



**DAA-TECHNIKUM**

# Fortbildungslehrgang Staatlich geprüfter Techniker (m/w/d)

Fachrichtung: Heizungs-, Lüftungs-, Klimatechnik

Auszüge aus dem Lernmaterial



Lernmaterial

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Modul 2 LSK1: „Sanitärtechnik I“</b>	<b>4</b>
1.1	Schmutzwasser-Entwässerungsanlagen nach DIN 1986-100	4
1.2	Bestimmung Schmutzwassermenge	4
1.3	Schmutzwasser-Fallleitungen verlegen und dimensionieren	10
<b>2</b>	<b>Modul 3 LSK3: „Lüftungstechnik II“</b>	<b>23</b>
	Einleitung	23
2.1	Einflussgrößen der thermischen Behaglichkeit	23
2.2	Raumlufttemperatur als Behaglichkeitskriterium	23
2.3	Oberflächentemperaturen als Behaglichkeitskriterium	25
2.4	Luftfeuchtigkeit als Behaglichkeitskriterium	27
2.5	Luftgeschwindigkeit als Behaglichkeitskriterium	29
2.6	Sonstige Einflussgrößen der Behaglichkeit	33
<b>3</b>	<b>Modul 4 LSK2: „Heizungstechnik III“</b>	<b>37</b>
3.1	Hydraulik und Regelung von Heiz- und Kühldecken	37
3.1.1	Zweileitersysteme	38
3.1.2	Vierleitersysteme	41
3.1.3	Vergleich der Systeme	45
<b>4</b>	<b>Modul 5 LSK3: „Bauvertragsgestaltung, Bauobjektüberwachung und -betreuung“</b>	<b>51</b>
4.1	Schadstoffgutachten - lesen und verstehen	51
4.1.1	Rechtliche Grundlagen eines Schadstoffgutachtens	52
4.1.2	Vorgehensweise bei Sanierung, Rückbau und Umnutzung	53
4.1.3	Schadstoffe und andere Gefährdungen	56
4.1.4	Typische Schadstoffvorkommen	59
4.1.5	Entsorgung von Schadstoffen	62

## 1 Modul 2 LSK1: „Sanitärtechnik I“

### 1.1 Schmutzwasser-Entwässerungsanlagen nach DIN 1986-100

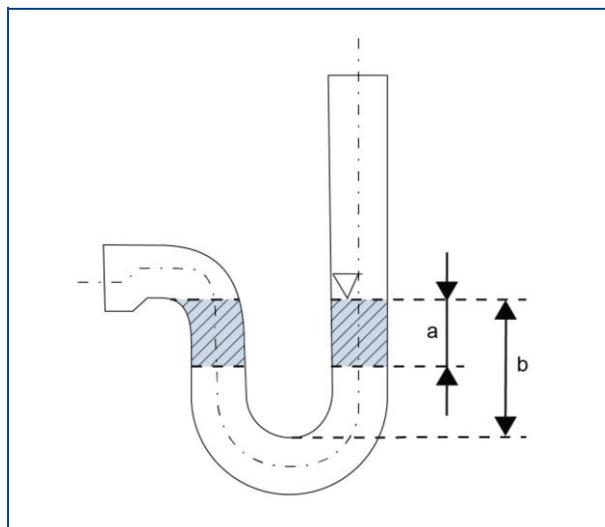
### 1.2 Bestimmung Schmutzwassermenge

Die Entwässerung von Gebäuden ist in der DIN EN 12056 und der nationalen Restnorm DIN 1986-100 geregelt. Diese Norm gilt als „Stand der Technik“ und ist in den einzelnen Bundesländern bauaufsichtlich eingeführt.

Die Dimensionierung von Leitungsteilen wird im Teil 2 der DIN EN 12056 behandelt, wobei jedoch Rückgriffe auf Teil 1 und die nationale Restnorm DIN 1986-100 erforderlich werden.

Den Bemessungsregeln der DIN 1986-100 liegen die folgenden funktionalen Anforderungen zu Grunde:

- der durch den Sog des Abflussvorgangs verursachte Sperrwasserverlust im Geruchsverschluss darf die Sperrwasserhöhe in diesen um nicht mehr als 25 mm reduzieren;
- das Sperrwasser im Geruchsverschluss darf weder durch Unterdruck abgesaugt noch durch Überdruck herausgedrückt werden;
- für Schmutzwasser- und Mischwasserleitungen sollte keine größere Nennweite als nach dieser Norm errechnet verwendet werden;
- die Selbstreinigung der Abwasserleitung muss gewährleistet sein.



Legende:

- a zulässige Reduzierung der Sperrwasserhöhe  $\leq 25$  mm
- b Geruchsverschlusshöhe

Abbildung 1: Definition der Sperrwasserhöhe

Um dies sicherzustellen, werden Schmutzwasserleitungen als „Freispiegelleitung“ mit gleichmäßigem Gefälle verlegt, welches als Mindestgefälle den Werten der nachfolgenden Tabelle entsprechen muss.

Tabelle 1: Mindestgefälle von Abwasserleitungen

DN	Mindestgefälle für				
	Schmutzwassersammelleitungen innerhalb von Gebäuden	Regenwasserleitungen innerhalb von Gebäuden	Mischwasserleitungen innerhalb von Gebäuden	Schmutz- und Mischwasserleitungen außerhalb von Gebäuden	Regenwasserleitungen außerhalb von Gebäuden
alle Größen	1:200 <sup>1)</sup>	1:200	nicht zulässig	1:DN	1:DN
	0,5 cm/m	0,5 cm/m	-		
Füllungsgrad h/d (nach DIN 1986-100)	0,5 <sup>2)</sup>	0,7	-	0,7 <sup>3)</sup>	0,7 <sup>3)</sup>
<sup>1)</sup> Ausnahme: bei unbelüfteten Sammelanschlussleitungen Mindestgefälle 1:100					
<sup>2)</sup> Hinter der Einleitung aus Hebeanlagen auch 0,7 zulässig					
<sup>3)</sup> Für Grundleitungen im Anschluss an einen Schacht mit offenem Durchfluss ab DN 150 bzw. hinter einer Einleitung aus einer Hebeanlage auch 1,0 (ohne Überdruck)					

Der vorgeschriebene Füllungsgrad „h/d“ gibt das Verhältnis vom Wasserstand zum Durchmesser bei teilgefüllten Rohren wieder. Die Teilfüllung stellt die Belüftung des Abwassersystems sicher und hält somit Druckschwankungen in Grenzen.

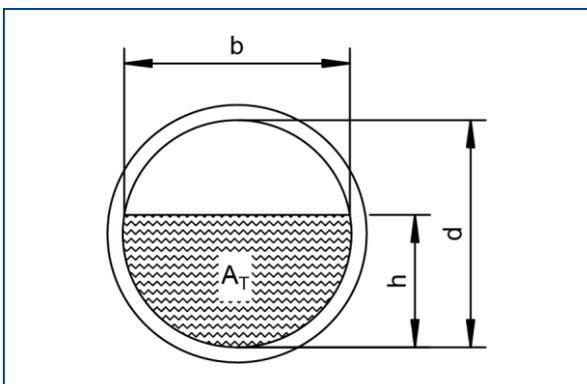


Abbildung 2: Darstellung des Füllungsgrades h/d

Abbildung 3 zeigt die Füllkurven, die sich für teilgefüllte Kreisrohre ergeben.

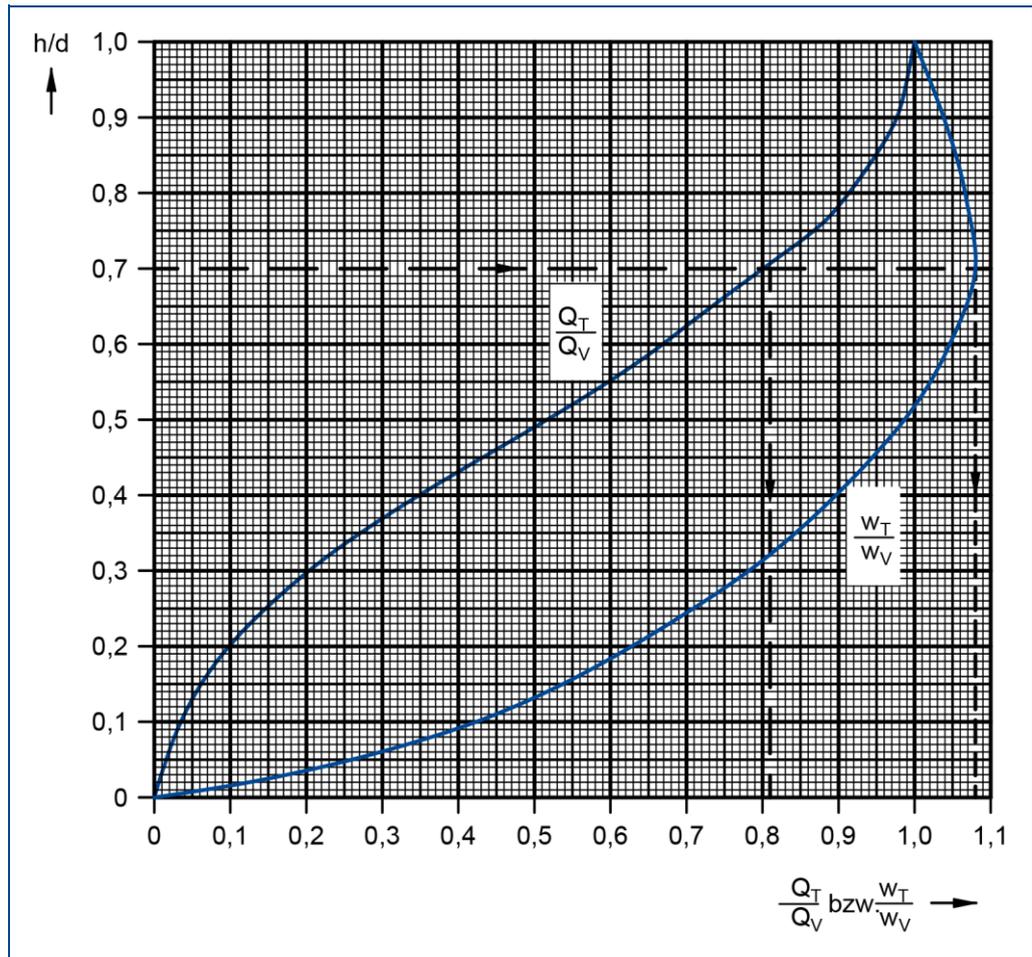


Abbildung 3: Füllkurven für teilgefüllte Kreisrohre

Dabei bedeuten:

- $Q_T$  : Volumenstrom bei Teilfüllung
- $w_T$  : mittlere Fließgeschwindigkeit bei Teilfüllung
- $d_i$  : Rohrinne Durchmesser
- $h/d$  : Füllungsgrad
- $Q_V$  : Volumenstrom bei Vollfüllung
- $w_V$  : mittlere Fließgeschwindigkeit bei Vollfüllung
- $h$  : Füllhöhe

Bei einem zu geringen Füllungsgrad, bzw. bei zu großem Gefälle fehlt die „Schwemmwirkung“, die Feststoffe aufschwimmen und fortspülen lässt.

Aus diesem Grund sollen Schmutz- und Mischwasserleitungen nicht überdimensioniert werden.

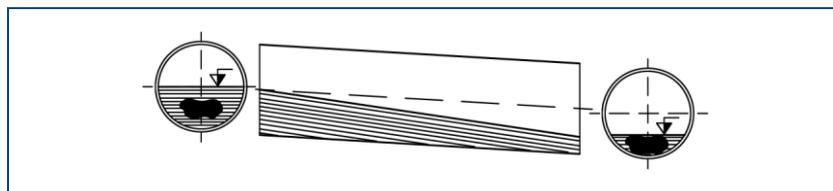


Abbildung 4: Ungleichförmige Strömung in einem Abwasserrohr durch zu großes Gefälle

Müssen in der Praxis größere Höhenunterschiede ausgeglichen werden, sind gegebenenfalls Absturzleitungen wie in Abbildung 5 dargestellt vorzunehmen.

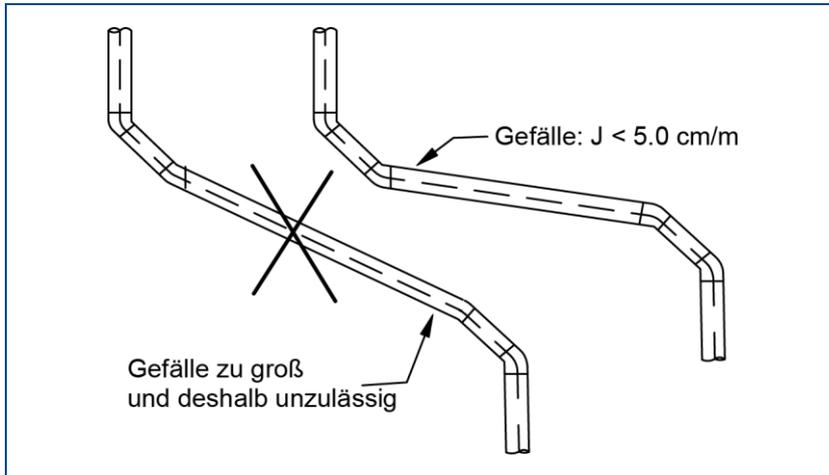


Abbildung 5: Vermeidung von „Sturzgefällen“  $> 1:20 = 5 \text{ cm/m}$  durch „Absturzleitungen“

Die Einhaltung des Mindestgefälles stellt die Selbstreinigung der Abwasserrohrleitungen sicher.

Steht kein ausreichender Höhenunterschied und somit kein ausreichendes Gefälle zur Verfügung, kann vom Mindestgefälle nach Tabelle 2 abgewichen werden, wenn sichergestellt ist, dass eine Fließgeschwindigkeit von  $0,5 \text{ m/s}$  nicht unterschritten wird.

Somit zählen die Selbstreinigung der Abwasserleitungen und der Druckausgleich im Leitungssystem zu den wichtigsten Bemessungsgrundsätzen bei der Planung von Schmutzwasser-Entwässerungssystemen.

Maßgeblich für die Nennweitenbestimmung sind die angeschlossenen Entwässerungseinrichtungen und somit der maximal zu erwartende Schmutzwasserabfluss  $Q_{\text{ww}}$ .

Den einzelnen Entwässerungsgegenständen werden so genannte Anschlusswerte DU (Design Unit) zugeordnet (siehe Tabellenbuch HLK-Technik, Kapitel „Entwässerung Sanitär, Klempner“, Tab.: „Entwässerungsgegenstand, Anschlusswert DU, System (I BRD)“ Kapitel „Entwässerung Sanitär, Klempner“).

Tabelle 2: Anschlusswerte DU von Entwässerungsgegenständen und Mindestnennweiten von Einzelanschlussleitungen

Entwässerungsgegenstand oder Art der Leitung	Anschlusswert DU	Nennweite der Einzelanschlussleitung DN
Handwaschbecken, Waschtisch, Sitzwaschbecken, Reihenwaschstand	0,5	40
Küchenspüle und Geschirrspülmaschine mit gemeinsamem Geruchverschluss	0,8	50
Küchenablaufstelle (Spülbecken, Spültisch einfach und doppelt), Ausgussbecken	0,8	50
Geschirrspüler	0,8	50
Waschmaschine bis 6 kg	0,8	50
Waschmaschine bis 12 kg	1,5	56/60
Einzelurinal mit Spülkasten	0,8	50
Einzelurinal mit Druckspüler	0,5	50
Urinal ohne Wasserspülung	0,1	50
Bodenablauf DN 50	0,8	50
Bodenablauf DN 70	1,5	70
Bodenablauf DN 100	2	100
WC mit 4,0/4,5 Liter Spülkasten	1,8	80/90
WC mit 6,0 Liter Spülkasten	2,0	80-100
Duschwanne mit Stöpsel	0,8	50
Badewanne	0,8	50

Unter der Maßgabe, dass nicht alle Entwässerungsgegenstände gleichzeitig in Benutzung sind, errechnet sich der Schmutzwasserabfluss in einer Teilstrecke wie folgt:

$$Q_{ww} = K \cdot \sqrt{\sum DU}$$

Dabei bedeuten:

- $Q_{ww}$  Schmutzwasserabfluss [l/s]
- K Abflusskennzahl [-]
- $\sum DU$  Summe der Anschlusswerte

Mit der Abflusskennzahl K wird die unterschiedliche Häufigkeit von Entwässerungsgegenständen je nach Gebäudetyp berücksichtigt. Der Wert variiert dabei zwischen 0,5 für unregelmäßige Nutzung (Wohn- oder Bürogebäude) und 1,0 für häufige Nutzung wie zum Beispiel in öffentlichen Toiletten. Zur Orientierung sind in der DIN 1986-100 Gebäudetypen den drei Stufen unregelmäßige, regelmäßige und häufige Nutzung zugeordnet (siehe Tabellenbuch HLK-Technik, Kapitel Entwässerung Sanitär, Klempner „Schmutzwasserabfluss  $V_{ww}$ “). Ob diese Zuordnung jedoch für das zu planende Gebäude zutrifft, ist im Einzelfall zu überprüfen und gemeinsam mit dem Nutzer festzulegen.

Der Gesamtschmutzwasserabfluss in einer Teilstrecke oder der gesamten Anlage wird als  $Q_{\text{tot}}$  bezeichnet und in l/s angegeben.  $Q_{\text{tot}}$  beinhaltet die an der betreffenden Entwässerungsleitung angeschlossenen Schmutzwassermengen der sanitären Entwässerungsgegenstände, Entwässerungsgegenstände mit Dauerabfluss und/oder Abwasserhebeanlagen. Dabei gilt es zu beachten, dass Schmutzwasserabflüsse von Dauerverbrauchern sowie Abwasserhebeanlagen ohne Abzug hinzugezählt werden.

$Q_{\text{tot}}$  wird gemäß folgender Formel berechnet:

$$Q_{\text{tot}} = Q_{\text{ww}} + Q_{\text{c}} + Q_{\text{p}}$$

Dabei bedeuten:

$Q_{\text{tot}}$	Gesamtschmutzwasserabfluss	[l/s]
$Q_{\text{ww}}$	Schmutzwasserabfluss	[l/s]
$Q_{\text{c}}$	Dauerabfluss	[l/s]
$Q_{\text{p}}$	Pumpenförderstrom	[l/s]

$Q_{\text{ww}}$  ist der aus den an einer Teilstrecke oder der Gesamtanlage angeschlossenen Entwässerungsgegenständen zu erwartende Schmutzwasserabfluss.

Ist der mit dem Abflussfaktor berechnete Schmutzwasserabfluss  $Q_{\text{ww}}$  bzw.  $Q_{\text{tot}}$  kleiner als der größte angeschlossene Einzelanschlusswert DU, wird die Teilstrecke mit dem größten angeschlossenen Einzelanschlusswert bemessen.

Fördern mehrere Pumpen in eine Grund- oder Sammelleitung (Druckleitungen dürfen nicht an Falleitungen angeschlossen werden), so ist es unwahrscheinlich, dass alle Pumpen gleichzeitig zum übrigen Schmutzwasserabfluss schalten. Somit kann jede weitere Pumpe mit einem Gleichzeitigkeitsfaktor von 0,4 beaufschlagt werden.

Eine Übersicht dazu, wie viel Schmutzwasserabfluss  $Q_{\text{ww}}$  bei welcher Gebäudenutzung (Abflussfaktor K) aus welcher Anzahl angeschlossener DU resultiert, liefert die Tabelle „Max. Schmutzwasserabfluss  $V_{\text{ww}}$ , Summe der Anschlusswerte  $\sum \text{DU}$  und Abflusskennzahl K“ im Tabellenbuch HLK-Technik.

So beträgt bei  $\sum \text{DU} = 20$  und einer unregelmäßigen Nutzung  $K = 0,5$  der Schmutzwasserabfluss  $Q_{\text{ww}} = 2,2$  l/s, während bei einer häufigen Nutzung  $K = 1,0$  und der gleichen  $\sum \text{DU}$  bereits ein Schmutzwasserabfluss von  $Q_{\text{ww}} = 4,5$  l/s anfällt.

Dementsprechend ist es elementar, sich vor der Planung des Entwässerungssystems mit dem Bauherrn und/oder späteren Nutzer über die Art der Gebäudenutzung abzustimmen.

Darf Regenwasser in die Schmutzwasseranlage eingeleitet werden, wird der für die Bemessung zugrunde zu legende Volumenstrom mit folgender Formel ermittelt:

$$Q_{\text{ww}} = K \cdot \sqrt{\sum \text{DU}} + Q_{\text{r,a}}$$

Dabei bedeutet:

$Q_{\text{r,a}}$	Regenwasserabfluss der angeschlossenen Fläche	[l/s]
------------------	---	-------

### 1.3 Schmutzwasser-Falleitungen verlegen und dimensionieren

Auch für die Verlegung von Schmutzwasser-Falleitungen gibt es Vorgaben in der DIN 1986-100.

Schmutzwasser-Falleitungen sind ohne Nennweitenänderung und möglichst geradlinig durch das Gebäude bis zum Entlüftungspunkt über Dach zu führen. Das bedeutet, dass die größte dimensionierte Teilstrecke die Dimension der gesamten Falleitung bestimmt.

Im Gegensatz zu anderen haustechnischen Leitungen wie zum Beispiel Heizungsleitungen oder Trinkwasserleitungen wird die Dimension der gesamten Schmutzwasser-Falleitung also durch die größte Anschlussleistung einer ihrer Teilstrecken und der dazugehörigen Dimension bestimmt.

Diese Art der Verlegung ist notwendig, da die Falleitungen neben dem Schmutzwasser auch enorme Lufteinschlüsse transportieren.

Versuche und Praxiserfahrungen haben ergeben, dass das Schmutzwasser in Falleitungen nicht spiralförmig, sondern geradlinig abfließt.

Die maximale Fallgeschwindigkeit ist nach ca. 25 Metern erreicht und bleibt dann relativ konstant.

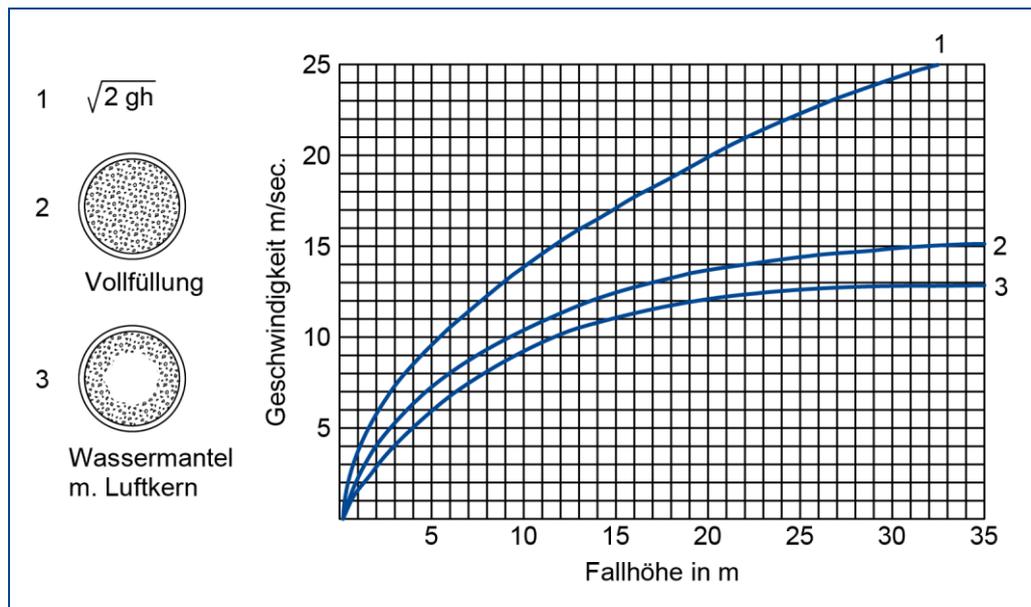


Abbildung 6: Fallgeschwindigkeit in Abwasserrohren

Das Abwasser wird durch die Reibung zwischen Luft/Wasser und Rohrwandung sowie durch aufsteigende Kanalgasen abgebremst. Deshalb ist es nicht notwendig, bei sehr hohen Gebäuden (z.B. Fernsehturm) Fallbremsen durch Verziegung einzubauen.

