

Die Abnahme des Arbeitsinhaltes $A (=U-S)$ als Triebfeder der Welt

erläutert an einem Überblick über die wichtigsten Arten
thermodynamischer Vorgänge.

Von Erich Lange.

Zusammenfassende Inhaltsübersicht ¹⁾

über den am 15. Dezember 1936 gehaltenen Vortrag.

Bei thermodynamischen Vorgängen müssen zwecks Erfassung der ausgetauschten Energien (Arbeit A , Entropie S , Wärme Q usw.) die einzelnen Energiebehälter unterschieden werden: Arbeitsbehälter Ab , Entropiebehälter Sb , Wärmebehälter Qb , Volumenarbeitsbehälter Av , Stoffsystem St . (Tabelle 1.)

Tabelle 1.

Übersicht über die bei einem thermodynamischen Vorgang zu unterscheidenden, am Energieaustausch teilnehmenden Energiebehälter, Definitionen.

$St: St_{\text{Anfang}} \xrightarrow{dSt} St_{\text{Ende}} =$ „Stoffsystem“ und seine Änderung, stoffliches Ein- und Mehrphasensystem, das zum Austausch (Aufnahme, Abgabe) von Arbeit A , Wärme Q und Entropie S mit seiner Umgebung fähig ist.

$Ab: Ab_{\text{Anfang}} \xrightarrow{dAb} Ab_{\text{Ende}} =$ „Arbeitsbehälter“ und seine Änderung, stofflicher Energie-Behälter, der zum Austausch von Ar-

1) Die ungekürzte Arbeit erscheint in der Zeitschrift für Elektrochemie, Bd. 43 (1937) S. 158.

beit A, d. h. vornehmlich potentieller Energie, unabhängig von seiner Temperatur fähig ist.

$A_V: A_{V_{\text{Anfang}}} \xrightarrow{d A_V} A_{V_{\text{Ende}}} =$ „Volumenarbeitsbehälter“ und seine Änderung; Arbeitsbehälter, der nur bei Volumenänderungen eines Stoffsystems um dV_{st} bei konstant gehaltenem äußeren und damit gleich großem inneren Druck die zugehörige Volumenarbeit $p \cdot dV_{st}$ aufnimmt.

$Q_{bT}: Q_{b_{\text{Anfang}}} \xrightarrow{d Q_{bT}} Q_{b_{\text{Ende}}} =$ „Wärmebehälter“ bei der Temperatur T und seine Änderung, stofflicher Energiebehälter, der, bei theoretisch unendlich groß angenommener Wärmekapazität, Wärme von der Temperatur T, Q_T , aufnehmen oder abgeben kann.

$S_b: S_{b_{\text{Anfang}}} \xrightarrow{d S_b} S_{b_{\text{Ende}}} =$ „Bezugswärmebehälter“ = „Entropiebehälter“ und seine Änderung, Wärmebehälter bei der an sich willkürlich gewählten, durch thermodynamische Definition festgelegten absoluten (Bezugs-) Temperatur $T = 1^\circ \text{ K}$, der definitionsmäßig allein Entropie S; keine Arbeit austauschen kann.

Die wichtigsten thermodynamischen Vorgänge, die sich hinsichtlich der beteiligten Energiebehälter unterscheiden lassen, werden an Hand einer Tabelle 2, zugehöriger Bemerkungen und einiger Schaubilder (Abb. 1), vom einfacheren zum verwickelteren übergehend, der Reihe nach behandelt. Bei den einzelnen Vorgängen werden thermodynamische Grundbegriffe, insbesondere einige Zustandsgrößen z. T. definitionsmäßig erläutert.

Am rein mechanischen Vorgang (Abb. 2) zwischen zwei Arbeitsbehältern werden erläutert die Begriffe: „freiwillige“ und „unfreiwillige“ Änderung, Änderung bei „währendem

Tabelle 2.

