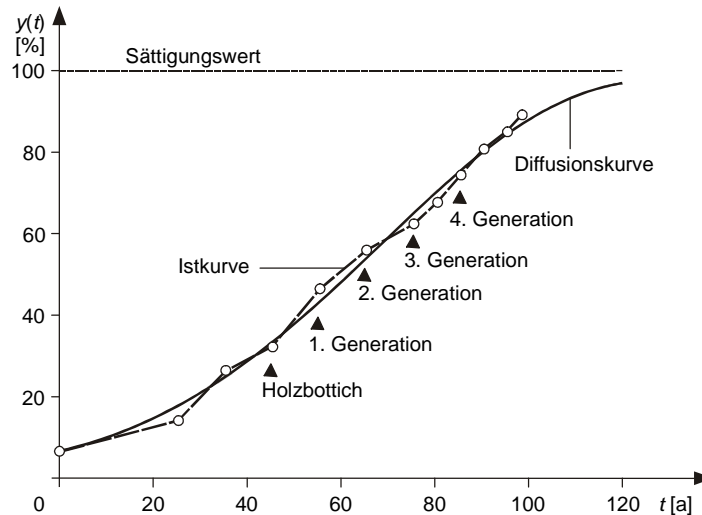


Abbildung 14: Innovationstrend von Haushaltswaschgeräten

### Wissenschaftlicher Nutzen

Für die Gesetzmäßigkeiten der Innovationen sind neben der Forschungskultur die F&E-Kapazitäten selbst dort entscheidend, wo trotz einer geringen potentiellen Innovationsspanne ( $y_S - y_0$ ) die Produkterneuerung in der verfügbaren Innovationsspanne ( $y_S - y_n$ ) weiter verstärkt werden soll. Die Berechnungen zeigen, dass die auf den Kernnutzen der Produkte<sup>38</sup> ausgeübte Wirksamkeit der F&E-Kapazität in erster Näherung mindestens dann erhalten bleiben sollte, wenn eine ausreichend marktrelevante verfügbare Innovationsspanne ( $y_S - y_n$ ) festgestellt wird. Das könnte eine F&E-Strategie veranlassen, die Kapazitäten an verschiedenen Stellen und zur parallelen Verbesserung anderer innovativer Leistungen einzusetzen.

Bei den Kabelformlege-Betriebsmitteln zeigen sich die Unterschiede am Nachlauf der Ausbreitungsdauer der Produktinnovationen gegenüber dem Anwenderwissen (Tab. 13). Es ist offenbar eine logistische Tendenz dynamischer Diffusion der Innovation, dass das Wissen sich deutlich rascher ausbreitet als die Bestandserneuerung; obwohl die soziale Begierde, den Bestandsaufbau mit dem neuen Produkt zu beschleunigen, sich deutlich verzögert, kann mit der Alterung der Bestände die statische Ausbreitung vonstattengehen. „Die Verbreitung des Wissens erfolgt durch beliebige Interaktions- und Kommunikationsbotschaften im sozialen System“<sup>39</sup> so, dass die Summe der „Beliebigkeiten der Botschaften“ zwar der gleichen Gesetzmäßigkeit der Wissens- und dynamischen Ausbreitung der Innovationen unterliegt, aber sich mit unterschiedlicher Geschwindigkeit entfaltet (Abb. 15).

<sup>38</sup> „Der Kernnutzen bezieht sich auf den technischen Zweck des Produkts“. Hofbauer, S. 60. [6]

<sup>39</sup> Grundlagen-Abbildung und Text: Hofbauer, S. 207. [6]

$t$ [a]	Innovation $y$ [%]	Wissen $y$ [%]	$t$ [a]	Nachlaufdiffusion $y$ [%]
5	15,06	15,65	95	71,65
20	18,05	27,50	110	83,12
35	24,61	50,22	125	92,19
50	34,20	75,68	140	98,00
65	45,99	94,52	155	100,00
80	58,87	100,00		