Wären Falleitungen unten offen, entstünde vom Einlauf an ein Unterdruck. Im Bereich von Verziegungen bildet sich ebenfalls ein Unterdruck aus.

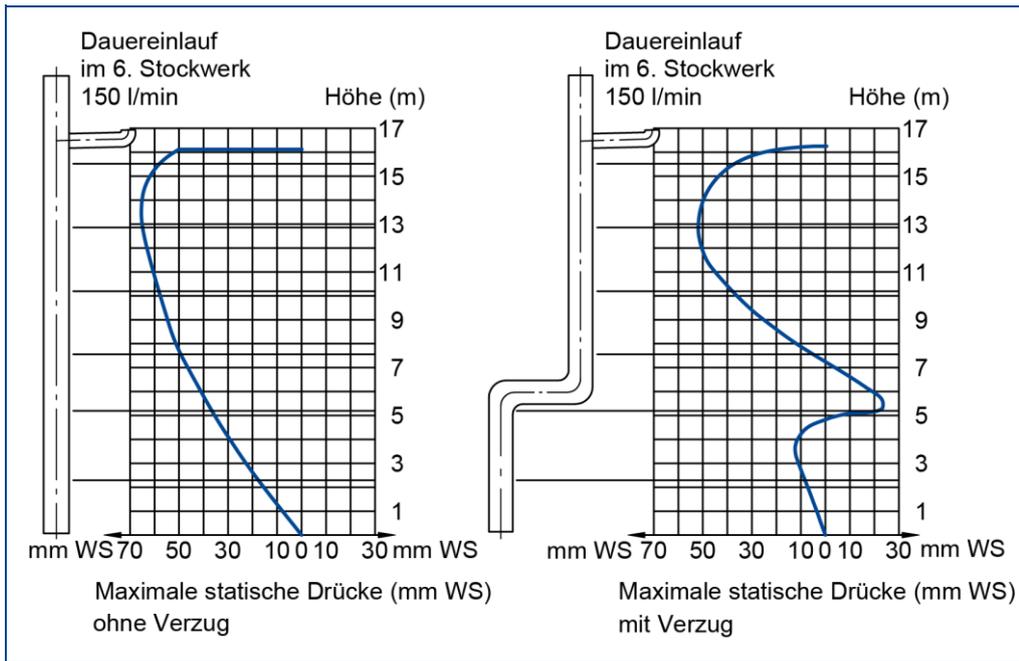


Abbildung 7: Druckschwankungen in unten offenen Falleitungen ohne und mit Verzug

In Abbildung 8 ist der schematische Druckverlauf einer verzogenen Falleitung mit Übergang in eine liegende Leitung dargestellt.

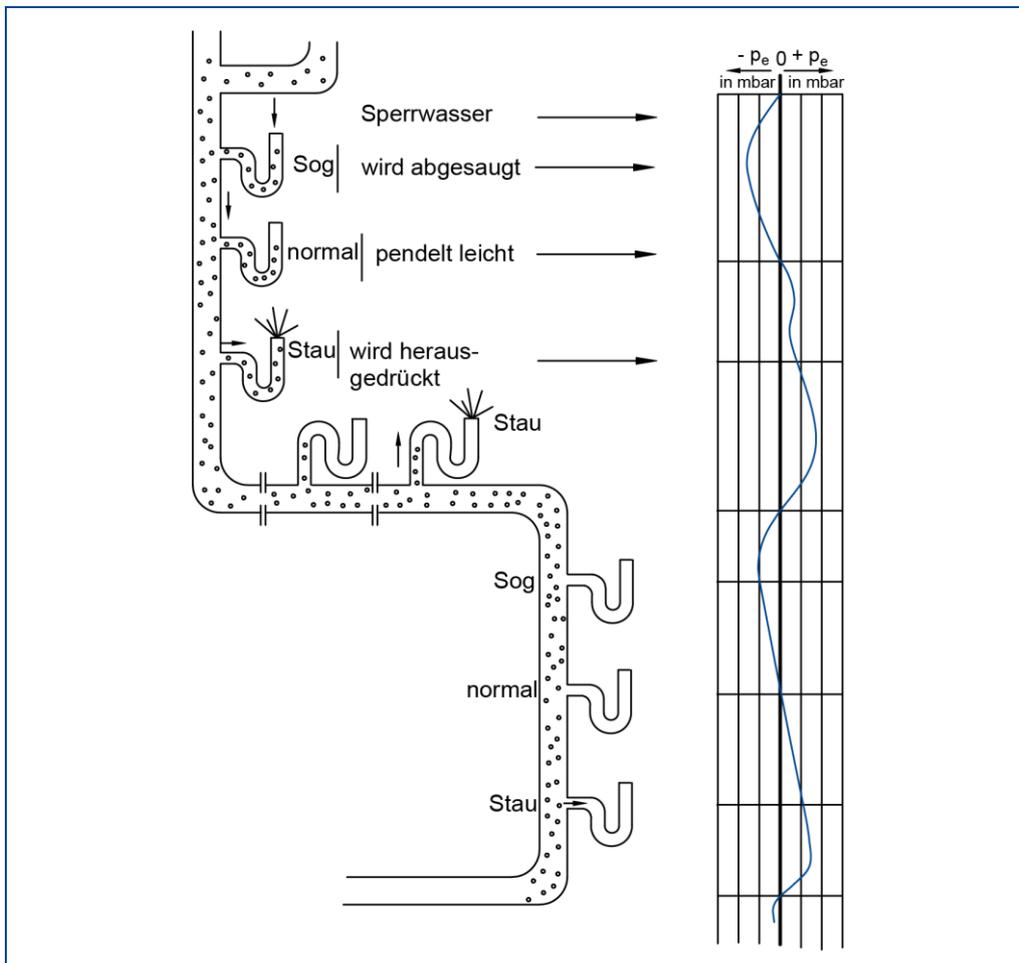


Abbildung 8: Qualitativer Druckverlauf in Falleitungen

Aus den vorgenannten Gründen wird deutlich, dass Falleleitungen nur mit sehr großem Aufwand berechnet werden können. Außerdem ist die Belastung abhängig vom ausgeführten Lüftungssystem.

In der Restnorm DIN 1986-100 sind außerdem noch folgende Anforderungen an die Verlegung und Dimensionierung von Schmutzwasser-Falleleitungen formuliert:

- Werden Leitungen kleiner DN 70 an die Falleitung angeschlossen, so ist der Anschluss in einem Winkel von  $88^\circ \pm 2^\circ$  anzuschließen.
- Unterschiedliche Nutzungseinheiten dürfen nur an eine gemeinsame Schmutzwasser-Falleitung angeschlossen werden, wenn sowohl die Vorgaben durch den Schallschutz als auch den Brandschutz eingehalten werden.
- Bei Richtungsänderungen von Schmutzwasser-Falleleitungen ist zu beachten, dass je nach Länge der Falleitung unterschiedliche Maßnahmen zu berücksichtigen sind.
- Bei Falleitungslängen bis 10 m Länge kann die Umlenkung in die liegende Leitung mit einem  $88^\circ \pm 2^\circ$ -Bogen ausgeführt werden.

Die Anforderungen, die sich für Falleleitungen mit einer Länge  $>10$  m ergeben, sind im Tabellenbuch HLK-Technik unter dem Kapitel „Entwässerung Sanitär, Klempner“ in der Tabelle „Falleleitungen, Führung durch die Geschosse, Verziehung, Umgehungsleitung DIN 1986-100) dargestellt.

Bei einer Verziehung der Falleitung ohne Umgehungsleitung ist zwischen die zulauf- und ablaufseitigen Bogen ein Zwischenstück mit mindestens 250 mm Länge einzufügen.

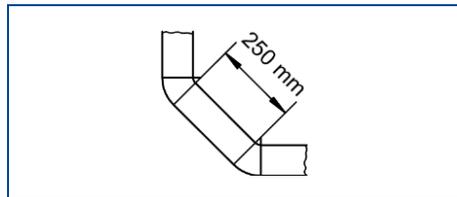


Abbildung 9: Übergang in eine liegende Leitung

Bei Falleitungslängen  $>22$  m gelten die Vorgaben der oben aufgeführten Tabelle. Außerdem ist die Falleitung 2 m oberhalb des zulaufseitigen Bogens der Verziehung von Anschlüssen freizuhalten. Ist die Falleitungsverziehung kürzer als 2 m ist eine Umlüftung einzubauen.

Auch bei diesen Umlenkungen ist dann ein Zwischenstück mit mindestens 250 mm Länge zwischen die beiden Bögen einzufügen.

Bei mehrfach verzogenen Falleleitungen, wie es zum Beispiel in Terrassenhäusern der Fall sein kann, sind die Verzüge mit direkten oder indirekten Nebenlüftungen zu versehen. Dies ist im Tabellenbuch HLK-Technik im Kapitel „Entwässerung Sanitär Klempner“ in der Tabelle „Mehrfach verzogene Falleitung mit in-/direkter Nebenlüftung“ dargestellt.

Bei der in Deutschland üblichen Lüftung von Falleleitungen mit Hauptlüftung über Dach wird davon ausgegangen, dass Falleleitungen nur so viel aufnehmen, wie die mit dem zulässigen Mindestgefälle verlegte Sammel- oder Grundleitung abführen kann.

Je nachdem, ob die Anschlüsse an die Falleitung mit oder ohne Innenradius ausgeführt werden, sind jeder Dimension maximal möglich anzuschließende Abflussleistungen in der Tabelle „Schmutzwasserfalleitung, Schmutzwasserabfluss  $V_{\max}$  in l/s DIN 1986-100/EN 12056-2“ zugeordnet. Mit dieser Tabelle und dem  $Q_{\text{tot}}$  für die Falleitung wird dann die Dimension der Falleitung ausgewählt.

Unter „Abzweig mit Innenradius“ versteht man nach DIN 12056-2 einen Abzweig, der einen Winkel von 45° oder weniger aufweist oder der einen Radius in der Mittellinie hat, der nicht kleiner als der Innendurchmesser des Rohres ist. Hierzu zählen z.B. auch SML-Abzweige mit 88° die einen 45°-Einlaufwinkel haben.

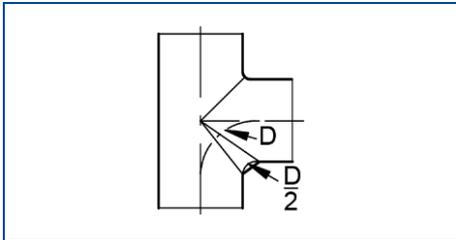


Abbildung 10: Abzweig 88° mit 45° Einlaufwinkel

Alle sonstigen „Abzweige“ haben einen Winkel von mehr als 45° oder einen Radius in der Mittellinie, der kleiner als der Innendurchmesser des Rohres ist.

Außerdem gilt es bei der Dimensionierung von Schmutzwasser-Falleitungen folgende Festlegungen zu beachten:

- Sind mehr als 4 Küchenablaufstellen an eine Falleitung angeschlossen, ist diese mindestens in DN 100 zu dimensionieren. Erkaltende Fette und Feststoffe würden ansonsten Verstopfungen verursachen.
- Ist ein Klosett an der Falleitung angeschlossen, ist diese Falleitung mindestens in DN 80 zu dimensionieren.

Nehmen wir als Beispiel eine wie folgt ausgestattete Wohnung in einem Mehrparteienhaus:

Tabelle 3: Ausstattung einer Wohnung

Ausstattung einer Wohnung	DU
WC	2,0
Waschtisch	0,5
Dusche mit Stöpsel	0,8
Küchenspüle	0,8
<b>Summe</b>	<b>4,1</b>

Gemäß der Tabelle „Schmutzwasserfalleitung, Schmutzwasserabfluss  $V_{max}$  in l/s DIN 1986-100/EN 12056-2“ dürfen 5,2 l/s an eine Falleitung in DN 100 angeschlossen werden, wenn die Anschlüsse an die Falleitung mit Innenradius ausgeführt werden.

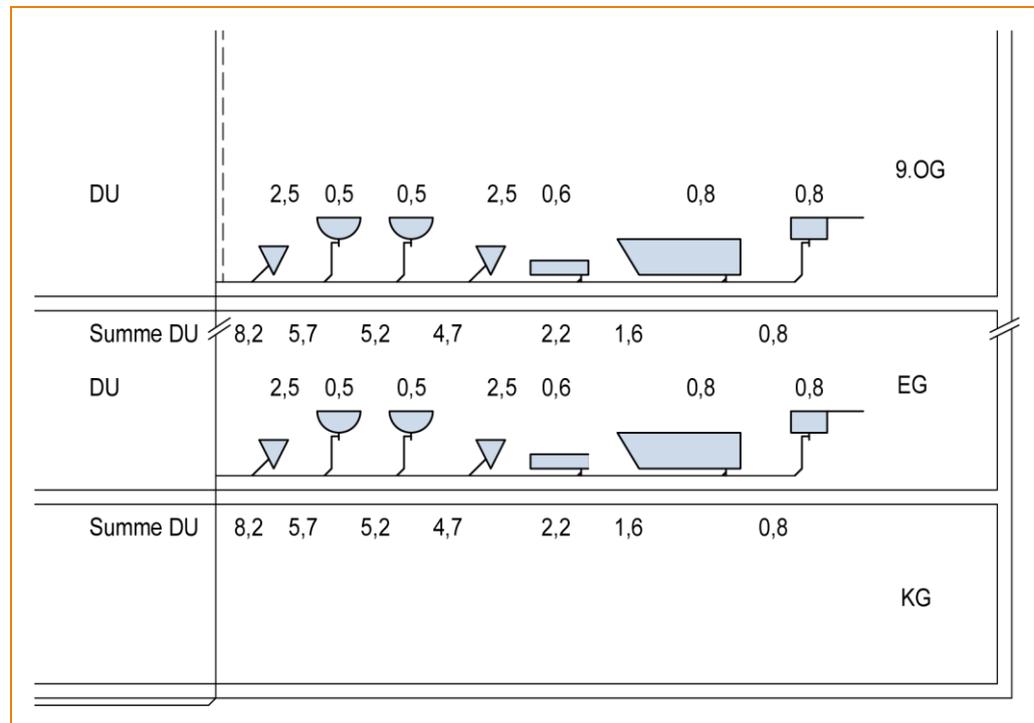
Dies entspricht 108,16 DU.

$$\frac{108,16}{5,2} = 20,8$$

Demzufolge können 20 Wohnungen dieser Art an eine solche Falleitung in DN 100 angeschlossen werden.

### Lehrbeispiel 1.1

Die Falleitung für ein Wohnhaus mit 10 Geschossen und einer Ausstattung nach der folgenden Abbildung ist zu dimensionieren!



### Lösung

Jede Wohnung belastet den Fallstrang mit 8,2 DU, also insgesamt 82 DU entsprechend:

$$Q_{ww} = K \cdot \sqrt{\sum DU}$$

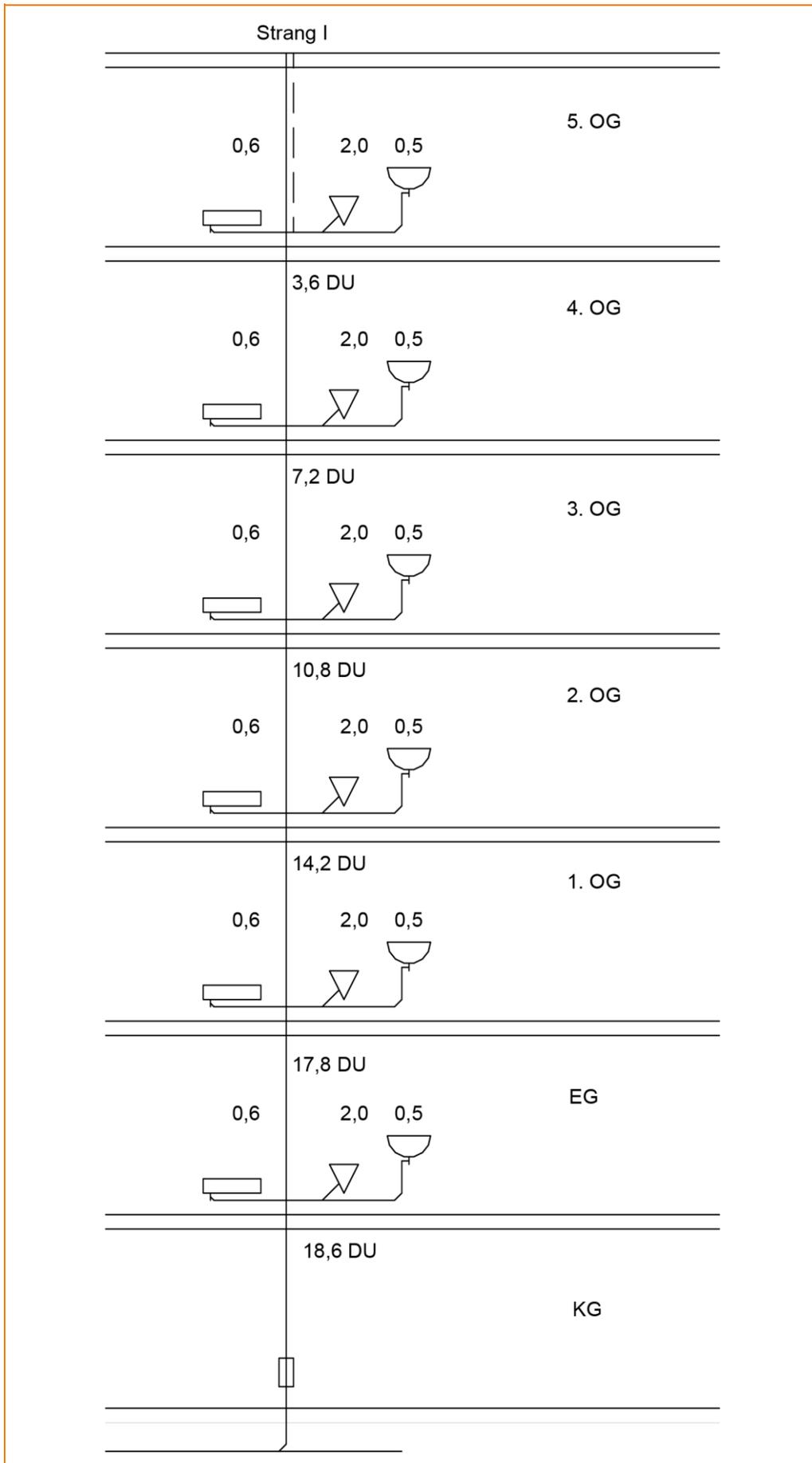
$$Q_{ww} = 0,5 \cdot \sqrt{82}$$

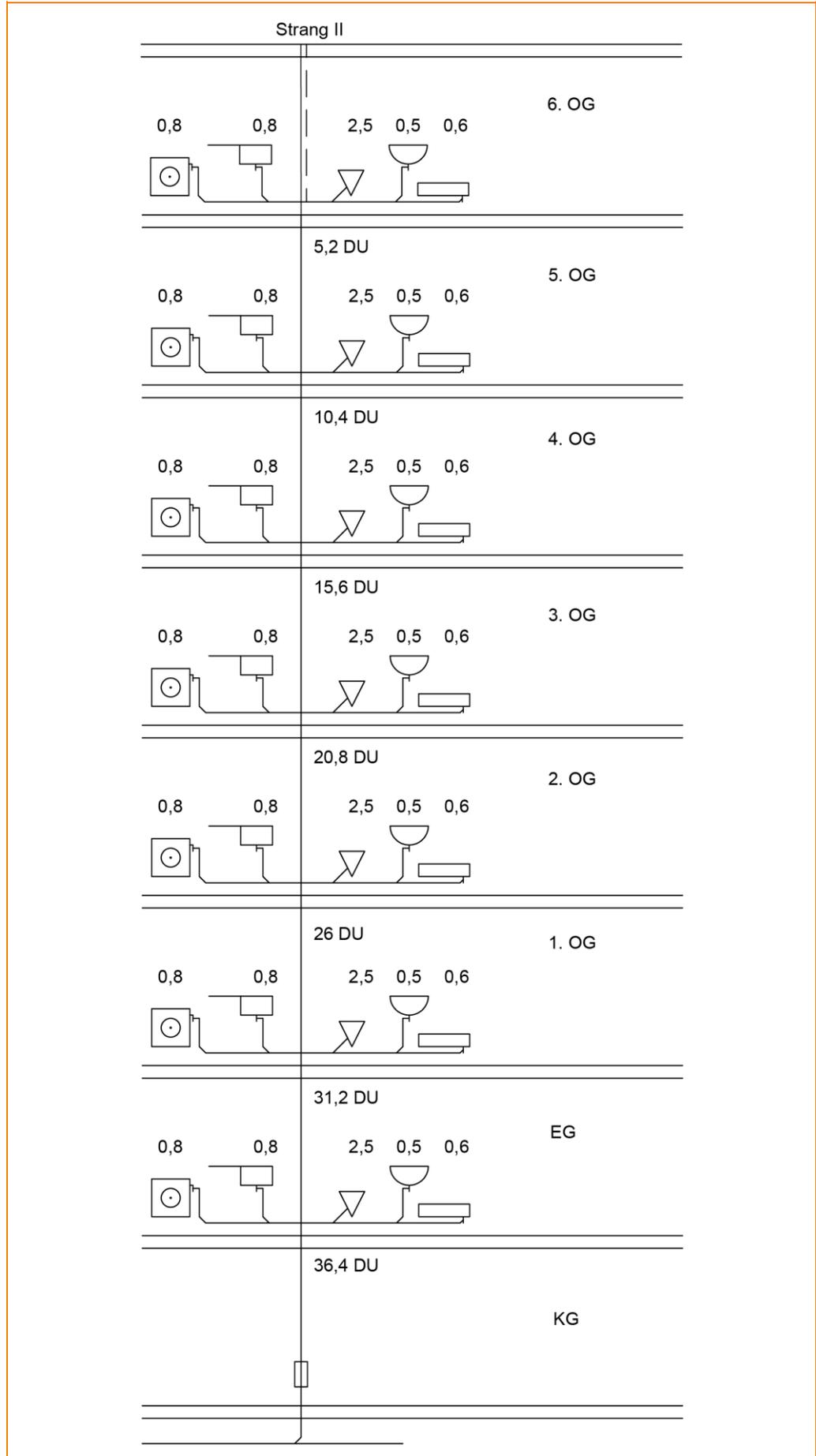
$$Q_{ww} = 4,53 \text{ l/s}$$

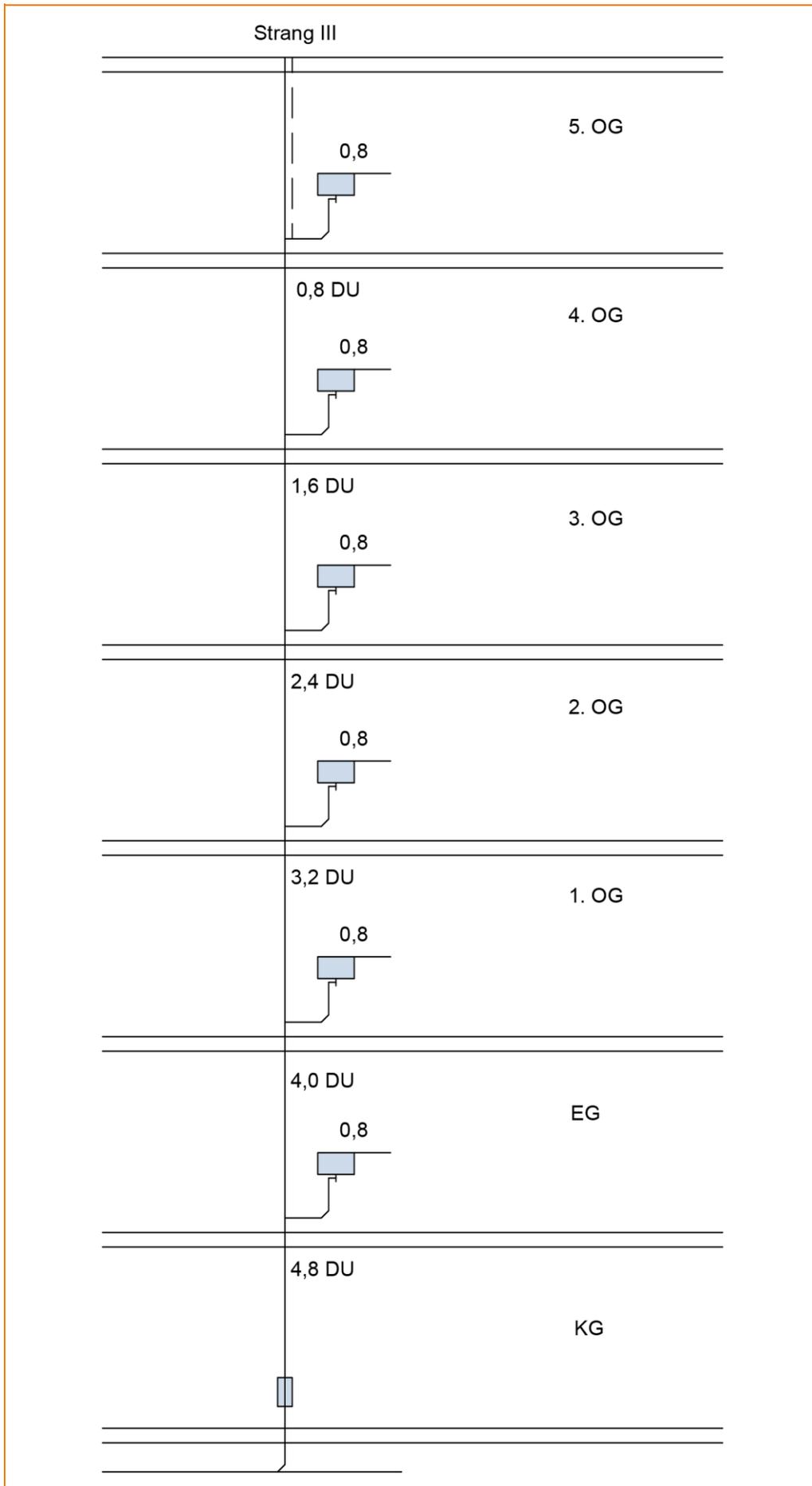
Gemäß der Tabelle „Schmutzwasserfalleitung, Schmutzwasserabfluss  $V_{max}$  in l/s DIN 1986-100/EN 12056-2“ wird bei Berücksichtigung von Abzweigen ohne Innenradius (Winkel > 45°, scharfkantig) eine Nennweite von DN 125 ausgewählt. Bei Einsatz von Abzweigen mit Innenradius könnte die Nennweite der Falleitung auf DN 100 reduziert werden.

