

# Formelsammlung

## Umwelttechnik

VORSCHAU

$$p_a = \frac{N}{m^2}$$

$$V = \frac{\pi \cdot h}{12} \cdot (d_1^2 + d_2^2 + d_1 \cdot d_2)$$

$$Q_{S,h,max} = \frac{24 \frac{d}{h}}{X_{Q,max}} \cdot Q_{S,aM}$$



Tobias Bunk  
Steffen Klein  
Klaus Müller  
Martin Plepla  
Wolfgang Steinle



## ■ Vorbemerkung

Die Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA) setzt sich intensiv für die Entwicklung einer sicheren und nachhaltigen Wasserwirtschaft ein. Als politisch und wirtschaftlich unabhängige Organisation arbeitet sie fachlich auf den Gebieten Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall und Bodenschutz.

In Europa ist die DWA die mitgliederstärkste Vereinigung auf diesem Gebiet. Sie nimmt durch ihre fachliche Kompetenz bezüglich Regelsetzung, Bildung und Information der Öffentlichkeit eine besondere Stellung ein. Die rund 14.000 Mitglieder repräsentieren die Fachleute und Führungskräfte aus Kommunen, Hochschulen, Ingenieurbüros, Behörden und Unternehmen.

Die Aus- und Weiterbildung ist der DWA und dem DWA-Landesverband Baden-Württemberg ein besonderes Anliegen. Nicht nur die Erst- und Externenausbildung von jungen Menschen wie auch berufliche Seiten- und Quereinsteiger nehmen dabei einen hohen Stellenwert ein, sondern auch die regelmäßige Qualifizierung sowie der Erfahrungsaustausch von Ausbildern und Ausbildungsleitern.

Das Formelheft Umwelttechnische Berufe, das in Zusammenarbeit mit der Kerschensteinerschule Stuttgart erstellt wurde, ist eine Formelzusammenstellung für die Berufsgruppen Wasserversorgungstechnik, Abwassertechnik, Kreislauf- und Abfallwirtschaft, Kanal- und Industrieservice. Die Inhalte orientieren sich an den Ausbildungsfeldern und späteren Arbeitsschwerpunkten von Fachkräften und Meistern.

VORSCHAU

## ■ Impressum

Herausgeber  
DWA-Landesverband Baden-Württemberg  
Rennstraße 8  
70499 Stuttgart  
Fon: 0711 896631-0  
Fax: 0711 896631-111  
Mail: [info@dwa-bw.de](mailto:info@dwa-bw.de)  
[www.dwa-bw.de](http://www.dwa-bw.de)

Heft 9, 7. Auflage  
ISBN 978-3-96862-557-7

© DWA Landesverband Baden-Württemberg  
November 2022

Autoren  
Tobias Bunk  
Steffen Klein  
Klaus Müller  
Martin Plepla  
Wolfgang Steinle  
Kerschensteinerschule Stuttgart

