

**23.1 Mechanische Arbeit (Beschleunigungsarbeit)**

$W = F \cdot s$			$1 \text{ N} \cdot 1 \text{ m} = 1 \text{ J}$
<p><math>F</math> konstant in Richtung der Strecke <math>s</math></p> <p><math>W</math> Arbeit in J oder Nm oder Ws  <math>F</math> Kraft in N  <math>s</math> Weglänge in m</p>			

Weitere Arbeitsarten sind: Hubarbeit, Verformungsarbeit, Reiarbeit, u. a.

**23.2 Potenzielle Energie (Lageenergie)**

$W_p = F_G \cdot h$	$W_p = m \cdot g \cdot h$	<p><math>W_p = F_G \cdot h</math></p> <p><math>v_0 = 0 \Rightarrow W_k = 0</math></p> <p><math>\Sigma W = W_p + W_k + W_R = \text{konst.}</math></p> <p><math>W_k = m \cdot \frac{v_u^2}{2}</math></p> <p><math>v_u &gt; 0 \Rightarrow W_k = m \cdot \frac{v_u^2}{2}</math></p> <p><math>h_u = 0 \Rightarrow W_p = 0</math></p>
<p><math>W_p</math> potenzielle Energie in J oder Nm oder Ws  <math>F_G</math> Gewichtskraft in N oder <math>\text{kg} \cdot \text{m/s}^2</math>  <math>m</math> Masse in kg  <math>g</math> Fallbeschleunigung in <math>\text{m/s}^2</math>  <math>h</math> Höhe in m  <math>1 \text{ Nm} = 1 \text{ J} = 1 \text{ Ws}</math></p>		

**23.3 Kinetische Energie (Bewegungsenergie)**

$W_k = \frac{m}{2} v^2$	$1 \text{ kg} \cdot 1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 1 \text{ m} = 1 \text{ Nm} = 1 \text{ J}$
<p><math>W_k</math> kinetische Energie in J oder Nm oder Ws  <math>m</math> Masse in kg  <math>v</math> Geschwindigkeit in <math>\text{m/s}</math></p>	<p><b>Beispiel:</b> <math>h = 12 \text{ m}</math>, <math>v_0 = 0 \text{ m/s}</math>, <math>W_R = 0</math>, Ges.: <math>v_u = ? \text{ m/s}</math>.</p> <p><math>\Rightarrow W_k = W_p \Rightarrow m \cdot \frac{v_u^2}{2} = m \cdot g \cdot h</math></p> <p><math>\Rightarrow v_u = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 12 \text{ m}} = 15,35 \frac{\text{m}}{\text{s}}</math></p>

**23.4 Arbeit und Leistung**

Mechanische Arbeit (Hubarbeit) $W = F_G \cdot h$	Leistung ist Arbeit pro Zeit $P = \frac{W}{t} = F \cdot v$
<p><math>F</math> Kraft in N  <math>F_G</math> Gewichtskraft in N (<math>= m \cdot g</math>)  <math>W</math> Arbeit in Nm  <math>P</math> Leistung in W (<math>= F \cdot s/t</math>)  <math>s</math> Kraftweg in m  <math>v</math> Geschwindigkeit <math>\text{m/s}</math>  <math>t</math> Zeit (Zeitspanne) in s</p>	

**23.5 Wirkungsgrad**

$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}}$ oder $\eta = \frac{W_{ab}}{W_{zu}}$	$\eta_g = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \dots \cdot \eta_n$
<p><math>\eta_g</math> Gesamtwirkungsgrad [ohne Einheit (o. E.)]  <math>\eta_M</math> Wirkungsgrad Motor (o. E.)  <math>\eta_R</math> Wirkungsgrad Antrieb (o. E.)  <math>\eta_V</math> Wirkungsgrad Ventilator, Pumpe (o. E.)  <math>P_{ab}</math> abgegebene Leistung in W  <math>P_{zu}</math> zugeführte Leistung in W  <math>W_{ab}</math> abgegebene Arbeit in J oder Ws oder Wh  <math>W_{zu}</math> zugeführte Arbeit in J oder Ws oder Wh</p> <p><b>Beispiel:</b> <math>\eta_g = \eta_M \cdot \eta_R \cdot \eta_V = 0,8 \cdot 0,95 \cdot 0,6 = 0,456</math>  <math>\Rightarrow 45,6 \%</math></p>	<p>zugeführte Leistung <math>P_{zu}</math> → abgegebene Leistung <math>P_{ab}</math></p> <p>Verluste:          Motor = 20% <math>\eta_M = 0,8</math>          Riementrieb = 5% <math>\eta_R = 0,95</math>          Ventilator = 40% <math>\eta_V = 0,6</math></p>

**40.1 Ohm'sches Gesetz**

$U = R \cdot I$  <sup>1)</sup>

1 V = 1 Ω · 1 A  
Messungen:  
U: parallel zum Verbraucher; I: in Reihe zum Verbraucher  
1 A = 1 C/1s ≈ 6,224 · 10<sup>18</sup> Ladungen/s  
<sup>1)</sup> gilt nicht bei Magnetspulen und Elektromotoren

**40.2 Leiterwiderstand und Leitfähigkeit**

$R = \frac{\rho \cdot l}{A}$     $R = \frac{l}{\gamma \cdot A}$     $\rho = \frac{1}{\gamma}$

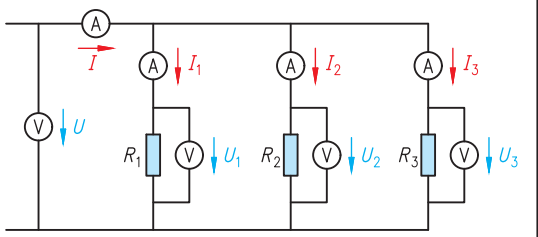
R Leiterwiderstand in Ω  
ρ spezifischer Widerstand: Ω · mm<sup>2</sup>/m   Werkstoff  
γ Leitfähigkeit in m/(Ω · mm<sup>2</sup>)  
l Leiterlänge in m  
A Leiterquerschnitt in mm<sup>2</sup>  
ρ<sub>Kupfer-ETP</sub> = 0,017 m/(Ω · mm<sup>2</sup>)

0,0278	Aluminium
0,0167	Silber
0,49	Konstantan
0,125	Stahl

**40.3 Parallelschaltung von Widerständen**

$U = U_1 = U_2 = U_3 = \dots$   
 $I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots$   
 $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$

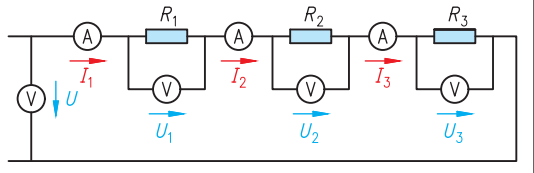
U Spannung in V  
I in A Gesamtstromstärke  
I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub>, I<sub>3</sub> Teilstromstärke in A  
R in Ω Gesamtwiderstand  
R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub> Einzelwiderstand in Ω



**40.4 Reihenschaltung von Widerständen**

$I = I_1 = I_2 = I_3 = \dots$   
 $U = U_1 + U_2 + U_3 + \dots$   
 $R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$

I Stromstärke in A  
U in V Gesamtspannung  
U<sub>1</sub>, U<sub>2</sub>, U<sub>3</sub> Teilspannung in V  
R in Ω Gesamtwiderstand  
R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub> in Ω Einzelwiderstand



**40.5 Transformator**

$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$     $\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1}$

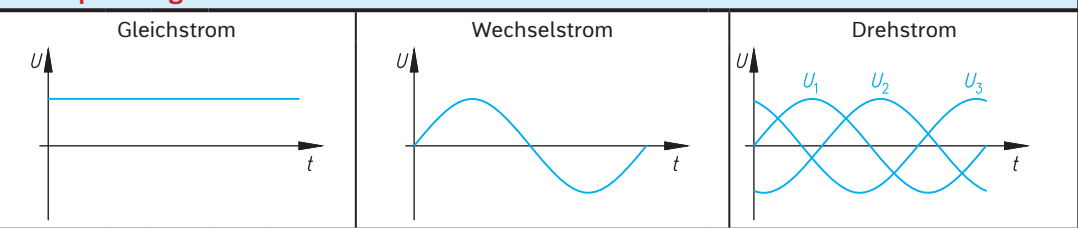
U<sub>1</sub>, U<sub>2</sub> Spannung  
I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub> Stromstärke  
N<sub>1</sub>, N<sub>2</sub> Windungszahl (ohne Einheit)

**40.6 Brückenschaltung, Wheatstone-Brücke**

$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$  oder  
 $R_1 \cdot R_4 = R_2 \cdot R_3$

U<sub>d</sub> Diagonalspg.  
I<sub>d</sub> Diagonalstrom

**40.7 Spannungsverlauf bei unterschiedlichen Stromarten**



**40.8 Leistung bei Gleichstrom/-spannung**

$P = U \cdot I$  oder  
 $P = \frac{U^2}{R}$  oder  
 $P = I^2 \cdot R$

P Leistung in W  
U Spannung in V  
I Stromstärke in A  
R Widerstand in Ω

**Beispiel:** U = 24 V; I = 2 A ⇒ P = 24 V · 2 A = 48 VA (W)

**40.9 Leistung bei Wechselstrom/-spannung**

$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$   
 $S = U \cdot I$

P Wirkleistung in W  
U Spannung in V  
I Stromstärke in A  
cos φ Leistungsfaktor (o. Einh.)  
S Scheinleistung in VA  
X<sub>L</sub> Blindwiderstand in Ω

**52.1 Ergänzende Festlegungen für ortsfeste Warmwasserbereiter DIN VDE 0701-0702**

Ortsfeste Kochendwasserbereiter, Warmwasserspeicher/-boiler DIN EN 60335 2-15/2-21 s. 395 ff.  
Durchflusswassererwärmer DIN 60335 2-35 s. 397 f., ortsfeste Heizeinsätze VDE 0700-253

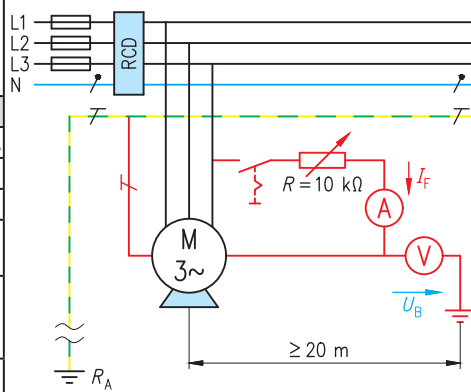
Anforderungen: Benutzer ist auf Notwendigkeit regelmäßiger Entkalkung hinzuweisen. Als Ersatz für Schutztemperaturregler, Temperatursicherung, Schutztemperaturbegrenzer dürfen nur vom Gerätehersteller angegebene Ersatzteile verwendet werden und nach Anweisung eingebaut werden.

Zusätzliche Prüfungen: Sichtprüfung – innere Verdrahtung auf festen Kontakt, mechanische Beschädigungen  
Funktionsprüfung: Während einer Aufheizung sind zu überprüfen: Funktion – Temperaturregler, – Temperaturbegrenzer, – Strömungsschalter (nicht Schutztemperatur-Regler/-Begrenzung)  
Geschlossene Geräte: Beobachtung Sicherheitsventil auf Tropfwasser. Gerät solange aufheizen, bis Wasser austropft. Durch Besichtigung Dichtheit kontrollieren.

An allen offenen/drucklosen Warmwasserspeichern/-boilern ist festzustellen, ob der ungehinderte Wasser-  
austritt sichergestellt ist. Sonst Entkalken, Gerät + Armatur, danach Durchfluss nach DIN 44531 prüfen und  
ggf. einstellen.

**52.2 Prüfung der Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD)(s. 47.3)**

RCD vor 1. Inbetriebnahme durch Elektrofachkraft prüfen  
Bemessungsdifferenzstrom  $I_{AN} = 30 \text{ mA}$ , Auslösezeit bei RCD Typ B  $t = 300 \text{ ms}$  (Messgerät mit ansteig. Gleichstrom).  
Funktionsprüfung: mind. alle 6 Monate



Prüfung der Schutzmaßnahme (höchstzul. Erdungswiderst.)

$U_L$ höchstzul.	$I_{NF}$ 10 mA	30 mA	100 mA	300 mA	500 mA
25 V	2500 Ω	833 Ω	250 Ω	83 Ω	50 Ω
50 V	5000 Ω	1666 Ω	500 Ω	166 Ω	100 Ω

$U_L$  höchstzul. Höchstzulässige Berührungsspannung  
 $I_{NF}$  Höchstzulässiger Erdungswiderstand bei Nennfehlerstr.  
Prüfprotokoll: Hersteller ..., Typ ..., Besonderheiten ..., Bemessungsspannung ..., Bemessungskurzschlussstrom ..., Bemessungsstrom ..., Bemessungsdifferenzstrom ...  
Messung: Berührungsspannung ...; Erdungswiderstand; Auslösezeit bei  $1 \times I_{AN}$  und  $5 \times I_{AN}$  bei  $0^\circ/180^\circ$ ; Auslösestrom ...