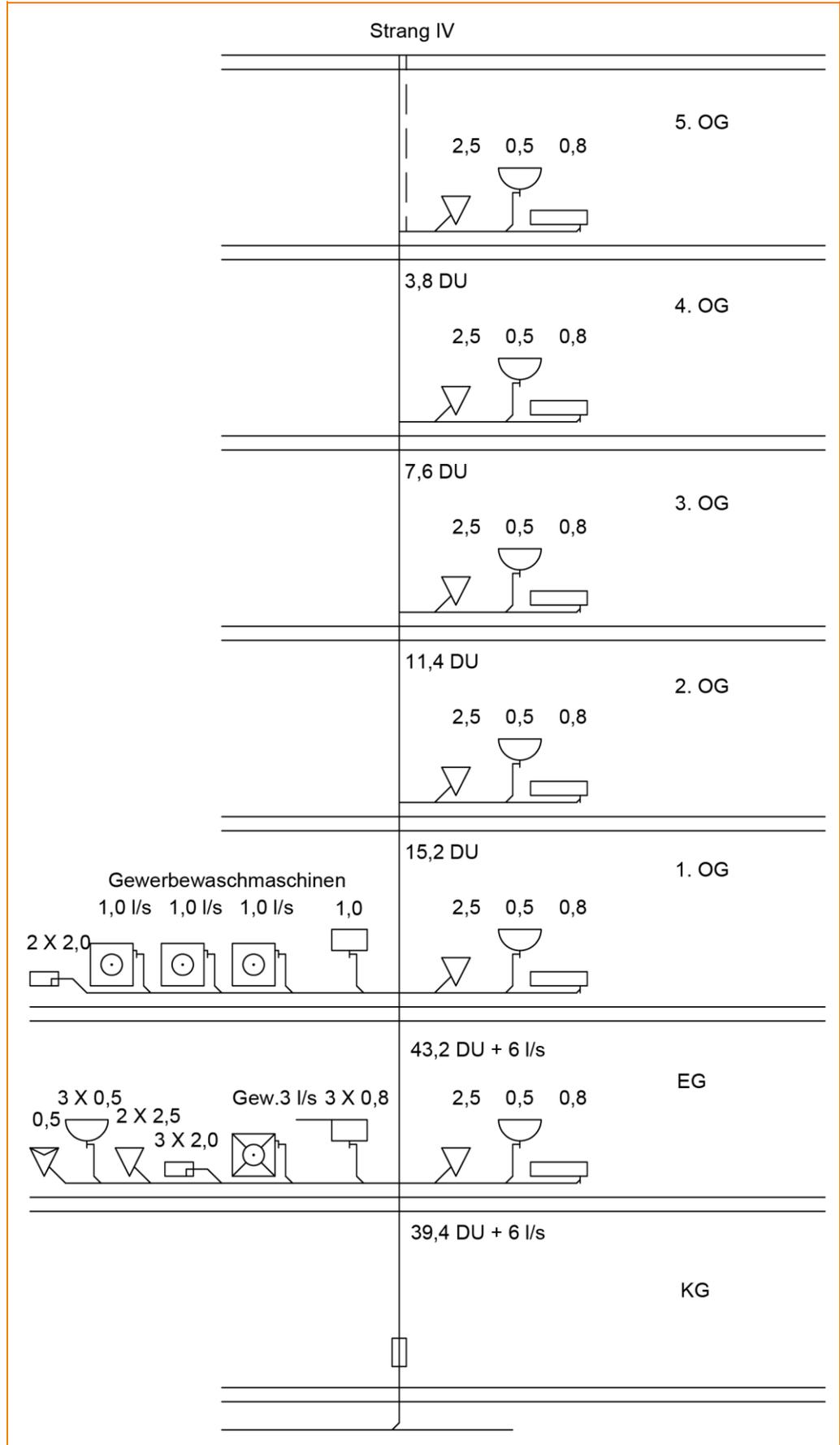
### Lehrbeispiel 1.2

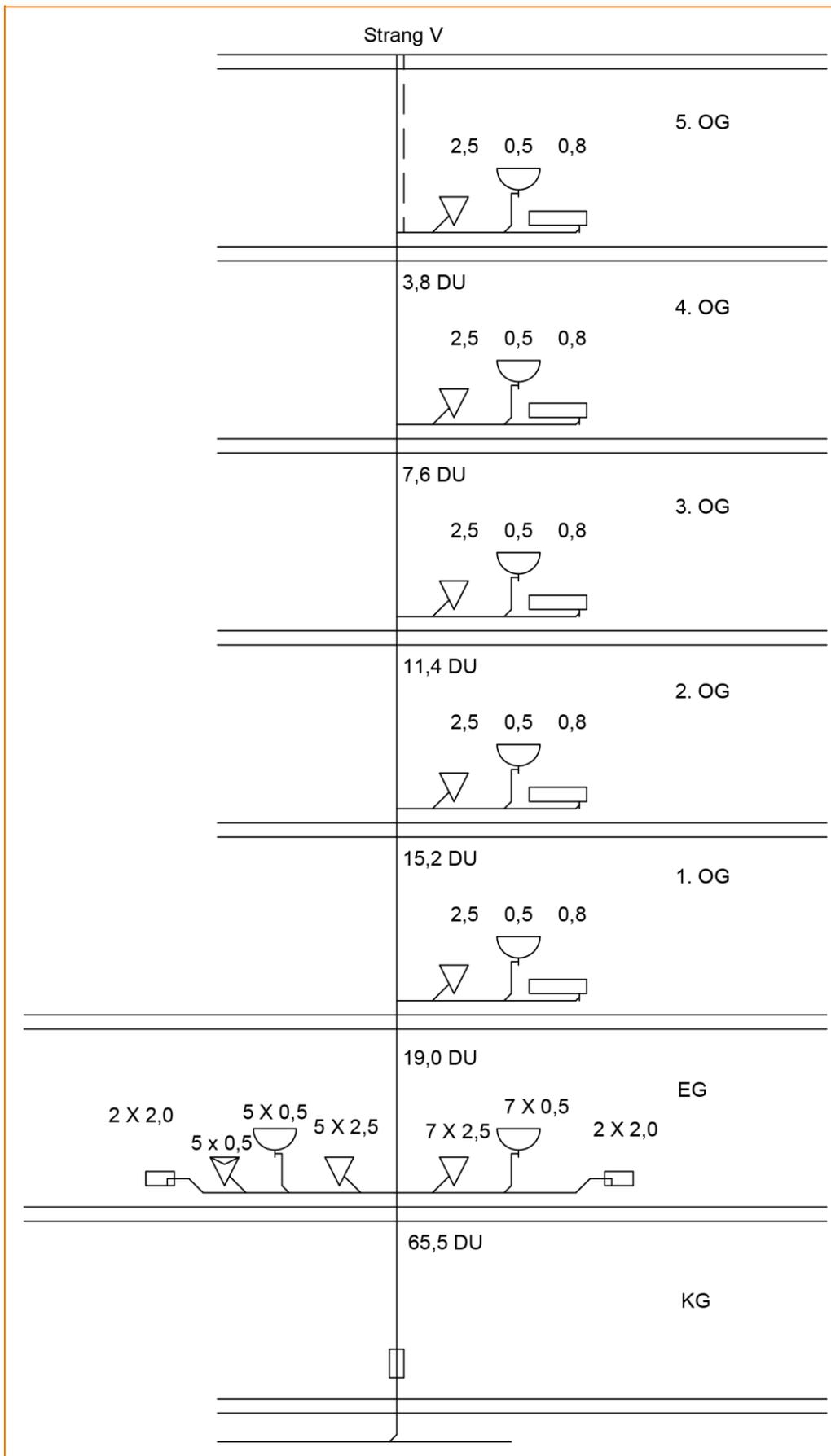
Die folgenden Falleitungen eines teilweise als Appartement-Hotel ausgestatteten Hotels sind zu dimensionieren!











### Lösung

An der Falleitung „**Strang I**“ in der vorstehenden Abbildung sind 6 Hotelzimmer mit Waschtisch, Dusche (ohne Stöpsel) und WC (9 l) angeschlossen. Die Summe der Anschlusswerte beträgt somit 18,6 DU.

Der Schmutzwasserabfluss beträgt:

$$Q_{ww} = K \cdot \sqrt{\sum DU}$$

$$Q_{ww} = 0,7 \cdot \sqrt{18,6}$$

$$Q_{ww} = 3,02 \text{ l/s}$$

Nach der Tabelle „Schmutzwasserfalleitung, Schmutzwasserabfluss  $V_{max}$  in l/s DIN 1986-100/EN 12056-2“ könnte entweder eine Falleitung ohne Innenradius mit dem höchstzulässigen Schmutzwasserabfluss von 4 l/s bei DN 100 mit dem vorhandenen Schmutzwasserabfluss von 3,02 l/s verglichen werden, oder eine Falleitung mit Abzweigen mit Innenradius in DN 90 bestimmt werden.

Der „**Fallstrang II**“ in der vorstehenden Abbildung ist mit 7 Apartments mit Waschtisch, Dusche, WC und Küchenspüle mit Waschmaschine belastet. Die Summe der Anschlusswerte beträgt 36,4 DU.

Da die Apartments in der Gleichzeitigkeit nicht eindeutig den Hotels oder dem Wohnungsbau zugeordnet werden können, sollen beide Möglichkeiten betrachtet werden.

Bei der Gleichzeitigkeit für Hotels mit einer Abflusskennzahl  $K = 0,7$  ergibt sich damit ein Abwasservolumenstrom von  $Q_{ww} = 4,22 \text{ l/s}$  und nach der Tabelle „Schmutzwasserfalleitung, Schmutzwasserabfluss  $V_{max}$  in l/s DIN 1986-100/EN 12056-2“ (Tabellenbuch HLK-Technik) ergibt sich damit bei normalen Abzweigen eine Falleitung DN 125. Diese kann mit 5,8 l/s belastet werden.

Bei der Abflusskennzahl für den Wohnungsbau von  $K = 0,5$  reicht jedoch in jedem Fall eine Falleitung DN 100 aus, da sich hier nur ein Abwasservolumenstrom von lediglich  $Q_{ww} = 3,02 \text{ l/s}$  ergibt.

Bei der Anwendung der Abzweige mit Innenradius kann eine Falleitung DN 100 bis zu 5,2 l/s Abwasservolumenstrom aufnehmen. Damit können unter dieser Voraussetzung die 7 Apartments auch bei einer Gleichzeitigkeit von  $K = 0,7$  problemlos mit einer Falleitung DN 100 entwässert werden.

Bei Abwägung der unterschiedlichen Ergebnisse und der zu erwartenden gleichzeitigen Benutzung kann die Falleitung in DN 100 ausgeführt werden, wenn grundsätzlich Abzweige mit Innenradius zum Einsatz kommen.

In den vorstehenden Abbildungen ist der „**Strang III**“ dargestellt, der zu 6 Apartments gehört. Wegen der Grundrissanordnung muss er als separater Küchenstrang geführt werden. Die Belastung beträgt 4,8 DU.

Bei einer Abflusskennzahl von 0,5 ergibt sich ein Wert von  $Q_{ww} = 1,1 \text{ l/s}$ . Dafür wäre bei Abzweigen ohne Innenradius ein Fallstrang mit Hauptlüftung in DN 70 ausreichend.

$$Q_{ww} = K \cdot \sqrt{\sum DU}$$

$$Q_{ww} = 0,5 \cdot \sqrt{4,8}$$

$$Q_{ww} = 1,10 \text{ l/s}$$

Da es sich aber um einen reinen Küchenstrang handelt, dürfen maximal 4 Küchen an eine Fallleitung DN 70 angeschlossen werden! Die Fallleitung ist also gemäß der Sonderregel für Fallstränge mit mehr als 4 angeschlossenen Küchen in DN 100 auszuführen.

Am „**Fallstrang IV**“ nach der vorstehenden Abbildung sind 6 Hotelzimmer mit WC, Waschtisch und Dusche angeschlossen. Im ersten Obergeschoss befindet sich die Wäscherei mit 3 Gewerbewaschmaschinen mit je 1 l/s Ablaufvolumen sowie 2 Bodeneinläufe DN 100 und ein Ausgussbecken. Im EG befindet sich zusätzlich noch eine Gewerbewaschmaschine mit 3 l/s Abflussleistung. Da es sich um Gewerbewaschmaschinen handelt, wird von einer Dauerbelastung ausgegangen.

Bei einer Abflusskennzahl  $K = 0,7$  berechnet sich der Schmutzwasservolumenstrom nach:

$$Q_{ww} = K \cdot \sqrt{\sum DU + Q_c}$$

$$Q_{ww} = 0,7 \cdot \sqrt{43,2} + 6 \text{ l/s}$$

$$Q_{ww} = 10,6 \text{ l/s}$$

Laut der Tabelle „Schmutzwasserfallleitung, Schmutzwasserabfluss  $V_{max}$  in l/s DIN 1986-100/EN 12056-2“ aus dem Tabellenbuch HLK-Technik dürfen nur 9,5 l/s an eine Fallleitung in DN 150 mit Hauptlüftung und Abzweigen ohne Innenradius angeschlossen werden. Somit wäre der Anschluss aller Einrichtungsgegenstände nicht möglich.

Es wäre zu prüfen, ob die 3 Waschmaschinen so zu schalten wären, dass ein gleichzeitiges Abpumpen nicht möglich ist. Damit wäre eine Fallleitung DN 150 wieder ausreichend dimensioniert.

Um unabhängig von der Schaltung der Waschmaschinen im 1. OG zu sein, wäre es ratsam, Abzweige mit Innenradius für diese Fallleitung zu wählen, weil hierdurch die Belastbarkeit der Fallleitung DN 150 bis auf einen Wert von 12,4 l/s angehoben wird und somit ausreichend dimensioniert wäre.

Beim „**Fallstrang V**“ sind in den Obergeschossen 5 Hotelzimmer mit Waschtisch, WC und Dusche angeschlossen. Im Erdgeschoss befinden sich Toilettenanlagen.

Mit 65,5 DU wird eine Dimensionierung der Fallleitung von DN 125 ( $K = 0,7$ ) erforderlich, wobei der Innendurchmesser mindestens 113 mm betragen muss.

$$Q_{ww} = K \cdot \sqrt{\sum DU + Q_c}$$

$$Q_{ww} = 0,7 \cdot \sqrt{65,5}$$

$$Q_{ww} = 5,67 \text{ l/s}$$

Obwohl die hohe Belastung der Fallleitung erst im Erdgeschoss auftritt, muss diese im gesamten Bereich im Durchmesser DN 125 ausgeführt werden.

Bei diesen Beispielen gehen die Fallleitungen in eine Grundleitung über. Im Kellergeschoss befinden sich jeweils keine Anschlüsse. Würden die Fallleitungen unter der Kellerdecke in einer Sammelleitung zusammengeführt, dürften die Entwässerungsgegenstände des Erdgeschosses nicht an die Fallleitungen angeschlossen werden, da diese 4 bis 8 Geschosse durchlaufen.

Hier müssten Umgehungsleitungen eingebaut oder die Sammelanschlussleitung der Erdgeschoss-Gegenstände an die Sammelleitung 1 Meter hinter dem Übergang in die Sammelleitung (siehe Tabelle: „Fallleitungen, Führung durch die Geschosse, Verziehung, Umgehungsleitung DIN 1986-100“ im Tabellenbuch HLK-Technik) angeschlossen werden.

## 2 Modul 3 LSK3: „Lüftungstechnik II“

### Einleitung

„Lüftung ist die Erneuerung der Raumluft durch direkte oder indirekte Zuführung von Außenluft. Die Lüftung erfolgt durch freie Lüftung oder Raumluftechnische Anlagen.“

So definiert die Arbeitsstättenrichtlinie ASR A3.6 den Begriff Lüftung. Weiter formuliert diese ASR den Grundsatz, dass „in umschlossenen (Arbeits-)Räumen gesundheitlich zuträgliche Atemluft in ausreichender Menge vorhanden sein muss“.

An diesen in der ASR formulierten Grundsätzen richtet sich die Lüftungstechnik als Teil der Gebäudetechnik aus. Dieses Lernskript soll Ihnen dabei helfen, Lüftungsanlagen entsprechend zu planen.

### 2.1 Einflussgrößen der thermischen Behaglichkeit

### 2.2 Raumlufthtemperatur als Behaglichkeitskriterium

Lüftungs- und Klimaanlageanlagen oder besser **Raum-Luft-Technische-Anlagen** (RLT-Anlagen) haben zum überwiegenden Teil die Aufgabe, in Aufenthaltsräumen von Personen ein behagliches Raumklima und eine gesundheitlich verträgliche Raumluft zu schaffen.

Die ordnungsgemäße Erfüllung dieser Aufgaben ist maßgebend für die Akzeptanz von RLT-Anlagen. Ihr Einsatz wird erforderlich, da durch eine **freie Lüftung**, wegen der Abhängigkeit vom Außenklima (Temperatur, Wind, Sonnenstand etc.) und weiteren Außenbedingungen, nicht immer eine akzeptable Luftqualität und Behaglichkeit zu erreichen ist.

Die Behaglichkeit ist nicht durch einen definierten Zustandspunkt zu beschreiben, vielmehr lässt sich, in Anbetracht der Einflussfaktoren, ein Behaglichkeitsbereich bilden.

**Der Mensch empfindet thermische Behaglichkeit, wenn er mit seinem Umgebungsklima zufrieden ist und er es weder als zu warm noch als zu kalt empfindet.**

Das Behaglichkeitsempfinden wird durch Wärmerezeptoren im vorderen Stammhirn des Menschen und Kälterezeptoren in der gesamten Haut bestimmt:

- Sinkt die Hauttemperatur unter 33 °C friert der Mensch.
- Überschreitet die Stammhirntemperatur 37 °C schwitzt man.

Die DIN 16798-1 gibt für die Raumtemperatur, in Abhängigkeit von der Raum- bzw. Gebäudenutzung und die Behaglichkeitskategorie (siehe Kapitel 1.6), Auslegungswerte vor:

Tabelle 4: Empfohlene Auslegungswerte der Raumtemperatur für Winter und Sommer

Gebäude-/Raumtyp	Kategorie	Raumtemperatur °C	
		Höchstwert für Kühlung (Sommerperiode) etwa 0,5 clo	Höchstwert für Heizung (Winterperiode) etwa 1,0 clo
Wohngebäude, Wohnräume (Schlafzimmer, Wohnzimmer usw.) Sitzende Tätigkeit ~1,2 met	I	25,5	21,0
	II	26,0	20,0
	III	27,0	18,0
	IV	28,0	16,0
Wohngebäude, andere Räume (Küchen, Lagerräume usw.) Stehende, gehende Tätigkeit ~1,5 met	I	–	18,0
	II	–	16,0
	III	–	14,0
Büros und ähnlich genutzte Räume (Einzel- und Großraum- büros, Konferenzräume, Hör- bzw. Zuschauersäle, Cafeterien, Restaurants, Klassenräume) Sitzende Tätigkeit ~1,2 met	I	25,5	21,0
	II	26,0	20,0
	III	27,0	19,0
	IV	28,0	18,0
ANMERKUNG 1 Es wird von 60 % relativer Luftfeuchte (Sommer)/40 % (Winter) und einer Luftgeschwindigkeit von <0,1m/s ausgegangen.			
ANMERKUNG 2 Diese Tabelle ist eine Darstellung von Auslegungswerten der Raumtemperatur In Gebäuden mit Heizungsanlagen, die während der Winterperiode In Betrieb sind, und maschinelle Kühlanlagen, die während der Sommerperiode in Betrieb sind.			

In der Tabelle 4 „Empfohlene Auslegungswerte der Raumtemperatur für Winter und Sommer“ sind übliche Wärmedämmwerte der Bekleidung für Winter und Sommer (clo-Wert) und Aktivitätsgrade (met-Wert) aufgeführt. Es ist zu beachten, dass die operativen Temperaturgrenzen anzupassen sind, wenn die Bekleidungs- und/oder Aktivitätsgrade von den in der Tabelle angegebenen Werten abweichen.