Art des Vorganges $a \rightarrow e$				Zum Vorgang $a \rightarrow e$ gehörige empirische od. abgeleitete od. defin. Änderungen der entspr. Energieinhalte. (n. Vorzeichen und Größe).																					
Kennzeichnung durch alle am Energie-Austausch teilnehmenden Teile d. Gesamtsystems				Änderungen des <u>Saltes</u> an (potentieller) <u>Arbeit</u> A										Änd. d. <u>Int.</u> an <u>Entropie</u> S				Änd. d. <u>Int.</u> an <u>Gesamten</u> <u>Energie</u> U							
				in allen einzelnen Teilen					falls zur Änderung $a \rightarrow e$ im Ges. Syst. ohne Gegen-Ab. gehört:					in jedem einzelnen durch T gekennzeichneten Teil ist:				dann gehört zum Vorgang $a \rightarrow e$ im Ges. Syst. ohne Ab. mit Ab.							
				dA	definiert als:	ΣdA	mögl. Vorz.	def. als	ΣdA	dA_{ab}	dA_{ab}	dA_{ab}	dA_{ab}	dS	definiert	ΣdS	mögl. Vorz.	def. als	dU	def. als:	ΣdU	ΣdU	ΣdU	ΣdU	
Nr.	G_{a1}	G_{a2}	G_{a3}	G_{a4}	G_{a5}	G_{a6}	G_{a7}	G_{a8}	G_{a9}	G_{a10}	G_{a11}	G_{a12}	G_{a13}	G_{a14}	G_{a15}	G_{a16}	G_{a17}	G_{a18}	G_{a19}	G_{a20}	G_{a21}	G_{a22}	G_{a23}		
1	Ab'	dAb'	Ab_e	dAb_e	dA_{ab}	$\equiv A_{ab,e} - A_{ab,a}$	dA_{ab}	< 0	frei. Gl.	$K_{ab} < 0$	> 0	irrev. rev.	< 0	dA_{ab}	< 0					dA_{ab}	< 0	dA_{ab}	< 0	dA_{ab}	< 0
2	St_a	dSt	St_e	dSt_e	dA_{st}	$\equiv A_{st,e} - A_{st,a}$	dA_{st}	< 0	frei. Gl.	$K_{st} < 0$	> 0	irrev. rev.	< 0	dA_{st}	< 0					dA_{st}	< 0	dA_{st}	< 0	dA_{st}	< 0
3	Ab_a	dAb	Ab_e	dAb_e	dA_{ab}	$\equiv A_{ab,e} - A_{ab,a}$	dA_{ab}	< 0	frei. Gl.	$K_{ab} < 0$	> 0	irrev. rev.	< 0	dA_{ab}	< 0	dS_{ab}	$\equiv S_{ab,e} - S_{ab,a}$	dS_{ab}	< 0	dA_{ab}	< 0	dA_{ab}	< 0	dA_{ab}	< 0
4	Qb_a	dQb	Qb_e	dQb_e	dA_{qb}	$\equiv A_{qb,e} - A_{qb,a}$	dA_{qb}	< 0	frei. Gl.	$T_{qb} > T_{qb}$	> 0	irrev. rev.	< 0	dA_{qb}	< 0	dS_{qb}	$\equiv S_{qb,e} - S_{qb,a}$	dS_{qb}	< 0	dA_{qb}	< 0	dA_{qb}	< 0	dA_{qb}	< 0
5	Ab_a	dAb	Ab_e	dAb_e	dA_{ab}	$\equiv A_{ab,e} - A_{ab,a}$	dA_{ab}	< 0	frei. Gl.	$K_{ab} < 0$	> 0	irrev. rev.	< 0	dA_{ab}	< 0	dS_{ab}	$\equiv S_{ab,e} - S_{ab,a}$	dS_{ab}	< 0	dA_{ab}	< 0	dA_{ab}	< 0	dA_{ab}	< 0