Tabelle 13: Ausbreitungstendenzen des Produktwissens und der Produktinnovation

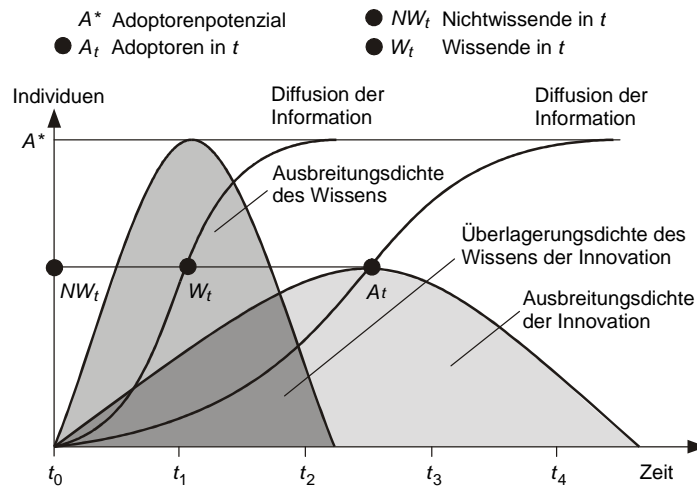


Abbildung 15: Ausbreitungstendenzen des Produktwissens und der Produktinnovation

Allerdings ist die Übereinstimmung der Ausbreitungskurven der Diffusionsfunktion mit dem empirischen Verlauf nicht bei allen Analysen gleich gut. Ziemlich unabhängig davon bietet aber bereits die Auswertung der empirischen Zeitreihen in Verbindung mit Diffusionsfunktionen und regressionsanalytischen Befunden einige Aufschlüsse über die Zusammenhänge zwischen den Innovationsausprägungen der Vorlaufdauer  $T$ , dem das Innovationsverhalten beschreibenden Krümmungsexponenten  $\alpha$  und dem das Innovationsvermögen kennzeichnenden Ausbreitungsexponenten  $\kappa$ . Dies sollte an weiteren Praxisfällen vertieft werden.

#### Hinweise zur statischen Diffusion

Einerseits liegen dynamische Diffusionsfunktionen vor, andererseits sind noch statische Diffusionsfunktionen zu entwickeln (Abb. 16).

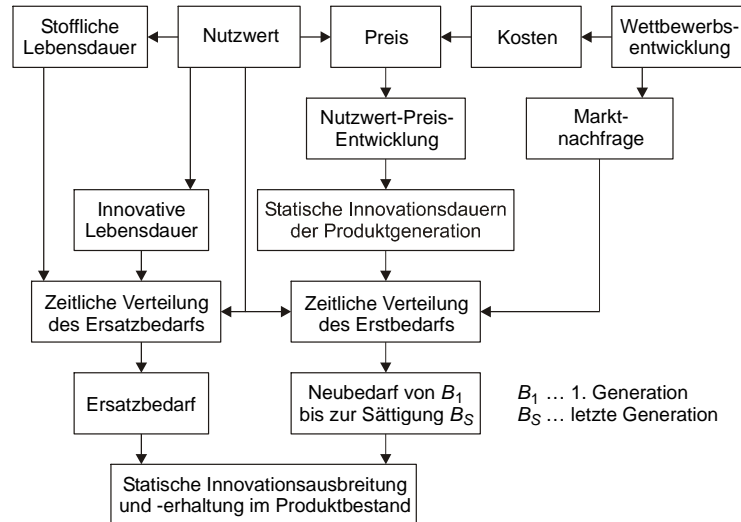


Abbildung 16: Einflussgrößen auf die statische Diffusionsfunktion der Innovationen

Die marktwirtschaftliche Innovationsanalyse nach Zeit und Menge des Produkts sowie für die Entwicklung geeigneter Funktionen zur Erfassung der Nachfragetendenzen und der Erhebung der Innovationsdaten beruht auf der dynamischen Diffusionsfunktion, weil sie die statische Ausbreitungsdauer  $t_B$  liefert (Tab. 14).

Methoden	Bemerkung
Analogieschluss	Übernahme der Innovationsausbreitungen ähnlicher Produkte
Anwenderbefragung	Verfahren der Datenerhebung von guter Aussagekraft
Bestandsanalyse	Unterscheidung nach Erst- und Ersatzbestand
Extrapolation	Innovationstrendverlängerung auf künftige Zeiträume
Korrelation	Zusammenhänge zwischen unterschiedlichen Innovationsdaten
Nachfragetest	Zufallsstichproben, um empirische Innovationsdaten zu erhalten
Regressionsanalyse	Statistische Untersuchung der Innovationsabhängigkeiten
Risikovoranschau	Probabilistische Auswertung empirischer Zeitreihendaten
Verbrauchswerte	Anwendung für lebensnotwendige Güter
Zeitreihenanalyse	Auswertung von Längsschnittdaten der Innovation