Prüfprotokoll für elektrische Anlagen, Auszug

Prüfung nach  DIN VDE 0100-600  0105-100  
 Neuanlage  Erweiterung  Instandsetzung

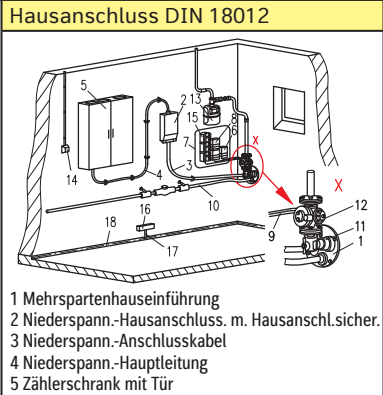
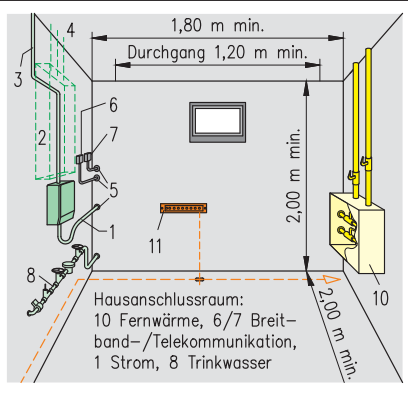
Erprobung:  Anlagenfunktion;  Rechtsdrehfeld Drehstromsteckdose;  Motorendrehrichtung;  Not-Aus

Messung: Fabrikat Messgeräte ...;  Schutzleiter  Potenzialausgleich  sichere Trennung

Besichtigung

Betriebsmittel:  richtige Auswahl  beschädigt  
 Wärmeerzeuger;  Leitungsverlegung;  Bezeichnung der Stromkreise;  Brandschottung;  Basischutz/direktes Berühren;  Sicherheitseinrichtungen;  Schutztrennung;  Kleinspannung mit sicherer Trennung;  Hauptpotenzialausgleich;  zusätzlicher Potenzialausgleich

Stromkreis	Leitung/Leiter		Überstromschutz			$R_{ISO}$ MΩ	RCD Fehlerschutz			<input type="checkbox"/> entspr. Regeln d. Technik <input type="checkbox"/> Dokumentation vorhanden.
	Art	Zahl	A	mm <sup>2</sup>	Charakteristik		$I_N$ A	$I_{\Delta N}$ A	t ms	

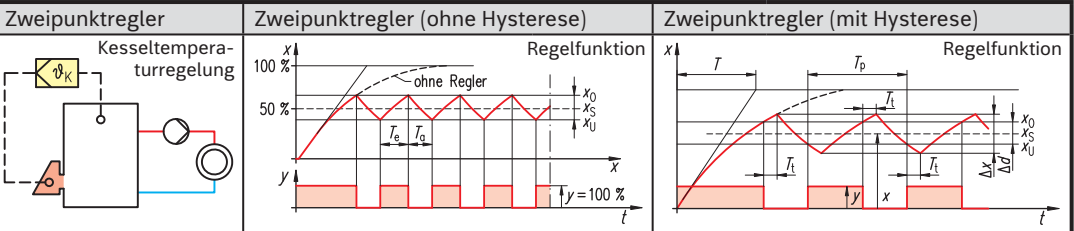


- 6 APL - des allgem. Kommunikations-Kupferzugangsnetzes
- 7 Anschlussleit. des allgemeinen Kommunikat.-Kupferzugangsnetzes
- 8 AP RuK - Abschlusspunkt für das koaxiale Breitbandverteilernetz
- 9 Anschlussleitung des allgemeinen koaxialen Breitbandverteilernetzes
- 10 Anschlussleitung für Trinkwasserversorgung mit Wasserzähler
- 11 Anschlussleit. für Gasversorgung
- 12 Hausdruckregelgerät
- 13 Gaszähler
- 14 Schutzkontaktsteckdose
- 15 Haupterdungsschiene (Potentialausgleichsschiene)
- 16 Anschlussstiel
- 17 Fundamenterder

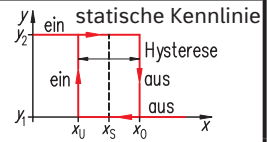
**59.1 Regelkreise in einer Heizungsanlage (weitere durch Einbindung erneuerbarer Energien)**

1	Wärmeerzeuger	festе Temperatureinstellung am Thermostat (Stelleinrichtung z. B. Brenner)
2	WW-Bereitung	desgl. am Speicherthermostat (Stelleinrichtung: Zirkulationspumpe)
3	Vorlauftemperatur	erfasst durch Außentemperaturfühler (Regelung mit gleitendem Sollwert)
4	Raumtemperatur	festе Einstellung am Thermostatventil oder über Raumtemperaturregelung

**59.2 Unstetige Regler – Beispiel: Zweipunkt- und Dreipunktregler**

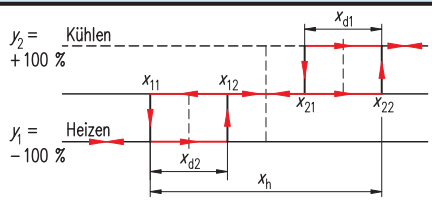


Anmerkungen: nur zwei Schaltzustände EIN/AUS (entsprechend 100–0 %),  $x_d$  Schaltdifferenz;  $T$  Zeitkonstante;  $T_t$  Totzeit;  $T_p$  Periodendauer (Schwingungsdauer bei mittlerer Belastung);  $T_e$  eingeschaltet;  $T_a$  ausgeschaltet;  $x_o$  oberer Schalterpunkt;  $x_u$  unterer Schalterpunkt;  $\Delta x$  Maximalwert ( $x$  mit Hysterese, um ein ständiges Ein- und Ausschalten des Stellgliedes zu verhindern); Sollwert z. B.  $x_s = 20\text{ °C}$  (vorgegeben): bei Schaltdifferenz 1 K (19,5–20,5 °C) → zu nah am Sollwert → gute Regelbarkeit, aber „Pendelgefahr“. Mit Schalthysterese → stabile Regelung, schlechtes Regelergebnis. Anwendung: z. B. Thermostate, Pressostate, Höhenstandsanzeiger



**Vorteile:** Beim ersten Einschalten rasche Ausregelung, einfacher Aufbau, preisgünstig  
**Nachteile:** Schwingungen der Regelgröße aufgrund der Schaltdifferenz, die allerdings bei Reglern mit hoher Zeitkonstante durch eine zusätzliche **Rückführung** reduziert werden. Bei der Heizung (z. B. Elektroheizung) kann durch einen Rückführungswiderstand (vom selben Stellglied angesteuert wie die Heizung selbst) der Temperaturfühler des Reglers zusätzlich aufgeheizt, dem Regler eine höhere Temperatur vorgetäuscht und er somit vorzeitig abgeschaltet werden und somit können starke Schwingungen vermieden werden. Beim Abkühlen tritt mit der vorgetäuschten niedrigeren Temperatur der gegenteilige Effekt auf.

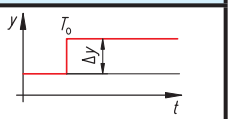
**59.3 Dreipunktregler (Verhalten der über die Regelgröße x abgetragenen Stellgröße y)**



- z. B. kann ein Raum neben den Zuständen Heizen (ein/aus) auch auf Kühlung umgeschaltet werden, d. h. **drei verschiedene Schaltzustände**:  $y_2$  Motor vorwärts (Ventil öffnen),  $y_0$  Stillstand (Ventilposition bleibt),  $y_1$  Motor rückwärts (Ventil schließt)
- vorstellbar auch 2 gekoppelte Zweipunktregler (einer heizt, der andere kühlt), d. h. nicht gleichzeitig

**59.4 Regelstrecken, Stellverhalten, Sprungantwort der Regelgröße – Schwingungsverhalten**

Die Regelstrecke (Teil zwischen Stell- und Messort) stellt den zu beeinflussenden Anlagenbereich dar. Man unterscheidet zwischen Strecken mit Ausgleich (P-Strecken) und Strecken ohne Ausgleich (I-Strecken). Nachfolgend der Verlauf der Regelgröße  $x$  über die Zeit  $t$  als Folge einer sprunghaften Stellgrößenänderung  $\Delta y$ .



<p>a) <b>Verzögerungslose Regelstrecke</b>                      (<math>x</math> folgt sofort <math>y</math>)                      b) mit Totzeit <math>T_t</math> (nach <math>T_t</math> ist <math>\Delta x = K_s \cdot \Delta y</math>)</p>	<p><b>Regelstrecke 1. Ordnung</b>  <math>x</math> ändert sich sofort mit einer gewissen Anfangsgeschwindigkeit <b>ohne</b> Totzeit <math>T_t</math></p>	<p><b>Regelstrecke 1. Ordnung mit Totzeit</b>                      (<math>T_t</math> = Zeit bis Stellgrößenänderung den Istwert am Messort verändert)</p>	<p><b>Regelstrecke 2. und höh. Ordnung.</b> <math>T_u</math> = Verzugszeit, <math>T_g</math> = Ausgleichzeit; <math>S = T_u / T_g</math> = Schwierigkeitsgrad der Strecke</p>

### 67.1 Drei Ebenen in der Gebäudeautomation

Die klare Aufteilung dieser 3 Ebenen ist nicht mehr gegeben (greifen immer mehr ineinander).

#### Managementebene (Leitzentrale)

- Zusammenlaufen aller Daten in der Leitzentrale (optische Anzeige)
- Anschlüsse: Drucker, Fon, Fax, Funk (Fernübertragung)
- Vernetzung mit Feldebene
- Reaktion auf Systemfehler u. a.

#### Automationsebene (Regelsystem)

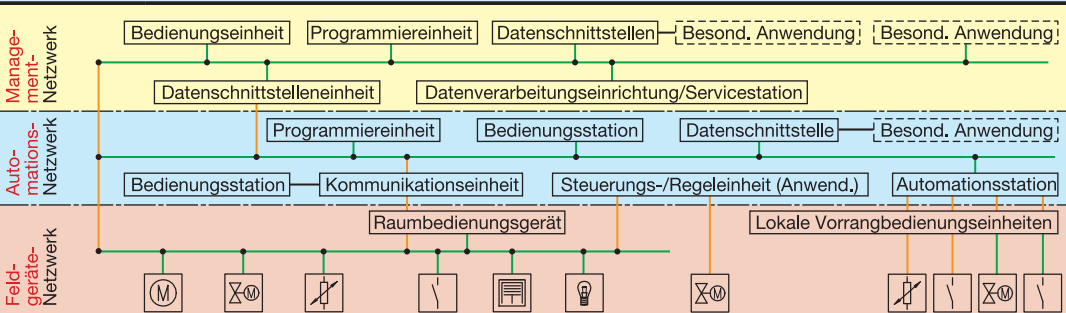
- Verknüpfung durch Bussysteme
- herstellerüberg. Infoaustausch
- bei Nachrüstung oft Funksysteme
- oft Datenübernahme von Feldebene und Vorgaben von Managementebene

#### Feldebene (Funktionsablauf)

- Bedarfsgerechter Ablauf der in s. 66.2 genannten Vorgänge
- Verkabelung der Sensoren und Aktoren mit GA-Komponenten (beides sind sog. Feldgeräte)

### 67.2 Mögliche Verbindungen in Gebäudeautomationssystemen

DIN ISO 16484-2



### 67.3 Smart-Home-Technologie „Vernetztes Wohnen“

Smart Home smart (engl.) bedeutet klug, clever

- **Oberbegriff** für technische Verfahren und Systeme in Wohnungen und Wohngebäuden
- **Zweck:** Erhöhung von Wohn- und Arbeitsqualität, Sicherheit, effiziente Energienutzung u. a.
- **Zahlreiche Unterscheidungen bei den Begriffen** (thematisch). Zwei Begriffe hängen zusammen: die Gebäudeautomation (s. 67.1) und besonders die Hausautomation (s. 66.1).

- Beim Begriff Smart Home handelt es sich im Wesentlichen um eine „**Haushaltsgeräte-Automation**“, d. h. eine Vernetzung, Fernsteuerung und Programmierung von Elektrohaushaltsgeräten wie z. B. Herd, Kühlschrank, Waschmaschine, Spülmaschine, Automaten, Jalousien u. a. (Neu- oder Altbau)
- Die Steuerung der Smart-Home-Umgebung erfolgt durch eine **App** auf mobilen Geräten (z. B. Smartphone); **Beispiel:** z. B. Datenaustausch zwischen Smartphone und Heizkörperventilen (Fernsteuerung)
- Größere Bedeutung haben auch **Sicherheitsaspekte** u. a. durch Einsatz von Sensoren, die Signale aussenden können; z. B. Bewegungssensoren, Wassersensoren (Wasserschaden), Fenstersensoren und Rauchmelder, Überwachungskameras (z. B. Fotoaufnahme bei einer Türöffnung), Geruchssensoren u. a.

Der **Smart-Home-Markt** steht in Deutschland vor dem Durchbruch. Bis zum Jahr 2019 rechnet man mit ca. 1 Million Haushalte und bis 2020/2021 mit 1,5 Millionen (2013 waren es ca. 30000).

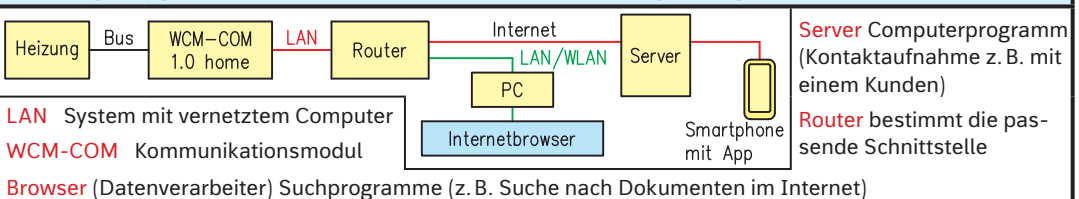
Verwandt mit der Hausautomation ist das **Smart Metering**, d. h. ein System, das über einen Zähler den Strom-, Wasser- oder Gasverbrauch misst, ebenso die tatsächliche Nutzungszeit.

Die **Smart-Home-Initiative Deutschland** umfasst die gesamte Bandbreite der Gebäudeautomation: Elektrotechnik, Informationstechnik, Industrie, Handel, Handwerk, Architektur, Forschung/Lehre

Es werden viele Smart-Home-Lösungen angeboten, sinnvolle und weniger sinnvolle. Sehr bedeutsam sind Maßnahmen zur Sicherung und Energieeinsparung. Die Digitalisierung bringt Smart Home voran.

- Informationssysteme wie PC, Tablet, Smartphone entsprechen nur vernetztem Denken.