6	St_a	dSt	St_e	dSt_e	dA_{st}	$\equiv A_{st,e} - A_{st,a}$	dA_{st}	< 0	frei. Gl.	$T_{st} > T_{st}$	> 0	irrev. rev.	< 0	dA_{st}	< 0	dS_{st}	$\equiv S_{st,e} - S_{st,a}$	dS_{st}	< 0	dA_{st}	< 0	dA_{st}	< 0	dA_{st}	< 0
7	St_a	dSt	St_e	dSt_e	dA_{st}	$\equiv A_{st,e} - A_{st,a}$	dA_{st}	< 0	frei. Gl.	$T_{st} > T_{st}$	> 0	irrev. rev.	< 0	dA_{st}	< 0	dS_{st}	$\equiv S_{st,e} - S_{st,a}$	dS_{st}	< 0	dA_{st}	< 0	dA_{st}	< 0	dA_{st}	< 0
8	St_a	dSt	St_e	dSt_e	dA_{st}	$\equiv A_{st,e} - A_{st,a}$	dA_{st}	< 0	frei. Gl.	$T_{st} > T_{st}$	> 0	irrev. rev.	< 0	dA_{st}	< 0	dS_{st}	$\equiv S_{st,e} - S_{st,a}$	dS_{st}	< 0	dA_{st}	< 0	dA_{st}	< 0	dA_{st}	< 0
9	St_a	dSt	St_e	dSt_e	dA_{st}	$\equiv A_{st,e} - A_{st,a}$	dA_{st}	< 0	frei. Gl.	$T_{st} > T_{st}$	> 0	irrev. rev.	< 0	dA_{st}	< 0	dS_{st}	$\equiv S_{st,e} - S_{st,a}$	dS_{st}	< 0	dA_{st}	< 0	dA_{st}	< 0	dA_{st}	< 0
10	St_a	dSt	St_e	dSt_e	dA_{st}	$\equiv A_{st,e} - A_{st,a}$	dA_{st}	< 0	frei. Gl.	$T_{st} > T_{st}$	> 0	irrev. rev.	< 0	dA_{st}	< 0	dS_{st}	$\equiv S_{st,e} - S_{st,a}$	dS_{st}	< 0	dA_{st}	< 0	dA_{st}	< 0	dA_{st}	< 0
11	St_a	dSt	St_e	dSt_e	dA_{st}	$\equiv A_{st,e} - A_{st,a}$	dA_{st}	< 0	frei. Gl.	$T_{st} > T_{st}$	> 0	irrev. rev.	< 0	dA_{st}	< 0	dS_{st}	$\equiv S_{st,e} - S_{st,a}$	dS_{st}	< 0	dA_{st}	< 0	dA_{st}	< 0	dA_{st}	< 0
12	St_a	dSt	St_e	dSt_e	dA_{st}	$\equiv A_{st,e} - A_{st,a}$	dA_{st}	< 0	frei. Gl.	$T_{st} > T_{st}$	> 0	irrev. rev.	< 0	dA_{st}	< 0	dS_{st}	$\equiv S_{st,e} - S_{st,a}$	dS_{st}	< 0	dA_{st}	< 0	dA_{st}	< 0	dA_{st}	< 0
13	St_a	dSt	St_e	dSt_e	dA_{st}	$\equiv A_{st,e} - A_{st,a}$	dA_{st}	< 0	frei. Gl.	$T_{st} > T_{st}$	> 0	irrev. rev.	< 0	dA_{st}	< 0	dS_{st}	$\equiv S_{st,e} - S_{st,a}$	dS_{st}	< 0	dA_{st}	< 0	dA_{st}	< 0	dA_{st}	< 0
14	St_a	dSt	St_e	dSt_e	dA_{st}	$\equiv A_{st,e} - A_{st,a}$	dA_{st}	< 0	frei. Gl.	$T_{st} > T_{st}$	> 0	irrev. rev.	< 0	dA_{st}	< 0	dS_{st}	$\equiv S_{st,e} - S_{st,a}$	dS_{st}	< 0	dA_{st}	< 0	dA_{st}	< 0	dA_{st}	< 0
Allg.	G_{a1}	G_{a2}	G_{a3}	G_{a4}	G_{a5}	G_{a6}	G_{a7}	G_{a8}	G_{a9}	G_{a10}	G_{a11}	G_{a12}	G_{a13}	G_{a14}	G_{a15}	G_{a16}	G_{a17}	G_{a18}	G_{a19}	G_{a20}	G_{a21}	G_{a22}	G_{a23}		

