

Die energetische Grenzstückzahl – Entscheidungshilfe für den technologischen Variantenvergleich

Dr. sc. techn. K. Leopold, KDT, Ingenieurschule für Landtechnik „M. I. Kalinin“ Friesack

Verwendete Formelzeichen

AZ	Gesamtarbeitszeit
E_A	Primärenergieverbrauch für lebendige Arbeit von der Stückzahl abhängiger Primärenergieverbrauch
E_s	Primärenergieverbrauch für Gebrauchsenenergie
E_{ges}	Gesamtenergieverbrauch
E_u	von der Stückzahl relativ unabhängiger Primärenergieverbrauch
E_v	Primärenergieverbrauch für vergegenständlichte Energie
E_{ver}	Vergleichs-Primärenergieverbrauch
e_A	spezifischer Primärenergieverbrauch für lebendige Arbeit
e_G	spezifischer Primärenergieverbrauch für Gebrauchsenenergien
e_v	spezifischer Primärenergieverbrauch für vergegenständlichte Energien
\sim	Mengen unterschiedlicher Gebrauchsenenergien
n	Anzahl vergegenständlichter Energieformen
n_{GP}	Fertigungs-, Instandhaltungsstückzahl
V_j	energetische Grenzstückzahl
V_j	Mengen unterschiedlicher vergegenständlichter Energien
A^T	transponierte Matrix der Mengen konkreter Energiearten (Aufwandsmatrix)
E	Matrix des Primärenergieverbrauchs
E_{sp}	Matrix des spezifischen Primärenergieverbrauchs für die konkreten Energieformen innerhalb der Energiearten

Indizes

1, 2, 3 technologische Varianten

1. Problemstellung

Effektiv produzieren und instand setzen bedeutet notwendigerweise, den jeweiligen technologischen Prozeß nicht nur technisch und organisatorisch, sondern auch ökonomisch zu beherrschen. Dazu hat sich der technologische Variantenvergleich als ökonomisch-analytische Methode zum Bewerten technologischer Lösungen als Arbeitsinstrument des Technologen bewährt. Die Grenzstückzahl auf der Basis der technologischen Vergleichskosten ist dabei ein wichtiges Entscheidungskriterium für die Auswahl der kostenoptimalen technologischen Verfahren. Der mit ständig zunehmender Industrialisierung und zunehmendem sozialen Fortschritt steigende Energieverbrauch und die insgesamt komplizierte Energiesituation zwingen dazu, den Energieverbrauch in allen Bereichen zu senken. Die ökonomische Strategie erfordert folgerichtig die allseitige Durchsetzung der Material- und Energieökonomie auf hohem Niveau in allen Bereichen der materiellen Produktion und bei der effektiven Nutzung und Instandhaltung der Grundfonds. Die konsequente Weiterführung und der Ausbau der rationellen Energieanwendung vor allem im Bereich der metallverarbeitenden Industrie ist als Hauptquelle zur Deckung wachsender Energiebedarfsansprüche anzusehen. Dies schließt die Forderung nach Vervollkommnung energetischer Beurteilungsinstrumentarien zur Planung, Stimulierung und Kontrolle der Energieinanspruchnahme als Ergänzung zu ökonomischen Kostenbetrachtungen ein [1]. Die energetische Situation im Maschinenbau der DDR und spezielle energetische Untersu-