### 67.4 Regelungssystem mit PC und Smartphone (Heizungsanlage)



**123.1 Korrosionsschutz von Metalloberflächen**

Art	Vorgang	Anwendung	Art	Vorgang	Anwendung
kathodischer Schutz	elektrisch leitende Verbindung des Metalls mit der Opferanode aus unedlerem Metall	Warmwasserspeicher, erdverlegte Rohre, Tanks	Fetten, Ölen, Wachsen	Auftragen von Fett-, oder Öl- oder Wachs-schichten	für Transport oder Lagerung
Fließregel	richtiges Aufeinanderfolgen der Metalle (z. B. GG ⇒ Zn ⇒ Cu)	Rohrinstallation, Blecharbeiten	Farb-, Lack-, überzug	Spritz- oder Tauchverfahren, luft- oder ofengetrocknet	Witterungseinflüsse, Bleche
Schmelztauchen	Tauchen des Werkstücks in flüssiges Überzugsmetall (Zn, Pb, Sn, Al usw.)	gegen Luft und Wasser, für Bleche und Rohre	Asphalt-, Teer-, überzug	Anstreichen oder Tauchen evtl. Umwickeln mit Juteband	für erdverlegte Gas-, Wasser- und Ölleitungen, Erdtanks
Galvanisieren	elektrochemische Elektrolyse, Überzugsmetalle Cu, Cr, Ni usw.	gegen Luft und Wasser, für Armaturen und Rohre	Kunststoff-, überzug	Flammenspritzen von PVC, PE, PA-Pulver oder Granulat oder Wirbelsintern	
Plattieren	Walzen oder Pressen, Überzugsmetalle Cu, Ni, Ag	für Bleche	Emaillieren, Glasur	Überziehen mit Glasfluss bei 500 bis 1000 °C	Warmwasserspeicher, Badewanne

**123.2 Richtwerte für Heizungsanlagen Füll- und Ergänzungswasser VDI 2035 Blatt 1**

Spez. Anlagenvolumen  $V_{Anl} \leq 20$  l/kW,  $V_{Anl} > 20$  l/kW nächste Gruppe,  $V_{Anl} > 50$  l/kW höchste Gruppe 0,02 mol/m<sup>3</sup>

Gesamtheizleistung in kW	Σ Erdalkalien mol/m <sup>3</sup>	Calcium mol/m <sup>3</sup>	$K_{S\ 4,3}$	Gesamtheizleistung in kW	Σ Erdalkalien mol/m <sup>3</sup>	Calcium mol/m <sup>3</sup>	$K_{S\ 4,3}$
< 50 <sup>1)</sup>	k. A.	k. A.	k. A.	> 200 bis ≤ 600	≤ 1,5	≤ 1,5	≤ 3,0
> 50 bis ≤ 200	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 4,4	> 600	< 0,02	< 0,02	< 0,04

<sup>1)</sup> Gilt nicht für Umlaufwasserheizer, elektrische Heizelemente Σ Erdalkalien ≤ 3,0 mol/m<sup>3</sup>.

**123.3 Hinweise zur Heizungswasserbehandlung, pH-Wertebereich VDI 2035**

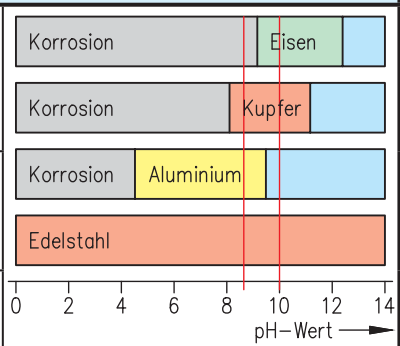
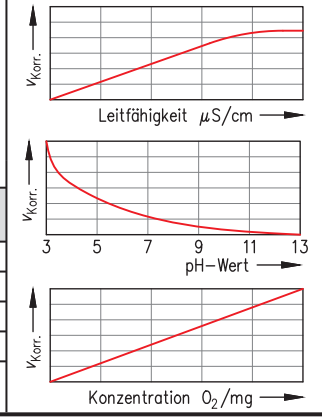
• **Behandeltes Heizungswasser** ist Wasser dem Chemikalien zugesetzt werden. Aufbereitetes Heizungswasser ist enthärtetes oder entsalztes Heizungswasser dem keine Chemikalien zugesetzt wurden. Die Angaben beziehen sich auch auf die Trinkwassererwärmung (TWE).

- **VDI 2035 Vermeidung von Schäden in Warmwasserheizungen** behandelt in **Blatt 1** die Ursachen der Steinbildung und Maßnahmen. **Blatt 2** Einstellung des materialabhängigen pH-Werts; ferner Korrosionsschutzmaßnahmen (z. B. Entsalzung)
- **Richtwerte für Füll- und Ergänzungswasser** (Schadensverhütung durch Steinbildung) nach 2035/1

Heizleistung kW	Erdalkalien mol/m <sup>3</sup>	Gesamthärte (°d)
< 50	keine Anforderungen	
> 50 – ≤ 200	≤ 2,0 <sup>*)</sup>	≤ 11,2
> 200 – ≤ 600	≤ 1,5	≤ 8,4
> 600	< 0,02	≤ 0,11

\*) nicht für Umlaufwasserheizer und elektr. Heizelemente

Einfluss von Leitfähigkeit, pH-Wert und Sauerstoffgehalt des Heizungswassers auf die Korrosionsgeschwindigkeit



pH-Wert des Füllwassers hat Auswirkung auf Korrosionsreaktionen. Ist es zu hoch oder zu niedrig, wirkt sich das auf die Lebensdauer der in der Anlage verwendeten Bauteile aus. Empfohlener pH-Wert liegt zwischen 8,2 und 10,0 (**s. rote Linien**). Grenzwerte für Eisen, Kupfer, Aluminium, Edelstahl durchgehend korrosionsstabil.

137.1 Druckrohre aus PVC-U

DIN EN ISO 1452 und DIN 8062

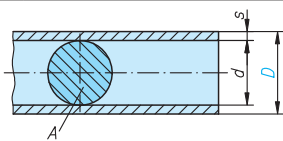
Anwendung	Wasserversorgung (kalt)	Wassertemperatur bis 45 °C zugelassen					
Farbe	eisengrau, blau oder cremefarben	$\vartheta_0 \leq 25 \text{ °C}$ gilt: [PFA] = [PN] $\vartheta_0 > 25 \text{ °C}$ gilt: [PFA] = $f_T \times$ [PN]					
Lieferlänge	bis 12 m Länge, über 12 m nach Vereinbarung	Prüfdruck: [PEA] = 1,5 × [PFA] max. Prüfdruck: [PEA] ≤ [PFA] + 5 bar					
Lieferform	mit glatten Enden (G) mit Klebemuffe (K) mit Steckmuffe (S)	$\vartheta$ in °C	25	30	35	40	45
Montage	möglichst bei Temperaturen über + 5 °C	$f_T$	1,0	0,9	0,8	0,7	0,62

Bezeichnung nach DIN 8062, DN 80, PN 10 und Werkstoff PVC-U: Rohr DIN 8062 – 90 × 4,3 – PVC-U

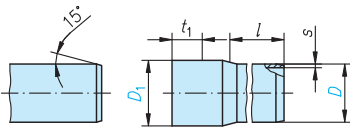


Mindest-Kennzeichnung der Rohre nach DIN EN ISO 1452:

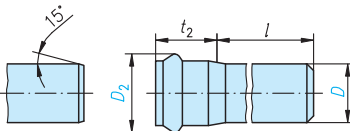
Norm	Hersteller	Werkstoff	D × s	Nennndruck	Info-Herst.	Maschine
ISO 1452	xyz	PVC-U	110 × 6,6	PN 16	09.08.09	Nr. 12



PVC-Rohr mit Klebemuffe (K)



PVC-Rohr mit Steckmuffe<sup>2)</sup> (S)



- $d$  Nenn-Außendurchmesser
- $V$  Rohrinhalt in l/m
- $m$  Masse in kg/m
- $t_1$  Einstecktiefe Klebemuffe
- $t_2$  Einstecktiefe Steckmuffe
- PN Nennndruck in bar
- PFA zul. Betriebsdruck in bar
- PEA Prüfdruck in bar
- $\vartheta_0$  Betriebstemperatur in °C
- $f_T$  Abminderungsfaktor

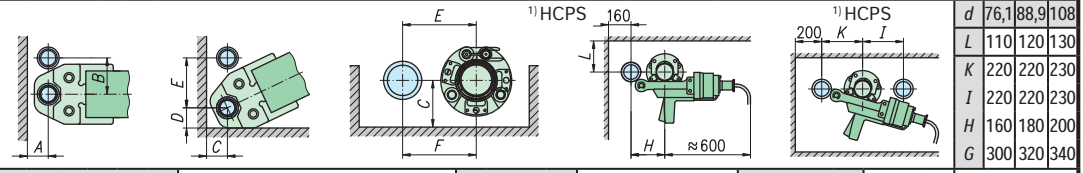
DN	D mm	s mm	d mm	A cm <sup>2</sup>	V l/m	m <sup>1</sup> kg/m	D <sub>1</sub> <sup>2)</sup> mm	D <sub>2</sub> <sup>3)</sup> mm	t <sub>1</sub> <sup>4)</sup> mm	t <sub>2</sub> <sup>4)</sup> mm
PN 10, SDR 21 für $d \leq 90$ nach DIN EN ISO 1452-2 und DIN 8062 ( $C = 2,5$ ) <sup>5)</sup>										
25	32	1,6	28,8	6,51	0,65	0,241	36	-	22	82
32	40	1,9	36,2	10,3	1,03	0,352	44	-	26	83
40	50	2,4	45,2	16,05	1,60	0,544	55	-	31	86
50	63	3,0	57,0	25,52	2,55	0,844	69	85	38	90
65	75	3,6	67,8	36,10	3,61	1,225	83	101	44	94
80	90	4,3	81,4	52,04	5,20	1,734	99	119	51	97
PN 10, SDR 26 für $d > 90$ ( $C = 2$ ) <sup>5)</sup>										
100	110	4,2	101,6	81,07	8,11	2,094	125	142	61	104
125	140	5,4	129,2	131,1	13,11	3,434	154	174	76	112
150	160	6,2	147,6	171,1	17,11	4,465	176	200	86	119
200	225	8,6	207,8	339,1	33,91	8,661	248	274	119	136
PN 16, SDR 13,6 für $d \leq 90$ nach DIN EN ISO 1452-2 und DIN 8062 ( $C = 2,5$ ) <sup>5)</sup>										
15	20	1,5	17,0	2,27	0,23	0,160	23	-	16	-
20	25	1,9	21,2	3,53	0,35	0,213	29	-	19	-
25	32	2,4	27,2	5,81	0,58	0,338	37	-	22	82
32	40	3,0	34,0	9,08	0,91	0,521	46	-	26	83
40	50	3,7	42,6	14,25	1,43	0,794	58	-	31	86
50	63	4,7	53,6	22,56	2,26	1,256	73	-	38	90
65	75	5,6	63,8	31,97	3,20	1,709	87	-	44	94
80	90	6,7	76,6	46,08	4,61	2,565	104	123	51	97
PN 16, SDR 17 für $d > 90$ ( $C = 2$ ) <sup>5)</sup>										
100	110	6,6	96,8	73,59	7,36	3,138	128	147	61	104
125	140	8,3	123,4	119,6	11,96	4,808	164	183	76	112
150	160	9,5	141,0	156,2	15,61	6,288	185	208	86	119
200	225	13,4	198,2	308,5	30,85	12,94	259	285	119	136

<sup>1)</sup> Masse ohne Muffenanteil mit 1,4 g/cm<sup>3</sup> gerechnet. <sup>2)</sup> Herstellerangabe, nicht auf alle Hersteller übertragbar. <sup>3)</sup> Lt. Hersteller sind Rohre PN 10 ab DN 50 und PN 16 ab DN 80 mit Steckmuffen lieferbar. <sup>4)</sup> Mindestmaße nach ISO 1452-2. <sup>5)</sup> C Gesamtbetriebs(berechnungs)koeffizient.

**156.1 Stützweiten Mapress Edel- und C-Stahl, SW in mm, Verpressung Mindestabstände**

**DIN EN 806**

CrNiMo-St	CrMoTi	C-St.	SW	Herst.	Mindestabstände $L_{min}$	$d$	$A_{min}$	$L_{min}$	$E$	$B_{min}$	$C_{min}$	$D_{min}$	Platzbedarf	$d$	$A$	$B$	$C$	$D$	$E$	$F$				
DN	$d$	$s$	$d$	$s$	$d$	$s$	horiz	Empf.	Leitungstiefe $B/C/D_{min}$	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm			
10	12	1,0	12	1,0	12	1,2	1,00	1,50		12	1	44	17	35	52	77	Pressbacke	12	20	56	20	28	75	131
12	15	1,0	15	1,0	15	1,2	1,20	1,50		15	1	50	20	35	55	85		15	20	56	20	28	75	131
15	18	1,0	18	1,0	18	1,2	1,20	1,50		18	1	50	20	35	55	89		18	20	60	25	28	75	131
20	22	1,2	22	1,2	22	1,2	1,80	2,50		22	1	52	21	35	56	95		22	25	65	31	35	80	150
25	28	1,2	28	1,2	28	1,5	1,80	2,50		28	1	56	23	35	58	107		28	25	75	31	35	80	150
32	35	1,5	35	1,5	35	1,5	2,40	3,50		35	1	62	26	35	61	121		35	30	75	31	44	80	170
40	42	1,5	42	1,5	42	1,5	2,40	3,50		42	2	80	30	35	65	147		42	75	115	75	75	115	265
50	54	1,5	54	1,5	54	1,5	2,70	3,50		54	2	90	35	35	70	174		54	85	120	85	85	120	290
65	76,1	2,0	Edelstahl	76,1	2,0	3,00	5,00		76,1	2 <sup>1)</sup>	126	53	75	128	223	76,1		110	140	110	110	140	350	
80	88,9	2,0	Edelstahl	88,9	2,0	3,00	5,00		88,9	2 <sup>1)</sup>	140	60	75	135	249	88,9	120	150	120	120	150	390		
100	108	2,0	1.4521	108	2,0	3,00	5,00		108	2 <sup>1)</sup>	170	75	75	150	292	108	140	170	140	140	170	450		



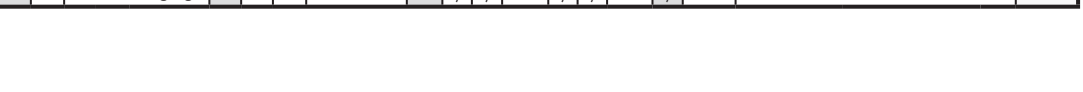
PE-Xb/Al/PE-HD	Handpresse	Mindestmaße	Gerbeit
$d$	$d$	$d$	Push Fit
$A$	$A$	$L$	Fitting-
$B$	$B$	$a$	kombinat.
$C$	$C$	$d_{1/3}$	
$D$	$D$	$d_2$	
$E$	$E$	$d_3$	
16	16	16	16
20	18	20	20
26	21	23	25
32	27	27	25
40	31	31	25
50	40	40	25
63	80	80	25

