

In einem Buch über Dichtstoffe muss neben dem titelgebenden Thema auch die Art der Fugen, die den Dichtstoff aufnehmen sollen, eine wesentliche Rolle spielen. Was hilft ein hochelastischer Dichtstoff in einer Anwendung bzw. in einer Fuge, in der ein plastischer hätte verbaut werden sollen? Nur der ganzheitliche Ansatz kann zum Erfolg führen. In diesem Kapitel geht es daher zunächst um allgemeine Grundlagen der Dichtstoffe, im weiteren Verlauf dann um die Wechselwirkungen mit dem Material der Fugenflanken.

Bei allen Betrachtungen zur Auslegung, Verarbeitung, Dauerhaftigkeit und Sanierung müssen Dichtstoff und Fuge immer als eine Funktionseinheit gesehen werden. Nur bei erfolgreichem Zusammenspiel beider Faktoren und unter der Voraussetzung, dass vorschriftsmäßig gearbeitet wurde, bleibt eine Fuge dauerhaft dicht.

2.1 Definitionssache: Was ist ein Dichtstoff?

Es gibt (zu) viele unterschiedliche Bezeichnungen für Dichtstoffe: Fugendichtstoffe, Dicht(ungs)massen, Fugendicht(ungs)massen, Weichdicht(ungs)massen, Dichtmittel, Dichtpasten, Flüssigdichtungen und andere. In diesem Buch wird durchweg der Begriff *Dichtstoff* verwendet. Neben den eigentlichen Dichtstoffen existieren auch Kitte bzw. Dichtungskitte, die früher in einem Atemzug mit den Dichtstoffen genannt wurden, aber mittlerweile definitionsgemäß eine eigene Gruppe von Produkten darstellen. In ihr finden sich der traditionelle Fensterkitt, Ofenkitte, Bleiglättekitte oder Wasserglaskitte. Sie werden hier nicht weiter behandelt.

In der für Dichtstoffe relevanten Anforderungsnorm DIN EN ISO 11600¹, werden neben dem Begriff „Dichtstoff“ auch noch die etwas umständlicheren Ausdrücke „Fugendichtstoffe“ und „Dichtungsmassen“ verwendet, doch ist nach Meinung des Autors der Ausdruck „Dichtstoff“ knapper und moderner. In der Begriffsnorm DIN EN ISO 6927 „Bauwesen – Dichtstoffe – Begriffe“ (früher DIN EN 26927) wird ein Dichtstoff als ein Werkstoff zum Abdichten von Fugen beschrieben.

„Dichtstoff: Stoff, der als spritzbare Masse in eine Fuge eingebracht wird und sie abdichtet, indem er an geeigneten Flächen in der Fuge haftet.“ (DIN EN ISO 6927)

Die hier behandelten Dichtstoffe sind pastöse (pastenförmige), i. d. R. spritzbare Massen, die oft im Liefer-, und immer im Auftragszustand, plastisch verformbar sind und nach dem Einbringen in die Fuge an den Flanken derselben haften. Die eingebrachten Dichtstoffe behalten entweder ihre ursprüngliche Plastizität oder sie verändern sich durch chemische oder physikalische Reaktionen. Durch eine Vernetzungsreaktion kann aus einem plastisch eingebrachten Dichtstoff ein elastischer Formkörper werden, der die Fuge ausfüllt und abdichtet. Dauerplastische, streifenförmig extrudierte Dichtstoffe sind ebenfalls Thema der folgenden Ausführungen.

Das Füllen der Fuge oder Einbringen des Dichtstoffs in die Fuge wird als „ausspritzen“ oder „abdichten“ bezeichnet; die beispielsweise in Kartuschen erhältlichen Produkte sind demnach „spritzbare“ oder „ausspritzbare“ Materialien, die in der Konsistenz je nach Anwendungsgebiet variieren können.

Neben den Dichtstoffen gibt es auch noch den ähnlich lautenden Begriff der Dichtung (Feststoffdichtung). Es handelt sich hierbei um eine äußerst vielgestaltige Gruppe von Dichtelementen, die zwei Bauteile nur dann abdichten, wenn sie unter Flächenpressung stehen. Diese Produkte, die vorwiegend im Automobil- und Maschinenbau verwendet werden, sind nicht Gegenstand dieser Betrachtungen.

2.1.1 Einteilung

Dichtstoffe lassen sich nach vielen unterschiedlichen Kriterien einteilen: Anwendung, chemische Basis, Zahl der Komponenten, Härtemechanismus, mechanisches Verhalten, Verarbeitungseigenschaften etc. Jede dieser Einteilungen hat ihre Berechtigung, einige werden nachstehend vorgestellt:

¹ DIN: Deutsches Institut für Normung; EN: Europäische Norm; ISO: International Standardisation Organisation.

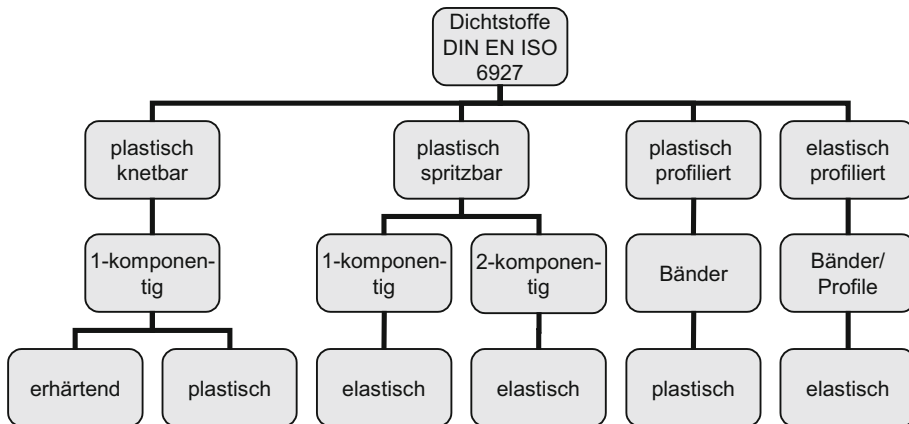


Abb. 2.1 Einteilung der Dichtstoffe nach DIN EN ISO 6927

- Allgemeine Einteilung der Dichtstoffe nach DIN EN ISO 6927,
- Einteilung der Hochbaudichtstoffe nach DIN EN ISO 11600,
- Einteilung der Dichtstoffe nach ihrer Basischemie,
- Einteilung nach der Reaktivität,
- Einteilung nach dem mechanischen Verhalten,
- Einteilung nach praktischen Gesichtspunkten,
- Einteilung nach den Hauptanwendungsgebieten.