Redaktion  
Dr.-Ing. Tobias Reinhardt  
DWA Landesverband Baden-Württemberg

Gestaltung  
Sandra Binder – BinderDesign

Bildnachweis: iStock.com

**Inhalt**

<b>1 Mathematik</b>	5	4.1.14 Spannung	26
1.1 Rechenarten	5	4.1.15 Zulässige Spannung	26
1.1.1 Vorzeichenregeln	5	<b>4.2 Bewegung</b>	27
1.1.2 Grundrechnung	5	4.2.1 Geschwindigkeit	27
1.1.3 Klammerrechnung	5	4.2.2 Gleichförmige Beschleunigung	27
1.1.4 Bruchrechnung	7	4.2.3 Mittlere Geschwindigkeit	27
1.1.5 Potenzrechnung	8	4.2.4 Fallgeschwindigkeit, Fallhöhe, Fallzeit	27
1.1.6 Zehnerpotenzrechnung	8	4.2.5 Umdrehungsfrequenz (Drehzahl)	28
1.1.7 Wurzelrechnung	9	4.2.6 Winkelgeschwindigkeit	28
1.1.8 Logarithmenrechnung	9	4.2.7 Kreisbogen	28
1.2 Gleichungen	10	<b>4.3 Arbeit und Leistung</b>	28
1.2.1 Rechenoperationen	10	4.3.1 Arbeit	28
1.3 Trigonometrie	11	4.3.2 Hubarbeit	28
1.3.1 Winkelfunktionen	11	4.3.3 Bewegungsarbeit	28
1.3.2 Satz von Pythagoras	11	4.3.4 Potenzielle Energie (Lageenergie)	29
1.3.3 Höhensatz von Euklid	12	4.3.5 Kinetische Energie (Bewegungsenergie)	29
1.3.4 Sinussatz	12	4.3.6 Leistung	29
1.4 Statistik	12	4.3.7 Mechanische Leistung	29
1.4.1 Prozentrechnung	12	4.3.8 Hubleistung	29
1.4.2 Zinsrechnung	12	4.3.9 Beschleunigungsleistung	29
1.4.3 Messfehlerrechnung	13	4.3.10 Wirkungsgrad	29
<b>2 Flächenberechnung</b>	14	<b>4.4 Druck</b>	30
2.1 Quadrat	14	4.4.1 Druckarten	30
2.2 Rechteck	14	4.4.2 Druck	30
2.3 Parallelogramm	14	4.4.3 Hydraulischer Druck	30
2.4 Kreis	14	4.4.4 Hydrostatischer Druck	30
2.5 Rhombus (Raute)	15	<b>4.5 Volumenstromberechnungen</b>	31
2.6 Regelmäßiges Vieleck	15	4.5.1 Volumen- und Massenstrom	31
2.7 Trapez	16	4.5.2 Kontinuitätsgesetz	31
2.8 Dreieck (Umfang)	16	4.5.3 Ausfluss aus Behältern	31
2.9 Dreieck	16	4.5.4 Ausfluss mit sinkendem Flüssigkeitsspiegel	31
2.10 Unregelmäßiges Vieleck	17	4.5.5 Ausfluss aus Behältern mit Überdruck	32
2.11 Kreisring	17	<b>4.6 Druck in Rohrleitungen</b>	32
2.12 Kreisabschnitt	17	4.6.1 Bernoulli'sches Gesetz	32
2.13 Kreisabschnitt	18	4.6.2 Gesamtverlust in Rohrleitungen	32
2.14 Ellipse	18	4.6.3 Druckverlust durch Rohrreibung	32
<b>3 Oberflächen-, Mantel-, Volumenberechnung</b>	19	4.6.4 Reynoldszahl	33
3.1 Würfel	19	4.6.5 Druckverluste durch Einzelwiderstände	33
3.2 Quader	19	4.6.6 Druckhöhenverluste	33
3.3 Zylinder	19	<b>4.7 Pumpenberechnungen</b>	33
3.4 Hohlzylinder	20	4.7.1 Pumparbeit	33
3.5 Pyramide	20	4.7.2 Pumpenleistung	34
3.6 Pyramidenstumpf	21	4.7.3 Pumpenwirkungsgrad	34
3.7 Kegel	21	4.7.4 Förderhöhe	34
3.8 Kegelstumpf	22	4.7.5 Maximale Saughöhe	34
3.9 Kugel	22	4.7.6 Kavitation – NPSH-Wert	35
<b>4 Physik</b>	23	4.7.7 Drehzahlregelung	35
4.1 Mechanik	23	<b>4.8 Wärmeberechnungen</b>	35
4.1.1 Dichte und Masse	23	4.8.1 Temperaturskalen	35
4.1.2 Kraft	23	4.8.2 Mischungstemperatur	35
4.1.3 Gewichtskraft	23	4.8.3 Wärmemenge, Schmelzwärme, Verdampfungswärme, Wärmeleistung	36
4.1.4 Auftriebskraft	23	4.8.4 Erwärmen, Schmelzen und Sieden	36
4.1.5 Federkraft	23	4.8.5 Spezifische Wärmekapazität	36
4.1.6 Reibungskraft	24	4.8.6 Siedetemperatur und spezifische Verdampfungswärme	37
4.1.7 Reibungszahlen (Richtwerte)	24	4.8.7 Schmelztemperatur und spezifische Schmelzwärme	37
4.1.8 Kraftzerlegung	24	4.8.8 Wärmemenge fester und flüssiger Stoffe	37
4.1.9 Schiefe Ebene	25	4.8.9 Heizwert fester Stoffe	37
4.1.10 Rollen	25		
4.1.11 Drehmoment	26		
4.1.12 Hebelgesetz	26		
4.1.13 Hydraulische Kraft	26		