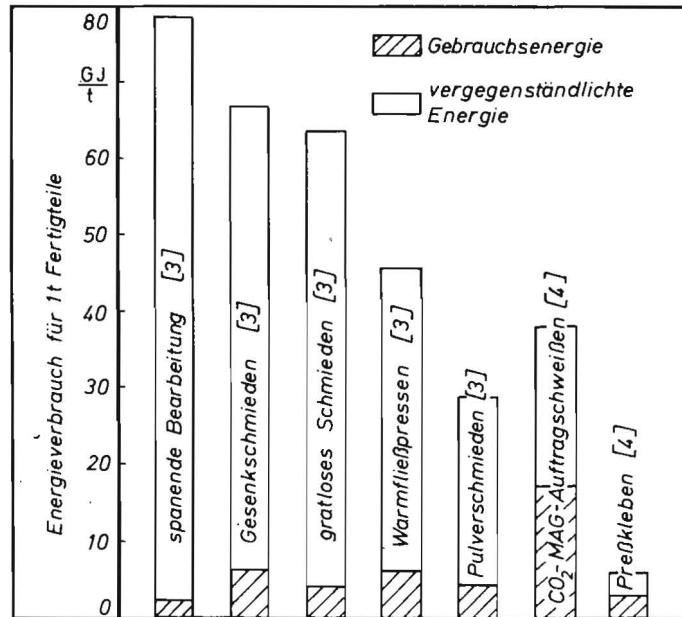


Bild 1
Anteil der Energiearten an Fertigungs- und Instandsetzungsverfahren

chungen in der Teilefertigung weisen nach, daß durch energetische Analysen unter Einbeziehung der vergegenständlichten Energie nach [2] volkswirtschaftliche Fehlentscheidungen vor allem bei der Auswahl technologischer Verfahren vermeidbar sind [3] (Bild 1). Dabei wird auch deutlich, daß Instandsetzungsprozesse den Fertigungsprozessen ähnliche Relationen bei Energieanteilen zeigen. Die Ermittlung einer energetischen Grenzstückzahl kann die Entscheidungsfindung im Rahmen technologischer Variantenvergleiche im Sinne der genannten volkswirtschaftlichen Notwendigkeiten objektivieren und bietet Ansatzpunkte zur polyoptimalen Betrachtung technologischer Prozesse [5, 6].

2. Primärenergie – universeller Bewertungsmaßstab

Die energetische Betrachtungsweise unter Einbeziehung der vergegenständlichten Energie bedarf eines einheitlichen Bewertungsmaßstabs. Aus der Literatur [2, 3] ist bekannt, daß die Primärenergie als universeller Bewertungsmaßstab geeignet ist. Unter Primärenergie wird dabei die nach der Gewinnung aus Energiequellen bzw. nach Import in natürlichen Energieträgern zur Verfügung stehende Energie verstanden [7, 8]. Die Universalität der primärenergetischen Bewertung wird durch folgende Maßnahmen gesichert:

– Bei ganzheitlicher Betrachtung des zu bewertenden Fertigungs-/Instandhaltungsprozesses ist der Aufwand an Gebrauchsenenergie (Direktenergie), vergegenständlichter Energie und lebendiger Arbeit, der in seinen immanenten Haupt-, Hilfs- und Nebenprozessen zur unmittelbaren Durchführung benötigt wird, lückenlos zu erfassen. Über die Vernachlässigung bestimmter energetischer Aufwandsanteile

kann nur auf der Grundlage konkreter Prozeßanalysen nach Umrechnung auf ihren Primärenergieanteil entschieden werden [9, 10].

– Die ermittelten konkreten Energieverbrauchsanteile sind auf ihren Verbrauch an Primärenergie auf der Grundlage ihrer energetischen Umwandlungsreihen um bzw. rückzurechnen. Dabei werden als geeignete Bilanzgrenzen das Kraftwerk für Gebrauchs- und die Rohstoffherzeugung für vergegenständlichte Energien empfohlen [3]. Die praktische Umrechnung erfolgt mit Hilfe des spezifischen Primärenergieverbrauchs, der als Quotient aus einem definierten Primärenergieverbrauch und einer quantifizierten Bezugsgröße (z. B. mengenmäßiges Produktionsergebnis u. ä.) für Prozesse, Produkte, Maschinen, Materialien und Gebrauchsenenergien in der Literatur vorliegt [3, 7, 11, 12, 13, 14].

Die Ermittlung eines gesicherten spezifischen Primärenergieverbrauchs für die lebendige Arbeit als vorrangig sozial- und politökonomisches Problem kann als z. Z. nicht abgeschlossen betrachtet werden. Die notwendige ganzheitlich zu führende energetische Betrachtung von technologischen Prozessen, vor allem bei der richtigen Bewertung von Mechanisierungs- und Automatisierungsmaßnahmen zur Freisetzung lebendiger Arbeit, erfordert die energetische Bewertung der lebendigen Arbeit. In den nachfolgend vorgestellten Ergebnissen wurde das für DDR-Verhältnisse eingeschätzte Äquivalent verwendet [15]. Bei der Verwendung des spezifischen Primärenergieverbrauchs ist generell deren dynamischer Charakter – vor allem bestimmt durch die Bilanzgrenzen, die Aktualität der benutzten Umwandlungswirkungsgrade und das technologische Niveau, unter dem das Produkt hergestellt wird bzw. der Prozeß abläuft – zu beachten.