Allgemeine Einteilung der Dichtstoffe nach DIN EN ISO 6927

Die Einteilung *sämtlicher* Dichtstoffe, die neben den pastösen auch die geformten Dichtstoffe und auch Dichtprofile umfasst, wird gemäß DIN EN ISO 6927 in vier Hauptgruppen vorgenommen und ist in Abb. 2.1 angegeben. Neben den plastisch knetbaren Produkten, die immer einkomponentig sind, den plastisch spritzbaren und plastisch profilierten sind auch Dichtbänder enthalten, obwohl sie im strengen Sinne keine Dicht„stoffe“ sind und einen Übergang zu den geformten Dichtungen darstellen; Näheres hierzu s. Kap. 6 und 7.

Einteilung der Hochbaudichtstoffe nach DIN EN ISO 11600

Nach der DIN EN ISO 11600 werden die im *Hochbau* verwendeten Dichtstoffe in 11 verschiedene Typen und Klassen gegliedert (Abb. 2.2). Die beiden Haupttypen sind Dichtstoffe für Verglasungen (Kennzeichnung: G, glass) und Baudichtstoffe (Kennzeichnung: F, façade). Aus den Klassen ergibt sich die jeweils zulässige Gesamtverformung (ZGV).

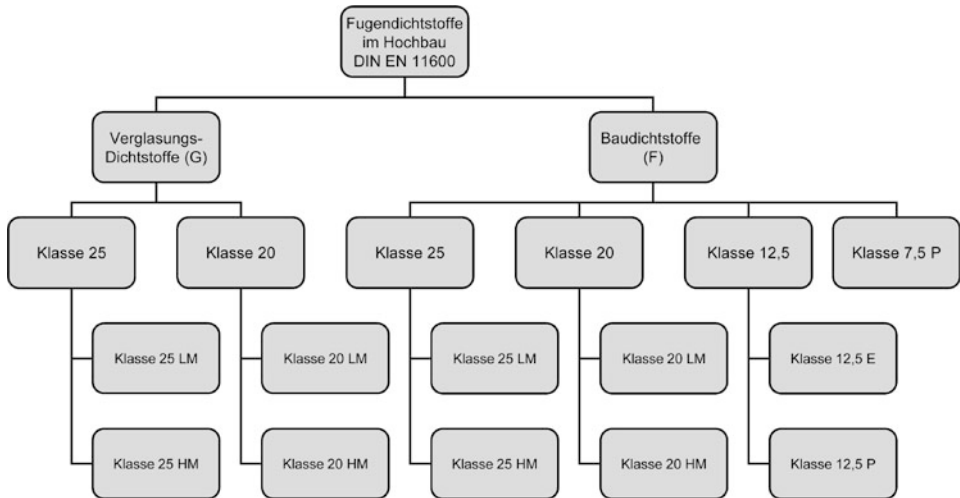


Abb. 2.2 Einteilung der Hochbaudichtstoffe nach DIN ISO 11600

Die *Zulässige Gesamtverformung (ZGV)* beschreibt das Bewegungsvermögen eines Dichtstoffs und stellt eine quantitative Angabe darüber dar, in welchem Prozentbereich der Verformung ein Dichtstoff dauerhaft seine Aufgabe zur Fugenabdichtung erfüllen kann.

Ein Dichtstoff, der, von der Nulllage aus gesehen, in einer Bewegungsfuge im Laufe der Zeit um +12,5 % und um –12,5 % gedehnt wird, erfährt somit eine *Gesamtverformung* von 25 % und muss von der chemischen Basis danach ausgelegt sein, um dauerhaft seine Funktion erfüllen zu können. Dichtstoffe, die von der Nulllage ausgehend entweder um +25 % oder –25 % verformt werden, müssen ebenfalls eine ZGV von 25 % haben, um diesen Belastungen auf Dauer standzuhalten. Voraussetzung ist, dass der Dichtstoff auch hier immer wieder die spannungsfreie Nulllage erreicht. Wird ein elastischer Dichtstoff in eine Fuge eingebracht, dort ausgehärtet und die Fuge dann beispielsweise *dauerhaft* auf +25 % gedehnt (z. B. bei einer Setzung), steht der Dichtstoff permanent unter Zugspannung. Die Wahrscheinlichkeit, dass er adhäsiv, ggf. auch kohäsiv, versagt, ist sehr groß. Daher soll ein solcher Fall möglichst vermieden werden. Bei Setzfugen verwendet man zweckmäßigerweise Dichtstoffe mit teilweise plastischen Eigenschaften, sodass sich die auftretenden Spannungen über Relaxationsvorgänge im Inneren des Dichtstoffs ausgleichen können.

Bei den Dichtstoffen der Klassen mit einer ZGV von 25 E, 20 E und 12,5 E handelt es sich um *elastische* Produkte, die in der Norm zusätzlich nach ihrem Modul unterschieden werden: LM (low modulus; niedermodulig) und HM (high modulus; hochmodulig). Die Bezeichnung LM kann nur dann vergeben werden, wenn der Dehnspannungswert (E_{100} -

Modul) bei $23\text{ °C} \leq 0,4\text{ MPa}$ und bei $-20\text{ °C} \leq 0,6\text{ MPa}$ ist. Bei Dichtstoffen der beiden Klassen 12,5 P und 7,5 P mit der entsprechend niedrigeren ZGV von 12,5 % bzw. 7,5 % handelt es sich um *plastische* Produkte (s. Abschn. 6.7).

Auch in dieser neuen internationalen Norm hat sich das Komitee aus Vorsichtsgründen bei den elastischen Dichtstoffen auf eine höchstzulässige Gesamtverformung von 25 % beschränkt, obwohl durchaus Produkte zur Verfügung stehen, die insbesondere in der Dehnung eine zyklische Verformung von 50 % oder mehr tolerieren. Dies würde aber einen Trend zu sehr schmalen Fugen fördern, was durchaus im Sinne vieler Planer wäre. Die sehr schmalen Fugen müssten wiederum präzise dimensioniert werden, um den Dichtstoff, insbesondere bei Vorliegen kleiner Defekte oder Toleranzen in den Fugendimensionen oder bei der Verarbeitung, nicht doch noch über seine Grenzen hinaus zu beanspruchen. Die zahlenmäßig niedrig erscheinenden zulässigen Gesamtverformungen stammen aus jahrzehntelanger Praxiserfahrung. Sie dürfen nicht mit den Reißdehnungen, wie sie in den technischen Datenblättern angegeben sind, verwechselt werden. Die Reißdehnung beschreibt eine einmalige, kurzzeitige und irreversible Beanspruchungsgrenze eines Werkstoffs auf Zug. Eine hohe Reißdehnung zieht nicht automatisch eine hohe ZGV nach sich.