4.8.10	Heizwert und Brennwert flüssiger Stoffe	37	6.4.2	Massenverhältnis	51
4.8.11	Wärmemenge von Gasen	38	6.4.3	Volumenverhältnis	51
4.8.12	Heizwert und Brennwert von Gasen	38	6.5	Mischen	52
4.8.13	Längenausdehnung	38	6.5.1	Mischungsgleichung	52
4.8.14	Längenausdehnungskoeffizient	38	6.5.2	Mischungskreuz (Andreaskreuz)	52
4.8.15	Volumenausdehnung	38	6.5.3	Varianten der Mischungsgleichung	52
4.8.16	Volumenausdehnungskoeffizient	39	6.6	Verdünnungsreihen	53
4.8.17	Wärmeleitung	39	6.6.1	Verdünnen mit Angabe der Stoffmengenkonzentration	53
4.8.18	Wärmeleitzahl	39	6.6.2	Verdünnen mit Angabe der Massenkonzentration	53
4.8.19	Wärmeübergang	40	6.7	pH-Wert	53
4.8.20	Wärmeübergangszahl	40	6.8	pK <sub>s</sub> - und pK <sub>b</sub> -Werte von Säuren und Basen	54
4.8.21	Wärmedurchgang	40	6.9	Neutralisationsprinzip	55
4.8.22	Wärmedurchgangszahl	40	6.10	Neutralisationsreaktionen	55
4.8.23	Wärmestrahlung	41	6.11	Masse des gelösten Stoffes	55
4.8.24	Schwärzegrad	41	6.12	Stoffmengenkonzentration des Stoffes	55
4.9	Gasberechnungen	41	6.13	Titrationprinzip	55
4.9.1	Allgemeines Gasgesetz	41	6.14	Aliquoter Faktor	56
4.9.2	Allgemeine Zustandsänderung: Ideale Gase	42	6.15	Extinktion	56
4.9.3	Isobare Zustandsänderung: Druck = konstant	42	6.16	Regeln zur Bestimmung der Oxidationszahlen	56
4.9.4	Isotherme Zustandsänderung: Temperatur = konstant	42	6.17	Reaktionsgleichungen von Redoxreaktionen	57
4.9.5	Isochore Zustandsänderung: Volumen = konstant	42	6.18	Gefahrstoffe	58
4.9.6	Gasverbrauch: Temperatur = konstant	42	6.18.1	Gefahrenhinweise (Hazard statements) nach GHS	58
5	Elektrotechnik	43	6.18.2	Sicherheitshinweise (Precautionary statements) nach GHS	60
5.1	Elektrische Ladung	43	6.18.3	Gefahrensymbole und Gefahrenbezeichnung nach GHS	61
5.2	Elektrischer Strom	43	6.18.4	Signalwörter nach GHS	61
5.3	Elektrische Spannung	43	6.18.5	R-Sätze (Risikoratschläge)	62
5.4	Ohmsches Gesetz	43	6.18.6	S-Sätze (Sicherheitsratschläge)	63
5.5	Leitungswiderstand	44	6.18.7	E-Sätze (Entsorgungsratschläge)	64
5.5.1	Spezifischer elektrischer Widerstand	44	6.18.8	Gefahrensymbole und Gefahrenbezeichnung	65
5.6	Spannungsverlust bei Gleich-, Wechsel- und Drehstrom	44	7	Biologie	66
5.6.1	Spezifische elektrische Leitfähigkeit	44	7.1	Mikroskopisches Bild	66
5.7	Parallelschaltung von Widerständen	45	7.1.1	Häufigkeitsfaktoren	66
5.8	Reihenschaltung von Widerständen	45	7.2	Belebtschlammflocke	66
5.9	Dreieckschaltung	46	7.2.1	Form	66
5.10	Sternschaltung	46	7.2.2	Struktur	66
5.11	Elektrische Arbeit	46	7.2.3	Größe	66
5.12	Arbeit Gleichstrom	46	7.2.4	Fädigkeit	66
5.13	Arbeit Wechselstrom	47	7.3	Belebtschlammorganismen	67
5.14	Arbeit Drehstrom	47	7.3.1	Bakterien	67
5.15	Leistung Gleichstrom	47	7.3.2	Amöben	67
5.16	Leistung Wechselstrom	47	7.3.3	Festsitzende Ciliaten	67
5.17	Leistung Drehstrom	47	7.3.4	Frei bewegliche Ciliaten	68
5.18	Elektrische Verluste	48	7.3.5	Sonstige Einzeller	68
5.19	Elektrischer Wirkungsgrad	48	7.3.6	Mehrzeller	68
5.20	Drehfelddrehzahl / Schlupf / Frequenz	48	8	Abwassertechnik	69
5.21	Transformator	49	8.1	Kanalberechnungen	69
5.22	Schutzstromdichte	49	8.1.1	Kanalgefälle / Steigung	69
6	Chemie	50	8.1.2	Durchfluss Kanal	69
6.1	Stoffmenge, Avogadro-Konstante	50	8.1.3	Fließgeschwindigkeit	69
6.2	Konzentration	50	8.1.4	Häuslicher Schmutzabwasserabfluss	70
6.2.1	Stoffmengenkonzentration	50	8.1.5	Betrieblicher Schmutzwasserabfluss	70
6.2.2	Massenkonzentration	50	8.1.6	Schmutzwasserabfluss	70
6.2.3	Volumenkonzentration	50	8.1.7	Fremdwasser	70
6.3	Anteile	50	8.1.8	Trockenwetterabfluss	70
6.3.1	Stoffmengenanteil	50	8.1.9	Regenwasser	71
6.3.2	Massenanteil	51	8.1.10	Mischwasserabfluss	71
6.3.3	Volumenanteil	51	8.2	Zulauf	71
6.4	Verhältnisse	51			
6.4.1	Stoffmengenverhältnis	51			