A = Arbeit **S** = Entropie **Q** = Wärme **U** = Innere Energie **W** = Enthalpie od. Wärmeinhalt **F** = freie Energie **G** = thermodynamisches Potential.
Qb = Wärmebehälter **Ab** = Arbeitsbehälter **Sb** = Entropie- od. Bezugswärme-Behälter **St** = Stoff-System **Av** = Vol. = Arbeitsbehälter
T = Teil = allgemeiner Begriff für vorstehende Energieträger **Ge** = Gesamtsystem = Summe aller am Vorgang (= dGe) beteiligten Teile.

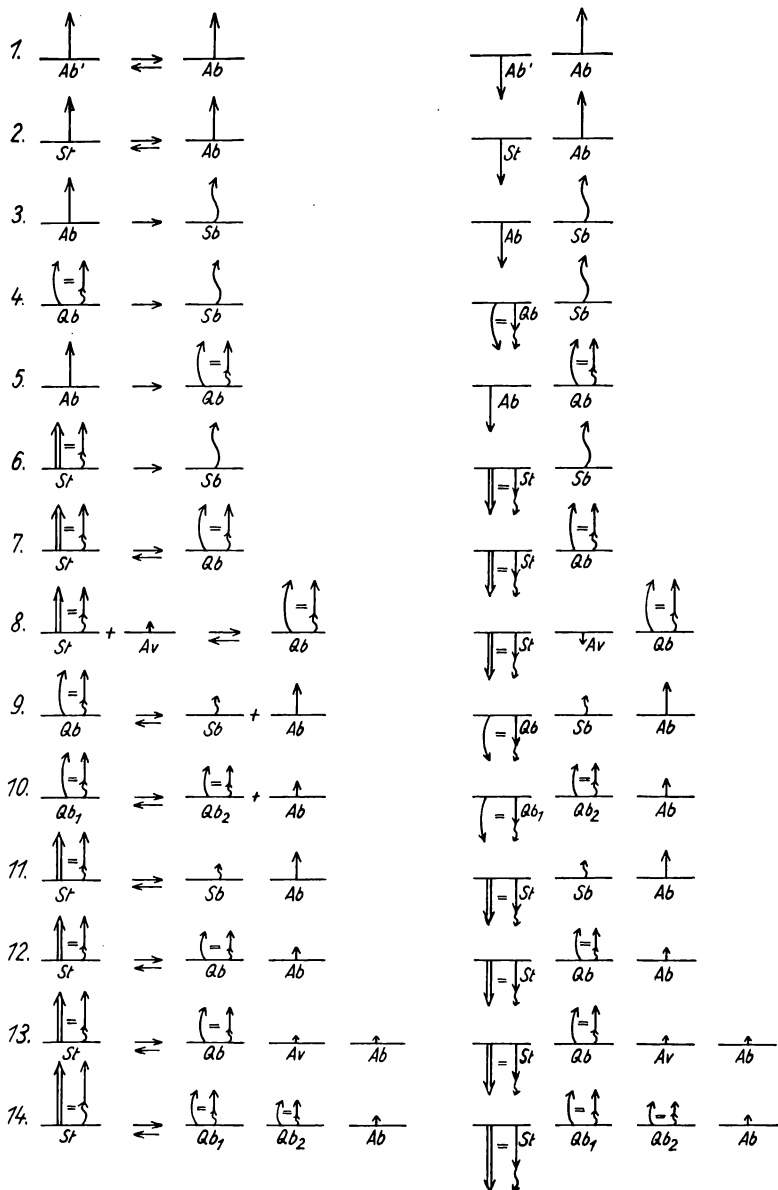


Abb. 1.

Schematische graphische Darstellung je eines Beispiels für die in Tabelle 2 angegebenen 14 verschiedenen Vorgänge unter Verwendung der Zeichen ($\uparrow$) für dA, ($\updownarrow$) für dS, ($\uparrow\downarrow$) für dQ, ($\upuparrows$) für dU.

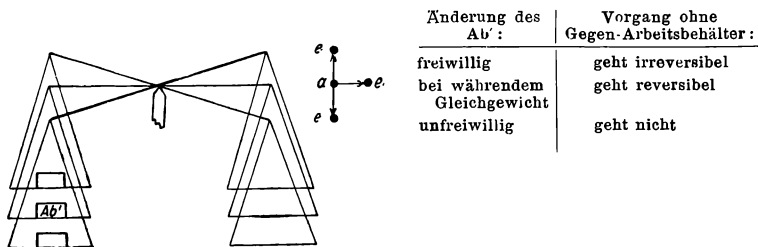


Abb. 2.

Erläuterung einiger Grundbegriffe am Beispiel einer Waage.

Gleichgewicht“. Ferner: nicht umkehrbar = irreversibel, umkehrbar = reversibel, unmöglicher Vorgang. Alle diese Begriffe lassen sich auch quantitativ an Hand bestimmter Änderungen des Arbeitsinhaltes dA festlegen.