Die korrekte Bezeichnung eines Verglasungs- bzw. eines Fassadendichtstoffs gemäß Abb. 2.2 ist demnach:

Dichtstoff DIN EN ISO 11600 – Typ – ZGV – Modul – Substrate – verw. Primer.

- Beispiel 1: Dichtstoff DIN EN ISO 11600 – G – 25 LM – getestet auf Glas, anodisiertem Aluminium mit Primer.
- Beispiel 2: Dichtstoff DIN EN ISO 11600 – F – 25 HM – getestet auf geprimertem Beton.

Bei dem im ersten Beispiel beschriebenen Dichtstoff handelt es sich um einen Verglasungsdichtstoff, bei dem Dichtstoff des zweiten Beispiels um ein Produkt für Dehnfugen in einer Fassade. Die Bezeichnung der Substrate kann auch weggelassen werden.

Dichtstoffe mit der Bezeichnung LM eignen sich für mechanisch unbelastete Fugen, während Produkte des Typs HM mit entsprechender mechanischer Unterstützung mit Druck, z. B. durch anstehendes Wasser beaufschlagt werden können oder Vandalismus bzw. Abrasion (Verkehr) in gewissem Maße widerstehen können.

Die Abgrenzung zwischen elastischen und plastischen Dichtstoffen geschieht in dieser Norm über das Rückstellvermögen. Es beschreibt die Fähigkeit eines Dichtstoffs, sich nach Dehnung um einen bestimmten Betrag über eine gewisse Zeit wieder zu einem gewissen Prozentsatz seiner Ausgangslage anzunähern, d. h. sich von der Belastung zu erholen.

Einteilung der Dichtstoffe nach ihrer Basischemie

Eine weitere, oft von den Dichtstoffherstellern benutzte Einteilung der Dichtstoffe erfolgt nach den zugrunde liegenden chemischen Hauptrohstoffen (Polymer/Bindemittel)

der einzelnen Produkte. Diese muss von Zeit zu Zeit ergänzt werden, wenn sich neue Produktklassen, wie zuletzt die silanhärtenden Systeme, im Markt durchsetzen (Abb. 2.3). Dem Kap. 6 „Dichtstoffe“ liegt die Einteilung nach der Chemie zugrunde.

Einteilung nach der Reaktivität

Die Einteilung nach der Reaktivität kann in drei Hauptkategorien erfolgen:

- Chemisch härtende Dichtstoffe,
- Physikalisch härtende Dichtstoffe,
- Nichthärtende Dichtstoffe.

Chemisch härtende Dichtstoffe sind die bekannteste Gruppe. Hier unterscheidet man zwischen den einkomponentigen², luftfeuchtigkeitshärtenden Produkten³, die meist aus Kartuschen oder Schlauchbeuteln verarbeitet werden und den zweikomponentigen. Bei letzteren muss vor dem Ausspritzen oder Vergießen in die Fuge ein Härter beigemischt werden. In beiden Fällen unterscheidet sich der Lieferzustand erheblich vom endgültigen Einbauzustand in der Fuge.

Physikalisch härtende Dichtstoffe verändern sich nach dem Einbringen in die Fuge durch Verlust eines Lösemittels wie Wasser oder einer organischen Komponente oder durch Abkühlung nach einem Heißauftrag, wie es beispielsweise bei bitumenhaltigen Produkten oder den sog. Heißbutylen der Fall ist. Organische Lösemittel, die früher viel in kautschukhaltigen Formulierungen verwendet worden waren, erleichtern zwar enorm die Verarbeitbarkeit durch Absenkung der Viskosität und ermöglichen gutes Anfließen des Dichtstoffs an die Bauteile, sind jedoch auch mit diversen Nachteilen verbunden: Neben der möglichen Explosionsgefahr der abgegebenen Lösemitteldämpfe benötigen sie eine nicht unbedeutende Zeitspanne zur Abdunstung, die mit einem merklichen Volumenschwund des Dichtstoffs einhergeht. Trotz der zurückgegangenen Bedeutung gibt es auch heute noch Anwendungen im Klima-, Lüftungs- oder im Metallbau, wo lösemittelhaltige Produkte die erste Wahl sind, nicht zuletzt deswegen, weil diese auch auf leicht öligen Untergründen ohne vorherige Reinigung verwendet werden können.

Wasserbasierte Dispersionen zählen ebenfalls zu den physikalisch reaktiven Produkten. Sie härten durch Verdunstung des Wassers. Dieser Vorgang ist stark klimaabhängig: Je nach Luftfeuchte und Umgebungstemperatur erfolgt die Verfestigung des Dichtstoffs in der Fuge unterschiedlich schnell. Auch das Verhältnis Oberfläche zu Gesamtvolumen der dichtstoffgefüllten Fuge bestimmt die Aushärtegeschwindigkeit mit. In manchen Fällen kann es daher Wochen dauern, bis der Dichtstoff seinen endgültigen Aushärtungszustand erreicht hat. Abhängig vom Wassergehalt stellt sich ein Volumenschwund von 20–30 %,

² Der eingeführte Begriff „einkomponentig“ ist in mehrfacher Hinsicht irreführend: Jeder technische Dichtstoff besteht aus einer Vielzahl von Komponenten, meist 5–15, und die zur Härtung notwendige Luftfeuchtigkeit ist eine unsichtbare zweite Komponente.

³ Strenggenommen sind auch noch sauerstoff- und hitzehärtende Systeme denkbar. Sie spielen jedoch im Bauwesen keine Rolle.