3. Vergleichs-Primärenergieverbrauch als Berechnungsbasis für die energetische Grenzstückzahl

Der Begriff Vergleichs-Primärenergieverbrauch wurde gewählt, um Analogien zu den technologischen Vergleichskosten als Berechnungsgrundlage des bekannten technologischen Variantenvergleichs zu verdeutlichen [16]. Analogie heißt, daß der Vergleichs-Primärenergieverbrauch auf der Basis der gleichen Aufwendungen für die technologischen Varianten wie die Vergleichskosten berechnet wird (Bild 2).

3.1. Berechnung des Primärenergieverbrauchs

Ausgehend von der o. g. ganzheitlichen Betrachtung berechnet sich der Primärenergieverbrauch allgemein nach folgenden Beziehungen:

$$E_{ges} = E_A + E_G + E_V \quad (1)$$

und

$$E_{ges} = e_A AZ + \sum_{i=1}^n e_{Gi} G_i + \sum_{j=1}^m e_{Vj} V_j \quad (2)$$

Die Gl. (2) in Matrizenform

$$A^T E_{sp} = E \quad (3)$$

ist zur Berechnung mit moderner Rechen-technik geeignet.

Die Summe der Elemente der Hauptdiagonalen der Matrix des Primärenergieverbrauchs ergibt den Gesamt-Primärenergieverbrauch.

3.2. Vergleichs-Primärenergieverbrauch

Als Grundlage der Ermittlung der energetischen Grenzstückzahl ergibt sich nach den bekannten Grundlagen [16] der Vergleichs-Primärenergieverbrauch allgemein nach der Beziehung:

$$E_{Ver} = n E_a + E_u \quad (4)$$

Die Ermittlung des von der Stückzahl relativ unabhängigen und des abhängigen Primärenergieverbrauchs des jeweiligen technologischen Prozesses muß auf der Basis seiner immanenten Arbeitsstufen nach Standard TGL 31 741 [17] erfolgen und über diesen aufsummiert werden. Entsprechend der Definition der Arbeitsstufe als selbständiger Teil des Arbeitsganges, der mit gleichen Arbeitsmitteln bei gleichbleibenden technologischen Bedingungen ausgeführt wird, sind die Aufwendungen an Energiearten in ihren konkreten Formen exakt ermittelbar. In Tafel 1 sind im Überblick die generellen Bildungsvorschriften für den Vergleichs-Primärenergieverbrauch im Vergleich zu adäquaten Vergleichskostenbestandteilen dargestellt. Nach den Gln. (2) bzw. (3) sind die Primärenergieverbrauchsanteile E_a und E_u berechenbar.

3.3. Energetische Grenzstückzahl

In Anlehnung an die bekannte Definition der Grenzstückzahl auf Basis Vergleichskosten [16] soll unter der energetischen Grenzstückzahl die Stückzahl verstanden werden, bei der die primärenergetische Effektivität der einen Variante aufhört und die der anderen beginnt. Für zwei Varianten ergibt sich die energetische Grenzstückzahl rechnerisch zu:

$$n_{GP} = \frac{E_{u2} - E_{u1}}{E_{a1} - E_{a2}} \quad (5)$$

Die grafische Ermittlung ist prinzipiell im Bild 3 dargestellt.