Der met-Wert steht für das metabolische Äquivalent und wird als Verhältnis des Arbeitsumsatzes (work metabolic rate) zum Ruheumsatz (rest metabolic rate) eines Menschen definiert:

$$MET = \frac{WMR}{RMR}$$

Der sogenannte clo-Wert gibt wieder, wie sehr eine Bekleidung wärmedämmt. Im Winter, wenn die Bekleidung dichter ist, wird der clo-Wert mit 1 angegeben. Im Sommer, wenn die Kleidung leichter und luftiger wird, wird der clo-Wert mit 0,5 angenommen.

Die Werte für die Raumtemperatur beziehen sich auf die ausgewiesene Aufenthaltszone eines Raums. Tritt in einem Raum eine Temperaturschichtung auf, wird der Wert für die operative Temperatur in einer Höhe von 60 cm ermittelt. Soll eine andere Höhe verwendet werden, ist dies durch den Planer zu begründen.

Bei einfachen Bodenflächengeometrien soll der Flächenschwerpunkt für die Festlegung des Raummittelpunktes verwendet werden. Bei komplexeren Bodenflächengeometrien ist die Lage des Referenzpunktes, auf Basis der zu erwartenden Raumnutzung, durch den Planer festzulegen.

## Werte für die operative Raumtemperatur

Die operative Temperatur für den maximalen thermischen Komfort wird als Komfortraumtemperatur  $\theta_{Ra,C}$  bezeichnet. In der Abbildung 11 „Komfortraumtemperatur  $\theta_{Ra,C}$ “ gibt die gestrichelte Linie die Komfortraumtemperatur an. Die durchgezogenen Linien geben die zulässige Abweichung  $\pm 2K$  von der Komfortraumtemperatur  $\theta_{Ra,C}$  an. Dementsprechend ist der Bereich der empfohlenen Raumtemperaturen  $\theta_{Ra}$  zwischen den durchgezogenen Linien dargestellt. Diese Toleranzen von der Raumtemperatur müssen durch den Nutzer durch eine Anpassung der Bekleidung (0,3 clo bis 1,0) ausgeglichen werden können.

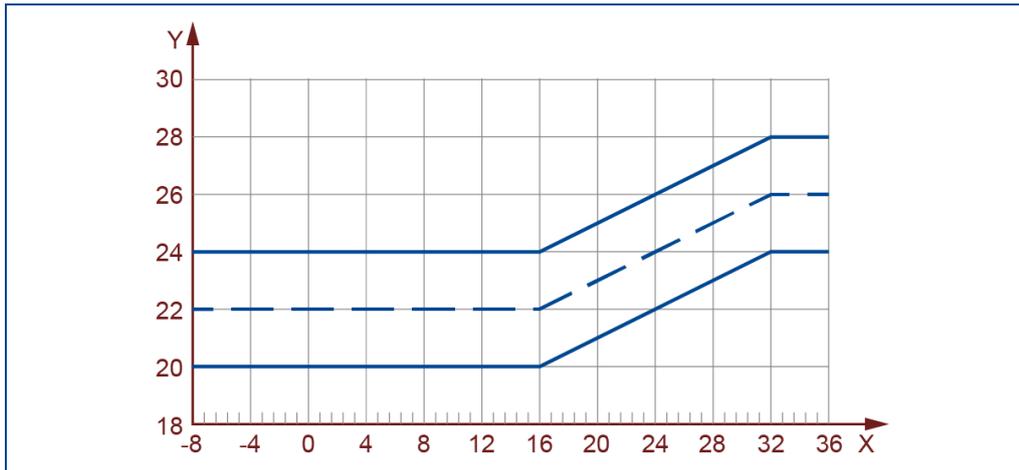


Abbildung 11: Komfortraumtemperatur  $\theta_{Ra,C}$  (Toleranzbereich)

### Legende

- X Stundenmittelwert der Außenlufttemperatur in °C  
Y Raumtemperatur in °C

Die Angaben der Raumtemperatur beziehen sich dabei auf den Stundenmittelwert der Außentemperatur  $\theta_{Au,C}$ . Bis 16 °C Außentemperatur beträgt die Komfortraumtemperatur 22 °C und ab einer Außentemperatur von 32 °C beträgt die Komfortraumtemperatur 26 °C. Zwischen 16 °C und 32 °C Außentemperatur gilt für die Komfortraumtemperatur:

$$\theta_{Ra,C} = 18 \text{ °C} + 0,25 \times \theta_{Au,C}$$

Beispiel:

Bei einer Außentemperatur von 22 °C ist  $\theta_{Ra,C}$  dann:

$$\theta_{Ra,C} = 18 \text{ °C} + 0,25 \times 22 \text{ °C} = 18 \text{ °C} + 5,5 \text{ °C} = 23,5 \text{ °C}$$

Die Raumtemperatur  $\theta_{Ra}$  dürfte dann zwischen 21,5 °C und 25,5 °C liegen.

**Um die Behaglichkeitskategorie II nach der DIN 16798-1 einzuhalten, darf die Raumtemperatur in weniger als 1 % der Nutzungszeit des Raums außerhalb des Toleranzbereichs der operativen Raumtemperatur liegen!**

## 2.3 Oberflächentemperaturen als Behaglichkeitskriterium

Oberflächentemperaturen spielen als Behaglichkeitskriterium in der Betrachtung nach der DIN EN 16798-1 nur noch bei der Betrachtung der lokalen thermischen Behaglichkeit eine Rolle.

Die DIN EN 16798-1 legt folgende Auslegungskriterien für lokale thermische Behaglichkeit fest:

Tabelle 5: Auslegungskriterien für lokale thermische Unbehaglichkeit

	Zugluft		Vertikale Lufttemperaturdifferenz (Kopf – Fußgelenk)		Fußbodentemperaturbereich		Asymmetrie der Strahlungstemperatur				
	DR (Zugluft-rate)	Maximale Luftgeschwindigkeit <sup>a</sup>	PD	Temperaturdifferenz <sup>b</sup>	PD	Fußbodenoberflächentemperaturbereich	PD	Warme Decke	Kühle Wand	Kühle Decke	Warme Wand
	%	Winter m/s Sommer m/s	%	K	%	°C	%	K	K	K	K
<b>Kategorie I</b>	10	0,10 0,15	3	2	10	19 bis 29	5	< 5	< 10	< 14	< 23
<b>Kategorie II</b>	15	0,13 0,20	5	3	10	19 bis 29	5	< 5	< 10	< 14	< 23
<b>Kategorie III</b>	30	0,21 0,21	10	4	15	17 bis 31	10	< 7	< 13	< 18	< 35

- a) Ausgehend von einem Aktivitätsgrad von 1,2 met, einem Turbulenzgrad von 40 % sowie einer Lufttemperatur, die gleich der operativen Temperatur von etwa 20 °C im Winter und 26 °C im Sommer ist.
- b) Unterschied zwischen 1,1 m und 0,1 m über dem Boden.
- c) Bei Lufttemperaturen über 26 °C sind höhere maximale Luftgeschwindigkeiten zulässig, wenn die Gebäudenutzer die Luftgeschwindigkeit direkt regeln können.

Wie der Tabelle 5 mit den Auslegungskriterien zu entnehmen ist, darf die Fußbodenoberflächentemperatur 19 - 29 °C betragen, wenn die Kategorie II eingehalten werden soll. Die 29 °C entsprechen auch der maximal zulässigen Fußbodenoberflächentemperatur i, die aus der Auslegung von Fußbodenheizungen bekannt ist.

Für warme oder kalte Decken bzw. Wände gibt die Tabelle maximale Temperaturdifferenzen gegenüber der Raumtemperatur an.

Eine Kühldecke darf dementsprechend eine Strahlungstemperatur von maximal 10K unterhalb der operativen Raumtemperatur haben, um die Kategorie II der DIN EN 16798-1 noch einzuhalten.

## 2.4 Luftfeuchtigkeit als Behaglichkeitskriterium

Gemäß DIN EN 16798-1 ist bei Gebäuden, die keinen anderen Anforderungen als denen der menschlichen Nutzung unterliegen (z.B. Büros, Schulen und Wohngebäude), eine Be- oder Entfeuchtung gewöhnlich nicht erforderlich.

Gewöhnlich ist eine Be- oder Entfeuchtung nur in speziellen Gebäuden, wie z.B. in Museen, in einigen Gesundheitseinrichtungen, in der Prozesssteuerungs- und Papierindustrie, erforderlich.

Die Anforderungen an die Luftfeuchtigkeit sind teilweise von den Anforderungen an die thermische Behaglichkeit und die Raumluftqualität sowie teilweise von den bauphysikalischen Anforderungen (Kondensation, Schimmelpilzwachstum usw.) abhängig.

Für den Einsatz von Be- oder Entfeuchtung empfiehlt die DIN EN 16798-1 die in der Tabelle 6 „empfohlene Auslegungskriterien für die Luftfeuchte“ angegebenen Werte:

Tabelle 6: empfohlene Auslegungskriterien für die Luftfeuchte

Gebäude-/Raumtyp	Kategorie	Auslegungswert der relativen Luftfeuchte für Entfeuchtung %	Auslegungswert der relativen Luftfeuchte für Befeuchtung %
Räume, deren Feuchtekriterien durch menschliche Nutzung bestimmt werden. Spezielle Räume (Museen, Kirchen usw.) könnten andere Grenzwerte erfordern.	I	50	40
	II	60	30
	III	70	20

Wie die relative Luftfeuchte ermittelt wird, wird nachfolgend erklärt:

In der Natur enthält die Luft, neben den bekannten Bestandteilen (78 % Stickstoff, 21 % Sauerstoff, <1 % Kohlendioxid, Rest Edelgase), einen für die Klima- u. Wärmetechnik wichtigen weiteren Bestandteil, den Wasserdampf.

Diese Mischung aus trockener Luft und Wasserdampf wird „**feuchte Luft**“ genannt.

Der Wasserdampfgehalt in der trockenen Luft variiert und auch die maximale Dampfmenge, die von der Luft in unsichtbarer Form aufgenommen werden kann, ist abhängig von der Temperatur. So ist im Sommer der maximal mögliche Feuchtegehalt der Luft viel größer als im Winter.

Im Temperatur- u. Druckbereich der Klimatechnik kann die feuchte Luft mit genügender Genauigkeit als ein Zweistoffgemisch (trockene Luft u. Wasserdampf) idealer Gase angesehen werden.

Es gilt somit für jede Komponente die allgemeine Gasgleichung:

$$p \times V = m \times R \times T$$

Trockene Luft:

$$p_L \times V_f = m_L \times R_L \times T$$

Wasserdampf:

$$p_D \times V_f = m_D \times R_D \times T$$

Mit

p: Druck hPa

V: Volumen m<sup>3</sup>

V<sub>f</sub>: Volumen feuchte Luft m<sup>3</sup>

R: Gaskonstante

$$R_L = 287,2 \frac{\text{J}}{\text{kg} \times \text{K}}$$

$$R_D = 461,5 \frac{\text{J}}{\text{kg} \times \text{K}}$$

T: Temperatur K

Den Gesamtdruck der feuchten Luft erhält man durch die Teildrücke der trockenen Luft und des Wasserdampfes:

$$p = p_L + p_D$$

Der maximale Wasserdampfgehalt der Luft ist dann erreicht, wenn der Teildruck  $p_D$  gleich dem Sättigungsdruck  $p_s$  des Wasserdampfes entspricht.

Der Sättigungsdruck  $p_s$  ist nur von der Temperatur  $t$  abhängig und aus der Tabelle „Zustandsgrößen von gesättigter Luft bei 1000 mbar (= 1000 hPa) im Tabellenbuch entnehmbar.

Für die Klimatechnik von Bedeutung sind die Begriffe:

- „relative Feuchte“ und
- „absolute Feuchte“

Die relative Feuchte  $\varphi$  wird zur Kennzeichnung des Sättigungsgrades feuchter Luft verwendet:

$$\varphi = \frac{p_D}{p_S}$$

Mit

$\varphi$ :	relative Feuchte	–
$p_D$ :	Wasserdampfdruck	Pa
$p_S$ :	Sättigungsdampfdruck	Pa

Die relative Feuchte kann Werte zwischen 0 und 1 annehmen und wird in der Praxis meist in % angegeben.

Die absolute Feuchte  $x$  ist wie folgt definiert:

$$x = \frac{m_W}{m_L}$$

Mit

$x$ :	absolute Feuchte	$\frac{\text{kg H}_2\text{O}}{\text{kg trock. Luft}}$
$m_W$ :	Masse Wasser	kg
$m_L$ :	Masse trockene Luft	kg

## 2.5 Luftgeschwindigkeit als Behaglichkeitskriterium

Die Luftbewegung hat einen hohen Einfluss auf die thermische Behaglichkeit. Während wir beispielsweise im Sommer im Freien bei hohen Außentemperaturen eine erhöhte Luftbewegung als durchaus angenehm empfinden, wird im Winter bei tiefen Temperaturen bereits eine geringe Luftbewegung als unangenehm empfunden. Ursache ist die jahreszeitlich unterschiedliche Wertigkeit einer erhöhten Entwärmung durch Konvektion.

Bei hohen Umgebungstemperaturen ist eine Unterstützung der menschlichen Wärmeabgabe erwünscht, bei niedrigen Umgebungstemperaturen stellt sich eine ungewollte erhöhte Entwärmung des Körpers ein.

Diese Tatsache wird in letzter Zeit auch verstärkt von Meteorologen berücksichtigt, in dem häufig zu den mittels Thermometer ermittelten Temperaturen auch sog. gefühlte Temperaturen angegeben werden. Die gefühlten Temperaturen berücksichtigen auch zusätzliche Faktoren, die den menschlichen Wärmeübergang erhöhen bzw. verringern (vor allem Wind, Sonnenstrahlung, Luftfeuchte usw.).

In geschlossenen Räumen reagiert der menschliche Körper empfindlicher auf Luftbewegungen.

Beim Vorhandensein von RLT-Anlagen entstehen zwangsläufig höhere Luftbewegungen im Raum, da über die einzubringenden Zu- und Abluftvolumenströme der gewünschte Wärme- oder Stofftransport realisiert werden muss. Durch die Wahl des Lüftungssystems, der Art und Anordnung der Luftdurchlässe sowie raumgeometrischer Gegebenheiten, wird die sich einstellende Raumlufthgeschwindigkeit hauptsächlich beeinflusst.

Ab wann eine Raumlufthgeschwindigkeit als unbehaglich empfunden wird, ist - bedingt durch die Vielzahl der Einflussgrößen - nur bei normierten Verhältnissen zu beantworten.

Aktivitätsgrad, Kleidung und Lufttemperatur sind wesentliche Einflussgrößen.

Darüber hinaus sind, ähnlich wie bei der Temperatur, auch individuelle Einflussgrößen, wie Geschlecht, Alter, Gesundheitszustand usw. zu beachten.

Als weitere wichtige Einflussgröße haben sich die zeitlichen und örtlichen Schwankungen der Luftgeschwindigkeit herausgestellt. Man bezeichnet diese Schwankungen auch als **Turbulenzen**.

Die nachfolgende Abbildung zeigt die maximal zulässigen Luftgeschwindigkeiten, als Funktion von Temperatur und Turbulenzgrad im Aufenthaltsbereich/Behaglichkeitsbereich nach DIN EN 16798-1.

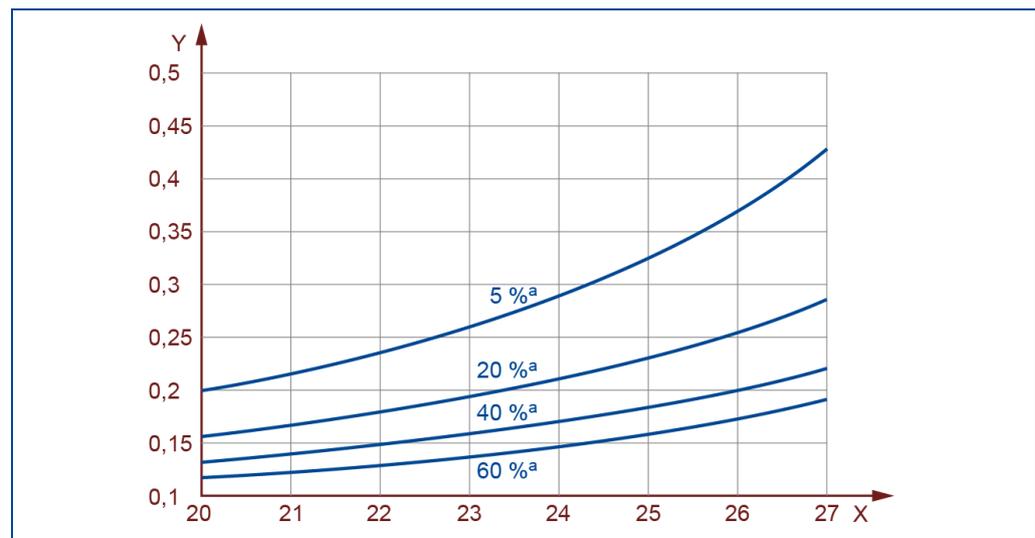


Abbildung 12: Zulässige mittlere Luftgeschwindigkeiten in der Aufenthaltszone (Zugluft rate DR = 15 %)

#### Legende

- X Lufttemperatur in °C
- Y Luftgeschwindigkeit in m/s
- \* Turbulenzgrad

Angaben zu den zulässigen, maximalen Luftgeschwindigkeiten im Aufenthaltsbereich macht die DIN EN 16798-1, zusätzlich mit den Auslegungskriterien für lokale thermische Unbehaglichkeit (siehe Tabelle 5: „Auslegungskriterien für lokale thermische Unbehaglichkeit“)

Wird der Wärmeleitwiderstand der Kleidung erhöht oder die Aktivität um ca. 10 W erhöht, darf die zulässige Luftgeschwindigkeit auf die Werte einer um etwa 1 K erhöhten, zugeordneten Lufttemperatur angehoben werden. Alternativ darf die Lufttemperatur bei gleichbleibender Luftgeschwindigkeit entsprechend vermindert werden.

Der Turbulenzgrad T der Raumluft wird wie folgt ermittelt:

$$T = \frac{S_v}{\bar{v}} \cdot 100 \text{ in \%}$$

Hierin bedeutet  $\bar{v}$  der zeitliche Mittelwert der Luftgeschwindigkeit am Messort und  $S_v$  die Standardabweichung der Momentangeschwindigkeiten

$$\bar{v} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n v_i \text{ in m/s}$$

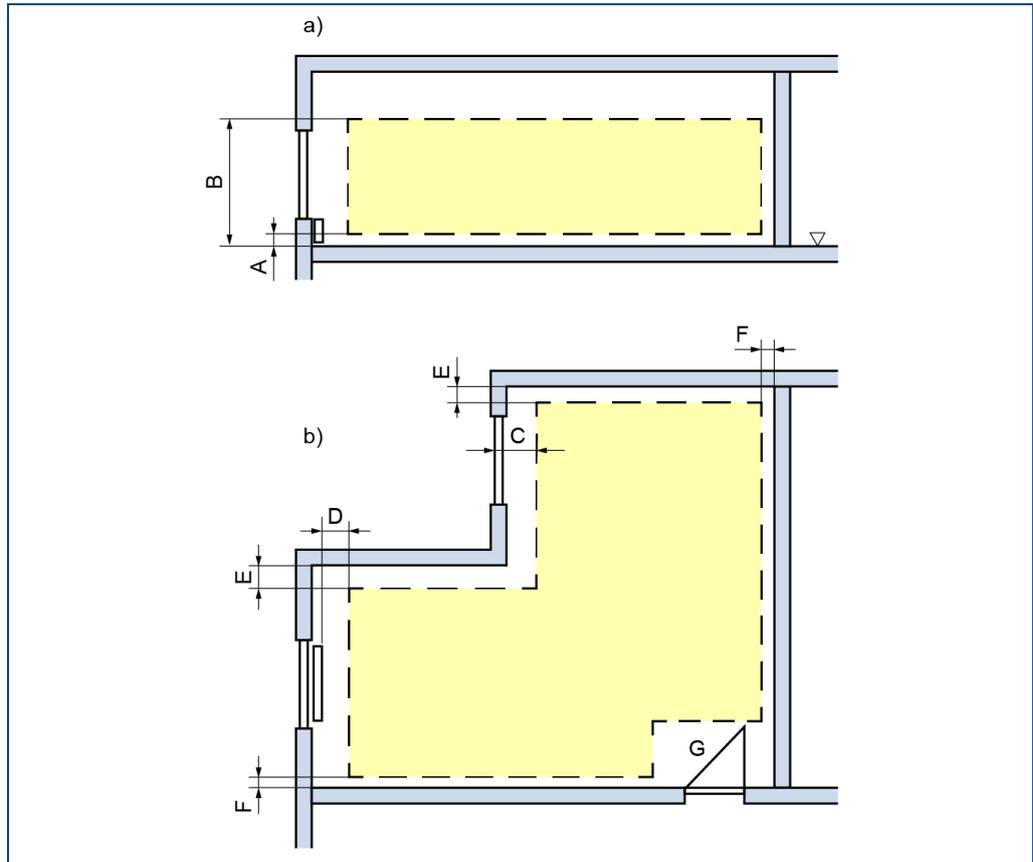
$$S_v = \pm \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})^2} \text{ in m/s}$$

mit  $n$  : Anzahl der Messpunkte

und  $v_i$  : Momentanwert der Luftgeschwindigkeit

Die in der Norm für den Behaglichkeitsbereich geforderte Einhaltung von Temperatur und Luftgeschwindigkeitswerten bezieht sich immer auf den sog. „**Aufenthaltsbereich**“.

Definition des Aufenthaltsbereichs in der DIN 16798-3:



Legende

- A Vertikalabschnitt
- B Grundriss

Abstand von der folgenden Innenfläche		Üblicher Bereich m	Standardwert m
Böden (untere Begrenzung)	A	0,00 bis 0,20	0,05
Böden (obere Begrenzung)	B	1,30 bis 2,00	1,80
Außenfenster und -türen	C	0,50 bis 1,50	1,00
Heiz- und/oder Klimageräte	D	0,50 bis 1,50	1,00
Außenwände	E	0,15 bis 0,75	0,50
Innenwände	F	0,15 bis 0,75	0,50
Türen, Durchgangsbereiche usw.	G	besondere Vereinbarung	–

Abbildung 13: Definition des Aufenthaltsbereichs

Diese Begrenzung wird erforderlich, da direkt an den Umschließungsflächen (Fenster, Wände, Türen) sowie in unmittelbarer Nähe der Luftauslässe, Luftzustände auftreten können, die außerhalb der Behaglichkeitsanforderungen liegen.

## 2.6 Sonstige Einflussgrößen der Behaglichkeit

Neben den Haupteinflussgrößen der thermischen Behaglichkeit:

1. Raumlufttemperatur
2. Temperatur der Raumumschließungsflächen
3. Luftfeuchtigkeit
4. Luftgeschwindigkeit

existieren noch weitere Einflussgrößen, die mehr oder weniger starke Auswirkungen auf das menschliche Behaglichkeitsempfinden haben können.

Hier sind zunächst zwei, bereits als Parameter in den Hauptfaktoren verwandte Einflussgrößen zu nennen:

- Bekleidung
- Aktivitätsgrad

Beide gehören zu den Einflussgrößen der thermischen Behaglichkeit.

### Bekleidung

Durch entsprechende Kleidung ist eine begrenzte Anpassung an kalte oder warme Räumlichkeiten möglich. Die Kleidung unterscheidet sich in ihrem Dämmwert und bildet somit eine gute oder weniger gute Isolationsschicht um den Körper.