Tabelle 14: Methoden der Zeitreihenermittlung und -auswertung

Bei der Suche nach statischen Diffusionsfunktionen der Innovation dürfte die Weibull-Verteilung eine bedeutende Rolle spielen, weil i.d.R. deren Parameter konstitutive Beziehungen hinsichtlich der innovativen und stofflichen Lebensdauer der Produkte aufweisen. Es wird angenommen, dass sich die künftige statische Ausbreitung der Innovation tendenziell wie in der Vergangenheit gestaltet. Das ist mit ma-

thematischen Funktionen, die diese Tendenz ausdrücken, und empirischen Zeitreihen der Innovation zu ermitteln: Die Annahme, dass zwischen der künftigen und vergangenen Bestandsentwicklung ein gesetzmäßiger Zusammenhang besteht, erfordert eine mathematische Struktur, die der unterstellten Gesetzmäßigkeit genügt.

Mit Hilfe der dynamischen Diffusionsfunktion der Innovationen und ihrer Komponenten können die zukünftigen Innovationsdaten durch Extrapolation gewonnen werden. Dabei korrespondieren der durch fortschreitende Innovationen steigende Erstbestand sowie der durch moralischen und stofflichen Verschleiß der Produkte entstehende Ersatzbestand miteinander. Der kumulierte Erstbestand entspricht dem anfänglichen vorgegebenen Ausstattungsgrad in der Grundgesamtheit der Anwender in einem sozialen System.

#### *Ausbreitungsexponent*

Der Ausbreitungsexponent  $\kappa$  ist der natürliche Logarithmus des Verhältnisses der kinetischen ( $y_S - y_1$ ) zur potentiellen ( $y_S - y_0$ ) Innovationsspanne, folgt also aus Größen der Rahmenbedingungen für die dynamische Diffusion:

$$\kappa = \ln \frac{y_S - y_1}{y_S - y_0}, \quad y_0, y_1, y_S \dots \text{ gegeben, } y_0 < y_1 \rightarrow \kappa < 0.$$

Bei der Wertzuweisung für die Nullinnovation  $y_0$  und die Sättigungsinnovation  $y_S$  geht es um Größen mit wissenschaftlicher Publizität, denen ein höchstmöglicher Wahrheitsgehalt auch dann zukommt, wenn zu späteren Zeitpunkten genauere Werte dafür vorliegen sollten.

Im Allgemeinen ist die Sättigungsinnovation  $y_S$  eine wissenschaftlich fundierte Zukunftsgröße, deren Wahrscheinlichkeitstheoretische Bestimmung eigentlich eine wissenschaftsphilosophische Forschungsaufgabe darstellt. Die Gemeinschaft der Grundlagenforschung steht außerhalb des marktwirtschaftlichen Wettbewerbs der Güterproduktion und garantiert für eine ziemliche Objektivität bei der Wertermittlung der Sättigungsinnovation. Sättigung tritt in Bezug auf Innovationen dort ein, wo ein Ausbreitungsprozess eine abnehmende Ausbreitung entweder von Anfang an besitzt oder ab einem bestimmten Wendepunkt  $y_W, t_W$  annimmt. Diese Wendestelle  $t_W$  ist für die Diffusionsforschung sehr bedeutungsvoll, weil sich die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Innovationen von da an mehr und mehr verringert.

Ähnliches gilt für die Suche nach der Nullinnovation  $y_0$ : Denn das Entstehen des menschlichen Bedürfnisses nach einer ganz bestimmten Innovation in der Gestalt eines Produktes  $y_0$  ist ein soziologisch-historisches Ereignis, das durch Geschichtsforschung zu quantifizieren ist. So hängt beispielsweise der Wunsch nach gewebten Produkten einerseits mit dem Bedürfnis zusammen, die allgemein gebräuchliche Fellbekleidung durch Gewebe aus Tierhaaren zu ersetzen, andererseits aber – bedingt durch den Übergang zu Behausungen – in gleicher Weise deren Bewohnbarkeit durch Wollteppiche zu erhöhen. Auch hier ist zum großen Teil die Feststellung für das erstmalige Auftreten des im Allgemeinen nahe liegenden oder mit Null anzusetzenden Wertes  $y_0$  eines gänzlich neuen Produktes ein grundlegendes Anliegen



der historischen Erforschung der gesellschaftlichen Produktivkräfte auf den betrachteten Innovationsgebieten. Ein Beispiel liefert die auf Turbostrahltriebwerke bezogene Datierung einer Anfangs- und Nullinnovation. John Barber erhielt (London, 1791) ein Patent „Obtaining and Applying Motive Power“; er gilt seither als Erfinder der Gasturbine  $y_0$ . F&E-Kapazitäten für Turbostrahltriebwerke  $y_1$  entstanden erst 1938 in Deutschland.<sup>40</sup> Inwieweit in der damaligen gewerblichen, militärischen oder universitären Forschung andere Hersteller bereits früher die Fertigung von Turbostrahltriebwerken aufgenommen haben könnten, das dürfte nur nach intensiven Recherchen zu beantworten sein.