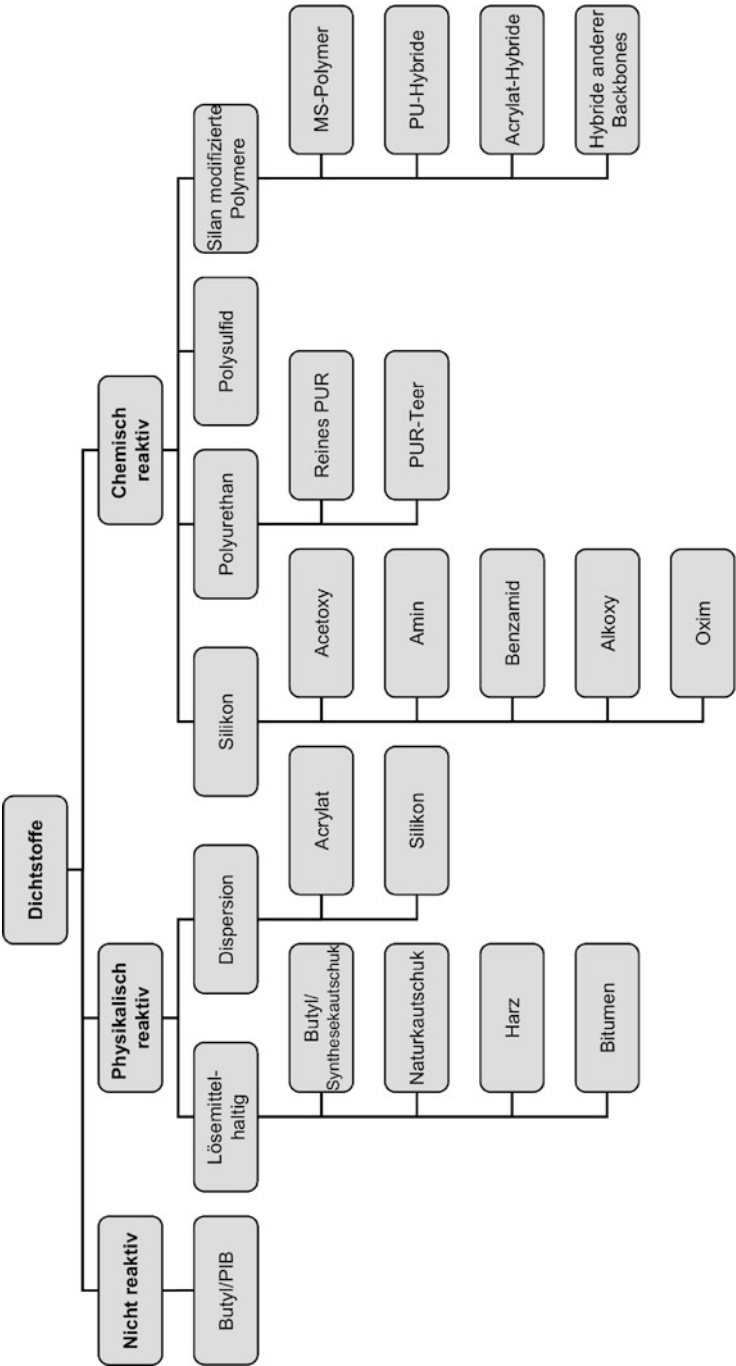


Abb. 2.3 Einteilung der Dichtstoffe nach Härungsverhalten und Basischemie

gelegentlich bis 45 %, ein, was mit einer sichtbaren Verformung der Dichtstoffoberfläche einhergehen kann.

Nichthärtende Dichtstoffe basieren meist auf Kautschuk oder Bitumen. Sie sind mehr oder minder dauerklebrig und plastisch verformbar. Erstere werden entweder als ungeformte Knetmassen oder bevorzugt als profilierte Bänder, mit oder ohne Kaschierung, verwendet. Aufgrund ihrer Plastizität verformen sie sich bei Einwirkung einer äußeren Kraft und bei höheren Temperaturen. Auch bei Raumtemperatur erfolgt eine langsame Verformung unter Last: Manche dieser Produkte neigen daher zum „Kriechen“. Bitumen-basierende Produkte kommen neben der pastösen auch in fester Form in den Handel. Im letztgenannten Fall müssen sie vor der Verarbeitung erst aufgeschmolzen werden.

Einteilung nach dem mechanischen Verhalten

Dichtstoffe lassen sich auch gut durch ihr deformationsmechanisches Verhalten kennzeichnen. Wie bei jedem Kunststoff wird das mechanische Verhalten durch die elastischen und plastischen Anteile bestimmt. Je elastischer ein Werkstoff ist, umso mehr nähert er sich nach einer Verformung (Zug, Druck oder Torsion) bei Wegnahme der Last wieder seiner ursprünglichen Gestalt.

Elastische Dichtstoffe werden nach der DIN EN ISO 11600 bereits bei einem Rückstellvermögen von > 40 % als solche bezeichnet. In der bisherigen Normierungs-Praxis in Deutschland konnten sie dieses Attribut erst ab einer Rückstellung von > 70 % für sich in Anspruch nehmen, was der physikalischen Realität besser entsprechen dürfte. Ausgehärtete, hochwertige Silikone, die ein typisches gummielastisches Verhalten bei Verformungen zeigen, gelten geradezu als Prototypen (hoch-)elastischer Dichtstoffe. Je nach Gehalt an Silikonpolymer bzw. Verschnittstoffen sind jedoch auch solche Produkte möglich, die gewisse plastische Anteile aufweisen. Hier, wie bei allen anderen Dichtstoffen auch, gibt es durchaus große Unterschiede der Leistungsfähigkeit der Produkte innerhalb einer Kategorie, abhängig von Rezeptur und Hersteller.

Das *Rückstellvermögen* eines Dichtstoffs beschreibt seine Fähigkeit, sich nach einer erfolgten Dehn- oder Stauchbelastung wieder zu einem gewissen Prozentsatz der ursprünglichen Form anzunähern. Die Prüfung erfolgt nach DIN EN ISO 7389.

Zur Einstufung des Rückstellvermögens nach Zugbelastung wird der Dichtstoff nach DIN EN ISO 7389 in einem genormten Prüfkörper beispielsweise um 100 % gedehnt, nach einer gewissen Zeit entlastet und die bleibende Verformung gemessen. Sie darf einen Mindestwert nicht überschreiten damit der Dichtstoff die Bezeichnung „ZGV von 25 %“ tragen kann.