**156.2 Befestigungs-/Rohrschellenabstände RA, Gleit-/Fixpunkte (Herst.ang.) Maße in mm**

DN	CrNiMo	CrMoTi	Mepla	Push	Cu <sup>1)</sup>	Gewindestärke PF	RA mm	d 16	d 20	d 25	Befestigungsabstände
10	1,5 m	1,5 m	-	Fit	1,25	≤100	M8	M8	M8		30
12	1,5 m	1,5 m	1,5 m	1,5 m	1,25	-200	M8	M8	M8		80
15	1,5 m	1,5 m	1,5 m	1,5 m	1,50	-300	M8	M8	M10		30
20	2,5 m	2,5 m	1,5 m	1,5 m	2,00	-400	M10	M10	M10		30
25	2,5 m	2,5 m	2,0 m	RA	2,25	-600	M10	M10	M10		30
32	3,5 m	3,5 m	2,0 m	-	2,75	≤100	M8	M8	M8		30
40	3,5 m	3,5 m	2,5 m	-	3,00	-200	M10	M10	M10		30
50	3,5 m	3,5 m	2,5 m	-	3,50	-300	M10	M10	1/2"		30
65	5,0 m	-	2,5 m	-	4,25	-600	1/2"	1/2"	1/2"		30
80	5,0 m	-	-	-	4,75						30
100	5,0 m	-	-	-	5,00						30

<sup>1)</sup> für Kupferrohr DIN EN 1057 nicht für Gasleitung, Sprinkler- und autom. Löschanlage; <sup>2)</sup> o. = ohne, m. = mit Tragschalen, Gerbeit PE

$d$	E-Muffe PE						E-Band PE						PE						Decke o. TS		m. Tragschale		Wand		RA Gerbeit Silent-dB 20 Entwässerung					
	10	20	30	40	50	60	10	20	30	40	50	60	10	20	30	40	50	60	$d$	$F_{Ax}$	$d$	$F_{Ax}$	Leitung waagrecht	senkrecht						
40	3/4"	1 1/4"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2"	1/2"	3/4"	1"	1"	1"	1 1/4"	75	0,8	0,4	11	1,0	0,5	13	1,0	178	56	0,80	23	1,00	28	1,5	84	184	
50	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2"	2"	1/2"	3/4"	1"	1"	1 1/4"	80	0,9	0,5	16	1,0	0,5	20	1,0	220	110	1,10	118	1,70	182	1,7	321	421		
56	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2"	2"	1/2"	1"	1"	1 1/4"	1 1/4"	110	1,1	0,6	20	1,0	0,5	25	1,0	250	90	0,90	65	1,40	101	1,5	216	316		
75	1"	1 1/2"	2"	2"	2"	2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/4"	1 1/2"	125	1,3	0,7	36	1,2	0,6	45	1,2	390	135	1,40	220	1,90	299	1,9	471	571		
90	1 1/4"	2	2	2	2	2	1"	1 1/4"	1 1/4"	1 1/2"	2"	160	1,6	0,8	149	1,9	1,0	233	1,9	1144	160	1,70	374	2,40	528	2,4	660	760		
110	1 1/2"	2	2	2	2	2	1 1/4"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2"	200	2,0	1,0	323	2,4	1,2	485	2,4	1912	110	1,10	118	1,70	182	1,7	321	421		
125	2"	2	2	2	2	2	2"	2"	2"	2"	2"	250	2,0	1,0	626	3,0	1,5	939	3,0	2878	125	1,25	1,1	1,2	1,4	1,7	1,9	2,4	3,0	





**191.1 Trinkwasserverordnung, BGBl. 01.20.2018, Anforderungen an das Trinkwasser**

Chemische Parameter, Konzentration erhöht sich im Netz nicht		Chemische Parameter, Konzentration kann ansteigen		Allgemeine Indikatorparameter	
Acrylamid	in mg/l   0,0001	Antimon	0,0050	Aluminium	0,2 mg/l
Benzol	mg/l   0,001	Arsen	0,010	Ammonium	0,5 mg/l
Bor	mg/l   1,0	Benzo(a)pyren	0,00001	Chlorid	250 mg/l
Bromat	mg/l   0,010	Blei	0,010	Clostridium perfringens einschließlich Sporen	Anzahl 0/100 ml (nur bei Oberflächenwasser)
Chrom	mg/l   0,050	Cadmium	0,003	Coliforme Bakterien	0/100 (250 Behälter) ml
Cyanid	mg/l   0,050	Epichlorhydrin	0,0001	Eisen	0,2 mg/l
1,2 Dichlorethan	mg/l   0,003	Kupfer	2,0	Färbung in m <sup>-1</sup>	0,5 (Hg 436 nm)
Fluorid	mg/l   1,5	Nickel	0,020	Geruch TON	3 (23 °C)
Nitrat	mg/l   50 <sup>1)</sup>	Nitrit	0,5	Geschmack	annehmbar ohne anormale Veränderung
Pflanzenschutzmittel,		PAK <sup>2)</sup>	0,0001	Koloniezahl bei 22 °C	100/ml (20 Wasserwerk)
Biozidprodukte	mg/l   0,0001	Trihalogenmethan	0,05 (0,01 ab Wasserwerk)	Koloniezahl bei 36 °C	100/ml o. anor. Veränd.
Σ aller Biozide	mg/l   0,0005	Vinylchlorid	0,0005	elektr. Leitfähigkeit	2790 µS/cm bei 25 °C
Quecksilber	mg/l   0,001	Mikrobiologische Parameter			
Selen	mg/l   0,010				
Tetra-/Trichlorethen	0,010	Escherichia Coli	0/100 ml <sup>3)</sup>	Mangan	0,050 mg/l
Uran	mg/l   0,010	Enterokokken	0/100 ml	Natrium	200 mg/l
Radioaktive Stoffe		Pseudomonas aeruginosa	0/250 ml in verschl. Beh.	organ. gebundener C	ohne anormale Veränd.
Radon 222	in Bq/l   100	Legionella spec.	100/100 ml	Oxidierbarkeit	5 mg/l O <sub>2</sub>
Tritium	in Bq/l   100	1x jährl. untersuchen (s. 393f.)			
Richtdosis	m Sv/a   0,100				
<sup>1)</sup> $\frac{\sum \text{Nitratkonz.}}{50} \leq 1; \frac{\text{Nitratkonz.}}{3} \leq 1$		<sup>2)</sup> Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe		Sulfat	250 mg/l
				Trübung NTU	1,0 nephelometrische Trübungseinheit
				Wasserstoffionenkonz.	6,5–9,5 pH-Einheiten
				Calcitlösekapazität	5 mg/l CaCO <sub>3</sub>

**191.2 Umfang und Häufigkeit von routinemäßigen Untersuchungen TWVO**

produzierte Wassermenge	Mindestzahl Untersuchung	Erstuntersuchung Radionukleide	Regelmäßige Untersuchungen sind
≤ 1000 m <sup>3</sup> /Tag	1 pro Jahr	Ermittlung der im Jahresdurchschnitt vorliegenden Aktivitätskonzentration je 1 Untersuchung je Quartal. Bei Änderung der Wassergewinnung ist erneut eine Erstuntersuchung vorzunehmen. Eine Erstuntersuchung ist nicht erforderlich bei Feststellung durch zuständige Behörde.	<ul style="list-style-type: none"> <li>erforderlich bei Überschreitung der Parameter für radioaktive Stoffe.</li> <li>nicht erforderlich bei Feststellung durch zuständige Behörde.</li> <li>erforderlich bei Aufbereitung, Reduzierung von Radionukliden im Trinkw. Bei natürlichen Vorkommen kann Behörde die Untersuchungshäuf. anpassen.</li> </ul>
≤ 10000 m <sup>3</sup> /Tag	1 + 1 pro zusätzl. 3300 m <sup>3</sup> /Tag		
≤ 100000 m <sup>3</sup> /T	3 + 1 pro zusätzl. 10000 m <sup>3</sup> /Tag		
> 100000 m <sup>3</sup> /T	10 + 1 pro zusätzl. 25000 m <sup>3</sup> /Tag		

Inhaltsstoffe	Inhaltsstoffe (Fortsetzung)	Umfassende Untersuchungen
Aluminium <sup>1)</sup> s. u.	Escherichia coli	sind erforderlich bei allen in 191.2 nicht aufgeführten Inhaltsstoffen aus 191.3. Gilt nicht beim Befüllen von Behältern oder mikrobiologischen Untersuchungen in bestimmten Teilen der Trinkwasserinstallation oder wenn zuständige Behörde feststellt, dass das Vorhandensein eines Parameters im Gebiet nicht in gefährdender Konzentration zu erwarten ist.
Ammonium	Färbung, Geruch, Geschmack	
Clostridium perfringens einschl. Sporen <sup>2)</sup> s. u.	Koloniezahl bei 22 °C/36 °C	
Coliforme Bakterien	Pseudomonas aeruginosa (nur bei Behälterabfüllung)	
Eisen <sup>3)</sup>	Trübung	
Elektr. Leitfähigkeit	Wasserstoffionen-Konzentration	

**191.3 Analysenmindesthäufigkeit, a) im Wasserversorgungsgebiet, b) Abgabe in Behälter**

produzierte m <sup>3</sup> im Versorgungsgebiet	Routinemäßige Untersuchungen	Umfassende Untersuchungen	Abfüllung in verschlossene Behält.	Routinemäßige Untersuchungen	Umfassende Untersuchungen
≤ 10 m <sup>3</sup> /Tag	1 Analyse/Jahr	1 Analyse/Jahr	≤ 10 m <sup>3</sup> /Tag	1 Analyse/Jahr	1 Analyse/Jahr
≤ 1000 m <sup>3</sup> /T	4 Analysen/Jahr	1 Analyse/Jahr	> 10 bis ≤ 60 m <sup>3</sup> /T	12 Analysen/Jahr	1 Analyse/Jahr
≤ 10000 m <sup>3</sup> /T	4 + 3 pro zusätzl. 1000 m <sup>3</sup> /Tag	1 + 1 pro zusätzl. 3300 m <sup>3</sup> /Tag	> 60 m <sup>3</sup> /Tag	1 pro 5 m <sup>3</sup>	1 pro 100 m <sup>3</sup>
≤ 100000 m <sup>3</sup> /T	4 + 3 pro zusätzl. 1000 m <sup>3</sup> /Tag	3 + 1 pro zusätzl. 10000 m <sup>3</sup> /Tag	<sup>1)</sup> nur erforderlich bei Desinfektion und Wasserenthärtung.		
> 100000 m <sup>3</sup> /T	4 + 3 pro zusätzl. 1000 m <sup>3</sup> /Tag	10 + 1 pro zusätzl. 25000 m <sup>3</sup> /Tag	<sup>2)</sup> nur erforderlich bei Oberflächenwasser oder Beeinflussung durch Oberflächenwasser.		
<b>Legionella spec. ist mindnestens einmal jährlich zu untersuchen, Gewerbewasser alle 3 Jahre.</b>					

**238.1 Rohrreibungsdruckgefälle bei Kupferrohr,  $k = 0,0015 \text{ mm}$ ,  $\vartheta = 10^\circ\text{C}$  und  $60^\circ\text{C}$**