Der Wärmedurchlasswiderstand der Bekleidung wird, analog zur Verwendung bei Baustoffen, in  $m^2 \cdot K/W$  angegeben. Eine weitere häufig anzutreffende Einheit ist clo (clothing value) =  $0,16 m^2 \cdot K/W$

Tabelle 7: Dämmwerte von verschiedenen Bekleidungen

Kleidung	$m^2 \cdot K/kW$	clo
nackt	0	0
leichte Kleidung	80	0,5
Kleidung mit Hemd, Hose, Socken, Schuhen	100	0,65
normale Arbeitskleidung	125...160	0,8...1
leichte Sportkleidung mit Jacke	160	1
starke winterliche Innenbekleidung, dicker Pullover	200	1,25
schwere Arbeitskleidung mit Unterwäsche, Socken, Schuhen, Weste, Jacke	210	1,3
Kleidung für kaltes Wetter mit Mantel	250...300	1,6...2
Kleidung für kältestes Wetter	450...600	3...4

## Aktivitätsgrad

Der Aktivitätsgrad beeinflusst über die Veränderung der menschlichen Wärmeabgabe die thermische Behaglichkeit.

Bei erhöhter Aktivität z.B. steigt die Wärmeabgabe, sodass zur Sicherstellung der Behaglichkeit ein oder mehrere andere Einflussfaktoren in Richtung erleichterte Wärmeabgabe verändert werden können/müssen. Bei sinkender Aktivität entsprechend umgekehrt.

Tabelle 8: Gesamtwärmeabgabe einer Person bei verschiedenen Aktivitätsgraden

Tätigkeit	W/m <sup>2</sup>	W
ruhend	46	80
sitzend, entspannt	58	100
stehend, entspannt	70	125
sitzend, leichte Tätigkeit (Büro, Wohnung, Schule, Labor)	70	125
stehend, leichte Tätigkeit (Zeichenbrett-Tätigkeit) (Shopping, Labor, leichte Industrie)	81 93	145 170
mäßige körperliche Arbeit (Haus-, Maschinen-Arbeit)	116	200
schwere körperliche Tätigkeit (schwere Maschinenarbeit)	165	300

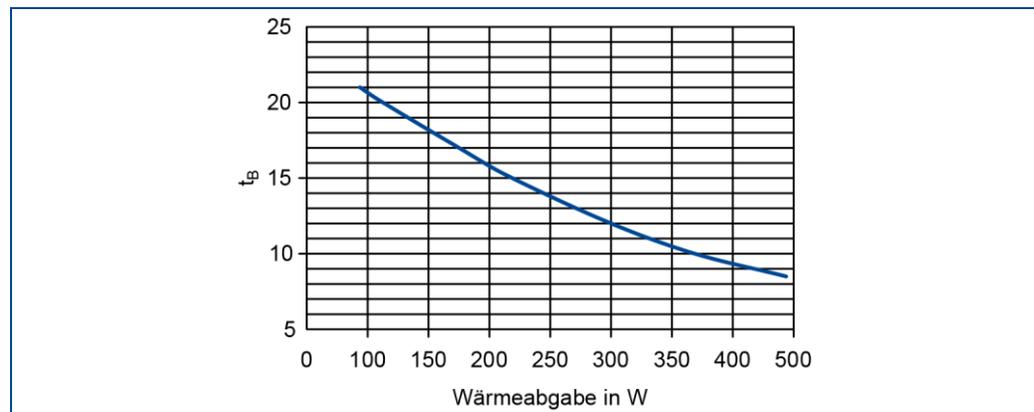


Abbildung 14: Abhängigkeit der Behaglichkeitstemperatur  $t_B$  von der Wärmeabgabe einer Person

Die nachfolgend aufgeführten Einflussfaktoren haben keine Wirkung auf die **thermische** Behaglichkeit, sondern mehr auf das **allgemeine** Behaglichkeitsempfinden.

Was nicht bedeuten soll, dass ihr Einfluss von untergeordneter Natur ist.

Vielmehr spielen hier subjektive Faktoren eine Rolle, die keine eindeutige Rangfolge der Behaglichkeitskriterien zulassen. Es muss angestrebt werden, möglichst viele der Kriterien zu erfüllen, um einen möglichst niedrigen Prozentsatz Unzufriedener zu erhalten.

### Sonstige Einflussgrößen:

- Geruchsstoffe, Gase, Dämpfe
- Staubgehalt in der Luft
- Lärm/Lautstärke
- Beleuchtung/Helligkeit

## Geruchsstoffe, Gase, Dämpfe

Aus eigener Erfahrung wissen wir, dass Gerüche unser Wohlbefinden bzw. das Behaglichkeitsempfinden negativ beeinflussen können.

Gerüche können z.B. entstehen durch:

- Ausdünstungen von Personen, Materialien und Baustoffen
- Abgase
- Tabakrauch, Essen
- industrielle oder gewerbliche Abluft

Zur Herstellung des Wohlbefindens bzw. zur Schaffung gesundheitsverträglicher Raumbedingungen ist eine Lüftung bzw. Geruchsbeseitigung (möglichst direkt an der Quelle) erforderlich.

Für die max. Konzentration von Gasen und Dämpfen an Arbeitsplätzen bestehen gesetzliche Grenzwerte, sog. MAK-Werte (Maximale Arbeitsplatz-Konzentration). Für Wohnräume empfiehlt es sich, wesentlich kleinere Grenzwerte anzustreben.

## Staubgehalt in der Luft

Staub gelangt vorwiegend durch die Außenluft sowie durch Personen und Materialien in den Raum. Der Staub der Außenluft wird beim Vorhandensein einer RLT-Anlage durch Filter, möglichst in unmittelbarer Nähe der Außenluft-Ansaugöffnung, aus der angesaugten Luft herausgefiltert. Der Staubgehalt „normal“ gereinigter Räume führt in aller Regel nicht zur Beeinträchtigung des Wohlbefindens. Lediglich in Zeiten geringer absoluter und relativer Feuchte (beheizte Räume im Winter) kann der Reststaubgehalt durch **Verschmelzung** zur Reizung der Schleimhäute und Geruchsorgane führen.

## Lärm/Lautstärke

Unter Lärm verstehen wir im Allgemeinen störende Schallquellen, die sich durch uneinheitliche Schwingungsamplituden und -frequenzen bemerkbar machen und die nach Stärke, Art und Dauer geeignet sind, Personen im Wohlbefinden zu stören.

Auswirkungen können sein:

- Konzentrationsmangel
- Schlafstörungen
- Beeinflussung von Atmung und Stoffwechsel

Die Maßeinheit der Lautstärke (Schalldruckpegel) ist Dezibel (dB). Mit einer Bewertungskurve (sog. A-Bewertung) wird die Frequenzempfindlichkeit des menschlichen Ohres nachempfunden, was zur häufig verwandten Einheit dB (A) führt.

Für die durch RLT-Anlagen erzeugten Geräusche gilt, dass unter Berücksichtigung der außen vorhandenen Schallpegel ein, je nach Raumnutzung, erforderlicher Wert nicht überschritten werden darf.

Tabelle 9: Richtwerte für Schalldruckpegel

Raumart	Beispiel	A-bewerteter Schalldruckpegel in dB(A)	
		Anforderungen hoch	Anforderungen niedrig
Arbeitsräume	Einzelbüro Großraumbüro	35	40
		45	50
Versammlungsräume	Konzertsaal, Opernhaus Theater, Kino Konferenzraum	25	30
		30	35
		35	40
Wohnräume	Hotelzimmer	30 <sup>1)</sup>	35 <sup>1)</sup>
Sozialräume	Ruheraum, Pausenraum Wasch- und WC-Raum	30	40
		45	55
Unterrichtsräume	Lesesaal Klassen- und Seminarraum, Hörsaal	30	35
		35	40
Räume mit Publikumsverkehr	Museum Gaststätte Verkaufsraum	35	40
		40	55
		45	60
Sportstätten	Turn- und Sporthalle, Schwimmbad	45	50
sonstige Räume	Rundfunkstudio EDV-Raum	15	25
		45	60
<sup>1)</sup> Nachtwerte um 5 dB(A) niedriger			

### 3 Modul 4 LSK2: „Heizungstechnik III“

#### 3.1 Hydraulik und Regelung von Heiz- und Kühldecken

Tendenziell nehmen mit den Jahren die Heizlasten von Gebäuden ab, während die Kühllasten - u.a. glasflächenbedingt - steigen. Heiz- und Kühldeckensysteme sorgen zu jeder Jahreszeit für Behagliche Zustände. Hierfür wird sich verschiedener Systeme bedient. Heizung und Kühlung können im selben System (2-Leiter-System) durch zentrale Umschaltung betrieben werden.

Eine gleichzeitige Beheizung und Kühlung einzelner Zonen wird durch das 4-Leiter-System ermöglicht.

Unabhängig vom eingesetzten System ist eine optimierte Regelung der Raumtemperatur und ein hydraulischer Abgleich des Systems essentiell. Dies wird durch korrekt gewählte und dimensionierte Regelventile und voreinstellbare Regulierventile realisiert, welche auch in Kombination existieren. Zum Erreichen eines Teillastbetriebs mit hoher Regelgüte kann eine Differenzdruckregelung (DDR) in Form mehrerer nachgeschalteter Verbraucher (Gruppenregelung) ebenfalls zum Einsatz kommen. Ein druckunabhängiges Einregulier- und Regelventil (PICV) ist dazu ideal geeignet. Einer integrierten DDR ist eine unter allen Arbeitsbedingungen präzise Temperaturregelung zu verdanken, die sich durch Stabilität auszeichnet. Ein idealer hydraulischer Abgleich wird erreicht, indem der Volumenstrom auch bei voll geöffnetem Regelventil auf den eingestellten Wert begrenzt wird. Weiterhin lassen sich PICV schnell und einfach installieren. Die Abmessungen basieren nur auf der Durchflussrate. Aufwändige Druckabfallberechnungen für Rohrnetze entfallen.

Durch die Verwendung eines 6-Wege-Ventils kann für jede Zone einfach zwischen Heizung und Kühlung umschalten umgeschaltet werden. Dies bedarf weniger Datenpunkte und die Stellantriebe werden durch separate Schalt- und Steuersignale auf ihre jeweilige Heiz- oder Kühlfunktion eingestellt. Das einzelne PICV kann somit je nach Steuersignal unterschiedliche Heiz- oder Kühlvolumenströme realisieren.

### 3.1.1 Zweileitersysteme

Zweileitersysteme besitzen eine zentrale Umschaltung des Heiz- und Kühlbetriebs über ein Umschaltventil. Dies bedingt, dass das Gebäude zeitgleich lediglich geheizt oder gekühlt werden kann.

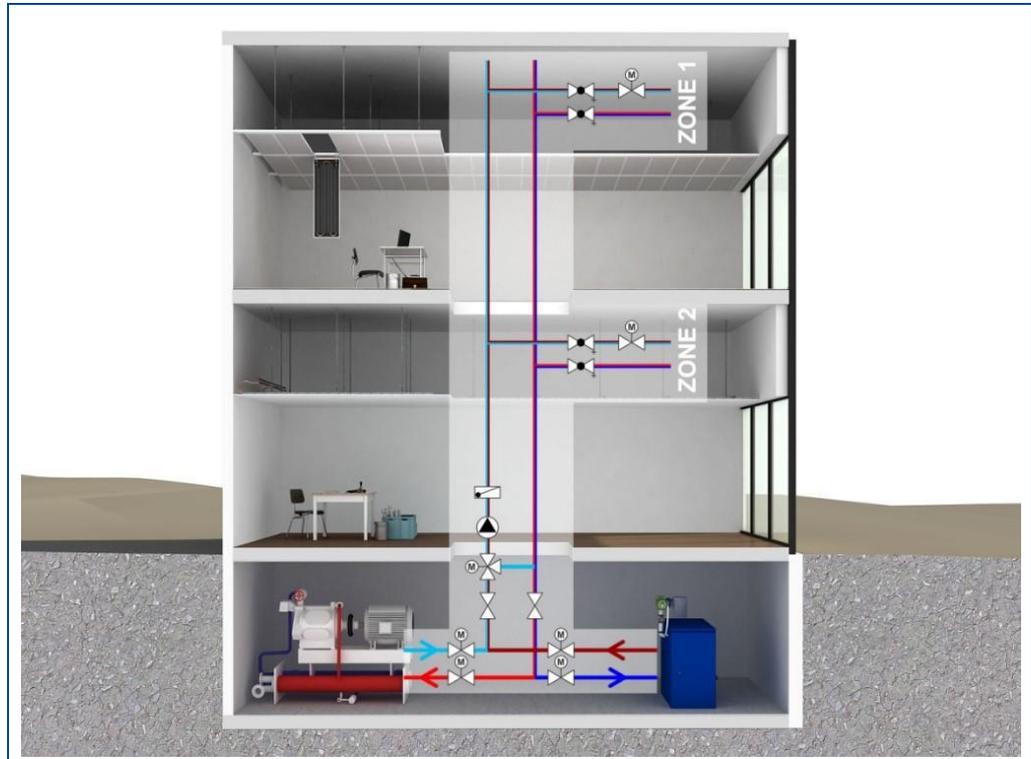


Abbildung 15: Schema 2-Leitersystem, © BVF e.V.

Lösungen mit dem Zweileitersystem setzen sich wie folgt zusammen:

- Zweileitersystem mit statischem Einregulierventil (ERV) und DDR
- Zweileitersystem mit PICV

Die Beschreibung folgt im Folgenden.

### Zweileitersystem mit statischem ERV und DDR

Hier erfolgt eine Zuordnung von statischen ERV und RV nach Regelzone, wobei das ERV auch dem hydraulischen Abgleich dient. Der vorgeschaltete DDR sorgt für eine Regulierung der dynamischen Druckverluste. Das Umschaltventil dient lediglich dem Wechsel zwischen Heiz- und Kühlbetrieb.

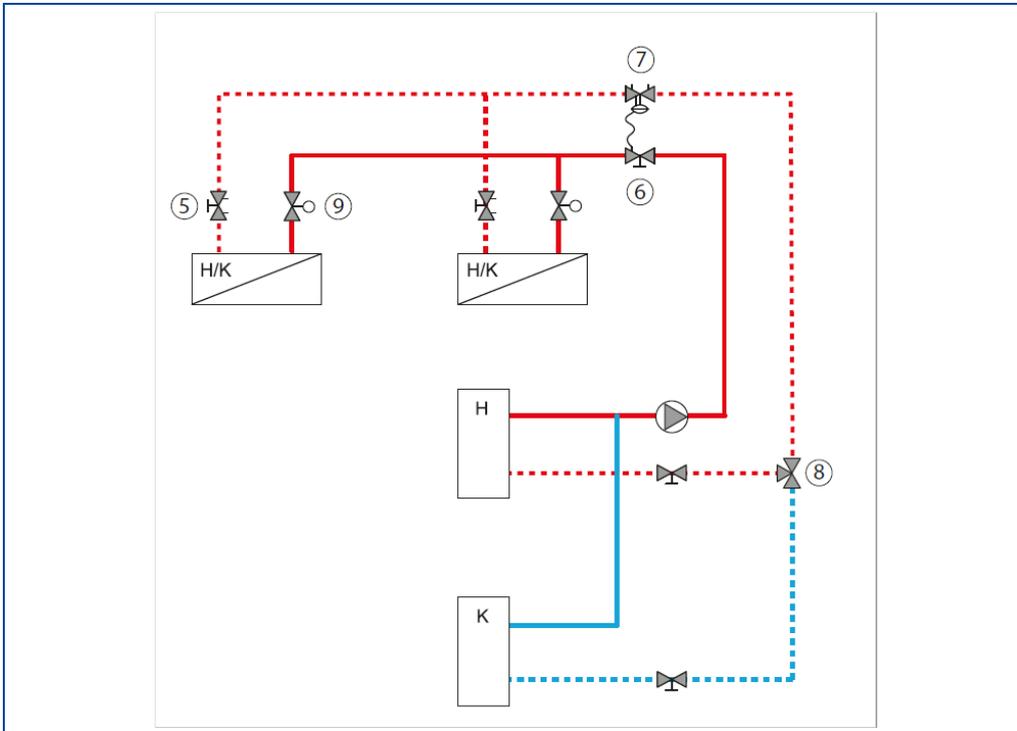


Abbildung 16: Zweileitersystem mit separaten ERV- und Regelventilen an den Verbraucherkreis und DDR als Gruppenregelung, © BVF e.V.

5. ERV
6. ERV mit Anschluss Impulsleitung
7. Differenzdruckregler
8. Umschaltventil
9. Regelventil

Charakteristika:

- stabile und präzise Temperaturregelung hoher Regelgüte zu sämtlichen Betriebsmodi
- DDR an den Abzweigen verbessern die Stabilisierung der Betriebsbedingungen für stetige Regelventile und gewährleisten gute Regelautorität
- reduzierter Pumpenenergieverbrauch
- geringer Wärmeverlust bzw. Wärmeeintrag bei Rücklaufleitungen
- Umschaltventil für Umschaltung auf zentrales Heizen und Kühlen

### Zweileitersystem mit PICV

Diesem hydraulischen System sind den Regelzonen PICV zugeordnet. Dem vorbeschriebenen System entsprechend erfolgt die Umschaltung zwischen Heiz – und Kühlbetrieb zentral durch das Umschaltventil.

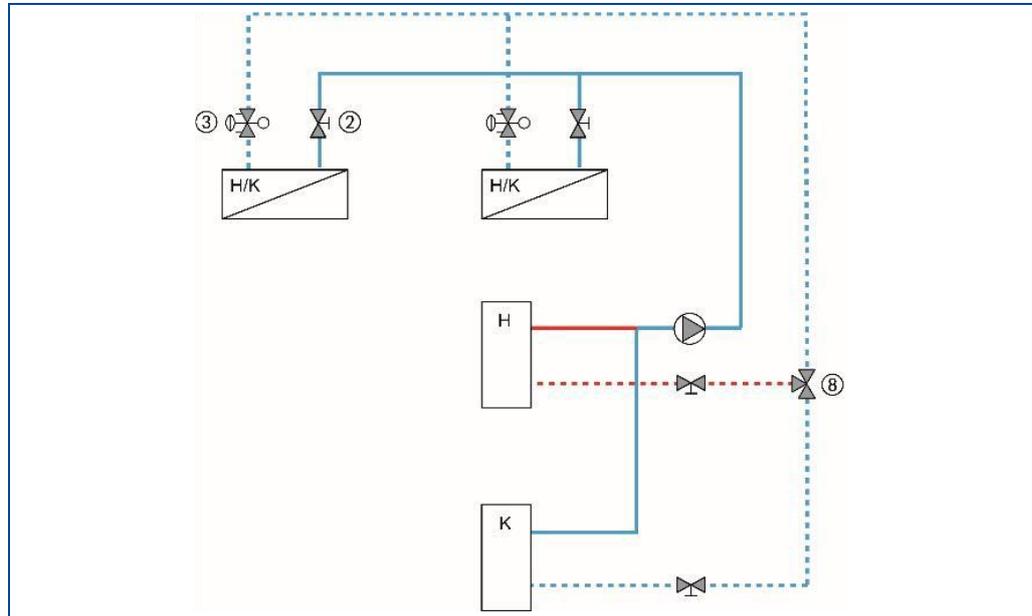


Abbildung 17: Zweileitersystem mit PICV an den Verbraucherkreis (dargestellt ist der Kühlbetrieb im gesamten System), © BVF e.V.

2. Absperrventil handbetätigt
3. PICV
8. Umschaltventil

Charakteristika:

- stabile und präzise Temperaturregelung hoher Regelgüte zu sämtlichen Betriebsmodi
- reduzierter Pumpenenergieverbrauch
- geringer Wärmeverlust bzw. Wärmeeintrag bei Rücklaufleitungen
- Umschaltventil für Umschaltung auf zentrales Heizen und Kühlen
- druckunabhängige Regelung mit hoher Regelautorität für stetige Regelung
- unkomplizierte Ventildimensionierung nach Nenndurchfluss
- einfache Einstellung des maximalen Volumenstroms an jedem Ventil

### 3.1.2 Vierleitersysteme

Vierleitersysteme zeichnen sich dadurch aus, dass in jeder Regelzone ERV- und Regelventile zuzuordnen sind, die jeweils die Heiz- und Kühlfunktion übernehmen.

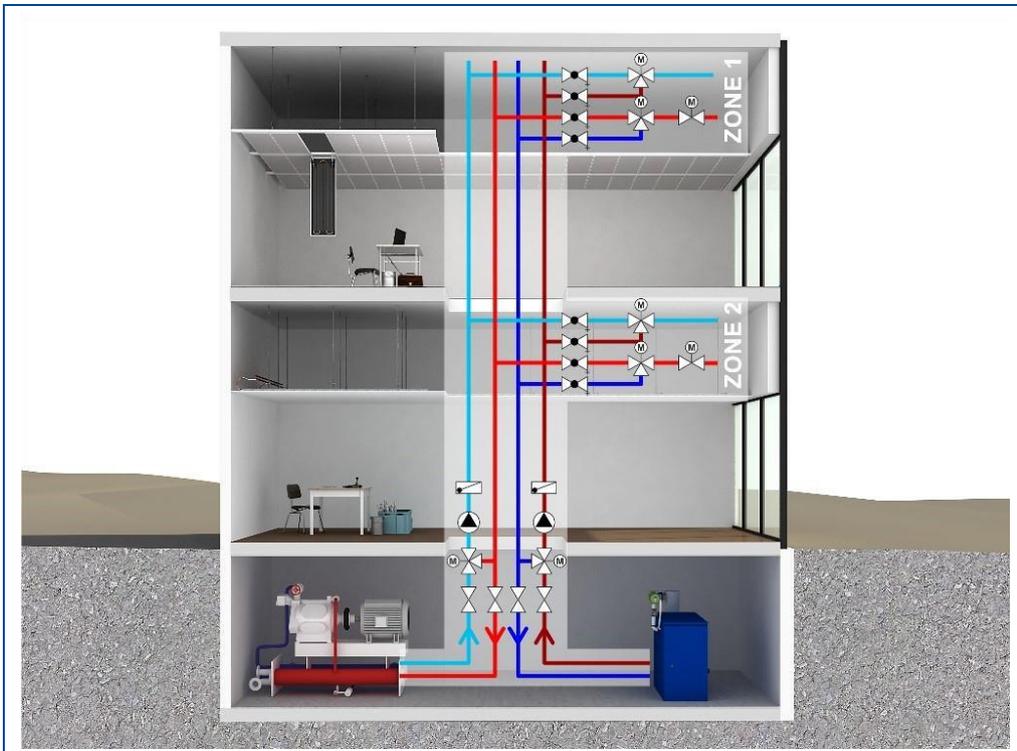


Abbildung 18: Schema 4-Leitersystem, © BVF e.V.

Zusammengesetzt aus:

- Vierleitersystem mit statischem ERV und DDR und
- Vierleitersystem mit PICV

Im Folgenden werden diese nun beschrieben.

### Vierleitersystem mit statischem ERV und DDR

Dieses System weist ebenfalls statische ERV- und Regelventile zum Heizen und Kühlen auf, bei dem ersteres für den hydraulischen Abgleich zuständig ist. Der vorgeschaltete DDR übernimmt den Abgleich dynamischer Drücke. Im Gegensatz zu vorstehenden Systemen erfolgt die Umschaltung zwischen heiz- und Kühlbetrieb zonenabhängig über die Regel- sowie zusätzliche Absperrventile mit Stellantrieb.