Beim Aushärten eines reaktiven Dichtstoffs durchläuft dieser, beginnend von einem nahezu ausschließlich plastischen Zustand („pastös“), viele Zwischenstufen, bevor er ein merkliches elastisches Verhalten zeigt. Während des Aushärtevorgangs, der manchmal

Tab. 2.1 Einteilung der Dichtstoffe nach dem Deformationsverhalten

Deformationsverhalten	Rückstellvermögen in %
Plastisch (Verformung unter Last)	< 20
Elastoplastisch (vorwiegend plastisch, mit elastischen Anteilen)	> 20 bis < 40
Plastoelastisch (vorwiegend elastisch, mit plastischen Anteilen)	> 40 bis < 70
Elastisch (annähernd Rückkehr zur Ausgangsform)	> 70

fälschlicherweise auch als „Vulkanisation“ beschrieben wird, verknüpfen sich die zunächst noch relativ frei beweglichen (Prä-)Polymere zu einem weitmaschigen, elastischen Netzwerk. Ein ausgehärteter, elastischer Dichtstoff kann also wiederholt den Bewegungen der Fugenflanken folgen, ohne sich irreversibel zu verformen, vorausgesetzt, dass er am Substrat haftet.

Plastische Dichtstoffe verformen sich dagegen irreversibel durch eingeleitete Kräfte. Sie sind bei höheren Temperaturen auch deutlich weicher als bei niedrigen. Sie haben den Vorteil, dass sie Spannungen abbauen können, wenn die Verformung langsam vonstattengeht. Ein plastischer Dichtstoff folgt also – wohlgemerkt in engen Grenzen – den Fugenbewegungen wie eine zähe Flüssigkeit: Die Fuge bleibt dicht. Bei Setzfugen müssen daher unbedingt Dichtstoffe verwendet werden, die merkliche plastische Anteile enthalten, um den Aufbau von Spannungen im Dichtstoff zu vermeiden, die möglicherweise zu einem meist adhäsiven Versagen des Dichtstoffs führen würden.

Die noch vielfach gebräuchlichen Begriffe *plastoelastisch* und *elastoplastisch*, die den Bereich zwischen den elastischen und plastischen Produkten nochmals unterteilen (Tab. 2.1), sind in der DIN EN ISO 11600 nicht enthalten, da diese einen Schwerpunkt auf die elastischen Produkte legt.

Bei plastoelastischen Dichtstoffen überwiegt der elastische Anteil, bei elastoplastischen dementsprechend der plastische. Von den Dichtstoffherstellern werden daneben noch viele weitere Begriffe verwendet, um qualitativ die Eigenschaften der jeweiligen Produkte zu beschreiben: dauerplastisch und -elastisch, elastisch mit plastischen Anteilen und umgekehrt, härtend und nichthärtend. Diese können dem Verwender helfen, das geeignete Produkt auszuwählen. In Abb. 2.4 ist der Unterschied zwischen einem ideal

Abb. 2.4 Verhalten von elastischen und plastischen Dichtstoffen bei wiederholter stärkerer Verformung

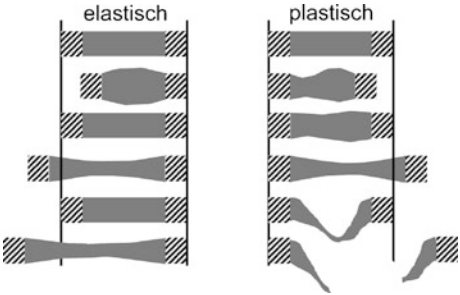
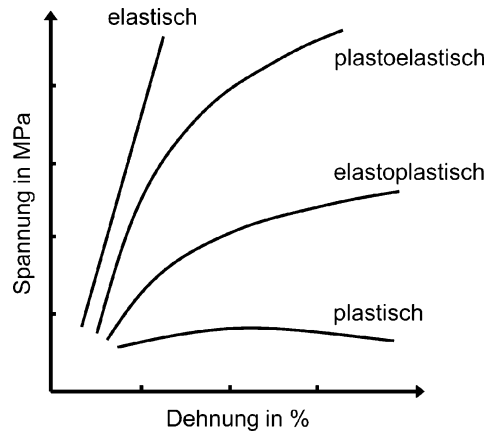


Abb. 2.5 Die senkrechte Dehnfuge wurde korrekt mit einem elastischen Dichtstoff verschlossen während das irrtümlich in der Bodenfuge verwendete plastische Produkt durch die aufgenommenen Bewegungen überfordert ist. (Foto: M. Pröbster)



Abb. 2.6 Schematische Spannungs-/Dehnungsdiagramme von Dichtstoffen



elastischen und einem plastischen Dichtstoff schematisch dargestellt, wenn die Dichtstoffe wiederholt gedehnt und gestaucht werden. In Abb. 2.5 erkennt man den Unterschied in einer realen Situation. Der plastische Dichtstoff in der Bodenfuge wurde durch die Fugenbewegungen stark gewalkt und hat sich irreversibel verformt, während der elastische die Bewegungen unbeschadet überstand. Die unterschiedlichen Arten von plastischen und elastischen Dichtstoffen einschließlich der Übergänge lassen sich gut in einem Spannungs-/Dehnungsdiagramm darstellen (Abb. 2.6). Dieses Diagramm beschreibt auch angenähert die Vorgänge in einem härtenden elastischen Dichtstoff, der nach dem Ausspritzen zunächst plastisch ist und im Laufe der chemischen Reaktion in den elastischen Zustand übergeht.

Werden *schnelle Lastwechsel* erwartet, wie sie z. B. Windlasten bei Hochhäusern darstellen, sind elastische Dichtstoffe besser geeignet, bei langsamen Lastwechseln auch plastoelastische oder elastoplastische.

Einteilung nach praktischen Gesichtspunkten

Der Praktiker teilt die Dichtstoffe am besten nach ihrem Verarbeitungsverhalten ein:

- *Standfeste* Dichtstoffe verbleiben nach dem Einbringen in eine senkrechte Fuge in dieser, ohne abzusacken, auszubauchen oder am unteren Ende der Fuge abzurutschen (gleitender Haftungsverlust des noch ungehärteten Dichtstoffs an den Fugenflanken). Die Standfestigkeit eines Dichtstoffs wird mit 10 oder 20 mm breiten Normschienen beim Hersteller bestimmt. Bei höheren Applikationstemperaturen kann die Standfestigkeit leiden. Bei zu hohen Substrattemperaturen steigt auch die Gefahr des Abrutschens.
- *Selbstnivellierende* Dichtstoffe sind unterschiedlich zähflüssig und fließen von selbst in horizontale Fugen ein, wenn diese breit genug sind. Sind die Fugen nicht exakt waagrecht, kann es vorkommen, dass der Dichtstoff ausläuft.
- *Profilierte Bänder und Knetmassen* werden, ggf. nach vorherigem Abziehen von Abdeckfolie oder -papier auf das Substrat auf- oder in die Fuge eingedrückt. Im Metallbau wird manchmal auch erst ein Substrat mit dem Dichtstoffband belegt, bevor das zweite gefügt wird.