Die weitgehend objektive Feststellung der Anfangsinnovation  $y_1$  ist nicht schwieriger, kann aber aus wirtschaftlichen Wettbewerbsgründen problematischer sein; außerdem können der Wert der Null- und Anfangsinnovation durchaus sehr nahe liegen:  $y_0 \rightarrow y_1$ . Der Entstehungsort der marktwirtschaftlichen Produktinnovation ist mehrzählig das Unternehmen, das erstmalig mit diesem neuen Produkt – oft zeitgleich mit einem analogen Produkt eines anderen Unternehmens – in den Markt eintritt. Aus Gründen des marktwirtschaftlichen Wettbewerbs schwankt dieser Wert der Anfangsinnovation  $y_1$  um den vermuteten theoretischen Innovationspunkt  $y_1$ ,  $t = 0$ . Das gilt auch dann, wenn es um das eigene Unternehmen geht, weil es eben oft ungewiss sein kann, wann bereits ein anderer Anbieter in einem weit abgelegenen sozialen System mit dieser Innovation in den eigenen Markt eingetreten ist. Diese sachlich bedingte Unsicherheit bei der Bestimmung des Ausbreitungsexponenten schränkt jedoch die Aussagekraft der dynamischen Diffusionsfunktion in keiner Weise ein; denn es kommt darauf an, nicht eine Zahl an sich als den einzig wichtigen Befund wahrzunehmen, sondern mit Hilfe der mathematisch-statistischen Behandlung sorgfältig aufbereiteter theoretischer und empirischer Daten tiefer in das Wesen der Innovationsprozesse einzudringen.

#### *Krümmungsexponent*

Sowohl hinsichtlich der bisherigen Ausbreitungsgeschwindigkeit als auch der Beschleunigung und Verzögerung der dynamischen Ausbreitung der Innovation kommt der regressionsanalytischen Ermittlung des Krümmungsexponenten  $\alpha$  eine besondere Bedeutung zu: Er drückt die Wirksamkeit der F&E-Kapazitäten für eine angestrebte Steigerung der möglichen dynamischen Ausbreitung der Innovationen aus. Dabei ändern sich die Funktionskurven, der Charakter der Diffusionsfunktion aber bleibt bestehen. Im Grundsätzlichen zeigt sich das in den unterschiedlichen Einflüssen auf das Ausbreitungsverhalten in den beiden Größenbereichen des Krümmungsexponenten.

*Krümmungsexponent*  $0 < \alpha < 1$ : Der Wertebereich kennzeichnet einen steilen, aber stetig abnehmenden Anstieg einer Innovation. Was mit höchster Beschleunigung beginnt, wird mit zunehmender Zeitdauer mehr und mehr abgebremst. Der unter eins liegende Exponent zeigt in quantitativer Art die qualitativ verständliche

---

<sup>40</sup> Vgl. Münzberg, S. 121/199. [9]

Startpotenz, die durch die vorangegangene Zuführung der Ergebnisse der Grundlagen- und Drittmittelforschung aus akademischen Instituten erreichbar ist, i.d.R. zusätzlich gefördert durch öffentliche Kapitalbedingungen: Die Praxiswirksamkeit der Grundlagenforschung, die u.U. bis zur späteren Auslagerung universitärer Forschung in Wirtschaftsunternehmen führen kann, befördert die dynamische Innovationsausbreitung in viel stärkerem Maße als lediglich eine anfänglich hohe Konzentration der eigenen F&E-Kapazitäten für die Produktentwicklung.