An Hand weiterer Vorgänge werden erläutert die Begriffe Wärme $dQ = dA + dS$; innere Energie $dU = dA + dS$; Wärmehalt $dW = dU + p \cdot dV$; absolute Temperatur $T = dQ/dS$; freie Energie $dF = dU - T \cdot dS$; thermodynamisches Potential $dG = dU - T \cdot dS + p \cdot dV$.

Eine wesentliche Voraussetzung der hier verwendeten Darstellungsweise der wichtigsten thermodynamischen Vorgänge besteht in der Auffassung, daß eine Wärmemenge dQ von der Temperatur T zusammengesetzt gedacht werden kann aus einem Arbeitsbetrag $dA = dQ (T-1)/T$ und einem Entropiebetrags $dS = dQ/T$. Einige sich in diesem Sinne ergebende Beziehungen werden durch Schaubilder (Abb. 3 und 4) veranschaulicht.

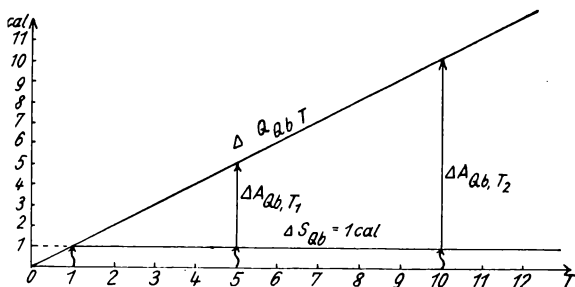


Abb. 3.

Darstellung der einem gleichen Entropie-Inhalt $\Delta S_{Qb} = 1 \text{ cal}$ ($\uparrow$) entsprechenden Wärmemengen $\Delta Q_{Qb, T} = T \cdot \Delta S_{Qb}$ für verschiedene absolute Temperaturen T .

Unterschied $\Delta A_{Qb} = \Delta Q_{Qb, T} - \Delta S_{Qb} = (T-1) \cdot \Delta S_{Qb}$ stellt den zugehörigen, mit T zunehmenden Arbeitsinhalt ΔA_{Qb} ($\uparrow$) dar.

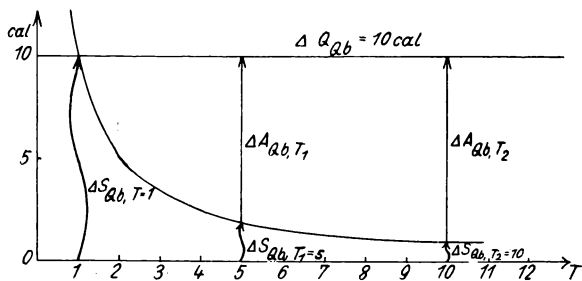


Abb. 4.

Darstellung der zu einer gleich bleibenden Wärmemenge $\Delta Q_{Qb,T} = 10 \text{ cal}$ verschiedener Temperatur T gehörenden Entropiemengen ($\uparrow$) $\Delta S_{Qb} = \frac{\Delta Q_{Qb,T}}{T}$ und des zugehörigen Arbeits-

inhaltes ($\uparrow$) $\Delta A_{Qb} = \Delta Q_{Qb,T} \frac{(T-1)}{T}$.

Die auf dieser Grundlage an Hand der verschiedenen Vorgänge erhaltenen allgemeinen Gesetzmäßigkeiten lauten:

1. Bei allen Vorgängen bleibt der Inhalt an Gesamtenergie unverändert, $\Sigma dU = 0$ (= I. Hauptsatz).

2. Bei allen irreversiblen Vorgängen nimmt der Inhalt an Arbeit insgesamt ab, $\Sigma dA < 0$.

3. Bei allen irreversiblen Vorgängen nimmt der Inhalt an Entropie insgesamt zu, $\Sigma dS > 0$. Dabei ist $\Sigma dS = -\Sigma dA$.

4. Bei allen reversiblen Vorgängen bleibt der Inhalt an Arbeit insgesamt unverändert, $\Sigma dA = 0$ (isodynamisch).

5. Bei allen reversiblen Vorgängen bleibt die Entropie insgesamt unverändert, $\Sigma dS = 0$ (isentropisch).

6. Vorgänge, bei denen insgesamt der Arbeitsinhalt zunehmen ($\Sigma dA > 0$) und damit der Entropieinhalt abnehmen würde ($\Sigma dS < 0$) sind unmöglich.

(2. bis 6. = II. Hauptsatz.)