Die *Einteilung nach den Hauptanwendungsgebieten* wird von den europäischen Normierungsgremien zur gezielten Bearbeitung der einzelnen Anwendungsfälle vorgenommen. Man kann demnach unterscheiden:

- Fassadendichtstoffe (= Hochbaudichtstoffe),
- Verglasungsdichtstoffe,
- Elastische Klebstoffe (Kleb-/Dichtstoffe) einschließlich der Systeme für strukturelle Verglasung, Dachsteinbefestigungen, elastische Parkett- und Spiegelklebstoffe,
- Feuerhemmende Dichtstoffe (Brandschutzsysteme),
- Sanitärfügendichtstoffe,
- Dichtstoffe für Bodenfugen im Bauwesen (nicht jedoch Dichtstoffe für den Straßen- oder Flugplatzbau).

Ein Dichtstoff kann zusammenfassend durch die nachstehenden Charakteristika beschrieben werden. Je nach Anforderung kommen die Einzeleigenschaften mehr oder weniger zum Tragen.

Eigenschaften des unausgehärteten Dichtstoffs:

- Zahl der Komponenten,
- Hauptbestandteile (Polymertyp),
- Aushärtungsmechanismus,
- Lagerfähigkeit des ungeöffneten Gebindes.

Verarbeitungseigenschaften:

- Ausspritzrate und -verhalten,
- Verarbeitungstemperatur,
- Topfzeit (wo zutreffend),
- Standfestigkeit,
- Glättbarkeit,
- Hautbildezeit,
- Klebfreizeit,
- Frühregenbeständigkeit,
- Aushärtung,
- Schmutzaufnahme,
- Geruch während und nach der Aushärtung.

Eigenschaften des ausgehärteten Dichtstoffs:

- Zulässige Gesamtverformung (ZGV, Bewegungsvermögen),
- Gebrauchstemperatur,
- Haftung,
- Modul bei Raumtemperatur,
- Modul bei tiefer Temperatur,
- Härte,
- Überstreichbarkeit,
- Anstrichverträglichkeit,
- Verträglichkeit zum Substrat,
- Medienbeständigkeit,
- Migrationsfreiheit,
- Abrasionsfestigkeit,
- Vandalismusfestigkeit/Stichfestigkeit,
- Wurzelfestigkeit,
- Dauerklebrigkeit (Tack),
- Alterungsbeständigkeit/Lebensdauer,
- Schimmelbeständigkeit,
- Volumenschwund.

2.1.2 Funktionen von Dichtstoffen

In den meisten Fällen ist die Hauptfunktion des Dichtstoffs, den Durchtritt von Medien durch die Fuge zu verhindern; gelegentlich werden aber auch andere Funktionen benötigt, wie aus Tab. 2.2 hervorgeht. Im Hochbau handelt es sich in aller Regel darum, Wasser, Regen, Schnee, feuchte Luft oder Staub am Eindringen in ein Bauwerk zu hindern. Im

Tab. 2.2 Funktionen von Dichtstoffen in einer Fuge

Hauptfunktion	Nebenfunktion
Fugen füllen	Optik
Bewegungsausgleich/Vermeidung von Zwängungen	Vibrationsdämpfung
Mediendurchtritt verhindern	Körper- und Luftschalldämpfung
– Gase, z. B. Luft, Schadgase wie Schwefeldioxid, Stickoxide, Radon	Brandschutz
– Flüssigkeiten, z. B. (Regen-)wasser	Kein Nährboden für Pilze
– Feststoffe, z. B. Staub, Dieselruß	Korrosionsschutz

Tiefbau sollen oft Dichtflächen geschaffen werden, die z. B. das Erdreich vor dem Einsickern von schädlichen Flüssigkeiten bewahren oder das Eindringen von Wasser in Bauwerke verhindern sollen. Dies wird erzielt durch das Füllen der Fuge mit dem Dichtstoff und die aufgabenspezifische Abstimmung des Kohäsions- und Adhäsionsverhaltens des Dichtstoffs und seiner Widerstandsfähigkeit gegenüber den betreffenden Medien. Neben den primären Aufgaben kommen weitere dazu, z. B. Wärmeschutz, Energieeinsparung, Brandschutz, Schallschutz.

2.2 Benetzung, Adhäsion und Kohäsion

Erfolgreiches Arbeiten mit Dichtstoffen setzt ein optimales Zusammenspiel von Dichtstoffformulierung, Oberflächenvorbereitung und Dichtstoffverarbeitung voraus. Nur so kann über die Benetzung des Untergrunds Haftung entstehen und in Kombination mit der inneren Festigkeit des Dichtstoffs eine dauerhafte Abdichtung erzielt werden.

2.2.1 Benetzung, die Voraussetzung für Haftung

Damit sich Dichtstoffe gut und dauerhaft mit dem Untergrund verbinden, müssen sie zunächst richtig an diesen anfließen bzw. ihn benetzen. Die Benetzungsfähigkeit einer Flüssigkeit auf einem bestimmten Feststoff kann durch den Randwinkel θ charakterisiert werden (Abb. 2.7). Ist $\theta < 90^\circ$, spricht man von Benetzung, bei $\theta < 30^\circ$ von sehr guter. Bei größeren Randwinkeln ist die Benetzung schlecht. Idealerweise ist der Randwinkel $\approx 0^\circ$; hier spricht man von Spreitung auf der Oberfläche. Das kann man beispielsweise dadurch erreichen, dass man die Formulierung ziemlich dünnflüssig einstellt, am einfachsten durch einen Zusatz von Lösemitteln. Ein dünnflüssiger Dichtstoff (oder ein Primer) umfließt leicht die Erhebungen und Täler, die jedes abzudichtende Substrat an seiner Oberfläche aufweist. Bei Mauerwerk oder Beton sind diese optisch gut auszumachen, aber auch andere, scheinbar glatte Werkstoffe zeigen bei entsprechender Vergrößerung eine raue Struktur. Benetzt ein aufgetragener Dichtstoff etwa nur die Spitzen, was auch an zu hoher Viskosität bzw. zu geringem Anpressen des Dichtstoffs liegen kann, wird die Fläche der Täler zum