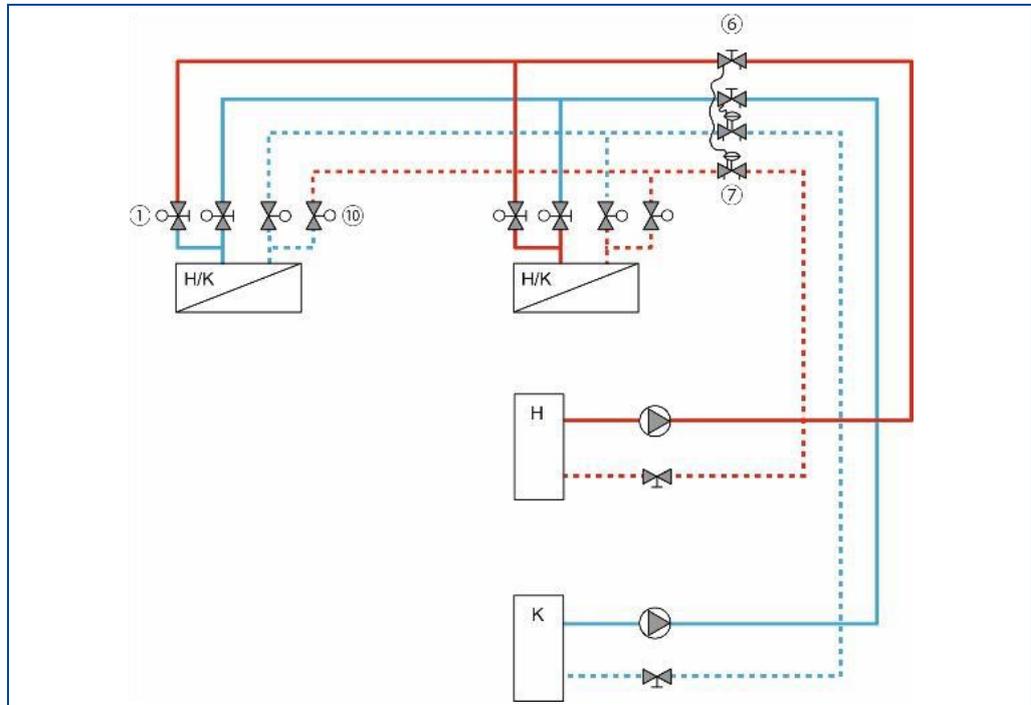


Abbildung 19: Vierleitersystem mit kombinierten Einregel- und Regelventilen an den Verbraucherkreis, und Differenzdruckregler als Gruppenregelung (dargestellt ist der raumgeführte Heiz- bzw. Kühlbetrieb), © BVF e.V.

1. Kombiniertes Einregel- und Regelventil
2. Einreguliertventil mit Anschluss Impulsleitung
3. DDR
4. Absperrventil mit Stellantrieb

Charakteristika:

- stabile und präzise Temperaturregelung hoher Regelgüte zu sämtlichen Betriebsmodi
- reduzierter Pumpenenergieverbrauch
- geringer Wärmeverlust bzw. Wärmeeintrag bei Rücklaufleitungen
- DDR an den Abzweigen verbessern die Stabilisierung der Betriebsbedingungen für stetige Regelventile und gewährleisten gute Regelautorität

### Vierleitersystem mit PICV

Bei diesem hydraulischen System sind jeder Regelzone PICV jeweils zum Kühlen und zum Heizen zugeordnet. Die Umschaltung zwischen Kühlen und Heizen erfolgt je Regelzone über die Regelventile.

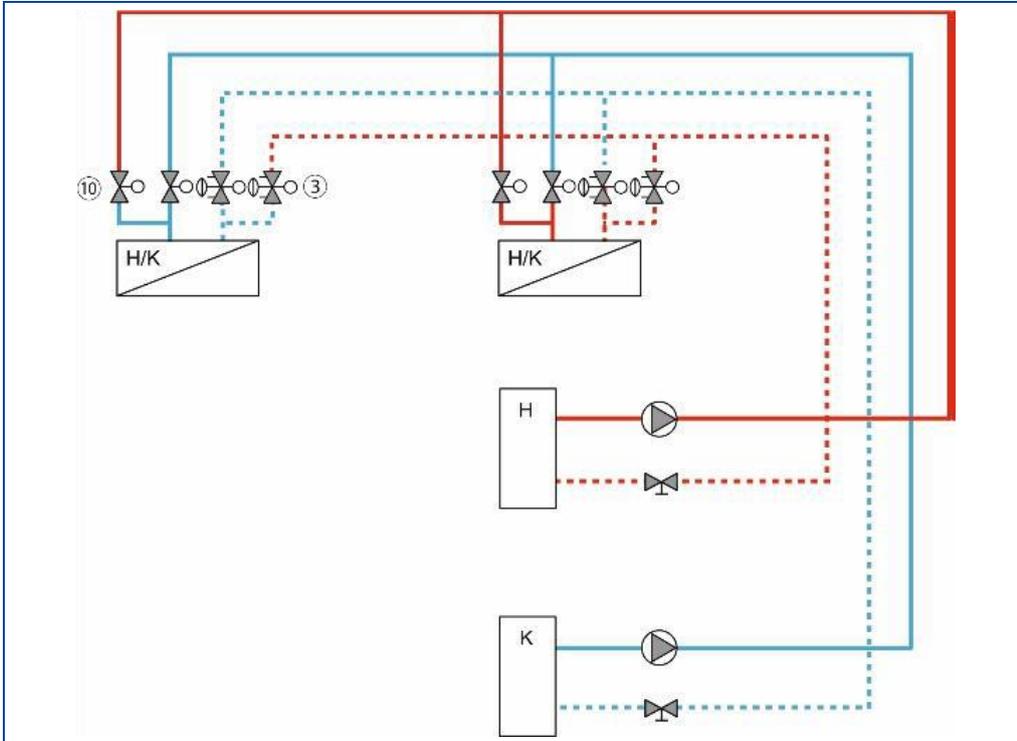


Abbildung 20: Vierleitersystem mit PICV an den Verbraucherkreisen (dargestellt ist der raumgeführte Heiz- bzw. Kühlbetrieb), © BVF e.V.

#### Charakteristika:

- stabile und präzise Temperaturregelung hoher Regelgüte zu sämtlichen Betriebsmodi
- reduzierter Pumpenenergieverbrauch
- geringer Wärmeverlust bzw. Wärmeeintrag bei Rücklaufleitungen
- Umschaltventil für Umschaltung auf zentrales Heizen und Kühlen
- druckunabhängige Regelung mit hoher Regelautorität für stetige Regelung
- unkomplizierte Ventildimensionierung nach Nenndurchfluss
- einfache Einstellung des maximalen Volumenstroms an jedem Ventil

### Vierleitersystem mit PICV und 6-Wege-Ventil

Die Hydraulik weist in jeder Regelzone 6-Wege-Ventile und PICV auf. Auch für die Umschaltung von Heiz- du Kühlbetrieb ist das 6-Wege-Ventil vorgesehen.

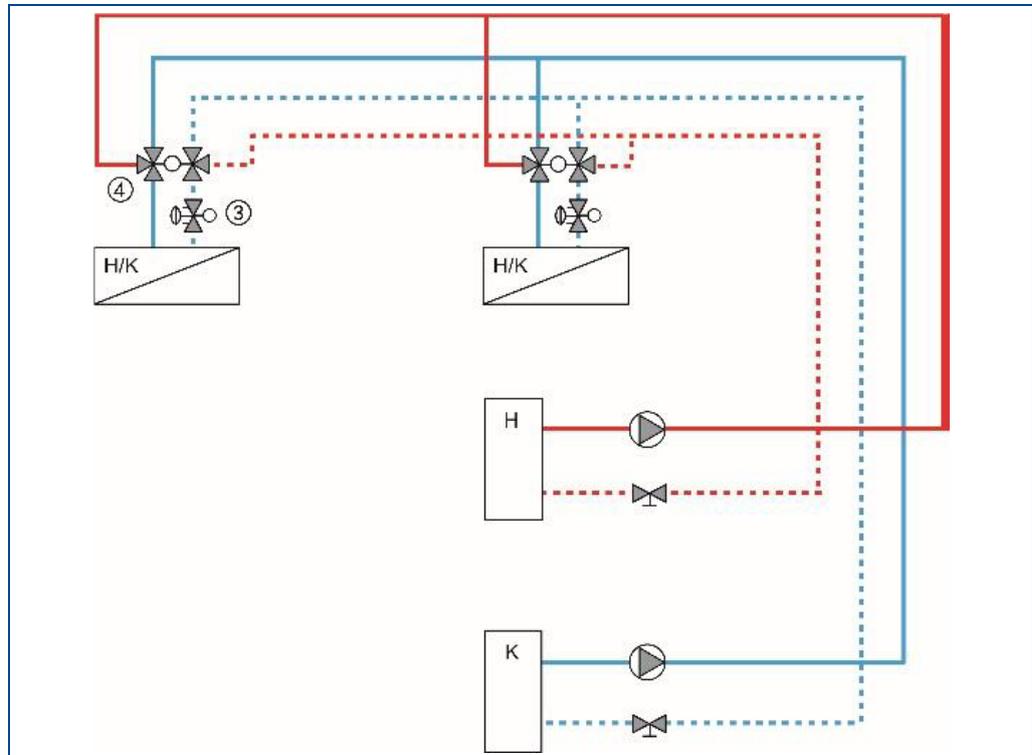


Abbildung 21: Vierleitersystem mit PICV und 6-Wege-Ventilen zur Umschaltung an den Verbraucher (dargestellt ist der raumweise Kühlbetrieb), © BVF e.V.

#### Charakteristika:

- stabile und präzise Temperaturregelung hoher Regelgüte zu sämtlichen Betriebsmodi
- reduzierter Pumpenenergieverbrauch
- geringer Wärmeverlust bzw. Wärmeeintrag bei Rücklaufleitungen
- Umschaltventil für Umschaltung auf zentrales Heizen und Kühlen
- druckunabhängige Regelung mit hoher Regelautorität für stetige Regelung
- unkomplizierte Ventildimensionierung nach Nenndurchfluss
- einfache Einstellung des maximalen Volumenstroms an jedem Ventil
- druckunabhängige Regelung mit hoher Regelautorität für stetige Regelung
- 6-Wege-Ventil für Umschaltung auf dezentralen Heiz- bzw. Kühlbetrieb

### 3.1.3 Vergleich der Systeme

Die vorherigen Ausführungen legen nahe, dass einprägsam folgende übergeordnete Unterschiede bei den Systemen herrschen.

#### Zweileitersysteme

- Heiz- und Kühlbetrieb werden zentral umgeschaltet
- nach Umschaltung nur Heiz- oder Kühlbetrieb möglich
- wirtschaftlich abbildbare Lösung der Betriebszustände
- reduzierter Installationsaufwand

#### Vierleitersysteme

- Umschaltung zwischen Heiz- und Kühlbetrieb raumweise
- Räume können unabhängig voneinander geheizt oder gekühlt werden
- komfortable Lösung für Betriebszustände
- hoher Installationsaufwand

**Merke**

Die Systeme besitzen spezifische Stärken und Schwächen. Die oben genannten fünf Systeme werden nach folgenden Kriterien bewertet:

- Energieeffizienz
- Investition
- Aufwand
- Warmwasserbilanz
- Thermische Behaglichkeit

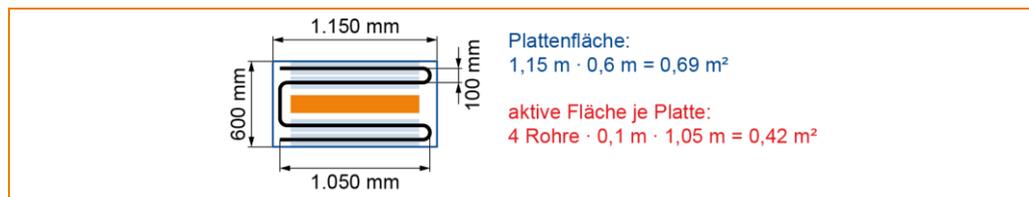
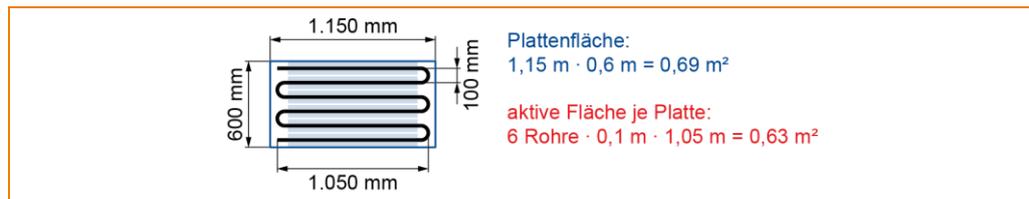
Tabelle 10: Vergleich der dargestellten Lösungen

System	Energieeffizienz	Investition	Aufwand Hydraulischer Abgleich	Thermischer Komfort
	gering ↔ hoch	gering ↔ hoch	gering ↔ hoch	gering ↔ hoch
Zweileiter statisch (Abbildung 16)	– – X – –	– – X – –	– – – – X	– X – – –
Zweileiter mit PICV (Abbildung 17)	– – – – X	– X – – –	X – – – –	– – X – –
Vierleiter statisch (Abbildung 19)	– – – X –	– – – X –	– – – – X	– – – X –
Vierleiter mit PICV (Abbildung 20)	– – – – X	– – – X –	X – – – –	– – – – X
Vierleiter mit PICV und 6-Wege-Ventil (Abbildung 21)	– – – – X	– – X – –	X – – – –	– – – – X

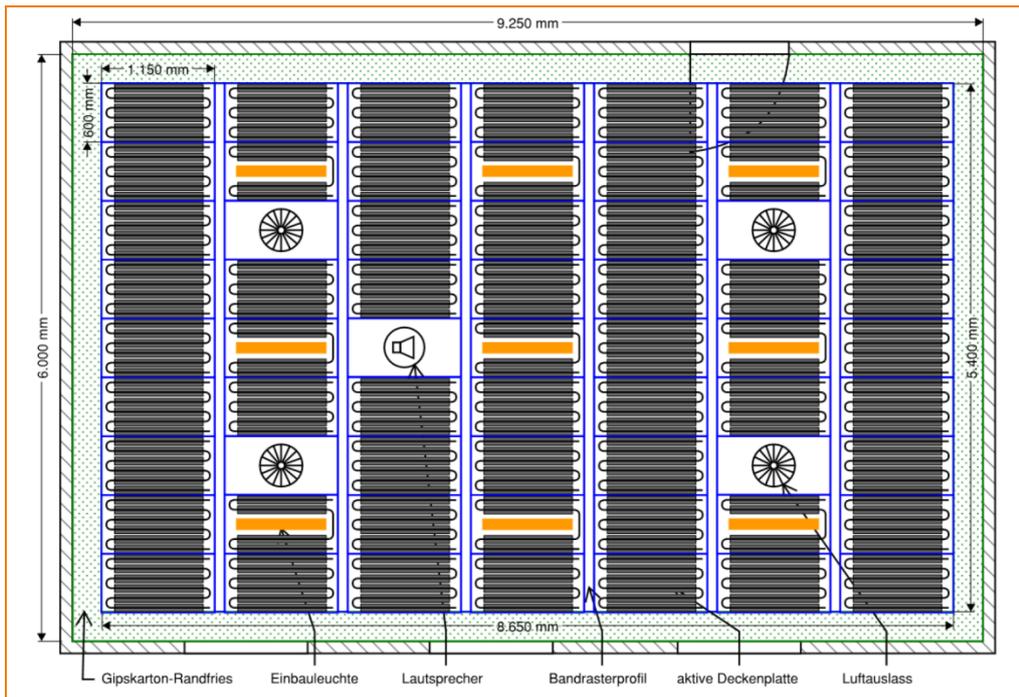
Entsprechend bietet die Matrix eine Hilfestellung für etwaige Handlungsempfehlungen.

### Lehrbeispiel 2.3: Hydraulik und Regelung

- Kühllast nach VDI 2078
  - 50 W/m<sup>2</sup> Bodenfläche
  - Max Raumtemperatur von 26 °C.
- Heizlast nach EN 12831
  - 30 W/m<sup>2</sup> Bodenfläche
  - Raumtemperatur von 30 °C.
- Konstruktionsvorgabe
  - Metalldecke
  - Raum- und Plattenmaße siehe nächste Abbildungen



- Weitere Details siehe Lehrbeispiel 2.1 und Kapitel 2, Aufgabe 1
- Ohne akustische Vorgaben
- Weiße, pulverbeschichtete Oberfläche mit Lochung Rg 2,0/20
- Normkühlleistung der der Metalldecke:
  - 80 W/m<sup>2</sup><sub>aktiv</sub> bei Untertemperatur von 8 K
  - 103 W/m<sup>2</sup><sub>aktiv</sub> bei Untertemperatur von 10 K
- Normkühlleistung der der Metalldecke:
  - 122 W/m<sup>2</sup><sub>aktiv</sub> bei Übertemperatur von 15 K



Deckenspiegel, © BVF e.V.

Raumfläche:  $6\text{ m} \cdot 9\text{ m} = 55,5\text{m}^2$

Installationsfläche:  $8,65\text{m} \cdot 5,4\text{ m} = 46,7\text{ m}^2$

Aktive Fläche:  $49\text{ stk.} \cdot 0,63\text{ m}^2 + 9\text{ stk.} \cdot 0,42\text{ m}^2 = 34,65\text{ m}^2$

Tabelle 11: Flächenanteile

Einheit	Raumfläche	Installationsfläche	Aktive Fläche nach EN 14240
m <sup>2</sup>	55.5	46.71	34.65
%	100	84	62

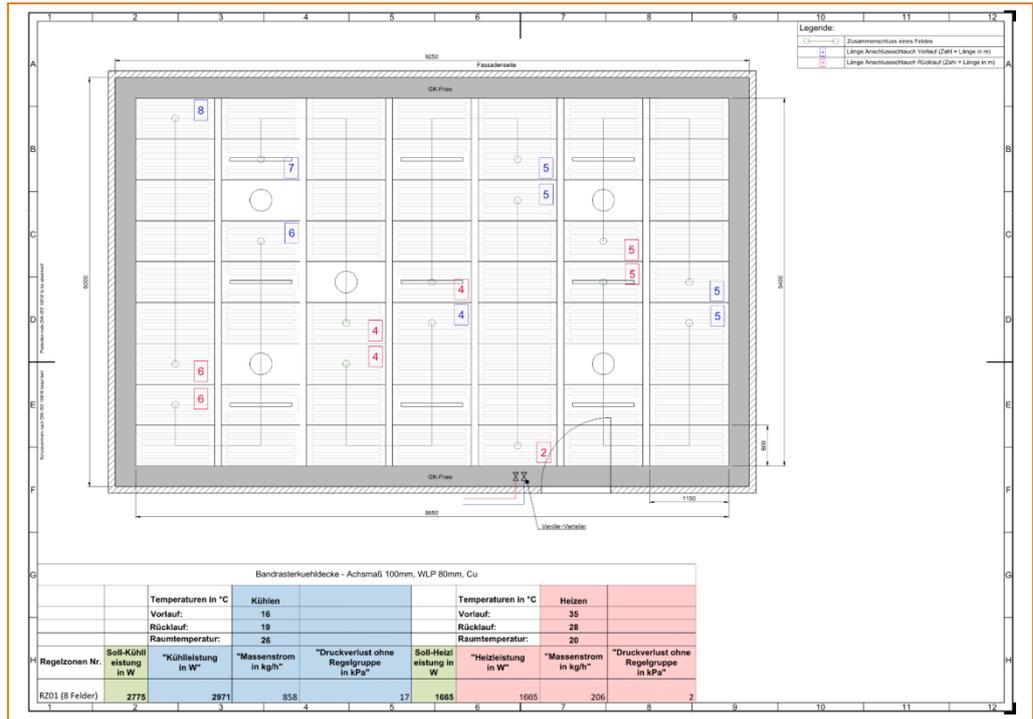
Vorlauftemperatur:  $\Theta_{VL} = 16^\circ\text{C}$

Rücklauftemperatur:  $\Theta_{RL} = 19^\circ\text{C}$

oper. Raumtemperatur:  $\Theta_R = 26^\circ\text{C}$

Spezifische Kühlleistung:  $q_a = 85,8\text{ W/m}^2$

Gesamtkühlleistung:  $Q = 2971\text{ W}$



© BVF e.V.

Beim Heizen wird der Leistung genauso berechnet wie beim Kühlen. In diesem Fall ist häufig eine niedrigere maximale Durchflussrate erforderlich. Dies wird durch ein konstantes Steuersignal (0-10V) an den Stellantrieb über eine Hubregelung erreicht.

Tabelle 12: Hydraulische Berechnung am Beispiel „Kühlen“

Erläuterung der Berechnung	Beispiel
<p>Ermittlung des max. Volumenstrom des Kühlmediums <math>q_w</math> einer Kühldecken-Regelzone</p> $\dot{Q} = q_w \cdot \rho_w \cdot C_p \cdot (\theta_{RL} - \theta_{VL})$ $\dot{Q} = \dot{Q} / (\rho_w \cdot C_p \cdot (\theta_{RL} - \theta_{VL}))$ $\text{respektive } q_w = \frac{\dot{Q}}{(\rho_w \cdot C_p \cdot (\theta_{RL} - \theta_{VL}))}$ <p>mit spez. Wärmekapazität <math>C_p = 1,163 \text{ Wh}/(\text{kg}\cdot\text{K})</math> Dichte von Wasser <math>\rho_w = 998 \text{ kg}/\text{m}^3</math></p>	<p>Beispielraum: <math>q_w = 2971 \text{ W}/998 \text{ kg}/\text{m}^3 \cdot 1,163 \text{ Wh}/(\text{kg}\cdot\text{K}) \cdot (19^\circ\text{C} - 16^\circ\text{C}) = 0,853 \text{ m}^3/\text{h} = 853 \text{ l/h}</math></p>
<p>Festlegung der Art der Regelgruppe: 6-Weg-Umschaltventil + PICB</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Einfache Umschaltung Heizen/ Kühlen nach Bedarf je Raum</li> <li>▪ Genaue Durchflussregelung mit PICV</li> <li>▪ Ideale Raumtemperaturen</li> <li>▪ Keine komplexe hydraulische Berechnung notwendig</li> </ul> <p>Anmerkung: PICV = druckunabhängiges Regel- und Einreguliertventil</p>	<p>Auswahl: 6-Weg-Umschaltventil (Heizen/ Kühlen) + PICV mit stetigem Regelsignal (0-10V) zur genauen Durchflussregelung</p>
<p>Bestimmung der Dimension der Regelgruppe Der maximale Durchfluss durch das PICV + 6-Weg-Umschaltventil bestimmt die Dimension DN Der max. Durchfluss kann je nach Hersteller unterschiedlich sein</p>	<p>Auswahl: DN20 zur Erreichung von <math>q_w=853 \text{ l/h}</math> Dies ist der Einstellwert für das PICV</p>
<p>Gesamtdruckverluste (<math>\Delta p</math>) berechnen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Der maximale Druckverlust wird bestimmt durch den hydraulisch ungünstigsten Kühldeckenkreis</li> <li>▪ Dies kann der größte Kühlkreis sein und/ oder der am weitesten entfernteste Kühldeckenkreis</li> <li>▪ Bei Einsatz von PICV keine komplexe Berechnung der Hydraulik notwendig</li> <li>▪ Der maximale Gesamtdruckverlust besteht im Einzelnen aus:             <ul style="list-style-type: none"> <li>– <math>\Delta p</math> Kühldeckenkreis</li> <li>– <math>\Delta p</math> Regelgruppe</li> <li>– <math>\Delta p</math> Rohrleitung</li> <li>– <math>\Delta p</math> Sonstige Einbauten (z.B. Schmutzfänger, WMZ, zentrales Regelventil)</li> <li>– <math>\Delta p</math> Wärmeübertrager (Kälte-Erzeuger/ -Aggregat)</li> </ul> </li> </ul>	
<p><math>\Delta p</math> Kühldeckenkreis</p>	<p>Lt. Berechnung Kühldeckenhersteller <math>\Delta p</math> Kühldecke = 17 kPa</p>
<p><math>\Delta p</math> Regelgruppe Minstdifferenzdruck <math>\Delta p_{\min}</math> des PICV - siehe Angabe Hersteller Der <math>\Delta p</math> des 6-Weg-Umschaltventils ist abhängig vom <math>k_{vs}</math>-Wert</p>	<p>Lt. Angaben des jeweiligen Herstellers <math>\Delta p_{\min}</math> PICV (DN20) = 16 kPa <math>\Delta p</math> 6-Weg-Ventil (DN20) = 4,5 kPa (<math>k_{vs} = 4,0 \text{ m}^3/\text{h}</math>) <math>\Delta p</math> Regelgruppe = (16 + 4,5) kPa = <b>20,5 kPa</b></p>