8.2.1	Einwohnerwerte	71	9.4.2	Druckverlust	85
8.2.2	Täglicher Zufluss	71	9.4.3	Gefällebezogener Druckverlust	85
8.2.3	Zulaufsracht	71	9.4.4	Kontinuitätsgleichung	85
8.2.4	Zulaufkonzentration	72	9.5 Wasseraufbereitung mit Festbettfiltration	86	
8.2.5	Zulaufkonzentration Einwohner	72	9.5.1	Sinkgeschwindigkeit	86
8.3 Rechen		72	9.5.2	Beckenlänge	86
8.3.1	Kammerbreite	72	9.5.3	Filterfläche	86
8.3.2	Stauverlust	72	9.5.4	Erforderliches Speichervolumen	86
8.3.3	Stabanzahl	72	9.5.5	Trockenrückstand des jährlich anfallenden Schlammes	87
8.4 Sandfang		73	9.6 Wasseraufbereitung mit Membranfiltration	87	
8.4.1	Sinkgeschwindigkeit	73	9.6.1	Ausbeute	87
8.4.2	Länge	73	9.6.2	Flächenbelastung	87
8.5 Vorklärung / Nachklärung		73	9.6.3	Permeabilität	87
8.5.1	Aufenthaltszeit	73	9.6.4	Rückhalt	87
8.5.2	Flächenbeschickung	73	9.6.5	Transmembrane Druckdifferenz	87
8.5.3	Raumbeschickung	74	<b>10 Abfalltechnik</b>	88	
8.5.4	Schwellenbelastung	74	10.1 Berechnungen	88	
8.5.5	Hydraulischer Wirkungsgrad	74	10.1.1	Abfallvolumen	88
8.5.6	Durchfluss NKB	74	10.1.2	Abfallmasse	88
8.5.7	Schlammvolumenbeschickung NKB	74	10.1.3	Abfalldichte	88
8.6 Belebung		74	10.1.4	Abfallverdichtungsverhältnis	88
8.6.1	Oberflächenbelastung	74	10.2 Komposttechnik	88	
8.6.2	Raumbelastung	75	10.2.1	Kompostaufbringung	88
8.6.3	Schlammbelastung	75	10.2.2	Trockenrückstand/ Wassergehalt	89
8.6.4	Schlammindex	75	10.2.3	Glühverlust/ Glührückstand	89
8.6.5	Schlammalter	75	10.3 Deponietechnik	89	
8.6.6	Schlammarbeit	75	10.3.1	Deponiewasserhaushalt	89
8.6.7	Überschuss-Schlammproduktion	76	10.3.2	Deponiesteigung/ -neigung	89
8.6.8	Rücklaufschlammverhältnis	76	10.4 Siebanalyse	90	
8.6.9	Sauerstoffkonzentration	76	10.4.1	Gesamtmasse	90
8.6.10	Sauerstoffbedarf (vereinfacht)	76	10.4.2	Massenanteil	90
8.6.11	Sauerstoffzufuhr und Luftbedarf	77	10.4.3	Durchgang	90