*Krümmungsexponent*  $\alpha > 1$ : Die Innovationen mit Wendeverhalten folgen einer „Schwanenhalsfunktion“<sup>41</sup> („S-shaped functions“<sup>42</sup>, kurz S-Funktion), einem anschwellenden Anstieg bis zu einem Wendepunkt  $y_W, t_W$ , der sich in eine dauerhaft abschwelende Ausbreitung bis zum Erreichen der Sättigung  $y_S$  umwandelt. Werden bessere Innovationen angewandt, verschieben sich die Krümmungsexponenten zu höheren Werten: Es entstehen neue Funktionskurven, die im Allgemeinen rascher der Sättigungsinnovation  $y_S$  zustreben. Ein hoher Vorhaltewinkel für die Ablösung eines alten Produktes durch eine Innovation ist dann vorhanden, wenn vor der Nähe des Wendepunktes eine neue Innovation existiert:  $dy/dt_2 > dy/dt_1$ .

### *Vorlaufdauer*

Die Vorlaufdauer  $T$  bis zum Wirksamwerden innovativer F&E-Kapazitäten ist eine regressionsanalytisch zu bestimmende Zeitkonstante vom Entstehen des sozialen Bedürfnisses nach einem neuen Produkt  $y_0 = y(-T)$  und seinem allerersten Auftreten auf dem Markt  $y_1 = y(t = 0)$ . Ihr Wert kann zwischen Tagen und Jahrhunderten als auch innerhalb oder außerhalb der Analysendauer liegen, je nach dem Stand der für die Innovation benötigten Produktivkräfte und dem Lebenszyklus der darauf begründeten Produktgenerationen. Daher sind die erst im Ergebnis der Regressionsanalyse ermittelten Vorlaufdauern  $T$  aus den empirischen Zeitreihen sehr unterschiedlich; denn es handelt sich um eine probabilistisch begründete Wertbestimmung, die sich sowohl aus den vorgegebenen potentiellen und kinetischen Zeitspannen als auch der wahrscheinlichkeitstheoretischen Auswertung bisheriger Innovationen ergeben. Die in den Beispielrechnungen ermittelte Vorlaufdauer  $T$  fehlerfreier PC-Laufzeiten beträgt knapp acht Monate (0,62 [a]), die der Webtechnik siebenhunderteinunddreißig Jahre (7,31 [100·a]).

Aus den Befunden folgt weiterhin:

- Strategien der dynamischen Innovationsausbreitung sind bereits mit hinreichender Genauigkeit auch dann möglich, wenn die Analysendauer  $t_A$  kleiner ist als die Vorlaufdauer  $T$ ; danach aber, wenn die Vorlaufdauer schon überschritten ist, können noch weit sicherere Strategien der dynamischen Innovationsausbreitung aufgestellt werden.

<sup>41</sup> Erstmalige Nennung, vgl. Oppitz 1961, S. 5 ff. [11]

<sup>42</sup> Nollau, S. 29. [10]

- Wenn aus der historischen Analyse der Nullinnovation  $y_0$  zugleich die Vorlaufdauer  $T^*$  abgeschätzt werden kann, dann ist diese als „Startwert (s)“<sup>43</sup> in die Computerberechnung aufzunehmen:  $s = T^*$ .

Die Praxisfälle zeigen, dass Vorausschauen auf Innovationsausbreitungen selbst von einem frühen Zeitpunkt der Entwicklung aus mit hinreichender Genauigkeit möglich sind.

#### *Empirische Zeitreihe*

Aus Funktionsanalysen können auf die Vorlaufdauer  $T$ , den Proportionalitäts-  $\kappa$  und Krümmungsexponenten  $\alpha$  gestützte allgemeine Aussagen abgeleitet werden; das unterscheidet die dynamische Diffusionsfunktion von anderen Ausbreitungsmodellen. Grundlegend für die Bestimmung der Parameterwerte der Diffusionsfunktion sind empirische Zeitreihen für Innovationen. Da die Standardabweichung einer Regressionsanalyse sich desto mehr verringert, je größer der Umfang der empirischen Daten ist, liefern längere Zeitreihen präzisere Vorhersagen. Strukturbrüche werden weitgehend geglättet. Zeitintervall und Wertebereich der Berechnung sind unabhängig von der Reichweite der empirischen Zeitreihendaten.