Abb. 2.7 Benetzung einer Oberfläche durch eine Flüssigkeit

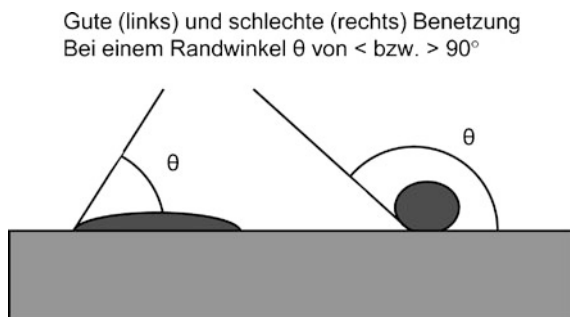
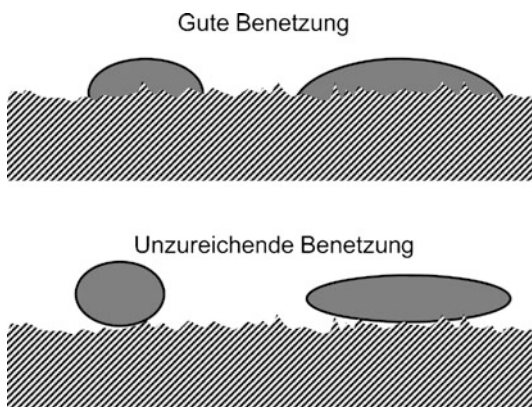


Abb. 2.8 Die Rauigkeit des Substrats und der Anpressdruck des Dichtstoffs sind mitbestimmend für die Güte der Haftung



Haftungsaufbau verschenkt (Abb. 2.8). Es könnte sogar zu Undichtigkeiten durch kapillar eindringendes Wasser kommen.

Das Abglätten eines frischen Dichtstoffs in der Fuge dient sowohl zur Formung seiner Oberfläche und der Gegenseite als auch zum möglichst spaltfreien Anpressen an die Fugenflanken, um Haftflächen aufzubauen.

Auch mit zähflüssigen, hochviskosen Dichtstoffen oder Dichtstoffbändern kann man gute Benetzung erzielen: Man muss sie nur entsprechend kräftig einpressen bzw. andrücken, sodass auch die Täler ausgefüllt werden.

- **Praxis-Tipp** Beim Ausspritzen des Dichtstoffs in die Fuge die Düse der Kartusche möglichst so halten, dass der Dichtstoff in der Nähe der Fugenflanken austritt und an diese gepresst wird.

Beim Ausspritzen muss gewährleistet sein, dass man auch wirklich einen entsprechenden Anpressdruck des Dichtstoffs ausüben kann. Eine Temperaturerhöhung, dort wo

möglich, senkt die Viskosität des Dichtstoffs und erhöht auch die Chance auf gutes Anfließen. Mit der Haftung zum Substrat wird ein Großteil der Qualität einer Abdichtung festgelegt. Wenn eine Fuge versagt, siehe hierzu Kap. 10, liegt es in meisten Fällen an der Haftung, die manchmal aus unzureichender Benetzung resultiert.

- **Praxis-Tipp** Bei kaltem Wetter sollten die einzusetzenden Dichtstoffe mindestens 24 h bei Raumtemperatur oder leicht erhöhter Temperatur (bis 35 °C) vorkonditioniert werden, um sowohl leichte Verarbeitbarkeit als auch gutes Benetzungsverhalten zu gewährleisten. Dichtstoffe dürfen nicht unterhalb der angegebenen Mindestverarbeitungstemperatur verwendet werden.

Um die Haftfreudigkeit eines Untergrundes schnell zu überprüfen, kann man einen einfachen *Benetzungstest* mit Wasser durchführen: Perlt aufgespritztes Wasser spontan ab, müssen weitergehende Untersuchungen angestellt werden, bevor der Dichtstoff aufgebracht wird. „Spreitet“ das Wasser, dürfte die Oberflächenenergie (Oberflächenspannung) in einem brauchbaren Bereich liegen. Die Oberflächenenergie eines Untergrundes lässt sich genauer mit Testtinten oder -stiften bestimmen. Damit kann man die ungefähre Oberflächenenergie eines Substrates ermitteln und abschätzen, ob sie hoch genug ist.

- **Praxis-Tipp** Zur Prüfung der Oberflächenspannung eines glatten Substrats wählt man eine Testtinte des mittleren Messbereichs, z. B. 38 mN/m. Bleibt der aufgetragene Pinselstrich 2 sec. stehen, ohne sich zusammenzuziehen, so ist die Oberflächenspannung des Materials entweder gleich groß wie die der Flüssigkeit oder höher. Als nächstes wird nun eine Testtinte mit einem höheren Wert, z. B. 40 mN/m, aufgestrichen. Diese Prüfung wird mit weiteren, höheren Testtinten solange fortgesetzt, bis ein Zusammenziehen innerhalb von 2 sec. eintritt. Die tatsächliche Oberflächenspannung liegt zwischen dem letzten und vorletzten Wert.
Tritt ein Zusammenziehen innerhalb von 2 sec. bereits beim ersten Versuch mit 38 mN/m auf, so wird die Prüfung sinngemäß solange durch Testtinten mit niedrigeren Messwerten fortgesetzt, bis kein Zusammenziehen mehr erfolgt.

Substrate mit niedrigen Oberflächenenergien können nur mit Dichtstoffen niedriger Oberflächenenergie abgedichtet werden. Substrate mit hohen Oberflächenenergien können sowohl mit Dichtstoffen hoher wie niedriger Oberflächenenergie abgedichtet werden. Idealerweise hat der Dichtstoff immer eine geringere (bis gleiche) Oberflächenenergie wie das Substrat (Tab. 2.3).

Die Oberflächenenergie eines nicht haftfreudigen Substrats kann durch verschiedene physikalisch-chemische Methoden erhöht werden. Dazu zählen Beflammung, Koronabehandlung, Atmosphärenplasma und chemische Ätzmethode. Derartige Behandlungen lässt man meist Kunststoffen bei industriellen Herstellungsprozessen angedeihen; auf Baustellen sind solche Methoden nicht verbreitet. In manchen Fällen senken auch Formtrennmittel die Oberflächenenergie eines Werkstoffs unter den eigentlichen Wert des Bauteils.