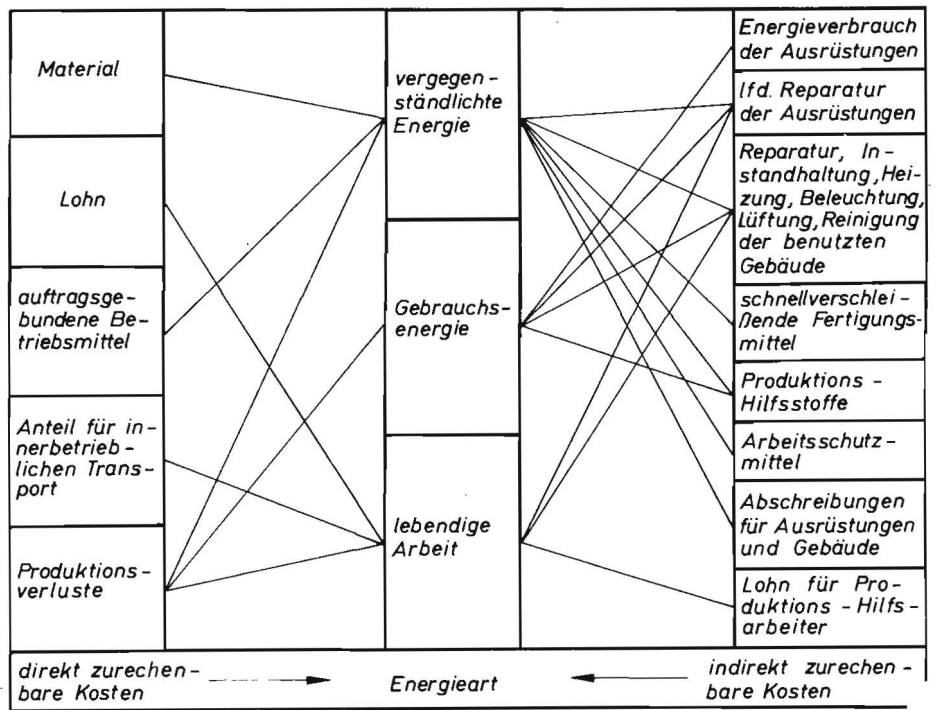


Bild 2. Analogien zwischen Kostenbestandteilen und Energiearten

Tafel 1. Bildungsvorschriften für den Vergleichs-Primärenergieverbrauch

Vergleichskostenanteil	im Vergleichs-Primärenergieverbrauch zu berücksichtigende Energiearten		
	vergegenständlichte Energie	Gebrauchsenergie	lebendige Arbeit
Instandhaltungsmaterialien	+		
Lohn für Realisierung der Instandhaltungs-, Prüf-, innerbetrieblichen Transport- und Lagerprozesse			+
Energieverbrauch für Realisierung der Instandhaltungs-, Prüf-, innerbetrieblichen Transport- und Lagerprozesse		+	
arbeitsplatzbezogener Nebenverbrauch für Heizung, Beleuchtung, Lüftung E_a		+	
innerbetrieblicher Transport			+
Instandhaltungs-Hilfsstoffe	+	+	
schnellverschleißende Fertigungsmittel, Werkzeuge	+		
Arbeitsschutzmittel	+		
Abschreibung für Ausrüstungen und Gebäude	+		
auftragsgebundene Fertigungsmittel	+	+	+
Lohn für Vorbereitungs- und Abschlußarbeiten E_u			+
Nebenverbrauch für Heizung, Beleuchtung ... bei Realisierung der Vorbereitungs- und Abschlußarbeiten		+	

4. Erste Ergebnisse

Ausgewählte technologische Prozesse der landtechnischen Instandhaltung wurden hinsichtlich der inneren Struktur ihrer Kosten (Preisbasis 1988) und Primärenergieanteile analysiert [4]. Die Bilder 4 und 5 zeigen Kosten- und Primärenergiebilanzen ausgewählter Prozesse. Die Untersuchungen lassen erkennen, daß bei wichtigen Aufwandskategorien zwischen den Kosten- und Primärenergieverbrauchsbilanzen wesentliche Unterschiede in den Aufwandsanteilen bestehen. Wird von der Universalität primärenergetischer

Bewertungen ausgegangen, so erscheinen z. B. die primärenergetischen Aufwendungen für Elektro- und Wärmeenergie (einschließlich Heizung) sowie für das Aufbereitungsverfahren kostenmäßig unterbewertet. Diese Untersuchungen müssen durch weitere Analysen fundiert werden. Aus dem Bereich der Einzelteilinstandsetzung wurden für drei Aufbereitungsvarianten der Bremsnockenwelle des Anhängers HW 80.11 die Grenzstückzahlen auf Basis Kosten und Primärenergieverbrauch ermittelt. Die Varianten berücksichtigen bei gleichem Instandset-