#### *Ausblick*

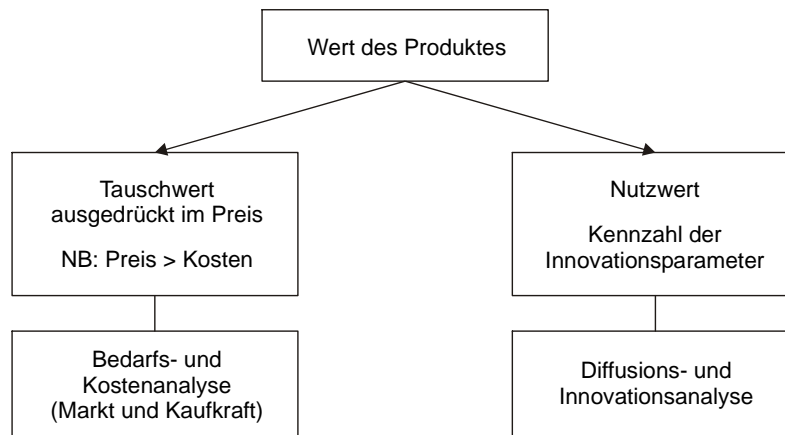
Die Innovationsausbreitung lässt sich aus der hypothetisch richtig begründeten dynamischen und der zu entwickelnden statischen Diffusionsfunktion angeben und darstellen. Sie stellen hinsichtlich der Bemessung der F&E-Kapazität noch keine fortschreitend ausgereifte und allgemeine Form der Ausbreitungsmodelle der Innovation dar. Das ist schon deshalb nicht möglich, weil in der Unternehmenspraxis das Produkt aus Investitionszuführung und Wirksamkeit der F&E-Kapazitäten nicht unbeschränkt wachsen kann. Ihr Hauptvorteil besteht in der Erkennung der Ausbreitungstendenzen der Innovation. Mit der Begründung der Innovationsspannen  $(y_S - y_1)$ ,  $(y_S - y_0)$  und der Bestimmung ihrer Funktionsparameter  $T$ ,  $\alpha$ ,  $\kappa$  sind die Innovationsausprägungen hinreichend genau erklärt. Ihr Verlauf ist durch die Diffusionsfunktion  $y$  so erfassbar, dass ihre dynamische  $t_D$  und statische Ausbreitungsdauer  $t_B$  aufbereitet und ausgewertet werden kann. Über die gefundenen Erkenntnisschwellen hinausgehende neue Innovationsstufen können nicht vorhergesagt werden, wohl aber die Zeiträume für deren Beginn. Damit ist der wichtigste Abschnitt einer Innovationsanalyse und -vorausschau theoretisch und praktisch abgeschlossen. Für eine Verallgemeinerung der Analyse der Besonderheiten der Diffusionsfunktion der Innovation sollte weitere Praxisfälle untersucht werden.

Es scheint nicht nur sinnvoll, sondern unverzichtbar zu sein, die Strategien der Innovationsausbreitung konsequent marktkonform zu wählen, sodass eine hinrei-

---

<sup>43</sup> Oppitz 2011/2, S. 58, siehe „Näherung“ für das OR\_MAT-Programm:  $s = T^*$ . Das dient dazu, den bereits im Programm implementierten Startwert zu verbessern und die regressionsanalytische Suche der Vorlaufdauer  $T$  abzukürzen. [25]

chende Produktlebensdauer erreicht werden kann. Dabei sind von den an ein Produkt „gestellten Anforderungen einige widersprüchlich, beispielsweise die Forderung nach niedrigen Herstellungskosten bei gleichzeitig sehr hohen Ansprüchen an bestimmte Gebrauchsparameter“.<sup>44</sup> „Grundsätzlich gibt es zahlreiche preispolitische Strategien, die den Diffusionsverlauf beeinflussen. Von besonderer Bedeutung im Rahmen der Diffusionsforschung ist daher die Preisstrategie beim Markteintritt, da sich die langfristigen Effekte auf den Unternehmenserfolg bereits in den frühen Stadien der Diffusion ablesen lassen.“<sup>45</sup> Der Zusammenhang zwischen Innovation und Aufwand bekommt einen hohen Stellenwert (Abb. 17) mit dem Optimalitätskriterium: Nutzwert geteilt durch Aufwand  $\rightarrow$  Maximum! Für das Unternehmen gilt: Aufwand gleich Kosten, für den Markt gilt: Aufwand gleich Preis!