Erläuterung der Berechnung	Beispiel
<p><math>\Delta p</math> Rohrleitung</p> <p>In Abhängigkeit von Rohrdimension DN, Werkstoff und gesamter Rohrlänge errechnet sich der Gesamte Druckverlust in der Rohrleitung</p> <p>Der Anlagenplaner dimensioniert die Rohrdimension nach allgemeinen rechnerischen Vorgaben</p> <p>Als allgemeiner Wert (Faustformel) kann ca. 100 Pa/m inkl. Einzelwiderstände verwendet werden</p>	<p>Annahme: Länge der Rohrleitung Vorlauf = 75m Rücklauf = 75m → gesamt L = 150m Gewählter spez. Rohrdruckverlust = 100 Pa/m</p> <p><math>\Delta p</math> Rohrleitung = L x spez. Rohrdruckverlust <math>\Delta p</math> Rohrleitung = 150m x 100 Pa/m = 15000 Pa</p> <p><math>\Delta p</math> Rohrleitung = <b>15,0 kPa</b></p>
<p><math>\Delta p</math> Sonstige Einbauten</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Hier kann ein Zuschlag erfolgen (z.B. Schmutzfänger, WMZ, zentrales 3-Weg-Regelventil)</li> </ul>	ohne
<p><math>\Delta p</math> Wärmeübertrager (Kälte-Erzeuger)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>üblicherweise erfolgt eine Auslegung zwischen 10 kPa und 20 kPa</li> </ul>	<p>Wärmeübertrager (Kühl-WT) Annahme = <b>15 kPa</b></p>
Gesamtdruckverlust ( $\Delta p$ gesamt)	<p><math>\Delta p</math> gesamt = (17 + 20,5 + 15 + 15) kPa <math>\Delta p</math> gesamt <b>67,5 kPa</b></p>
<p>Ermittlung der Gesamtfördermenge der Pumpe</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Summe aller Durchflüsse je Raum, die von der Umwälzpumpe versorgt werden</li> </ul>	<p>Annahme: 10 Räume à 852 l/h Regelgruppe DN20 10 Räume à 700 l/h Regelgruppe DN20 10 Räume à 400 l/h Regelgruppe DN15</p> <p><math>q_{w,ges} = (10 \times 853 + 10 \times 700 + 10 \times 400) \text{ l/h} = 19,530 \text{ l/h}</math> <math>q_{w,ges} = \text{ca. } 19,53 \text{ m}^3/\text{h}</math> Gesamtfördermenge</p>
<p>Auslegung der Umwälzpumpe nach den zwei wesentlichen Kriterien:</p> <p>Gesamtfördermenge</p> <p>Max. Druckverlust im System <math>\Delta p</math> gesamt</p>	<p>Ergebnis:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Gesamtfördermenge = <b>19,53 m<sup>3</sup>/h</b></li> <li><math>\Delta p</math> gesamt = <b>67,5 kPa</b></li> </ul>

Die hydraulische Anbindung der Regelgruppe erfolgte über ein Vierleitersystem mit einem Sechsheventil zum Umschalten zwischen Heiz- und Kühlbetrieb in Kombination mit einem PICV. Die gewünschte Durchflussmenge (853 l/h) wird im Ventil über die Skala des PICV voreingestellt. Druckunabhängige Regelventile sollen angeschlossene Verbraucher (z.B. Heiz- und Kühldeckenkreise) auch bei Druckschwankungen im Leitungsnetz bedarfsgerecht versorgen und dabei eine gleich hohe Ventilautorität gewährleisten. So werden hydraulischer Abgleich und optimale Regelung von Heiz- oder Kühldeckenkreisläufen ohne aufwändige hydraulische Berechnungen konstant und sicher gewährleistet. Wie Sie dem Berechnungsbeispiel entnehmen können, sind PICV und 6-Wege-Umschaltventil ausgewählt. Das 6-Wege-Umschaltventil schaltet nur zwischen die Heiz- oder Kühlfunktion. Der Heiz- und Kühlbedarf wird geregelt, indem der Volumenstrom über einen Stellantrieb mit konstantem Steuersignal (0-10 V) eines druckunabhängigen Ventils gesteuert wird. Gemäß diesem Beispiel wird das PICV auf einen Kühlmedienvolumenstrom von 853 l/h eingestellt.



## **4 Modul 5 LSK3: „Bauvertragsgestaltung, Bauobjektüberwachung und -betreuung“**

### **4.1 Schadstoffgutachten - lesen und verstehen**

Schadstoffe, vor allem in Innenräumen, sind ein hochsensibles Thema, da die Gesundheit maßgeblich und langfristig beeinträchtigt werden kann. Schadstofffassung, -bewertung und -sanierung sind daher wichtige, jedoch anspruchsvolle Aufgaben, die zwingend Sachkunde, Spezialwissen und Erfahrung erfordern.

In diesem Kapitel wird auf das Schadstoffgutachten näher eingegangen. In einem Schadstoffgutachten wird die Belastungssituation von Gebäuden erfasst und fundiert hinsichtlich der davon ausgehenden Gefahren (Gefährdungsbeurteilung) bewertet.

#### 4.1.1 Rechtliche Grundlagen eines Schadstoffgutachtens

Der Begriff „Schadstoffe“ ist noch nicht legaldefiniert, umgangssprachlich sind mit Schadstoffen jedoch organische und anorganische Stoffe gemeint, die für die Umwelt und/oder den Menschen gefährlich sind, weil sie schädliche Wirkungen haben können.

Das „Gefahrenstoffrecht“, als Teil des Umweltrechts, umfasst die Gesamtheit der gesetzlichen Regelungen, die dem Schutz der Umwelt sowie dem Schutz des Menschen vor dem beschriebenen Gefahrenpotenzial aufweisen. Die rechtlichen Grundlagen sind umfangreich und tangieren neben dem Umweltrecht auch das Arbeitsschutzrecht sowie des Bauordnungsrecht.

Tabelle 13: Für Schadstoffgutachten relevante rechtliche Regelungen (nicht abschließend)

Bezeichnung	Inhalt	Stand
<b>Umweltrecht</b>		
Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 (REACH-Verordnung)	Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung von Chemikalien	01. Juni 2007
Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 (CLP-Verordnung)	Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen	28. Oktober 2020
Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG)	Zentrale Bundesgesetz des deutschen Abfallrechts	10. August 2021
Nachweisverordnung (NachwV)	Ausführungsbestimmung zum Kreislaufwirtschaftsgesetz zur Dokumentation der Abfallbewirtschaftung	20. Oktober 2006
Bundes-Immissionschutzgesetz (BImSchG)	Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge	26. September 2002
<b>Bauordnungsrecht</b>		
Musterbauordnung (MBO)	Standard- und Mindestbauordnung, die von den Sachverständigen der Arbeitsgemeinschaft für Städtebau, Bau- und Wohnungswesen ausgearbeitet worden ist.	November 2002
Die Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS)	Arbeitsmedizin und Arbeitshygiene sowie sonstige gesicherte arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse für Tätigkeiten mit Gefahrstoffen, einschließlich deren Einstufung und Kennzeichnung	Januar 2014
VDI/GVSS 6202 Blatt 1	Tätigkeiten mit Schadstoffen bei Abbruch-, Sanierungs-, Instandhaltungs- und Wartungsarbeiten in baulichen und technischen Anlagen	Oktober 2013
<b>Arbeitsschutzrecht</b>		
Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG)	deutsches Gesetz zur Umsetzung der Richtlinie 89/391/EWG. Das Arbeitssicherheitsgesetz ist das „Controlling-Gesetz“ zum Arbeitsschutzgesetz.	17. September 2022
Chemikaliengesetz (ChemG)	Gesetz zum Schutz vor gefährlichen Stoffen im Bereich der Bundesrepublik Deutschland	10. August 2021
Biostoffverordnung (BioStoffV)	Verordnung zum Schutz von Arbeitnehmern bei Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen	01. Oktober 2021
Gefahrstoffverordnung (GefStoffV)	Verordnung zum Schutz vor gefährlichen Stoffen im deutschen Arbeitsschutz	01. Oktober 2021

### 4.1.2 Vorgehensweise bei Sanierung, Rückbau und Umnutzung

Werden Gebäude saniert, um- oder zurückgebaut können schadstoffhaltige Materialien anfallen. Wichtig ist die Kenntnis über das Vorgehen in einem solchen Fall. Die grundsätzliche Vorgehensweise ist in allen genannten Fällen identisch (siehe Abbildung).

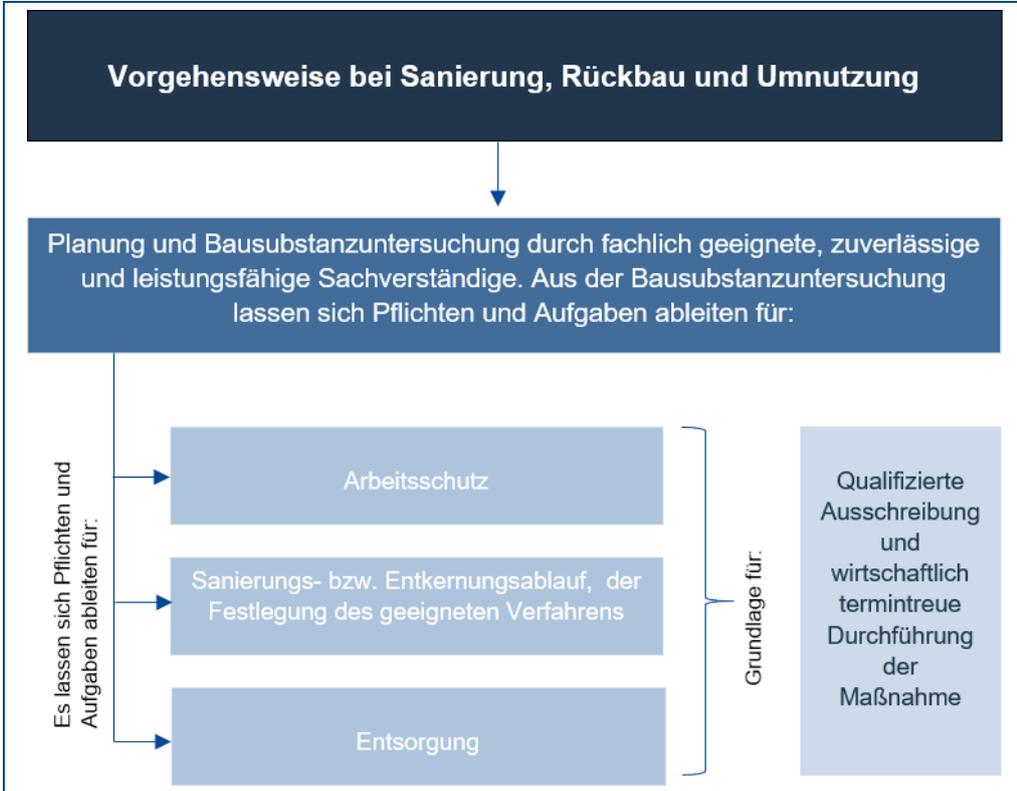


Abbildung 22: Vorgehensweise bei Sanierung, Rückbau und Umnutzung

**Bestandsaufnahme und Bausubstanzuntersuchung**

Im Rahmen der Bausubstanzuntersuchung können die Materialien entweder beprobungslos klassifiziert werden (dies ist der Fall, wenn die Materialien zweifelsfrei bestimmt werden können) oder z.B. mittels labortechnischer Untersuchungen oder Raumluftmessungen.

Die Tabelle zeigt Schadstoffe, die häufig in Bauteilen enthalten sein können.

Tabelle 14: Schadstoffe, die in Bauteilen enthalten sein können (nicht abschließend)

Bauteile		mögliche Schadstoffe
Bodenplatten	Tragschichte	PAK
	Sperrschichten	PAK, MKW, KMF
Wände	erdberührt	Außenisolierungen
	außen	Fassadenverkleidungen
	innen	Wandverkleidungen
Decken	Fehlbodenschüttungen	PAK, Schwermetalle
	Brandschutzverkleidungen	Asbest, PCB
	Dämmungen	KMF, Asbest
	Deckenverkleidungen	KMF, Asbest, PCB, Holzschutzmittel
Böden	Fliesenklebstoffe	PAK, Asbest, Phenole
	Kunststoffbeläge	Asbest
	Parkettklebstoffe	PAK, Phenole
	Guss- und Spachtelmassen	PCB, Asbest
	Trittschalldämmung	KMF, PAK
	Industrieestriche	Asbest, Chlorid, Phenole
Fenster, Türen, Treppen	Fensterbänke	Asbest
	Feuerschutztüren	KMF, Asbest
	Dämmungen	KMF, Asbest, PAK
Dächer	Isoliermaterialien	KMF, PAK
	Dachpappen	PAK
Kamine	Verbrennungsrückstände	PAK, Schwermetalle
	Feuerschutzklappen	Asbest
Haustechnik	Rohrleitungen	Asbest
	Leuchtstofflampen	Quecksilber
Sonstiges	Farben	Blei, Cadmium, Chrom, Zink, PCB
	Putze	Sulfat
KMF = künstliche Mineralfasern MKW = Mineralölkohlenwasserstoffe PAK = polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe PCB = polychlorierte Biphenyle		

Bei der Bausubstanzuntersuchung sind auch das Baujahr der Immobilie bzw. der Zeitraum der Verwendung der Materialien erforderlich. Mit diesen Daten kann bereits eine erste Beschränkung des Untersuchungsumfanges erfolgen, die einige Schadstoffe nur in einem bestimmten Zeitraum verbaut wurden.

Tabelle 15: Verwendungsverbote relevanter Schadstoffe (nicht abschließend)

Schadstoff		Verbot in der BRD	Verbot in der DDR
Asbest:	Spritzasbest	ab 1979	ab 1969
	schwach gebundener Asbest	ab 1982	ab 1977
	Asbestzement	ab 1992	
PCB:	offene Anwendung	ab 1978	ab 1984
	Produkte mit Gehalten > 50 mg/kg	ab 1989	
PAK:	Asphaltestriche, Bauwerksabdichtungen	ab Mitte 1960	
	Stabparkette	ab 1979	
	Stirnholzparkette	ab 1995	
	Teerölbehandelte Holzzeugnisse	ab 2002	
KMF		ab 2000	

Zu beachten ist, dass auch „jüngere“ Gebäude Schadstoffbelastungen aufweisen können, wie z.B. Phenole in Estrichen oder Sulfat im Beton.

Aus den Erkenntnissen über den Gebäudeaufbau und die verwendeten Materialien wird ein Sanierungs- bzw. Rückbau- und Entsorgungskonzept entwickelt. Ebenso das Arbeitsschutzkonzept. Besonders bei komplexen Maßnahmen wird es in der Regel erforderlich sein, eine eindeutige und erschöpfende Leistungsbeschreibung zu erstellen, worin die wesentlichen Bauprodukte sowie ihre Anfallsorte erfasst sind.

### Schadstoffkataster

Bei umfangreichen Maßnahmen kann es sich anbieten, ein Schadstoffkataster zu führen, indem die schadstoffbelasteten Bauprodukte aufgeführt werden. Im Zuge der Sanierungsarbeiten kann das Kataster fortgeschrieben und Bestandteil der Unterlage nach der Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz auf Baustellen (BaustellV) werden.

### Genehmigungsplanung

Im Zuge des Ausbaus von belasteten Materialien, sind Genehmigungs- und Kenntnisgabeverfahren zu beachten.

Bei einem Genehmigungsverfahren werden nicht allein bauliche Fragen behandelt, sondern es wird auch geprüft, ob ggf. eine andere Behörde eingebunden werden muss (z.B. Denkmalamt, Abfallwirtschaftsamt).

Das Kenntnisgabeverfahren wird in einigen Bundesländern bei Abbruchmaßnahmen praktiziert. Der Bauherr muss hier eigenverantwortlich prüfen, welche Rechtsbereich betroffen sind. Im Gegensatz zum Genehmigungsverfahren führt das Kenntnisgabeverfahren nicht zu einer Mitverantwortung der Ämter im Planungsprozess, dafür besteht jedoch eine Vereinfachung bei den einzureichenden Genehmigungsunterlagen.

### Risiken bei Umnutzungen

Die Nutzungsänderung einer Anlage ist ein baurechtliches Vorhaben, welches zwingend planungsrechtlich zulässig sein muss. Eine Nutzungsänderung ist immer dann anzunehmen, wenn die Funktion der bisherigen zulässigen Nutzung sich wesentlich ändert und damit die Genehmigungsvoraussetzungen neu geprüft werden müssen (eine Baugenehmigung ist einzuholen).

Gleichwohl können bereits in der Vergangenheit Umnutzungen stattgefunden haben. In dessen Folge kann es vorkommen, dass die verwendeten Materialien nicht einheitlich bzw. nicht homogen eingesetzt wurden. Diese Eventualität sollte stets Berücksichtigung finden, damit bei versehentlich falschem Umgang mit Schadstoffen das Leben und die Gesundheit von Personen nicht beeinträchtigt werden.

#### 4.1.3 Schadstoffe und andere Gefährdungen

Nachfolgend werden einige bedeutende Schadstoffe und Gefährdungen hinsichtlich Vorkommen, Eigenschaften sowie gesundheitlicher Gefährdung näher beschrieben.

Tabelle 16: Gesundheitsrisiken einige organischer und anorganischer Schadstoffe

Bezeichnung	Gesundheitsrisiken				
	nach TRGS 905 (Verzeichnis krebserzeugender, keimzellmutagener oder reproduktionstoxischer Stoffe) bzw. Liste der krebserzeugenden, keimzellmutagenen und reproduktionstoxischen Stoffe (KMR-Stoffe)				
	K	M	RF	RD	H
<b>organische Schadstoffe</b>					
PCP	1B	2	-	1B	ja
PCB	2	-	1B	1B	ja
PAK (hier Benzo(a)pyren)	1B	1B	1B	1B	ja
Formaldehyd	1B	2			
<b>anorganische Schadstoffe</b>					
Blei			1A	1A	
Quecksilber			1B		
Asbest	1A				
K= krebserzeugend (karzinogen) M = keimzellmutagen RF = reproduktionstoxisch: fruchtbarkeitsgefährdend (kann Fruchtbarkeit beeinträchtigen) RD = reproduktionstoxisch: entwicklungsschädigend (Kann das Kind im Mutterleib schädigen) H = hautresorptiv Kategorien nach Anhang I der CLP-Verordnung: Kategorie 1A: schädliche Wirkung nachgewiesen Kategorie 1B: schädliche Wirkung wahrscheinlich Kategorie 2: Verdacht auf schädliche Wirkung					

## Organische und Anorganische Schadstoffe mit chemischen Schadwirkungen

Bei organischen Schadstoffen bzw. organische Verbindungen handelt es sich beispielsweise um PCB (polychlorierte Biphenyle), PCP (Pentachlorphenol) und PAK (polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe). Sie bestehen immer aus Kohlenstoff, enthalten meist Wasserstoff, können aber auch viele andere Elemente wie Sauerstoff, Stickstoff, Schwefel, Phosphor und Halogene oder auch Metalle enthalten.

Die Überprüfung auf organische Schadstoffe kann mittels Material-, Hausstaub- oder Raumluftprobenahmen mit anschließender Analytik erfolgen. Material-Beprobungen erfolgen in der Regel dann, wenn überprüft werden soll, ob die Materialien die zu untersuchenden Verbindung enthalten. Ebenso wird Material beprobt, um es hinsichtlich der späteren Entsorgung klassifizieren und einem Abfallschlüssel zuordnen zu können. Staubuntersuchungen werden zumeist als Screeningmethode durchgeführt, zu Feststellung von SVOC (semi volatile organic compounds), POM (Polyformaldehyd) oder auch PAK. Raumluftuntersuchungen sind dann erforderlich, wenn das Gefährdungspotenzial und die Sanierungsdringlichkeit ermittelt werden sollen.

Aufgrund des vielfältigen Vorkommens, soll ein besonderes Augenmerk auf PAK gelegt werden. PAK (Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe) sind eine Stoffgruppe von Einzelverbindungen mit mindestens zwei aneinander gebundenen Benzolringen, die bei Erhitzung bzw. unvollständiger Verbrennung von organischem Material wie Holz, Kohle oder Öl unter Sauerstoffmangel entstehen können. PAK ist ein natürlicher Bestandteil fossiler Energieträger (Erdöl z.B. enthält zwischen 0,2 und 7 % PAK). Es gibt geschätzte 10.000 PAK-Verbindungen. PAK wurden vielseitig verwendet und sind auch heute allgegenwärtig (siehe Tabelle 14). Die Gesundheitsgefahren werden durch alle PAK verursacht, welche als krebserzeugend, erbgutverändernd und fruchtschädigend auf Menschen angesehen werden. Zudem kann die Fortpflanzungsfähigkeit beeinträchtigt werden (Tabelle 16). PAK können bei deren Gebrauch über die Haut aufgenommen, sie binden sich gut an Staub und Ruß und können daher sehr weit transportiert werden.

Zur Ermittlung einer PAK-Belastung eignen sich die vorab genannten Verfahren, es ist zusätzlich eine erste Ansprache über Geruchstests möglich (gummiartig-öliger Geruch). Je nach Art und Umfang der Probenahme kann ein Arbeits- und Sicherheitsplan nach TRGS 524 erstellt werden, welcher eine Gefährdungsbeurteilung der Probenahme und ggf. erforderliche Schutzmaßnahmen enthält.

## Asbest und künstliche Mineralfasern

Asbestfaser und künstliche Mineralfasern (KMF) sind anorganische Fasern. Asbest ist dabei die Sammelbezeichnung für natürlich vorkommende, faserartige silikatische. Asbest ist chemisch sehr beständig, unempfindlich gegen Hitze und nicht brennbar, es weist eine hohe Elastizität und Zugfestigkeit auf und lässt sich aufgrund seiner Bindefähigkeit mit anderen Materialien leicht zu Produkten verarbeiten. Wegen dieser besonderen Eigenschaften wurde Asbest seit etwa 1930 in einer Vielzahl von Produkten eingesetzt (siehe Tabelle 14) und über Jahrzehnte in sehr großen Mengen beim Bauen verwendet (von 1950 bis 1985 etwa 4,4 Millionen Tonnen). Aufgrund der damals häufigen Verwendung, begegnet man auch heute noch häufig asbesthaltigen Materialien, weshalb Asbest in diesem Kapitel einen besonderen Stellenwert einnimmt.

Charakteristisch für Asbest ist seine Eigenschaft, sich in feine Fasern zu zerteilen, die sich der Länge nach weiter aufspalten und dadurch leicht eingeatmet werden können. Die eingeatmeten Fasern wiederum können langfristig in der Lunge verbleiben und gesundheitliche Probleme bewirken (z.B. Asbestose oder Lungenkrebs).

Liegt Asbest in der Bausubstanz vor, dürfen Abbruch-, Sanierungs- und Instandhaltungsarbeiten nur von Firmen ausgeführt werden, die über die erforderlichen personellen und sicherheitstechnischen Voraussetzungen verfügen und eine entsprechende Zulassung der zuständigen Behörde besitzen.