V l/s	DN 10			DN 12			DN 15			DN 20			DN 25			DN 32			DN 40				
	v	R 10°C	R 60°C	v	R 10°C	R 60°C	v	R 10°C	R 60°C	v	R 10°C	R 60°C	v	R 10°C	R 60°C	v	R 10°C	R 60°C	v	R 10°C	R 60°C		
	m/s	hPa/m	hPa/m	m/s	hPa/m	hPa/m	m/s	hPa/m	hPa/m	m/s	hPa/m	hPa/m	m/s	hPa/m	hPa/m	m/s	hPa/m	hPa/m	m/s	hPa/m	hPa/m		
0,05	0,64	7,7	5,7	0,38	2,2	1,7	0,25	0,8	0,6	0,16	0,3	0,2	0,10	0,1	0,1								
0,07	0,89	13,7	10,4	0,53	4,0	3,0	0,35	1,5	1,1	0,22	0,5	0,4	0,14	0,2	0,1								
0,10	1,27	25,4	19,5	0,75	7,3	5,6	0,50	2,7	2,1	0,32	1,0	0,7	0,20	0,3	0,2								
0,15	1,91	51,6	40,1	1,13	14,8	11,4	0,75	5,5	4,2	0,48	1,9	1,5	0,31	0,7	0,5								
0,20	2,55	85,5	67,2	1,51	24,5	19,0	0,99	9,1	7,0	0,64	3,2	2,4	0,41	1,1	0,8								
0,25	3,18	126,9	100,5	1,88	36,2	28,4	1,24	13,5	10,5	0,80	4,7	3,6	0,51	1,6	1,7								
0,30	3,82	175,3	139,9	2,26	50,0	39,3	1,49	18,6	14,5	0,95	6,4	5,0	0,61	2,2	1,7								
0,35	4,46	230,6	185,1	2,64	65,6	51,9	1,74	24,3	19,1	1,11	8,4	6,5	0,71	2,9	2,2								
0,40	5,10	292,4	236,0	3,01	83,1	66,1	1,99	30,8	24,3	1,27	10,6	8,3	0,81	3,7	2,8								
0,45				3,39	102,5	81,8	2,24	37,9	30,0	1,43	13,1	10,2	0,92	4,5	3,5	0,51	0,9	0,8	0,34	0,3	0,2		
0,50				3,77	123,6	99,1	2,49	45,7	36,3	1,59	15,7	12,4	1,02	5,4	4,2	0,63	1,6	1,3	0,42	0,6	0,4		
0,60				4,52	171,2	138,1	2,98	63,2	50,5	1,91	21,7	17,2	1,22	7,5	5,9	0,75	2,3	1,8	0,50	0,9	0,7		
0,70				5,27	225,6	183,1	3,48	83,2	66,7	2,23	28,6	22,7	1,43	9,8	7,7	0,87	3,0	2,4	0,59	1,2	0,9		
0,80							3,98	105,6	85,1	2,55	36,2	28,9	1,63	12,5	9,8	0,99	3,8	3,0	0,67	1,5	1,2		
0,90							4,48	130,4	105,5	2,86	44,7	35,8	1,83	15,3	12,2	1,12	4,7	3,7	0,75	1,8	1,4		
1,00							4,97	157,5	127,9	3,18	53,9	43,3	2,04	18,5	14,7	1,24	5,7	4,5	0,84	2,2	1,7		
1,10							5,47	186,9	152,4	3,5	63,9	51,5	2,24	21,9	17,5	1,37	6,7	5,3	0,92	2,6	2,1		
1,20							5,97	218,6	178,7	3,82	74,7	60,3	2,44	25,6	20,5	1,49	7,9	6,2	1,00	3,1	2,4		
1,30							6,47	252,6	207,1	4,14	86,2	69,8	2,65	29,5	23,7	1,62	9,1	7,2	1,09	3,5	2,8		
1,40										4,46	98,5	80,0	2,85	33,7	27,1	1,74	10,3	8,2	1,17	4,0	3,2		
1,50	0,77	1,3	1,1	0,53	0,5	0,5				4,77	111,5	90,7	3,06	38,1	30,7	1,87	11,7	9,3	1,26	4,5	3,5		
1,60	0,82	1,5	1,3	0,57	0,6	0,5				5,09	125,0	102,2	3,26	42,8	34,5	1,99	13,1	10,5	1,34	5,1	4,0		
1,70	0,87	1,7	1,4	0,60	0,7	0,6							3,46	47,7	38,6	2,11	14,6	11,7	1,42	5,7	4,5		
1,80	0,92	1,9	1,5	0,64	0,8	0,6							3,67	52,9	42,8	2,24	16,2	13,0	1,51	6,3	5,0		
2,00	1,02	2,3	1,8	0,71	1,0	0,8							4,07	63,9	51,9	2,49	19,5	15,7	1,67	7,6	6,0		
2,20	1,12	2,7	2,2	0,78	1,1	0,9							4,48	75,8	61,8	2,74	23,1	18,7	1,84	9,0	7,2		
2,40	1,22	3,2	2,5	0,85	1,3	1,1							4,89	88,7	72,5	2,98	27,0	21,9	2,01	10,5	8,4		
2,50	1,27	3,4	2,7	0,88	1,4	1,1							5,10	95,4	78,0	3,11	29,1	23,5	2,09	11,3	9,0		
2,60	1,32	3,7	2,9	0,92	1,5	1,2										3,23	31,2	25,3	2,18	12,1	9,7		
2,80	1,43	4,2	3,3	0,99	1,8	1,4										3,48	35,7	29,0	2,34	13,8	11,1		
3,00	1,53	4,7	3,8	1,06	2,0	1,6										3,73	40,4	32,9	2,51	15,6	12,6		
3,20	1,63	5,3	4,3	1,13	2,2	1,8										3,98	45,4	37,0	2,68	17,5	14,2		
3,40	1,73	5,9	4,8	1,20	2,5	2,0										4,23	50,6	41,3	2,85	19,5	15,8		
3,50	1,78	6,2	5,0	1,24	2,6	2,1										4,35	53,3	43,6	2,93	20,6	16,7		
3,60	1,83	6,6	5,3	1,27	2,7	2,2										4,48	56,1	45,9	3,01	21,6	17,6		
3,80	1,94	7,2	5,8	1,34	3,0	2,4	V l/s	DN 65			DN 80			DN 100									
4,00	2,04	7,9	6,4	1,41	3,3	2,6	7,5	1,84	4,1	3,3	1,32	1,9	1,5	0,90	0,8	0,6			3,80	3,18	23,9	19,4	
4,25	2,17	8,9	7,2	1,51	3,7	3,0	8,0	1,96	4,7	3,8	1,41	2,2	1,7	0,96	0,9	0,7			3,90	3,26	25,0	20,3	
4,50	2,29	9,8	7,9	1,59	4,1	3,3	8,5	2,08	5,3	4,3	1,50	2,4	1,9	1,02	1,0	0,8			4,00	3,35	26,2	21,3	
4,75	2,42	10,8	8,8	1,68	4,5	3,6	9,0	2,20	5,9	4,8	1,59	2,7	2,2	1,08	1,1	0,9			4,10	3,43	27,4	22,3	
5,00	2,55	11,8	9,6	1,77	4,9	4,0	9,5	2,33	6,5	5,3	1,68	2,9	2,4	1,14	1,2	0,9			4,20	3,52	28,6	23,3	
5,25	2,68	12,9	10,5	1,86	5,4	4,4	10,0	2,45	7,1	5,8	1,77	3,2	2,6	1,20	1,3	1,0			4,30	3,60	29,8	24,3	
5,50	2,80	14,0	11,4	1,95	5,8	4,7	10,5	2,57	7,7	6,3	1,85	3,5	2,9	1,26	1,4	1,1			4,40	3,68	31,1	25,3	
5,75	2,93	15,3	12,4	2,04	6,3	5,1	11,0	2,69	8,4	6,9	1,94	3,8	3,1	1,32	1,5	1,2			4,50	3,77	32,3	26,4	
6,00	3,06	16,4	13,4	2,12	6,8	5,5	11,5	2,82	9,1	7,5	2,03	4,2	3,4	1,38	1,6	1,3			4,60	3,85	33,7	27,5	
6,50	3,31	19,0	15,5	2,30	7,9	6,4	12,0	2,94	9,9	8,1	2,12	4,5	3,7	1,44	1,8	1,4			4,70	3,93	35,0	28,6	
7,00	3,57	21,7	17,8	2,48	9,0	7,3	12,5	3,06	10,6	8,7	2,21	4,8	3,9	1,50	1,9	1,5			4,80	4,02	36,3	29,7	
7,50	3,82	24,6	20,1	2,65	10,2	8,3	13,0	3,18	11,4	9,3	2,30	5,2	4,2	1,56	2,0	1,7			4,90	4,10	37,7	30,9	
8,00	4,07	27,6	22,7	2,83	11,5	9,4	13,5	3,31	12,2	10,0	2,38	5,6	4,5	1,62	2,2	1,8			5,00	4,19	39,1	32,0	
8,50	4,33	30,8	25,4	3,01	12,8	10,5	14,0	3,43	13,0	10,7	2,47	5,9	4,8	1,68	2,3	1,9			5,10	4,27	40,5	33,2	
9,00	4,58	34,2	28,2	3,18	14,2	11,6	15,0	3,67	14,8	12,2	2,65	6,7	5,5	1,80	2,6	2,2			5,20	4,35	42,0	34,4	
9,50	4,84	37,7	31,1	3,36	15,7	12,8	17,5	4,29	19,5	16,2	3,09	8,9	7,3	2,10	3,5	2,9			5,40	4,52	45,0	36,9	
10,00	5,09	41,2	34,3	3,54	17,2	14,1	20,0	4,90	24,9	20,7	3,53	11,3	9,3	2,40	4,5	3,6			5,50	4,60	46,5	38,2	
11,00				3,89	20,4	16,8	22,5	5,48	30,7	25,9	3,99	14,0	11,6	2,70	5,5	4,5			5,60	4,69	48,0	39,5	
12,00				4,24	23,9	19,7	25,0				4,42	17,0	14,1	3,00	6,7	5,5			5,80	4,86	51,2	42,1	
13,00				4,60	27,6	22,8	30,0				5,30	22,7	18,9	3,60	9,2	8,0			6,00	5,02	54,4	44,8	

**265.1 Zusammenführung von Schmutz- und Regenwasser, Misch- und Trennsystem in Grundleitungen**

Ableitung über Schacht		Zusammenführung im Gebäude		Mischsystem	Trennsystem
Mischsystem	Trennsystem	Mischsystem Ausnahme	Trennsystem	Gemeinsame Leitung für Schmutz- und Regenwasser in der Grundleitung nach besteigbarem Schacht	Getrennte Leitung für Schmutz- und Regenwasser. Einsatz: Innerhalb von Gebäuden und außerhalb von Gebäuden vor einem besteigbarem Schacht

**265.2 Füllungsgrad, Füllungsverhältnisse in teilgefüllten, liegenden Leitungen**

günstig: $h/d_i =$	zu gering: $h/d_i =$	zu groß: $h/d_i =$		$\dot{V}_i/\dot{V}_v$ - Volumenstromverhältnis $v_i/v_v$ - Geschwindigkeitsverhältnis $\dot{V}_i$ - l/s Teilfüllung $\dot{V}_v$ - l/s Vollfüllung $v_b$ - Strömungsgeschwindigkeit Teilf.
im Gebäude 0,5 außen Schmutz- u. Mischwasser 0,7	< 0,5 ⇒ kaum Schwemmwirkung, Leitung wächst zu	> 0,5 im Gebäude Behinderung der Belüftung, Absaugen v. Geruchverschlüssen		

**265.3 (Mindest-)Gefälle von Entwässerungsleitungen, Fließgeschwindigkeit DIN 1986-100, EN 12056-2**

	Anschlussleitungen unbelüftet $I_{min} = 0,5\%$ Anschlussleitungen belüftet $I_{min} = 1,0\%$	$I_{min} = 0,5\%$ $s. 268.1$ $s. 268.2$	Mischwasserleitungen $\geq$ DN 150 für Vollfüllung ohne Überdruck $h/d_i = 1,0^{(2)}$ . Anschlussleitungen dürfen als Grundleitungen verlegt werden, wenn sie kurz/inspizierbar sind. <sup>1)</sup> Bei 4/4,5 I-WC (ab DN 100) Selbstreinigung prüfen - Kriterien: 1. DN Sammel-/Grundleitung; 2. I ausreichend; 3. Entwässerungsgegenstände Zahl/Art; 4. Gleichzeitigkeit Abflüsse <sup>2)</sup> Hinter Schacht mit offenem Durchfluss.
<b>s. 14.3</b> Mindestgefälle $f$ Bsp.: $f = 0,5$ cm/m Mindestfließgeschwindigkeit $v$ Bsp.: $v = 0,5$ m/s	Grund-/Sammelleitung (im Gebäude): • für Schmutzwasser ( $h/d = 0,5 \pm 50\%$ ) • für Regenwasser ( $h/d = 0,7 \pm 70\%$ ) DN 90 (4,5 l-WC-Spülwasservolumen) <sup>1)</sup>	$I_{min} \geq 0,5$ $v \geq 0,5$ m/s $f \geq 0,5$ cm/m $> 0,5$ $s. 269.7$ $1,5\%$	
	Grundleitung für Schmutz-/Mischwasser außerhalb des Gebäudes $h/d_i = 0,7$ (nach Abwasserhebeanlage $h/d_i = 1,0$ ) kann bis Schacht in DN 80 ( $d_i = 75$ mm) sein - hydr. Berechnung! ⇒ Verwendung von DN 100 wird empfohlen	$I_{min} = 1$ : DN $v \geq 0,7$ m/s $v_{max} \leq 2,5$ cm/m	

Auswirkung des Gefälles liegender Leitungen auf Füllungsgrad, Belüftung und Selbstreinigung

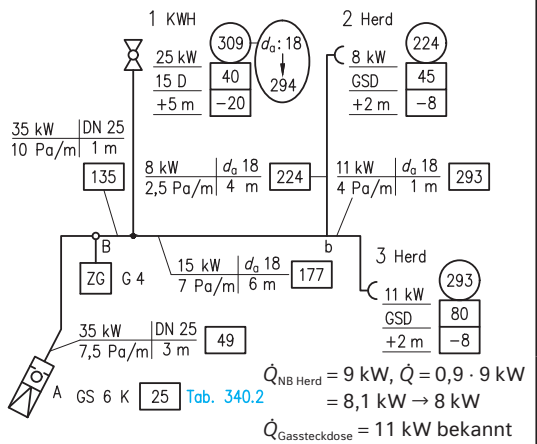
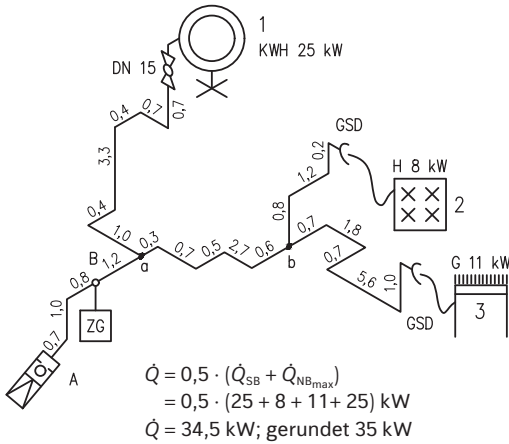
Gefälle optimal: $I = 0,5-5\%$	Gefälle zu klein: $I < 0,5\%$	Gefälle zu groß: $I > 0,5\%$
gute Füllhöhe, gute Belüftung, guter Auftrieb, gute Schwemmwirkung	Strömungsgeschwindigkeit zu klein ⇒ Vollfüllung Geruchverschluss: Leersaugung; keine Schwemmwirkung ⇒ Entwässerungsleitung wächst zu	Strömungsgeschwindigkeit zu hoch ⇒ GV: Leersaugung durch Mitreißen der Luft; Füllhöhe zu gering ⇒ Entwässerungsleitung wächst zu

**265.4 Geruchverschlüsse, Mindestsperrwasserhöhe  $h$ , versch. Bauarten Abfluss  $\dot{V}_A$  DIN 1986-100, DIN 19541**

	zul. Sperrwasserverlust d. Abflussvorgang $\leq 25$ mm Sperrwasser darf nicht durch Unterdruck abgesaugt oder Überdruck herausgedrückt werden. $a =$ zulässiger Sperrwasserverlust			
--	--	--	--	--

Entwässerungsgegenst.	DN	h mm	$\dot{V}_A$ in l/s	Spültischablauf	Bade-/Duschwannenablauf
Flach- u. Tiefspülklosett	100	50	1,1-2,3		
Absaugeklosett	100	50	1,1-2,3		
Waschtisch/Bidet	32/40	60	0,3-0,6		
Brausewanne	40/50	40	0,4-0,6		
Urinalbecken	50	50	0,3-0,8		
Urinalstand	50	60	0,6-1,1		
Badewanne	40/50	40	0,8-1,1		
Küchenablauf, Spüle	40/50	60	0,5-1,1		
Bad- Bodenablauf (s. o.) mit Geruchverschluss	50	50	0,8-1,2		
Boden-Deckenablauf mit Geruchverschluss	70	60	0,8-1,2		
Geruchverschluss	100	60	1,6-2,2		
Regenwasserablauf	100	$s. 275.2$			
Leichtflüssigkeitsabscheid.	100	$s. 290.4$			