*Abbildung 17: Zusammenhang zwischen Nutzwert und Preis*

Die Erkenntnisse aus der Analyse und Vorausschau der dynamischen Ausbreitung der Innovationen sind so zu nutzen, dass es gelingt, alle erkenntnistheoretisch denkbaren Innovationsziele aufzufinden und eine systemische Planung wichtiger Innovationen anzuwenden. Ihr wird eine große Bedeutung beigemessen, weil sie sich auf allen Wissensgebieten anwenden lässt, die Erfindungsgabe stärkt und durch Systematisierung einen Handlungsrahmen bietet:

- Aufstellung innovativer Ziele mit Handlungsrichtlinien und Erfolgskriterien.
- Ausarbeitung eines marktkonformen Pflichtenhefts mit Ziel- und Aufgabenstellungen, Begründung der Innovationen, ihrer erkenntnistheoretischen und praktischen Grenzen.

<sup>44</sup> Habiger, S. 91. [5]

<sup>45</sup> Hofbauer, S. 75. [6]

- Evaluierung des Istzustandes durch empirische Daten und Regressionsanalyse zur Ermittlung der Funktionsparameter der Diffusionsfunktion der Innovation.
- Befundbericht über die Regressionsanalyse, Berechnungen und erzielten Ergebnisse.
- Ableitung der geeignetsten Strategie der Innovationsausbreitung, unternehmerischer Maßnahmen und Forschungsprojekte.
- Ständige Überarbeitung und Vervollkommnung der strategischen Planung und deren echtzeitlichen Umsetzung.

Die Anwendung der Verfahren auf Praxisuntersuchungen erfordert umfangreiche Fachkenntnisse und ein tiefes Eindringen in die Innovationsforschung bei gleichzeitiger Wahrung des Überblicks. Nicht immer wird es möglich sein, eine geschlossene Lösung vorzulegen. Das bedeutet, dass bei bestimmten Problemstellungen oder Detaillösungen mit Näherungen gearbeitet wird. Mitunter werden Lücken bleiben, auf die gesondert verwiesen werden muss und die erst später geschlossen werden können. In jedem Falle ist aber schon der Beginn einer solchen Innovationsanalyse lehr- und hilfreich.

Eine weitergehende Betrachtung der Diffusionsfunktion  $y$  unter Nutzung der Erkenntnisse der Gruppenpsychologie und Soziologie erscheint sinnvoll, besonders im Hinblick auf die Ausarbeitung der Unternehmensstrategien der dynamischen Innovationsausbreitung. Diese kann – andere innovativ wirksame Vorgänge und Faktoren zusammenfassend – die marktwirtschaftliche Ausbreitung der Innovationen befördern, wie z.B. Aussagekraft, Innovationskosten-Bilanzierung für langfristige F&E-Projekte, Kosten, Qualität.

#### *Danksagung*

Beim Gegenlesen des Entwurfs des Beitrages habe ich von den Herren Prof. Dr. Ing. habil. G. Hertel, Palacký-Universität Olmütz (Univerzita Palackého v Olomouci) und Prof. Dr. G. Hofbauer, Technische Hochschule Ingolstadt, wichtige Anregungen erhalten, für die ich herzlich danke. Beide Kollegen forschen und lehren auf dem Gebiet der Innovationsentwicklung, Kollege Hertel aus der Sicht der Forschung und Entwicklung, Kollege Hofbauer in Bezug auf das Marketing, das besondere Bedeutung für die *Innovationsausbreitung* besitzt.

#### *Literatur*

- [1] Bertalanffy v. L.: *Wachstum*. In: Handbuch der Zoologie. Bd. 8, 10. Lieferung. Berlin: 1957
- [2] Chur W.: *Bosch und das Nutzfahrzeug: 75 Jahre Diesel und noch viel mehr*. Vortrag am 10. September 2002. In: Auto News
- [3] Gille U.: *Analyse von Wachstumsvorgängen*. <http://www.uni-leipzig.de/~vetana/growth.htm>.
- [4] Gompertz B.: *On the nature of the function expressive of the law of human mortality, and a new mode of determining the value of live contingencies*. Phil Trans Roy Soc London 1825;27:513-583