Die theoretische und praktische Bedeutung dieser thermodynamischen Grundbeziehungen wird erläutert. Damit sind u. a. Berechnungen von unbekannten Energiegrößen aus bekannten

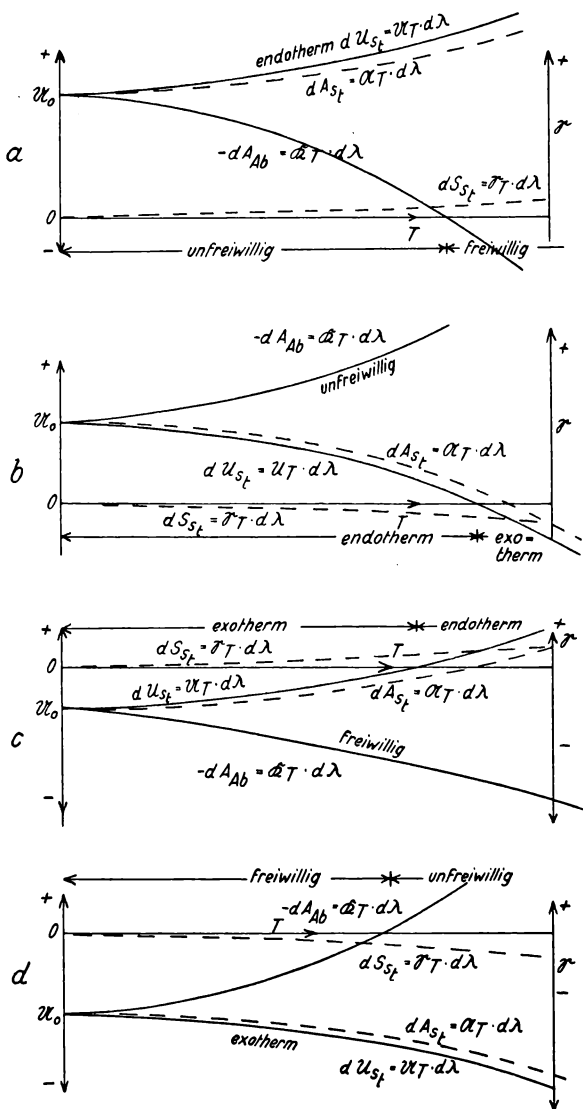


Abb. 5.

Schematische Darstellung der vier einfachsten Fälle des T -Verlaufes der Reaktionsenergien:

$$dU_{st}/d\lambda = U_T = \sum \nu_i U_{i,T}$$

$$dS_{st}/d\lambda = \bar{S}_T = \sum \nu_i S_{i,T}$$

$$dA_{st}/d\lambda = A_T = \sum \nu_i A_{i,T}$$

$$-dA_{Ab}/d\lambda = \bar{A}_T = \sum \nu_i F_{i,T}.$$

Für Reaktionen zwischen „Nernstschen Körpern“ ist

$$\bar{S}_0 = \sum \nu_i s_{i0} = 0, \text{ wegen } s_i = 0.$$

(Maßstab für $\bar{S}_T$ größer als für U_T , A_T , $\bar{A}_T$.)

möglich. Ferner gestattet das Vorzeichen gewisser Arbeits- und Entropiebeträge Urteile über den Verlauf der betreffenden Vorgänge, z. B. chemischer Reaktionen.

Auch die Vorgänge in dem Universum unterliegen bei Extrapolation unserer heutigen Kenntnissen ins zeitliche und räumliche Unendliche den für irreversible Vorgänge geltenden Aussagen, insbesondere hinsichtlich der dauernden Abnahme des Arbeitsinhaltes bzw. Zunahme der Entropie.

Der darnach zu erwartende Endzustand der Welt wird als Wärmetod bezeichnet, könnte aber auch „Arbeitstod“ genannt werden. Eine endgültige Antwort, ob und welchen Ausweg man hier sieht, gibt es noch nicht.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Sitzungsberichte der Physikalisch-Medizinischen Sozietät zu Erlangen](#)

Jahr/Year: 1937

Band/Volume: [69](#)

Autor(en)/Author(s): Lange Erich

Artikel/Article: [Die Abnahme des Arbeitsinhaltes A \(=U-S\) als Triebfeder der Welt erläutert an einem Überblick über die wichtigsten Arten thermodynamischer Vorgänge. 207-](#)