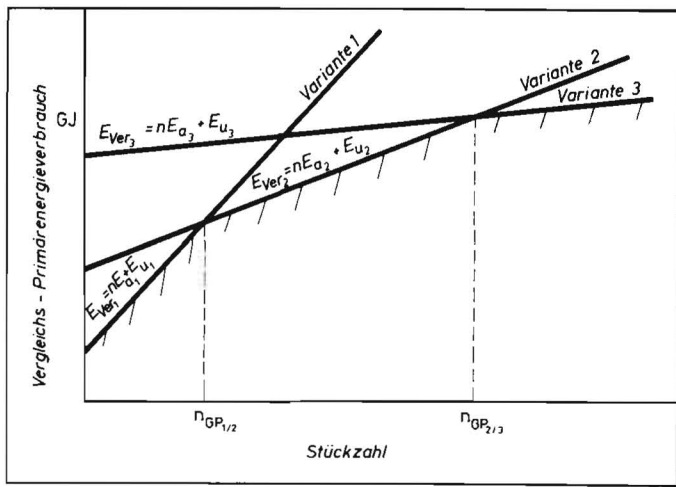
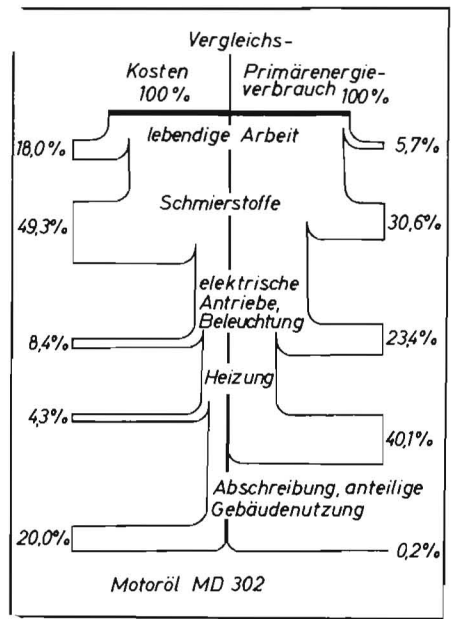
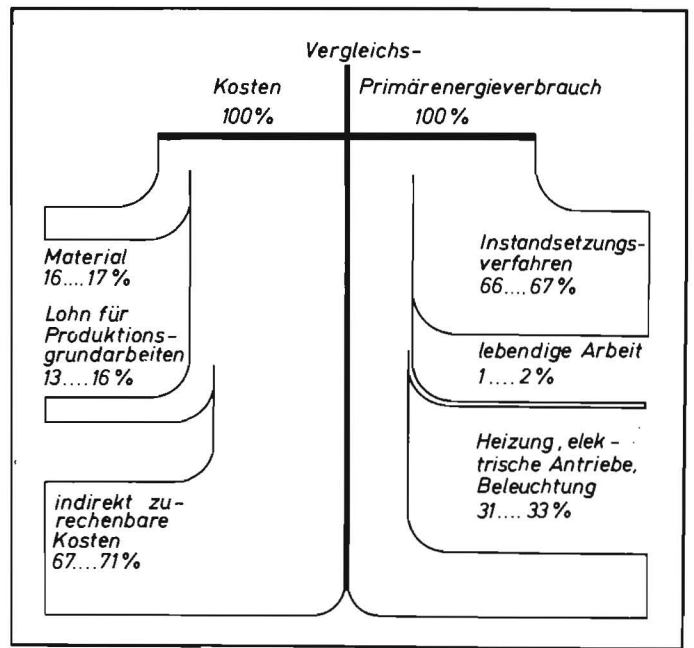


Bild 3. Grafische Ermittlung der energetischen Grenzstückzahl

Bild 5. Kosten- und Primärenergiebilanz für die Aufarbeitung der Bremsnockenwelle

Bild 4. Kosten- und Primärenergiebilanz für die Pflegegruppen des Traktors ZT 300



Tafel 2. Mechanisierungsvarianten für die Aufarbeitung der Bremsnockenwelle

Variante	Mechanisierungsgrad
1	Handschweißung
2	Schweißen mit Manipulator aus Baueinheiten nach ZIS 650
3	Schweißen mit Manipulator und Beschickungs-/Entnahmeroboter für 2 Schweißarbeitsplätze

Tafel 3. Effektive Bereiche der Aufarbeitsverfahren für die Bremsnockenwelle

Variante	effektiver Anwendungsbereich (Instandsetzungsstückzahl)	Basis: Vergleichskosten	Basis: Vergleichs-Primärenergieverbrauch
1 (handwerkliche Instandsetzung)	...140	...3	...300
2 (mechanische Instandsetzung)	141...760	3 301...34 950	
3 (maschinelle Instandsetzung)	761...	34 951...	

zungsverfahren (CO₂-MAG-Schweißen) unterschiedliche Mechanisierungsstufen (Tafel 2).

Im Ergebnis der Ermittlung der Grenzstückzahlen lassen sich die in Tafel 3 aufgeführten effektiven Anwendungsbereiche für die einzelnen Varianten formulieren.