**347.1 Einfamilienhaus mit Kombiwasserheizer, 25 kW, Herd 8 kW, Grill 11 kW**



$\Delta p_v$ Pa	Ltg.	TS	WS	$Q_{SB}$ kW	$Q_{max}$ kW	$Q$ kW	GS	$\Delta p_{GS}$ Pa	ZG	$\Delta p_{ZG}$ Pa	DN $d_g$	R Pa/m	l m	$T_{AB}$	$l_{TA}$ m	W 90°	$l_w$ m	$\sum l_w$ m	$l_r$ m	$\Delta p_r$ Pa	Gerät	$\Delta p_{GA}$ Pa	$\Delta H$ m	$\Delta p_H$ Pa	$\Delta p_{TS}$ Pa	$\sum \Delta p$ Pa
50	VB	A-B	St	44	25	35	6	25			20	8	2,5			2	0,3	1	3	24					49	50
50	VB	B-a	Cu	44	25	35			G4	75	22	10	1,2					1	10						85	135
135	AB	a-1	Cu	25	25	25					22	6	6,5	1	0,7	5	0,3	2	9	54	15 D	40	5	-20	74	209
Korr.	AB	a-1	Cu	25	25	25					18	16	6,5	1	0,7	5	0,3	2	9	139	15 D	40	5	-20	159	294
135	VB	a-b	Cu	19	11	15					18	7	4,8			4	0,3	1	6	42					42	177
177	AB	b-2	Cu	8	8	8					18	2,5	2,2	1	0,7	2	0,3	1	4	10	GSD	45	2	-8	47	224
177	AB	b-3	Cu	11	11	11					18	4	9,8			4	0,3	1	11	44	GSD	80	2	-8	116	293

Direktes GS-Abgleich: wegen b-3 > 10m erforderlich (s. 340.1)

$\Delta p_v$ Pa	Ltg.	TS	WS	GS	$\Delta p_{GS}$ Pa	ZG	$\Delta p_{ZG}$ Pa	DN $d_g$	R Pa/m	l m	$T_{AB}$	$l_{TA}$ m	W 90°	$l_w$ m	$\sum l_w$ m	$l_r$ m	$\Delta p_r$ Pa	Gerät	$\Delta p_{GA}$ Pa	$\Delta H$ m	$\Delta p_H$ Pa	$\Delta p_{Abgl.}$ Pa	$\sum \Delta p_{Abgl.}$ Pa		
204	VB mit	A-B	St	6K	105			20	33	2,5			2	0,3	0,6	3	99						204	204	
483	VB mit	B-a	Cu					22	39	1,2					1	39								279	483
483	AB-A	a-1	Cu					18	103	6,5	1	0,7	8	0,3	1,5	9	927	15 D	395	5	-20	1302	1785		
483	AB-A	a-b	Cu					18	103	4,8			4	0,3	1,2	6	618							616	1101
Korr.	AB-A	a-b	wegen b-3 > 2300					22	39	4,8			4	0,3	1,2	6	234							234	717
1101	AB-A	b-2	Cu					18	103	2,2	1	0,7	2	0,3	0,6	4	412	GSD	135	2	-8	539	1640		
1101	AB-A	b-3	Cu					18	103	9,8			5	0,3	1,5	11	1133	GSD	135	2	-8	1268	2369		
717	AB-A	b-3	nach Korr. a-b $d_g$ 22					18	103	9,8			5	0,3	1,5	11	1133	GSD	135	2	-8	1260	1977		

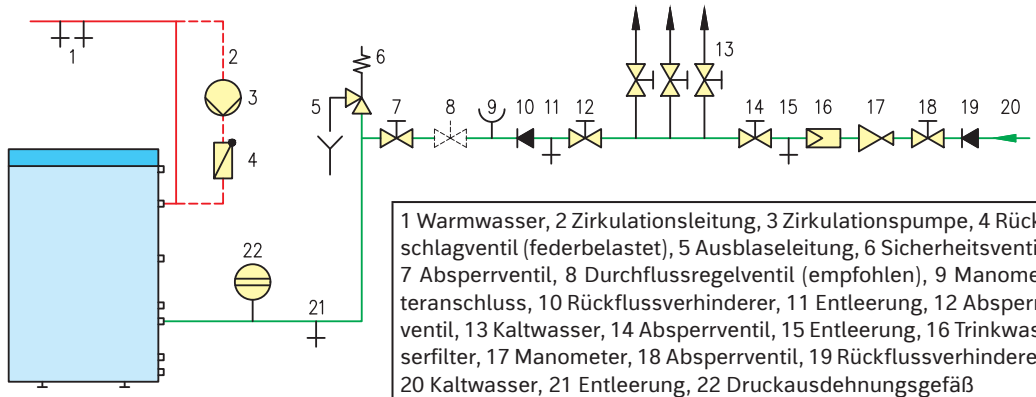
**347.2 Direkter Abgleich GS**

**347.3 Druckverlust Magnetventil**

Schließvolumenstrom $\dot{V}_{Smax}$	$\dot{V}_{Smax} = f_{Smax} \cdot \dot{V}_N$	$f_{Smax} =$ Schließfaktor	$\dot{V}_N =$ Nennvolumenstrom m <sup>3</sup> /h	$\Delta p_{MV}$ Pa										$\Delta p_{MV}$ Pa															
				DN 15					DN 20					DN 25					DN 32					DN 40					DN 50
				einfach $\dot{V}$ in m <sup>3</sup> /h										doppelt $\dot{V}$ in m <sup>3</sup> /h										einfach $\dot{V}$ in m <sup>3</sup> /h					
10	1,8	3	3,9	6	8,6	12,9	1,5	2,6	3,4	5,1	7,3	10,7	140	6,4	10,6	13,6	21												
15	2,1	3,6	4,6	7,2	10,2	15,3	1,8	3,1	4,1	6,1	8,7	12,8	160	6,8	11,3	14,5	23												
20	2,4	4,1	5,2	8,2	11,7	17,5	2,1	3,5	4,7	7	9,9	14,6	200	7,6	12,6	16,2	25												
25	2,7	4,5	5,8	9,1	12,9	19,4	2,3	3,9	5,2	7,8	11	16,2	300	9,4	15,6	20	31												
30	3	4,9	6,3	9,9	14,1	21	2,5	4,2	5,6	8,5	12	17,6	400	10,7	17,9	23	36												
GS 2,5	3,6 m <sup>3</sup> /h	4,5 m <sup>3</sup> /h		35	3,2	5,3	6,8	10,6	15,2	23	2,7	4,5	6,1	9,1	12,9	18,9													
GS 4	5,8 m <sup>3</sup> /h	7,2 m <sup>3</sup> /h		40	3,4	5,7	7,3	11,3	16,2	24	2,9	4,8	6,5	9,7	13,7	20	$\Delta p_{MV}$	doppelt $\dot{V}$ in m <sup>3</sup> /h											
GS 6	8,7 m <sup>3</sup> /h	10,8 m <sup>3</sup> /h		45	3,6	6	7,7	12	17,1	26	3,1	5,1	6,8	10,3	14,5	21	140	5,5	9,1	12,1	18,2								
GS 10	14,5 m <sup>3</sup> /h	18,0 m <sup>3</sup> /h		50	3,8	6,3	8,1	12,6	18	27	3,2	5,4	7,2	10,8	15,3	22	160	5,8	9,7	12,9	19,4								
GS 16	23,2 m <sup>3</sup> /h	28,8 m <sup>3</sup> /h		60	4,2	7	9	13,9	20	30	3,6	6	8	12	16,9	25	200	6,5	10,8	14,4	22								
$f_{Smax}$	1,45	1,8		70	4,5	7,5	9,6	15	21	32	3,9	6,4	8,6	12,9	18,2	27	300	8	13,4	17,8	27								
$\Delta p_{ges} = \Delta p_{GS} + \Delta p_{ZG} + \Delta p_{GA} + \Delta p_H + \sum \Delta p_R \leq 2300$ Pa				80	4,8	8	10,3	16	23	34	4,1	6,9	9,1	13,7	19,4	29	400	9,2	15,3	20	31								
Der Gesamtdruckverlust muss kleiner sein!				90	5,1	8,5	10,9	16,9	24	36	4,4	7,3	9,7	14,5	21	30	Bsp.: $\Delta p_{Durchgang} + TAE + MV$												
				100	5,3	8,9	11,4	17,6	25	38	4,6	7,6	10,2	15,3	22	32	doppelt DN 15; $\dot{V} = 3$ m <sup>3</sup> /h												
				120	5,9	9,9	12,7	19,7	28	42	5,1	8,5	11,3	16,9	24	35	$\Delta p = \Delta p_{GA} + \Delta p_{MV}$												
																	$\Delta p = 45 + 45 = 90$ Pa												



### 391.1 Trinkwasserseitiger Anschluss (Kaltwassereintritt bis Warmwasseraustritt)



1 Warmwasser, 2 Zirkulationsleitung, 3 Zirkulationspumpe, 4 Rückschlagventil (federbelastet), 5 Ausblaseleitung, 6 Sicherheitsventil, 7 Absperrventil, 8 Durchflussregelventil (empfohlen), 9 Manometeranschluss, 10 Rückflussverhinderer, 11 Entleerung, 12 Absperrventil, 13 Kaltwasser, 14 Absperrventil, 15 Entleerung, 16 Trinkwasserfilter, 17 Manometer, 18 Absperrventil, 19 Rückflussverhinderer, 20 Kaltwasser, 21 Entleerung, 22 Druckausdehnungsgefäß

### 391.2 Warmwasser- und Wärmebedarf für einen Industriebetrieb (Summenlinienverfahren)

Entnahmezeitraum h	WW-Bedarf kg	erford. Temp. °C	Q <sub>v</sub> kWh	ΣQ <sub>v</sub> kWh
6 ... 7	1000	50	46,5	<b>47</b>
7 ... 9	2000	50	93,0	<b>140</b>
9 ... 11	1500	50	69,8	<b>210</b>
11 ... 13	3500	50	162,8	<b>373</b>
13 ... 15	1000	50	46,5	<b>419</b>
15 ... 16	4200	50	195,4	<b>614</b>
16 ... 17	900	60	52,3	<b>666</b>
6 ... 17	14100	-	666,3	-
7 ... 16	13100	-	567,5	-

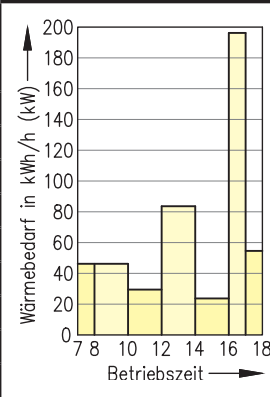


Schaubild über den Warmwassertageswärmebedarf in Abhängigkeit von der Betriebszeit. Der größte Wärmebedarfanteil Q<sub>v</sub> liegt zwischen 15–16 Uhr ⇒ Kesselleistung  $\dot{Q}_H = 614/10 = 61,4 \text{ kW}$   
 Speicherinhalt:  

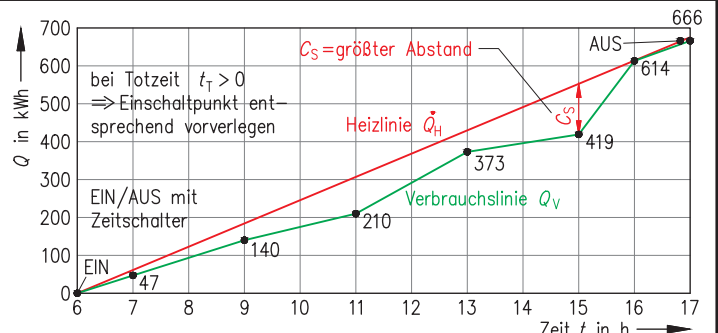
$$V_{SP} = \frac{C \cdot b}{c \cdot (\vartheta_{AUS} - \vartheta_{EIN})} \text{ in l}$$
  
 C Speicherkapazität (kWh)  
 b Zuschlagsfaktor 3 ... 8 %  
 c spezifische Wärmekapazität Wh/(kg · K) (kg ≈ l)

**Speicherladesystem** mit einer von vielen möglichen Kombinationen von C<sub>s</sub> und Q<sub>H</sub>.  

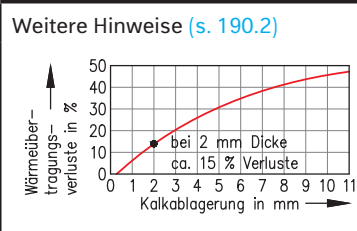
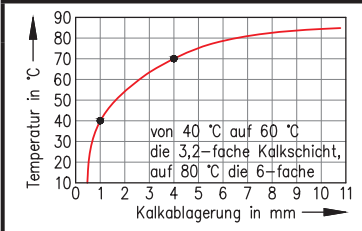
$$\dot{Q}_H = \frac{614}{10} = 61,4 \text{ kW (ca. 65 kW)}$$
  

$$C_s = 614 - 61,4 - 419 = 133,6 \text{ kWh}$$
  

$$V_{SP} = \frac{133600}{1,163 \cdot (60 - 10)} = \mathbf{2298 \text{ l}}$$
  
 gewählt: 2500 l  
 Evtl. auf mehrere Speicher aufteilen.



### 391.3 Einfluss von Kalkablagerungen bei Trinkwassererwärmungsanlagen



**Kalkablagerung** abhängig von:  
 • **Härtegrad** des Wassers:  
 hart, ab 14° dH (entscheidend);  
 mittel, ab 8,5° dH; weich bis 8,5° dH  
 • **Temperatur** (Kalkschicht ab ca. 40 °C stark zunehmend)  
 • **Übertragungsfläche**: Rohre, Wärmeüberträger, Armaturen

Etwa 8–10 % aller Leitungsschäden lassen sich jährlich auf Frostluftschäden zurückführen.