8.6.12	Fällmittelverbrauch	77	10.5 Angebotskalkulation	91	
8.7 Schlammbehandlung		78	10.5.1	Divisionskalkulation	91
8.7.1	Schlammmentwässerung	78	10.5.2	Einfache Zuschlagskalkulation	91
8.7.2	Trübwasser	78	10.5.3	Preiskalkulation	91
8.7.3	Trockensubstanzgehalt	78	<b>11 Prozessleittechnik</b>	92	
8.7.4	Trockenrückstand / Wassergehalt	78	11.1 Regelungen	92	
8.7.5	Glühverlust / Glührückstand	79	11.1.1	Reglertypen	92
8.7.6	Faulraumvolumen	79	11.1.2	Reglerparameter nach Ziegler-Nichols	93
8.7.7	Faulzeit	79	11.1.3	Reglereinstellung nach Ziegler-Nichols	93
8.7.8	Klärgasmenge	79	11.2 Steuerungen	94	
8.8 Ablauf		80	11.2.1	Verknüpfungsfunktionen	94
8.8.1	Reinigungsleistung (Wirkungsgrad, Abbaugrad)	80	11.2.2	Ablaufsteuerungen nach DIN EN 60848: GRAFCET	95
8.8.2	Aufenthaltszeit	80	<b>12 Grafische Darstellung</b>	96	
8.9 Abwasserabgabe		80	12.1	Grafische Symbole für RI-Fließschema nach DIN EN ISO 10628-2	96
8.9.1	Abwasserabgabe für Schmutzwasser	80	12.2	Kennbuchstaben für MSR-Stellen nach DIN 62424	98
8.9.2	Abwasserabgabe für Niederschlagswasser	81	12.3	Kennbuchstaben für Anlagenteile nach DIN EN ISO 10628 (alt)	99
<b>9 Wassertechnik</b>		82	<b>13 Formelzeichen</b>	100	
9.1 Wasserdaten		82	13.1	Griechisches Alphabet	100
9.1.1	Härtebereich	82	<b>14 Einheiten und Umrechnungsfaktoren</b>	101	
9.1.2	Wasserhärte	82	<b>15 Periodensystem der Elemente</b>	103	
9.1.3	Härteeinheiten	82	<b>Stichwortverzeichnis</b>	107	
9.2 Wasserhaushalt		83			
9.2.1	Wasserhaushaltsgleichungen	83			
9.2.2	Niederschlag	83			
9.3 Wasserbedarf		84			
9.3.1	Mittlerer Tageswasserbedarf	84			
9.3.2	Maximaler Tageswasserbedarf	84			
9.3.3	Mittlerer Stundenwasserbedarf	84			
9.3.4	Maximaler Stundenwasserbedarf	84			
9.3.5	Richtwerte für den Löschwasserbedarf	84			
9.4 Wasserversorgung		85			
9.4.1	Wasserverlust	85			