Die primärenergetisch effektiven Anwendungsbereiche liegen bei deutlich niedrigeren Stückzahlen als die vergleichbaren Bereiche auf der Basis der Vergleichskosten. Aus primärenergetischer Sicht sind in den Kostenbilanzen das Aufarbeitsverfahren unter- und die auftragsgebundenen Mechanisierungsmittel überbewertet. Diese Diskrepanzen sind hauptverantwortlich für die unterschiedlichen Effektivitätsbereiche.

5. Zusammenfassung

Ausgehend von den volkswirtschaftlichen Notwendigkeiten zur rationellen Energieanwendung und der Erhöhung des Niveaus der technologischen Vorbereitung in der landtechnischen Instandsetzung wurde die energetische Bewertung von Instandhaltungsprozessen untersucht. Die vorgestellte Methode

der Ermittlung energetischer Grenzstückzahlen auf der Basis Primärenergie und die damit erzielten Ergebnisse lassen tendenziell erkennen, daß die energetische Grenzstückzahl im Rahmen technologischer Variantenvergleiche eine Entscheidungshilfe für die o. g. Notwendigkeit darstellt. Primärenergetische Prozeßanalysen dienen der Ableitung effektiver Maßnahmen zur rationellen Energieanwendung. Die vorgestellten ersten Untersuchungsergebnisse müssen durch weitere zielgerichtete Analysen in ihren Aussagen gefestigt werden.

Literatur

[1] Forcierung der rationellen Energieanwendung (REA) in der metallverarbeitenden Industrie unter besonderer Berücksichtigung der automatisierten flexiblen Fertigung (AFF). Standpunkt

des Fachverbandes Maschinenbau der Kammer der Technik vom 22. Februar 1989.

- [2] Richter, K.: Aspekte der Einbeziehung des gegenständlichen Energieverbrauches auf die rationelle Energieanwendung – dargestellt am Beispiel der Metallverformung. Ingenieurhochschule Zittau, Dissertation A 1977 (unveröffentlicht).
- [3] Degner, W.: Rationeller Energieeinsatz in der Teilefertigung. Berlin: VEB Verlag Technik 1986.
- [4] Leopold, K.: Energetische Aufwendungen für die Instandhaltung – dargestellt an ausgewählten Prozessen der landtechnischen Instandhaltung. Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Dissertation B 1989 (unveröffentlicht).
- [5] Peschel, M.: Ingenieurtechnische Entscheidungen. Berlin: VEB Verlag Technik 1980.
- [6] Peschel, M.; Riedel, C.: Polyoptimierung – eine Entscheidungshilfe für ingenieurtechnische Kompromißlösungen. Berlin: VEB Verlag Technik 1976.
- [7] Arbeitsmittel-Rohenergiezahlen – Stand 1/84. Hochschule für Architektur und Bauwesen Weimar, 1983.
- [8] TGL 31 727/01 Grundbegriffe der Energiewirtschaft. Aug. Juli 1977.
- [9] Engshuber, M.; Burghardt, H.: Zur energetischen Bilanzierung metallurgischer Prozesse. Neue Hütte, Leipzig 27(1982)1, S. 23–28.
- [10] Kiwa, A. A.: Methodik zur Ausarbeitung energetischer Äquivalente für Produktionsmittel in der Landwirtschaft. Vortrag auf der FENTO-Automatisierungstagung der KDT in Berlin am 21. und 22. Dezember 1988.
- [11] Abrechnung der Komplexbilanz Energie der DDR. Zentralstelle für Rationelle Energieanwendung im Institut für Energetik Leipzig 1988.
- [12] Bruhns, D.; Müller, H.; Schröder, K.: Zur Ermittlung des Energieaufwandes beim Schweißen. Schweißtechnik, Berlin 34(1984)8, S. 374–376.
- [13] Burakowski, T.; Sala, A.: Richtungen der Rationalisierung des Energieverbrauches bei der Warmbehandlung von Metallen. Fertigungstechnik und Betrieb, Berlin 35(1985)5, S. 301–304.
- [14] Große, W.: Instandsetzung landtechnischer Arbeitsmittel als energetische Aufwandsgröße. agrartechnik, Berlin 35(1985)3, S. 119–121.
- [15] Wiedenroth, E. M.: Das grüne Kraftwerk. Die Primärproduktion der Erde. Leipzig, Jena, Berlin: Urania-Verlag 1981.
- [16] Müller, G.: Gleichungen für Technologen. Berlin: VEB Verlag Technik 1978.
- [17] TGL 31 741 Maschinenbau – Grundklassifikator technologischer Prozesse. Aug. August 1976. A 5891