**438.1 Aufgabenbereich: Heizung – Lüftung – Klima (Planung, Installation, Betrieb)**

Zentralheizungsanlagen (Systeme)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Warmwasserheizungsanlagen (s. 438.2)</li> <li>• Luftheizungen (Wasser-Luft) (s. 531.2)</li> <li>• Strahlungsheiz. z.B. Fußbodenh., Strahlpl.</li> <li>• Kombinationen: z.B. Solar- und Pelletheiz. Wärmepumpenh. und Brennwertgerät</li> <li>• Heißwasserheizungen } Industrieanl.</li> <li>• Dampfheizungen } Prozesstechnik</li> </ul>	Feuerungs- und Energietechnik  Trinkwassererwärmung (TWE)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Öl- und Gasfeuerung, Abgasanl.</li> <li>• Erneuerbare Energien (s. 404.1)</li> <li>• Energiemanagement (s. 401.1)</li> <li>• Zentralanlagen (Einbindung in Heizungsanlage), Speichersysteme</li> <li>• solarthermische Anlagen (s. 411.2)</li> </ul>
Raumlufttechnische Anlagen (RLT) und Geräte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lüftungsanlagen, Lüftungsgeräte</li> <li>• Luftheizungen (Nur-Luft) } mit oder ohne Lüftung</li> <li>• Teilklimaanlagen, -geräte</li> <li>• Voll-Klimaanlagen</li> <li>• Kühlflächen (z.B. spezielle Kühldecken)</li> <li>• Wärmerückgewinnungsanlagen</li> </ul>	Regelungsanlagen  Spezielle Aufgabengebiete und Randgebiete	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Heizung, RLT, TWE; Prozesse u.a.</li> <li>• Gebäudeautomation (s. 65.3)</li> <li>Umweltschutz, Wärme-, Schall-, Brand- und Korrosionsschutz, Fernwärme, Elektrotechnik, Rohrleitungsbau, Sanierungen, Messtechnik, Energieberatung, Wartungen, Angebotswesen, Kältetechnik u.a.</li> </ul>
Prozess-technische Anlagen	z. B. Trocknungsanlagen, Entstaubungsanlagen, Absauganlagen, Förderanlagen, Produktionsstätten		

**438.2 Anforderungen an eine Heizungsanlage<sup>1)</sup>**

1	wirtschaftliche Gesichtspunkte	Systemwahl, Energieform, Regelung, Qualität der Bauteile, Einbindung der Trinkwassererwärmung, Wärmedämmung, kontrollierte Lüftung, Wartung, optimale Montage
2	ökologische Gesichtspunkte	Energieeinsparmaßnahmen, min. Emissionswerte, Einsatz von erneuerbaren Energien, Nachhaltigkeit, Gewässerschutz, Nutzung von Umweltwärme, Recycling, Entsorgung
3	Maßnahmen für Anlagenbetrieb	störungsfreier Betrieb, hohe Betriebssicherheit, Beachtung von Vorschriften, sorgfältige Einregulierung, Wartungsvertrag, Kundenberatung, optimale Nutzung, Teillastbetrieb
4	Komfortanspruch, Behaglichkeit	gute Temperaturverteilung, einfache Bedienung, keine Geräusche, schnelle Anpassung, keine Zugerscheinung, ausreichendes Warmwasser, keine Staubbewältigung

<sup>1)</sup> Die Hinweise sind übergreifend; z. B. bezieht sich Energieeinsparung oder Regelung auf alle 4 Gruppen.

Einteilung von Warmwasserheizungen nach: **Energieart** (Wärmequelle, Feuerung), **Energienutzung** (Heizwert, Brennwert, erneuerb. Energie), **Wärmeerzeuger** (Bauart, Aufstellungsort), **Raumheizflächen**, **Wassertemperatur** ( $\vartheta_v$ ,  $\Delta\vartheta$ ), **Rohrführung und Rohrmaterial**, **Kombinationen** (z. B. mit TWE, Solar, Lüftung, Wärmerückgewinnung)

**438.3 Bewertung der wesentlichen Heizungssysteme für Komforträume**

Anlagenbewertung <sup>1)</sup> hinsichtlich:	Raumheizkörper <sup>2)</sup>		Warmluft- heizung <sup>2) 3) 4)</sup>	Fußboden- heizung <sup>4)</sup>	Decken-Strahl- plattenheizung <sup>4)</sup>
	$\vartheta_v > 70^\circ\text{C}$	NT: bis $50^\circ\text{C}$			
Temperaturverteilung (Behaglichkeit)	befriedigend	gut	befried./schlecht	gut	befriedigend
wirtschaftliche Betriebsweise	befriedigend	gut	befriedigend	gut	gut/befried.
Wärmetransport	befried./schlecht	gut	befriedigend	gut/befried.	gut
Trägheit	gut/befried.	gut/befried.	gut	befriedigend	gut
Anpassungsfähigkeit	gut/befried.	gut	gut/befried.	befriedigend	gut/befried.
Selbstregelfähigkeit	befriedigend	befriedigend	schlecht	gut	befriedigend
Einzelraumregelung	gut/befried.	gut	gut/befried.	befriedigend	gut
nachträgliche Änderung	gut	gut	schlecht	schlecht	gut/befried.
Hygiene (Aufwand)	gut/befried.	gut/befried.	befried./schlecht	gut	gut
Platzbedarf (Raum)	gut/befried.	gut	gut/befried.	gut	gut
Anschaffungskosten	gut	gut/befried.	gut/befried.	befr./schlecht	befriedigend

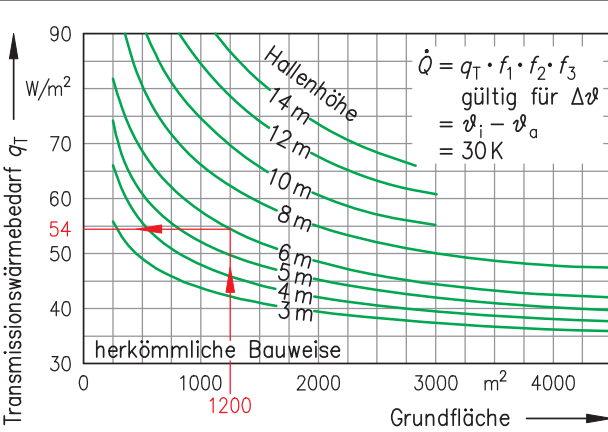
<sup>1)</sup> Stark abhängig von baulichen Gegebenheiten, Nutzung und Betriebsweise. <sup>2)</sup> Ebenso von Heizkörperart, Temperatur, Regelung, Montageort. <sup>3)</sup> Abhängig von System (z. B. zentral, dezentral, Wasser-Luft, nur Luft), Lüftungsforderung, Luftführung. <sup>4)</sup> Abhängig von System, Bodenaufbau (bei FBH), Regelung, Betriebsweise, Raumnutzung, Gebäudezustand (z. B. Wärmedämmung).

**451.1 Transmissionswärmeverluste – Formblatt**

**DIN EN 12831 Bbl. 3: 2016-12**

<b>C.1.5 Berechnung der einzelnen Räume</b>													
Projekt-Nr.: 00 Bez.: 1-2016 Einfamilienhaus													
Geschoss-Nr.: EG										Datum:			
Raum-Nr.: 4		Bez.: Schlafen											
Außentemperatur	$\vartheta_e$	-14 °C	Raumtemperaturdifferenz		$\Delta\vartheta$	34 K							
Raumtemperatur	$\vartheta_i$	20 °C											
Innentemperatur	-	-											
Raumlänge	$l_R$	4,27 m	Raumhöhe		$h_R$	2,60 m							
Raumbreite	$b_R$	4,12 m	Raumvolumen		$V_R$	54,74 m <sup>3</sup>							
Raumfläche	$A_r$	17,59 m <sup>2</sup>	Luftwechsel		$n$	0,5 h <sup>-1</sup>							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Bauteil	Anzahl	1. Länge	2. Länge	3. Länge	$\Sigma$ Länge	Länge oder Höhe	Faktor Fläche	Bruttofläche	Abzugsfläche	Nettofläche	U-Wert	Temperatur-Korrekturfaktor	Transmissionswärmeverlust
BT	n	$l_1$	$l_2$	$l_3$	$\Sigma l$	l/h	$f_{\text{Fläche}}$	$A_{\text{Brutto}}$	$A_{\text{Abzug}}$	$A_{\text{Netto}}$	W/m <sup>2</sup> K	$f_x$	$\Theta_T$
m							-	m <sup>2</sup>					W
AW	1	4,27	4,12		8,39	2,60	1,25	37,3	3,7	23,6	0,35	1,0	2,90
AF	1	1,01			1,01	1,42	1,00	1,4		1,4	1,45	1,0	70
AT	1	1,01			1,01	2,26	1,00	2,3		2,3	1,45	1,0	111
FBg	1	4,27			4,27	4,12	1,25	22,0		22,0	0,55	0,3	1,23
Transmissionswärmeverlust												$\Theta_T$	584
Lüftungswärmeverlust												$\Theta_V$	264
Heizlast								18 W/m <sup>3</sup>		$\Theta_{HL}$		848	

**451.2 Transmissionswärmeverluste bei Industriehallen (grobe Schätzwerte)**



Korrekturfaktoren (Mittelwerte)  
 $f_1 \approx 0,7 \dots 0,8$  gute Wärmedämmung und Fensterflächen  
 $\approx 1,5 \dots 1,8$  bei sehr schlechter Dämmung, Einfachfenster  
 $f_2$  bei anderen Temp. diff.  $\Delta\vartheta$ :  $\Delta\vartheta/30$   
 z.B. 25/30 :  $f = 0,83$   
 $f_3 \approx 0,85 \dots 0,9$  (50 % angebaut), 0,7 ..... 0,8 (≈70 % angebaut)

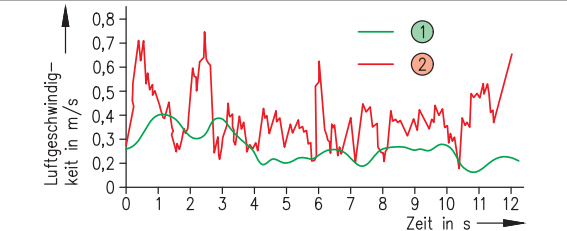
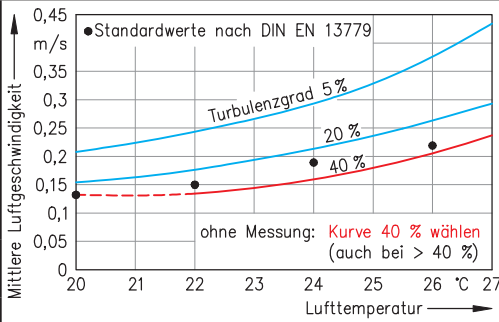
Anmerkungen:  
 • stark vom Heizsystem abhängig (z.B. geringere Zuschläge bei Strahlungsheizungen, ohne Zuschläge bei Fußbodenheizungen)  
 • oft unsicherer Lüftungswärmeverbrauch (z.B. offene Tore oder bei der Festlegung der Luftwechselzahl s. 532.3)  
 • großen Einfluss hat die Wärmedämmung

**451.3 Neuerung bei der Energieberatung**

Seit 1.12.2017 werden (durch die Neuregelung des Bundeswirtschaftsministeriums) auch qualifizierte **SHK-Unternehmen als Energieberater** anerkannt. Entscheidend ist nicht mehr die berufliche Herkunft, sondern die aktuelle Tätigkeit. Nun können auch SHK-Handwerksbetriebe eine umfangreiche Energieberatung anbieten und auch vergütet bekommen. Gefördert wird dies vom Bundesamt für Wirtschaft.

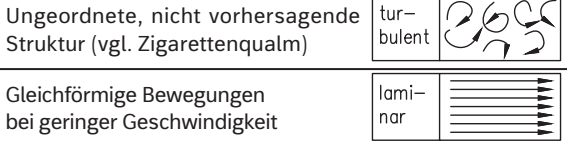


### 521.1 Anhaltswerte für zulässige Raumluftgeschwindigkeiten im Behaglichkeitsbereich

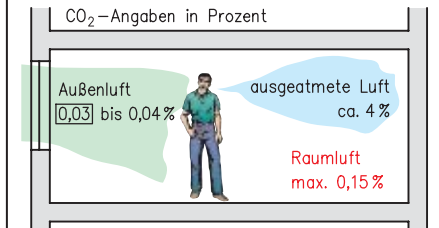
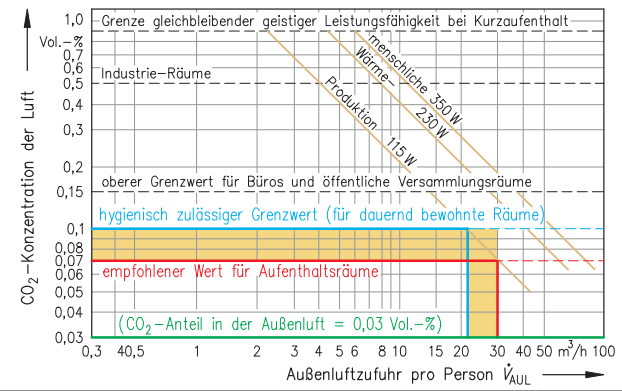


Turbulenzen innerhalb einer Luftströmung ①, Mittelwert einer Spitzengeschwindigkeit ② (dsgl. Wasserströmung)

Turbulenz = durch Wirbelbildung unregelmäßige Schwankungen des Strömungsverlaufs. Daher Einfluss auf Luftgeschwindigkeit (s. 559.2). Luftführung (s. 528); Zugserscheinung (s. 520.4), Druckverluste



### 521.2 Einfluss der CO<sub>2</sub>-Konzentration auf Luftqualität und Außenluftvolumenstrom (s. 533.1)



**Beispiel (aus Diagramm):**  
Bei 115 W (Aktivitätsstufe I): 30 m<sup>3</sup>/h Empfehlung; 22 m<sup>3</sup>/h (blaue Linie) als zulässiger Grenzwert (Wohnraum); 14 m<sup>3</sup>/h oberer Grenzwert (z. B. Büroraum)

### 521.3 Mögliche Geruchs- und Schadstoffe in Innenräumen – Luftqualität

**Von außerhalb:** z. B. von Industriebetrieben, Verkehr  
**Baustoffe und Bauprodukte:** z. B. Holzschutzmittel, Anstriche, Dichtungsmaterialien, Teppichböden, Wandverkleidungen, Dämmstoffe u. a.  
**Chemische Stoffe:** z. B. Reinigungsmittel, Desinfektionsstoffe, Schädlingsbekämpfungsmittel  
**Gerüche und Dämpfe:** z. B. aus Küche, Bad, WC

**Nutzer:** Rauchen, Körpergeruch, Staubaufwirbelung  
**Mikrobiologische Verunreinigungen:** z. B. Pilze (Mauerschwamm), Bakterien, Pollen, Allergene  
**Offene Feuerstätten:** z. B. Staub, Ruß, CO  
**Technische Einrichtungen:** z. B. Geräte, Möbel  
**RLT-Anlage:** z. B. durch Filter, Befeuchter, Kanal  
**Radioaktivität:** z. B. aus Bauuntergrund

**Tabakrauch:** wichtigste Ursache für die Raumbelastung in Innenräumen (z. B. Versammlungsräume). Der höhere Außenluftvolumenstrom, nach DIN EN 16798-3 ca. 100 % höher als bei Nichtraucher (s. 534.1), bedeutet höhere Kosten für die RLT-Anlage (Bauteile, Kanalnetz) und wesentlich höhere Energiekosten.  
**Staub:** Beim ständig aufgewirbeltem Staub setzen sich die größeren Staubteilchen relativ schnell ab, während die mikroskopisch feinen Staubteilchen (Aerosole) im Raum schweben und als Träger von Bakterien, Viren, Milben, Pollen usw. gesundheitsgefährdendes Potenzial mit sich tragen.  
In Räumen entstehende **Geruchsstoffe, Gase, Dämpfe** müssen an ihrer Ausbreitung in Nachbarräume durch entsprechende Luftführung und Druckhaltung (s. 529.1) verhindert werden.