- [5] Habiger E.: *Der Entwurf von Systemen*. In: Schriften der Sudetendeutschen Akademie der Wissenschaften und Künste, Band 25, München 2004
- [6] Hofbauer G., Körner R., Nikolaus U., Poost A.: *Marketing von Innovationen*. Stuttgart: 2009
- [7] Janoschek A.: Das reaktionswirkliche Grundgesetz und seine Beziehungen zum Wachstum- und Ertragsgesetz. In: *Stat Vjschr* 10
- [8] Meadows D.: *Die Grenzen des Wachstums*. Stuttgart, Hamburg, München: 1972
- [9] Münzberg H-G.: 50 Jahre Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Turbostrahlantriebe (1938/39 bis 1988/89). In: Schriften der Sudetendeutschen Akademie der Wissenschaften und Künste, Band 9, Forschungsbeiträge der Naturwissenschaftlichen Klasse. München 1989
- [10] Nollau V.: *Mathematik für Wirtschaftswissenschaftler*. Stuttgart, Leipzig: 2003
- [11] Oppitz V.: Die Verteilung des Arbeitsaufwandes in der Produktionszeit. In: *Deutsche Flugtechnik* 1961; Heft 4
- [12] Oppitz V.: Zur Berechnung einer wirtschaftlichen Losanzahl. In: *Werkstatt und Betrieb* 1966 (11)
- [13] Oppitz V.: Modellierte Darstellung von zeitabhängigen Vorgängen mit endlicher Vorgangsdauer. In: *Fertigungstechnik und Betrieb* 1969;8:467 ff.
- [14] Oppitz V.: Darstellung eines ALGOL-Programms für eine durch Sinuspotenzen simulierte Schwannenhalsfunktion. In: *Rechentechnik/Datenverarbeitung* 1971; Heft 6
- [15] Oppitz V.: Optimierter Programmablauf bei logarithmischer Regression durch Ausgleichsfunktionen mit Exponentialteil und additivem Glied. In: *Rechentechnik/Datenverarbeitung* 1974; Heft 6
- [16] Oppitz V.: *Planübung zur rechnergestützten Vorbereitung der Planaufgaben für ein neues Erzeugnis*. TU Dresden 1975, Studienmaterial für die Weiterbildung, 3. Lehrbrief, Teil II. Sektion 23
- [17] Oppitz V.: *Grundlagen und ausgewählte ökonomisch-mathematische Kriterien der Erzeugnisplanung in der metallverarbeitenden Industrie: Zur zeitlichen Verteilung des einmaligen Aufwandes der Entwicklung und Überleitung von Erzeugnissen*. Inauguraldissertation – Promotionsordnung B – Fakultät für Gesellschaftswissenschaften des Wissenschaftsrates der Technischen Universität Dresden. Einreichung: 25. März 1977
- [18] Oppitz V.: *Leitungshilfen für die Planung der Erzeugnisentwicklung und Erzeugnisüberleitung*. Forschungsbericht für die überbetriebliche Arbeitsgemeinschaft „Erzeugnisplanung“ im Kombinat Haushaltgeräte. Institut für Wirtschaftsführung der Technischen Universität Dresden. 1. Februar 1979. 154 Seiten Text, 32 Tafeln, 24 Bilder
- [19] Oppitz V., et al.: Glas. Berlin: 1988
- [20] Oppitz V.: Marktorientierte Produktanalyse und Prozessablaufplanung, Studienmaterial Managementinformatik der Akademie für Weiterbildung und Wissenstransfer an der Technischen Universität Dresden 1994.
- [21] Oppitz V.: *Gabler Lexikon Wirtschaftlichkeitsrechnung*. Wiesbaden: 1995
- [22] Oppitz V.: Nominal und effektiv verzinst – ein nur finanzwirtschaftliches Problem? In: *Zeitschrift für Betriebswirtschaft* 1999; Heft 7
- [23] Oppitz V.: Nutzwertanalyse von Immobilien. In: *Grundstücksmarkt und Grundstückswert* 2000; Heft 2
- [24] Oppitz V.: *Differentialgleichungen wirtschaftlichen Wachstums*. In: *Management. Wissenschaftliche Schriftenreihe*. Europäisches Institut für postgraduale Bildung an der Technischen Universität Dresden e. V. [EIPOS]. 2007
- [25] Oppitz V.: 2011/1: Betriebsökonomisches Lexikon: Unternehmensstatistik. Berlin: 2011
- [26] Oppitz V.: 2011/2: Betriebsökonomisches Lexikon: Wirtschaftsmathematik. Berlin: 2011
- [27] Oppitz V., u.a.: *Rangfolge- und Ausbreitungsmodelle der Innovation*. In: Working Paper. Technische Hochschule Ingolstadt 2014.
- [28] Platen: *Graf von Platens ausgewählte Werke*. Stuttgart: 1900

- [29] Richards F.J.: A flexible growth curve for empirical use. In: *J Exp Bot* 10.
- [30] Sager G.: Zuwachsfunktionen vom Typ  $dw/dt = k \cdot t^p (E - W^\alpha)$  und ihre Integrale. In: *Anat Anz* 144