Bei der Entsorgung asbesthaltiger Produkte sind zwingend die Vorgaben des Abfallrechts zu beachten. Hierbei ist zu beachten, dass bis jetzt keine Unbedenklichkeitsschwelle oder -grenze nach unten hin festgelegt wurde, welche angibt, ab wann ein Bauabfall als asbesthaltig gilt oder nicht. Daher reicht derzeit der positive Nachweis einer Probe aus, damit der gesamte Abfall als gefährlicher Abfall klassifiziert wird. Weitere Angaben finden sich in der Vollzugshilfe zur Entsorgung asbesthaltiger Abfälle der LAGA (Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall).

### Gefährdungen durch ionisierende und nicht ionisierende Strahlung

Obwohl Radioaktivität nicht im Fokus der Schadstoffe steht, ist sie stets mehr oder weniger vorhanden und sollte daher in dieser Stelle auch Beachtung finden.

Strahlung wird, abhängig von ihrer Energie, in ionisierende Strahlung und nichtionisierende Strahlung unterteilt. Im Gegensatz zur ionisierenden Strahlung reicht bei der nichtionisierenden Strahlung die Energie der Strahlung nicht aus, um Atome oder Moleküle in einen elektrisch geladenen Zustand zu versetzen (zu ionisieren). Bei der nichtionisierenden Strahlung handelt es sich folglich nicht um eine radioaktive Strahlung.

Die nichtionisierende Strahlung wird je nach Wellenlänge und Frequenz in mehrere ineinander übergehende Bereiche unterteilt (siehe folgende Abbildung).

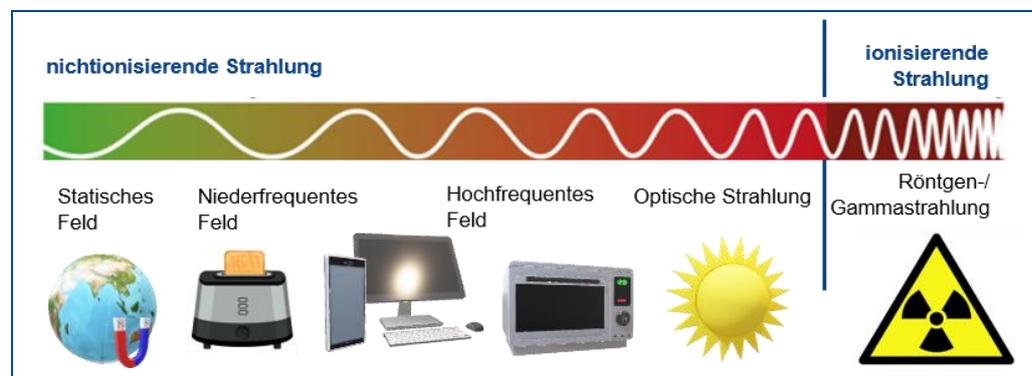


Abbildung 23: Ionisierende und nichtionisierende Strahlung

Radioaktive Stoffe auf der Erde können sowohl natürlichen oder künstlichen Ursprungs sein. Gesteine und Erden können, und damit auch die daraus hergestellten Baustoffe, können radioaktive Stoffe enthalten und somit radioaktive Strahlung abgeben. Insbesondere bei dem Edelgas Radon ist dies der Fall. Radon entsteht weltweit im Boden und kann ggf. über die Undichtigkeiten im Gebäude in Innenräume gelangen.

Gesundheitliche Auswirkungen von Radioaktivität entstehen durch die Ionisation (ionisierte Atome oder Moleküle sind nicht mehr chemisch stabil und es können Folgereaktionen ausgelöst werden).

Wenn radioaktive Strahlung auf den menschlichen Körper trifft, wird sie vom Gewebe aufgenommen (absorbiert), wo sie vielfältige Wirkungen hervorrufen kann. Ob und in welchem Ausmaß eine Strahlenbelastung eines Organismus zu einem gesundheitlichen Schaden führt, hängt von der Strahlendosis, der Strahlenart und davon ab, welches Organ oder Gewebe des Körpers hauptsächlich betroffen ist. Ist die Strahlendosis sehr hoch, kann das Gewebe oder der gesamte Organismus absterben. Die Strahlenschäden können aber auch repariert werden. Erfolgt dies fehlerhaft, können langfristig Schäden (z.B. die Entstehung von Krebs) entstehen.

#### 4.1.4 Typische Schadstoffvorkommen

Gebäude können eine Fülle schädlicher oder bei der Entsorgung gefährlicher Stoffe enthalten. Diese Schadstoffe sind jedoch nicht immer leicht zu erkennen. In diesem Kapitel soll daher ein besonderes Augenmerk auf mögliche Vorkommen von Schadstoffen liegen.

Als Schadstoffe werden dabei alle Stoffe in einem Gebäude verstanden, die aufgrund ihrer chemischen, physikalischen oder biologischen Eigenschaften den Nutzer oder den mit Arbeiten am Gebäude Betrauten oder aber auch die Umwelt gefährden können.

Schadstoffe können grundsätzlich als primäre Belastungen vorliegen. Das bedeutet, sie wurden während des Herstellungsprozesses als Zusatzstoffe in die Baustoffe eingebracht (zum Beispiel PCB als Weichmacher in Fugendichtmassen oder Asbest als Faserarmierung in Asbestzementprodukten). Viele dieser Stoffe wurden zunächst wegen ihrer guten technischen Eigenschaften im Bauwesen vielfältig verwendet, bevor man die schädliche Wirkung festgestellt hat.

Sekundäre Belastungen (Sekundärquellen) entstehen dann, wenn Schadstoffe nachträglich ein zuvor unbelastetes Material kontaminieren. Dies kann z.B. auf dem Luftweg oder durch direkten Kontakt erfolgen. Auch nutzungsbedingte Belastungen können als sekundäre Belastungen angesehen werden. Zu diesen gehören vor allem Verunreinigungen, die durch den Umgang mit Gefahrstoffen im Zusammenhang mit Produktion, Tätigkeiten oder auch unsachgemäßer Lagerung entstanden sind.

Neben den in diesem Kapitel genannten Schadstoffen, können auch biologisch bedingte Gefährdungen vorliegen. So werden Gebäude, die lange Zeit leer stehen, oft von Tauben oder anderem Getier besiedelt und dadurch mit Kot verunreinigt. Bei Feuchteschäden kann es zudem häufig zu Schimmelbildung kommen.

Mögliche Bauteile, die Schadstoffe enthalten könnten, wurden in Tabelle 14 bereits genannt. Nachfolgend sollen die möglichen Verteilungsmuster der Schadstoffe im Gebäude tabellarisch näher dargestellt werden.

Schadstoffe in Bauteilen und Baukonstruktionen

Tabelle 17: Schadstoffe in Bauteilen und Baukonstruktionen (nicht abschließend)

Asbest		KMF	Holzschutzmittel/ Biozide	PCB	PAK	VOC	Schwer-/ Halbmetalle
fest gebunden	schwach gebunden						
<b>Gründungen, erdberührte Bauteile und Außenanlagen</b>							
Teermassen im Straßenbau	Asbestpappe in verlorener Schalung	Isoliermatten gegen kalte Bauteile	Imprägnierungen von Holzständerwerken	Korrosionsschutz von Stahlrohren	Gussmassen, Klebstoffe, Imprägnierungen	Lösemittel in Beschichtungen gegen Bodenfeuchte	Bleibleche in historischen Bauten
<b>Bauteilfugen</b>							
AZ-Abdeckplatten	Seile als Stopfschnüre	Filze in Zwischenräumen		Fugenmassen	teerhaltige Korkplatten	Lösemittel in Beschichtungen	
<b>Außenwände</b>							
AZ-Fassadenplatten	Asbestpappen	Filzmatten für die Kerndämmung	Imprägnierungen von Holzständerwerken	Fugenmassen, Betonfarben	Gussmassen, Isolieranstriche		Bleibleche
<b>Fenster, Türen und Tore</b>							
AZ-Platten	Asbestpappen	Filzmatten	Imprägnierungen	Fugenmassen	Gussmassen, Kitte	Imprägnierungen	Bleistege und Lötstellen
<b>Innenwände</b>							
AZ-Platten	Asbest-Platten als Brandschutzwände	Mineralwollmatten	Holzpaneelwände	Fugenmassen, Betonfarben	Fugenmassen, Anstriche	Lösemittel in Metallbaulacken	Bleiblechdichtungen
<b>Decken</b>							
AZ-Wellplatten	Asbestpappen in Deckenplatten	Mineralwollmatten	Imprägnierungen für Holzpaneelwände	Fugenmassen	Imprägnierungen von Hölzern		Bleiblechdichtungen
<b>Treppen, Schächte und Anschlussfugen</b>							
Durch erhöhte Brandschutzanforderungen in Treppenhäuser ist dort mit mehr Asphaltprodukten zu rechnen							
AZ-Platten für Füllungen	Brand-schutzauf-doppelungen			Kunstharze			Bleipigmente in Lackfarben
<b>Böden und Bodenbeläge</b>							
AZ-Platten in Doppelböden	Trockenestrichplatten	Mineralwollmatten	Imprägnierungen von Holzböden	Estrich-epoxidharzbeschichtungen	Gussmassen und Anstriche	Imprägnierungen von Parkettböden	Bleipigmente in Lackfarben

### Schadstoffe in technischen Einrichtungen

Tabelle 18: Schadstoffe in technischen Einrichtungen (nicht abschließend)

Asbest		KMF	Formaldehyd	PCB	PAK	VOC	Schwer-/Halbmetalle
fest gebunden	schwach gebunden						
<b>Kaltwasserversorgungsanlagen und Abwasseranlagen</b>							
AZ-Rohre aller Größen	Asbestpappen in Isolierungen	Mineralwollmatten für Rohrisolierungen	Pressmassen	Epoxidharzbeschichtungen von Schwimmbädern, Fugenmassen	Gussmassen und Anstriche für Nassraumabdichtungen	Reaktionsbestandteile von Beschichtungen für Nassräume	Bleiwasserrohre, Kupferwasserrohre
<b>Gas- und Wärmeversorgungsanlagen</b>							
AZ-Formteile für Zuluftkanäle	Leichte asbesthaltige Platten für Heizkesselisolierungen	Mineralwollmatten für Isolierung Heizungsanlagen	Reaktionsharzbestandteile	Lackbeschichtungen von Brandschutztüren		Brennstoffanteile	Bleimenge in Rostschutzfarben
<b>Elektrische Anlagen</b>							
AZ-Montageplatten	Asbesthaltige Platten als Kabelkanäle	Mineralwollmatten für Wärmeschutz von Stahlschränken	Reaktionsharzbestandteile von Formschamisolierungen	Füllungen Wickelkondensatoren	Teerpapiere für die Umwicklung von Elektroleitungen		Quecksilber in Thermometern
<b>Lufttechnische Anlagen</b>							
AZ-Formteile für Lüftungskanäle	Asbesthaltige Platten als Lüftungskanäle	Mineralwollmatten für die Wärmeisolierung	Verbundklebstoffe		Fugenmassen in Dichtungen	Duftstoffe zur Raumdorierung	Bleimenge in Rostschutzfarben
<b>Aufzüge</b>							
AZ-Platten für Innenverkleidungen	Asbesthaltige Platten als Aufzugverkleidung	Mineralwollmatten für die Füllung von Aufzugtüren		Hydrauliköle			Bleimenge in Rostschutzfarben
<b>Bühnenbau und Bühnentechnik</b>							
AZ-Platten in Leichtbauwänden	Spritzasbest im Deckenbereich						

**Sonstige Vorkommen von Schadstoffen**

Tabelle 19: Sonstige Vorkommen (nicht abschließend)

Asbest		Holzschutzmittel/ Biozide	Formaldehyd	PCB	PAK	VOC	Schwer-/ Halbmetalle
fest gebunden	schwach gebunden						
<b>Gebrauchsgegenstände und Kleingeräte</b>							
AZ-Formteile für Blumenkübel, Aschenbecher, Balkonkästen	Werkunterlagen aus Asbestpappe, Asbestmassen in Dochten	Anwendungsapparate wie Verdampfer, schädlingstreibende Ausrüstung	Verbundklebstoffe	Kondensatorfüllungen, Weichmacher für verschiedene Kunststoffe	Beimengungen in Kunststoffen wie bei preiswerten Importprodukten	Klebstoffe in Haushalts- und Heimwerkerbedarf	Bleimennige in Rostschutzfarben
<b>Brandstellen</b>							
PAK in Rauchgaskondensat an Decken und Wänden oberhalb des entstandenen Rauchhorizontes							
Halogenverbindungen wie Chloride und Salzsäure aus verbranntem Chlororganischen Materialien (z.B. PVC in Belägen, Kabel, Kunststoffrahmen)							

**4.1.5 Entsorgung von Schadstoffen**

Das Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (KrWG) definiert Abfälle als alle Stoffe oder Gegenstände, derer sich ihr Besitzer entledigt, entledigen will oder entledigen muss. Der Besitzer muss sich Stoffen oder Gegenständen entledigen, wenn diese nicht mehr entsprechend ihrer ursprünglichen Zweckbestimmung verwendet werden, aufgrund ihres konkreten Zustandes geeignet sind, gegenwärtig oder künftig das Wohl der Allgemeinheit, insbesondere die Umwelt, zu gefährden und deren Gefährdungspotenzial nur durch eine ordnungsgemäße und schadlose Verwertung oder gemeinwohlverträgliche Beseitigung ausgeschlossen werden kann.

Abfall kann in gefährlichen und als nicht gefährlichen Abfall unterschieden werden. Gefährlicher Abfall sind diejenigen Abfallarten, mit festgelegten Gefährlichkeitsmerkmalen - sie stellen eine Gefahr für die Gesundheit und/oder die Umwelt dar. Für gefährliche Abfälle existieren spezielle Entsorgungswege und -verfahren, die zwingend einzuhalten sind, denn sie gewährleisten eine sichere und umweltverträgliche Zerstörung der enthaltenen Schadstoffe.

Die rechtliche Grundlage für die Bezeichnungen und die Einstufung von Abfällen in der Europäischen Union ist das Europäische Abfallverzeichnis (EAV), welches in Deutschland mit der Abfallverzeichnisverordnung (AVV) ins nationale Recht überführt wurde. Alle Abfallarten, die im EAV als gefährlich eingestuft sind, werden durch einen Stern (\*) hinter der Abfallschlüsselnummer gekennzeichnet.

Tabelle 20: Auszug aus der Abfallverzeichnis-Verordnung - AVV

<b>Abfall-schlüssel</b>	<b>Abfallbezeichnung</b>
17	Bau- und Abbruchabfälle (einschließlich Aushub von verunreinigten Standorten)
17 01	Beton, Ziegel, Fliesen und Keramik
17 01 01	Beton
17 01 02	Ziegel
17 01 03	Fliesen und Keramik
17 01 06*	Gemische aus oder getrennte Fraktionen von Beton, Ziegeln, Fliesen und Keramik, die gefährliche Stoffe enthalten
17 01 07	Gemische aus Beton, Ziegeln, Fliesen und Keramik mit Ausnahme derjenigen, die unter 17 01 06 fallen
17 02	Holz, Glas und Kunststoff
17 02 01	Holz
17 02 02	Glas
17 02 03	Kunststoff
17 02 04*	Glas, Kunststoff und Holz, die gefährliche Stoffe enthalten oder durch gefährliche Stoffe verunreinigt sind
17 03	Bitumengemische, Kohlenteer und teerhaltige Produkte
17 03 01*	kohlenteerhaltige Bitumengemische
17 03 02	Bitumengemische mit Ausnahme derjenigen, die unter 17 03 01 fallen
17 03 03*	Kohlenteer und teerhaltige Produkte
17 04	Metalle (einschließlich Legierungen)
17 04 01	Kupfer, Bronze, Messing
17 04 02	Aluminium
17 04 03	Blei
17 04 04	Zink
17 04 05	Eisen und Stahl
17 04 06	Zinn
17 04 07	gemischte Metalle
17 04 09*	Metallabfälle, die durch gefährliche Stoffe verunreinigt sind
17 04 10*	Kabel, die Öl, Kohlenteer oder andere gefährliche Stoffe enthalten
17 04 11	Kabel mit Ausnahme derjenigen, die unter 17 04 10 fallen
17 05	Boden (einschließlich Aushub von verunreinigten Standorten), Steine und Baggergut
17 05 03*	Boden und Steine, die gefährliche Stoffe enthalten
17 05 04	Boden und Steine mit Ausnahme derjenigen, die unter 17 05 03 fallen
17 05 05*	Baggergut, das gefährliche Stoffe enthält
17 05 06	Baggergut mit Ausnahme desjenigen, das unter 17 05 05 fällt
17 05 07*	Gleisschotter, der gefährliche Stoffe enthält
17 05 08	Gleisschotter mit Ausnahme desjenigen, der unter 17 05 07 fällt
17 06	Dämmmaterial und asbesthaltige Baustoffe
17 06 01*	Dämmmaterial, das Asbest enthält
17 06 03*	anderes Dämmmaterial, das aus gefährlichen Stoffen besteht oder solche Stoffe enthält
17 06 04	Dämmmaterial mit Ausnahme desjenigen, das unter 17 06 01 und 17 06 03 fällt
17 06 05*	asbesthaltige Baustoffe
17 08	Baustoffe auf Gipsbasis

Sowohl die Vermeidung als auch die Bewirtschaftung von Abfällen unterliegen nach § 47 Abs. 1 KrWG der Überwachung durch die zuständigen Behörden in den Bundesländern. In jenen Ländern, in denen eine Andienungs- und Überlassungspflicht für gefährliche Abfälle besteht, muss der Abfall erzeugende Betrieb seine Behörde über Art, Menge und Zusammensetzung des Abfalls sowie über die vorgesehene Entsorgungsanlage informieren. Die Behörde weist den Abfall dann einer geeigneten Entsorgungsanlage zu. Je nach Abfallart können ganz unterschiedliche Entsorgungsverfahren zum Einsatz kommen.

### Abfallwirtschaftliche Grundziele und Hierarchiestufen

Die Abfallwirtschaft wird durch die Vorgabe in der EU-Abfallrahmenrichtlinie 2008/98/EG von einer fünfstufigen Zielhierarchie bestimmt:

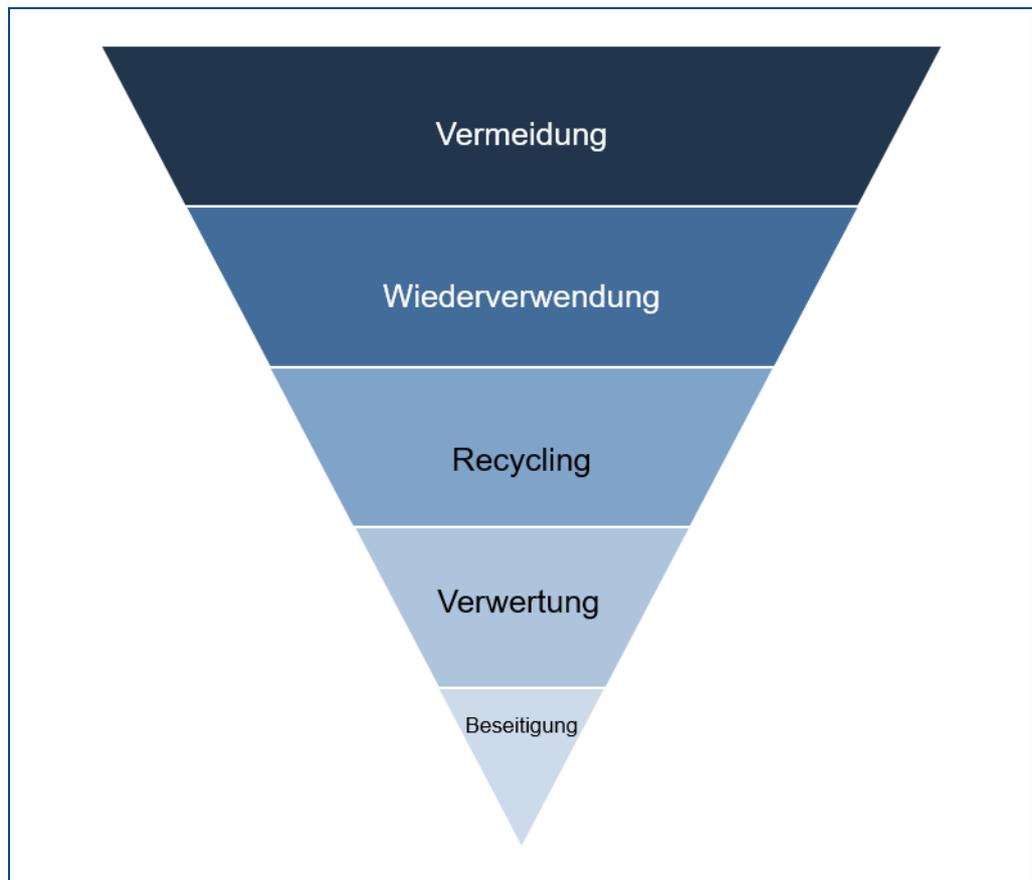


Abbildung 24: Fünfstufige Zielhierarchie in der Abfallwirtschaft

Die EU und all ihre Mitgliedstaaten sind verpflichtet, Abfälle entsprechend der vorgegebenen Abfallhierarchie zu entsorgen. Die Kernaussage ist: Die Abfallbewirtschaftung darf die Umwelt und die menschliche Gesundheit nicht beeinträchtigen.

Unter Berücksichtigung technischer und wirtschaftlicher Aspekte sind diese Hierarchiestufen auch bei der Gebäudesanierung anzustreben.

## Beförderer und Erzeuger von Abfall

Zur Abfallentsorgung befähigt sind solche Unternehmen, die über die notwendige Sach- und Fachkenntnis verfügen. Grundsätzlich dürfen Abfälle nur mit einer gültigen Beförderungserlaubnis transportiert werden, denn die Verwertung oder die Beseitigung einschließlich des Sammelns und Beförderns von gefährlichen Abfällen, unterliegt einem abfallrechtlichen Nachweisverfahren.

Der Begriff des Abfallerzeugers wird in § 3 Abs. 8 KrWG wie folgt definiert:

*„Erzeuger von Abfällen im Sinne dieses Gesetzes ist jede natürliche oder juristische Person, durch deren Tätigkeit Abfälle anfallen (Ersterzeuger) oder die Vorbehandlungen, Mischungen oder sonstige Behandlungen vornimmt, die eine Veränderung der Beschaffenheit oder der Zusammensetzung dieser Abfälle bewirken (Zweiterzeuger).“*

Schwierig ist die Auslegung des Begriffs Erzeuger nach dem KrWG in jenen Fällen, in denen eine Person ein Unternehmen beauftragt, bei dessen Tätigkeiten Abfälle anfallen. Nach der Begriffsdefinition könnten beide Parteien Erzeuger sein. In der Praxis wird regelmäßig der Auftraggeber als Abfallerzeuger angesehen, wenn er nicht nur die Dienstleistung ausübt, sondern diese steuert.

## Entsorgungskonzept

Der Verbleib der Abfälle muss stets nachvollziehbar sein. Vor Beginn der Abbrucharbeiten sollte der Bauherr daher ein Abbruch- und Entsorgungskonzept erstellen. Folgende Informationen sollten in diesem Konzept enthalten sein:

- Bezeichnung des Vorhabens sowie der Anfallort der Abfälle (Ort, Straße, Hausnummer)
- Beginn der Maßnahme
- Abfallerzeuger
- Erzeugernummer
- Bezeichnung der jeweiligen Abfallart
- Menge der jeweiligen Abfallart
- Abfallart entsprechenden Abfallschlüssel-Nummer gemäß Abfallverzeichnisverordnung (AVV)
- gefährlichen oder nicht gefährlichen Abfall
- Verwertung oder Beseitigung
- Nummer des Entsorgungsnachweises oder des Sammelentsorgungsnachweises
- Angaben zum Beförderer
- Angaben zum Entsorger