Als Beurteilungskriterium für die **Luftqualität** dient die **Lüftungseffektivität**  $\epsilon_v$ :

$$\epsilon_v = \frac{1}{\mu_{RA}} = \frac{C_{ABL} - C_{ZUL}}{C_{AZ} - C_{ZUL}}$$

$\mu$  Raumbelastungsgrad  
 $C$  Schadstoffkonzentration

ABL (ETA), Abluft, ZUL (SUP), Zuluft, AZ Aufenthaltszone

- Einheit der **Geruchsintensität:** **olf** – je nach Aktivität: 1 ... 2,5, Raucher 6 (Durchschn.) 25 beim Raucher.
- Einheit der **Geruchswahrnehmung:** **dezipol** (=Verunr.) die entsteht, wenn 10 l/s reine Luft mit 1 olf verunreinigt werden): hoch: 0,7 ( $\leq 10$ ), mittel: 1,4 ( $\leq 20$ ), niedrig: 2,5 ( $\leq 30$ ). Klammerw. unzufriedene Pers. b. Raumbetreten.

**534.1 Empfohlene Lüftungsraten für Nichtwohngebäude (Personen, Gebäudeemiss.)<sup>2)</sup> EN 15251**

Gebäude bzw. Raumtyp	Kategorie	Bodenfläche m <sup>2</sup> /Pers	Lüftungsraten l/(s · m <sup>2</sup> ) bzw. m <sup>3</sup> /(h · m <sup>2</sup> )				Gebäude bzw. Raumtyp	Kategorie	Bodenfläche m <sup>2</sup> /Pers	Lüftungsraten l/(s · m <sup>2</sup> ) bzw. m <sup>3</sup> /(h · m <sup>2</sup> )					
			je Person (Belegung)	Gebäudeemissionen						Zu- <sup>1)</sup> gabe für Raucher	je Person (Belegung)	Gebäudeemissionen			Zu- <sup>1)</sup> gabe für Raucher
				sehr schadst. arm	schad. stoff- arm	nicht schadst. arm						sehr schadst. arm	schad. stoff- arm	nicht schadst. arm	
Einzelbüro	1	10	1,0 (3,6)	0,5 (1,8)	1,0 (3,6)	2,0 (7,2)	0,7 (2,5)	Restaur- rant	1	1,5	7 (25)	0,5 (1,8)	1,0 (3,6)	2,0 (7,2)	-
	2	10	0,7 (2,5)	0,3 (1,1)	0,7 (2,5)	1,4 (5,0)	0,5 (1,8)		2	1,5	4,9 (17)	0,3 (1,1)	0,7 (2,5)	1,4 (5,0)	5,0 (18)
	3	10	0,4 (1,4)	0,2 (0,7)	0,4 (1,4)	0,8 (2,9)	0,3 (1,1)		3	1,5	2,8 (10)	0,2 (0,7)	0,4 (1,4)	0,8 (2,9)	2,8 (10)
Großraum- büro	1	15	0,7 (2,5)	0,5 (1,8)	1,0 (3,6)	2,0 (7,2)	0,7 (2,5)	Klassen- raum	1	2,0	5,0 (18)	0,5 (1,8)	1,0 (3,6)	2,0 (7,2)	-
	2	15	0,5 (1,8)	0,3 (1,1)	0,7 (2,5)	1,4 (5,0)	0,5 (1,8)		2	2,0	3,5 (12)	0,3 (1,1)	0,7 (2,5)	1,4 (5,0)	-
	3	15	0,3 (1,1)	0,2 (0,7)	0,4 (1,4)	0,8 (2,9)	0,3 (1,1)		3	2,0	2,0 (7)	0,2 (0,7)	0,4 (1,4)	0,8 (2,9)	-
Konfe- renz- raum	1	2	5,0 (18)	0,5 (1,8)	1,0 (3,6)	2,0 (7,2)	5,0 (18)	Kinder- garten	1	2,0	6,0 (21)	0,5 (1,8)	1,0 (3,6)	2,0 (7,2)	-
	2	2	3,5 (12)	0,3 (1,1)	0,7 (2,5)	1,4 (5,0)	3,6 (13)		2	2,0	4,2 (15)	0,3 (1,1)	0,7 (2,5)	1,4 (5,0)	-
	3	2	2,0 (7,2)	0,2 (0,7)	0,4 (1,4)	0,8 (2,9)	2,0 (7,2)		3	2,0	2,4 (8,6)	0,2 (0,7)	0,4 (1,4)	0,8 (2,9)	-
Hör- bzw. Zuschau- ersaal	1	0,75	15 (54)	0,5 (1,8)	1,0 (3,6)	2,0 (7,2)	-	Kauf- haus	1	7	2,1 (7,6)	1,0 (3,6)	2,0 (7,2)	3,0 (11)	-
	2	0,75	10,5 (38)	0,3 (1,1)	0,7 (2,5)	1,4 (5,0)	-		2	7	1,5 (5,4)	0,7 (2,5)	1,4 (5,0)	2,1 (7,6)	-
	3	0,75	6,0 (21)	0,2 (0,7)	0,4 (1,4)	0,8 (2,9)	-		3	7	0,9 (3,2)	0,4 (1,4)	0,8 (2,9)	1,2 (4,3)	-

<sup>1)</sup> Basiert auf der Annahme, dass 20 % der Nutzer rauchen und diese 1,2 Zigaretten je Stunde konsumieren.  
<sup>2)</sup> Dies bezieht sich auf Behaglichkeitskriterien und nicht auf Gesundheitskriterien; Klammerwerte: m<sup>3</sup>/(h · m<sup>2</sup>).

**534.2 Personenbezogene Außenluftvolumenströme [m<sup>3</sup>/(h · Pers.)] nach Arbeitsstättenrichtl.**

Tätigkeit	Art der Belästigungen			typische Räume bzw. Arbeitsstätten
	normal	zusätzlich <sup>1)</sup>	sehr hoch <sup>2)</sup>	
überwiegend sitzend	20–40	30–40	40	Büroräume, Konferenzräume, Klassenzimmer, Hörsäle, Fließbandarbeiten
nicht überwiegend sitzend	40–60	50–60	60	Gaststätten, Laborräume, Verkaufsräume, Bibliotheken, Messehallen
schwere körperliche Arbeit <sup>3)</sup>	über 65	über 75	über 85	<sup>a)</sup> Werkstätten, Montagehallen, Lager <sup>b)</sup> „Staubbetriebe“, feuchte oder heiße Räume

<sup>1)</sup> Gegenüber „normal“ um 10 m<sup>3</sup>/(h · Pers.) erhöht; z. B. bei belästigenden Gerüchen, hoher Wärmelast, Rauchen.  
<sup>2)</sup> Desgl. um 20 m<sup>3</sup>/(h · Pers.) erhöht; z. B. bei sehr intensiver Geruchsverschlechterung; starkes Rauchen.  
<sup>3)</sup> Hier sollte man handwerkliche Tätigkeiten zwischen <sup>a)</sup> „mittelschwer“ und <sup>b)</sup> „schwer“ unterscheiden.

**534.3 Lüftungsöffnungen für Verkaufs- und Arbeitsstätten (freie Lüftung)**

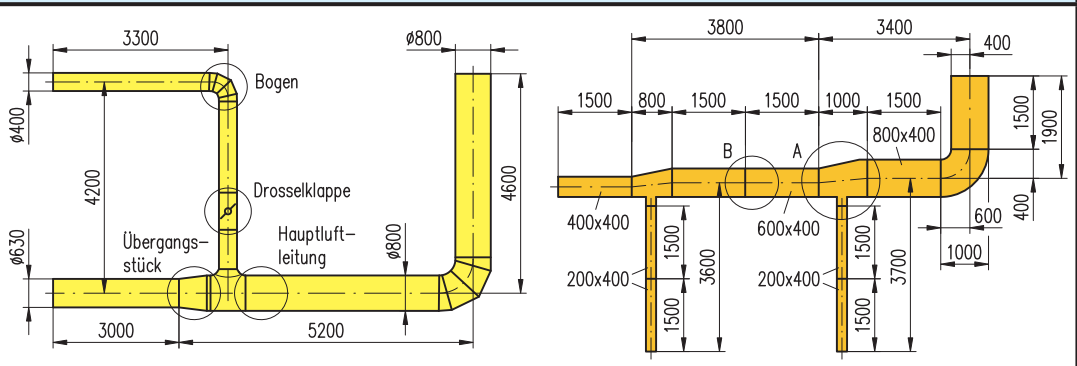
Lüftungssystem für freie Lüftung	Ausführung des freien Lüftungssystems	Maximale Raumtiefe bezogen auf lichte Raumhöhe in m	Zuluftquerschnitt bezogen auf m <sup>2</sup> Bodenfläche		Abluftquerschn.
			ohne geruchsintensiver Ware	mit geruchsintensiver Ware	
Öffnungen in einer Außenwand (einseitige Lüftung)	Fenster oder Lüftungsgitter oben und unter der Tür	2,5 × Höhe	200 cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	350 cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	wie Zuluftquerschnitt
Querlüftung mit Öffnungen in gegenüberliegender Außenwand oder in Außenwand und Dachfläche	Fenster oder Lüftungsgitter oder Fenster und Gitter oder Fenster bzw. Gitter und Dachaufsatz	5 × Höhe	120 cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	200 cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	wie Zuluftquerschnitt
Querlüftung mit Öffnungen in einer Außenwand mit gegenüberliegendem Schacht	Fenster oder Lüftungsgitter und Schacht	5 × Höhe	60 cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	140 cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	je nach Schachthöhe

Lüftungsöffnungsflächen bei Fenstern (freie Lüftung) (s. 523.2)

**534.4 Vorgehen beim Ermitteln des Zuluftstroms für Fertigungsstätten VDI 3802**



**557.1 Aufmaß von Luftleitungen mit rundem und rechteckigem Querschnitt EN 14289**



Seitenlängen mm	Leitungsoberfläche m <sup>2</sup> /m	Länge der Leitungsstücke m	Gesamtoberfläche m <sup>2</sup>	Seitenlängen mm	Leitungsoberfl. mm	Länge der Leitungsstücke m	Gesamtoberfläche m <sup>2</sup>
800	2,51	4,6 + 5,2	9,8 · 2,51 = 24,6	800 × 400	2,4	1,5 + 0,4 + 0,6 + 1,5 + 1,0	5,0 · 2,4 = 12,0
630	1,98	3,0	3,0 · 1,98 = 5,9	600 × 400	2,0	1,5 + 1,5 + 0,8	3,8 · 2,0 = 7,6
400	1,26	4,2 + 3,3	7,5 · 1,26 = 9,4	400 × 400	1,6	1,5	1,5 · 1,6 = 2,4
Summe der Leitungsoberfläche			39,9	200 × 400	1,2	3,6 + 3,7	7,3 · 1,2 = 8,8

Hinweise zur Flächenermittlung: Summe der Leitungsoberfläche 30,8

- Die **Länge jeder geraden Luftleitung** mit gleichbleibendem Durchmesser ist zwischen zwei Punkten auf der senkrechten Achse der Luftleitung zu messen (Messunsicherheit ± 10 mm).
- Die **Längen eingebauter Bauteile** (z. B. Drosselklappe) sind immer eingeschlossen.
- Öffnungen** (z. B. Revisionsöffnungen) dürfen nicht von der Oberfläche abgezogen werden.
- Die **Länge eines Bogens** ist für den Schnittpunkt der geraden Mittellinien zu berechnen und die Länge eines Abzweigs ist von der Achse der Hauptleitung zu berechnen.

**557.2 Widerstandsbeiwerte ζ für Kanal-/Rohrformstücke**

$r/d$	$r/d$	$r/d$	$r/d$	$A_1, v_1$	$v/v_A$	$v_2/v_1$	$r/d$	$A_2/A_1$	$r/d$
0,5	0,39	2d	0,05	$A = A_1 + A_2$	0,6	0,4	0,5	0,2	1,5
2d	0,33	Ecke	scharf	bezogen auf $v_1$ :	0,8	5,0	1,3	0,45	0,4
4d	0,19	0,8	0,5	$v_1/v$	0,3	2,2	0,9	0,3	Öffnungen
		Leitblech	0,5	$\zeta$	0,1	1,2	0,8	0,2	1,5
		1,3	0,5	0,4	1,0	0,9	0,6	0,1	0,8
		Ecksch.	0,5	0,6	1,0	0,5	0,5	0,2	0,5
$r$	$\zeta$	2,0	0,2	0,8	1,0	0,1	2,5	0,3	2,0
d	0,55	0,5	0,15	1,0	1,0	0,1	0,3	0,3	0,5
2d	0,45	0,5	0,15	1,2	1,0	0,1	0,15	0,1	0,3
3d	0,35	0,5	0,1	1,2	1,2	0,8	0,01	0,1	0,3
		$\zeta = 0,15$		bezogen auf $v_2$ :	1	0,3	$A_2/A_1 \geq 0,1$	0,01	0,6
				$\zeta = 0 \dots 0,5$	2	0,15	$\approx 0,1$	bis 0,08	0,4
					3	0,01			0,2

**557.3 Durchschnittliche Luftgeschwindigkeiten in RLT-Zentralen EN 13053**

Klassen <sup>1)</sup>	-	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9
Luftgeschw. m/s	max. < 1,6	> 1,6...1,8	> 1,8...2,0	> 2,0...2,2	> 2,2...2,5	> 2,5...2,8	> 2,8...3,2	> 3,2...3,6	> 3,6	> 3,6

<sup>1)</sup> V2 bis V7 gebräuchliche Klassen.