Tab. 2.3 Oberflächenspannungen verschiedener Werkstoffe in mJ/m^2 (dyn/cm)

Metalle	Kunststoffe	Mineralische Baustoffe	Sonstiges
Eisen: 2500	PTFE: 19	Glas: 290–300	Wasser: 73
Chrom: 2400	Silikone: 24	Keramik: 500–1500	Wachs: 26
Aluminium: 1200	Naturkautschuk: 24		Silikonöl: 22
Kupfer: 1900	Polypropylen: 29–31		
Zink: 1000	Polyethylen: 31–35		
Titan: 2000	PMMA: 33–44		
Nickel 2400	Polycarbonat: 34–37		
	PETP: 42		
	Polyamid: 47		

Anmerkung: Die genaue Zusammensetzung der einzelnen Werkstoffe beeinflusst die Werte sehr stark. Alle Angaben sind daher nur als Anhaltspunkte zu verwenden.

Untergründe, die nicht *tragfest* sind, also lose Schichten an ihren Oberflächen aufweisen, lassen sich nicht zuverlässig abdichten, ohne dass man diese Schichten entfernt. Öle (z. B. Schalöl), Fett, Staub, Rost, Farbreste, Sand, Zementschleier, Trennmittel oder Silikonreste unterminieren die Tragfestigkeit und müssen entfernt werden. Auch Taubildung auf Werkstücken, die kurz vor dem Abdichten aus einem kalten Lager in eine warme Werkshalle gebracht wurden, erzeugt einen nicht tragfähigen Untergrund. Der morgendliche Tau auf Baustellen kann ebenfalls zu Haftungsproblemen führen. Oftmals sieht man den gebildeten Taufilm nicht und wundert sich über mangelnde Haftung, insbesondere von chemisch reaktiven Dichtstoffen. In diesem Fall haftet der Dichtstoff nicht auf dem eigentlichen Substrat, sondern kontaktiert die nicht tragfähige, feuchte Zwischenschicht.

Die Tragfähigkeit, d. h. Freiheit von losen Schichten, Betonschleier, Mörtelresten, Staub etc. kann durch Wischen mit einem Gegenstand oder durch einen *Kratztest* bestimmt werden. Nur auf wirklich tragfähigen Untergründen darf abgedichtet werden.

Bei einem stark sandenden Untergrund sollte zuerst versucht werden, durch mechanische Reinigung (Bürsten, Strahlen) die losen Schichten weitestgehend zu entfernen, dann muss durch Primern (Vorstrich, Tiefgrund) dafür gesorgt werden, dass der Untergrund genügend verfestigt und damit tragfähig wird.

2.2.2 Adhäsion

Die grundsätzlichen Voraussetzungen für das Funktionieren eines Dichtstoffs in einer Fuge kann man in zwei Begriffen erfassen: Haften und Zusammenhalten. Meist wird die Haftung des Dichtstoffs auf dem Untergrund als *Adhäsion* bezeichnet, doch bedeutet das aus dem Lateinischen entlehene Wort nichts anderes als „Haftung“. Es gibt verschiedene Mechanismen, die zur Haftung führen können: mechanische Verkrallung, physikalische Haftung über unterschiedliche elektrische Wechselwirkungen von Molekülen im Nahbe-

reich und die Haftung über chemische Bindungen. Würde ein Dichtstoff nicht dauerhaft auf dem Untergrund haften, könnten Medien jeder Art den Dichtstoff unterwandern und man spräche von einer undichten Fuge. Der Sinn des Dichtstoffs wäre also hinfällig. Dass Haftung sehr unterschiedliche Qualitäten aufweisen kann, weiß jeder, der schon einmal ein Heftpflaster auf trockene oder eingölte Haut geklebt und wieder abgezogen hat. Der Zustand des Untergrunds, seine Haftfreudigkeit, d. h. seine Oberflächenenergie, beeinflusst also in erheblichem Maße die Güte der Haftung eines Kleb- oder Dichtstoffs. Während die meisten Metalle, wie aus der täglichen Praxis bekannt, eher haftfreundliche Untergründe darstellen, sind Kunststoffe wie Polyethylen, Teflon oder silikonisierte Oberflächen äußerst schwierige, und ohne Vorbehandlung nicht geeignete Untergründe, um eine stabile Haftung zu ermöglichen. Die Ursache dafür sind unterschiedliche Oberflächenenergien, die bei Metallen sehr hoch, bei den genannten Kunststoffen dagegen sehr niedrig sind.

Auch die Dichtstoffe selbst haben unterschiedliche Oberflächenenergien. Dichtstoffe mit niedriger Oberflächenenergie („niederenergetische“), z. B. Butylkautschuk- oder Silikondichtstoffe haften an nahezu allen Oberflächen, egal ob Kunststoff, Metall, Glas, Mauerwerk, Beton etc. Dichtstoffe mit relativ hoher Oberflächenenergie, wie z. B. die Polyurethane, haften zwar hervorragend auf polaren Untergründen, auf unpolaren aber versagen sie. Zum Aufbau einer nennenswerten Haftung sind entweder physikalische (elektrische) Wechselwirkungen zwischen Dichtstoff und Substrat nötig, oder chemische.

Wie gut auch rein physikalische Wechselwirkungen sein können, sieht man am Beispiel von Geckos, die ohne Anwendung von Klebstoff an Glasscheiben (Abb. 2.9) und sogar kopfüber an der Decke eines Zimmers herumlaufen können. Die Haftung kommt dadurch zustande, dass eine Unzahl feinsten Härchen an den Füßen der Geckos in innigsten Kontakt mit dem Untergrund gebracht werden, und diesem so nahe kommen, dass sich die eigentlich schwachen elektrostatischen und -dynamischen Adhäsionskräfte zwischen den Härchen und beispielsweise der Wand zu ganz beachtlichen Werten aufaddieren. Haftvermittelnd in diesem Fall ist außerdem eine hauchdünne Schicht von Feuchtigkeit, die auf allen Festkörpern sitzt, die der offenen Luft ausgesetzt sind.

Die abzudichtenden Bauteile kann man auch in poröse und nichtporöse Substrate einteilen. Zu den porösen gehören Mauerwerk, Ziegel, Beton, manche Natursteine, Naturholz etc. und zu den nichtporösen Metalle, Kunststoffe, Glas, Porzellan, Fliesen etc. auch hier können eventuelle Oberflächenbehandlungen oder Trennmittel, die nicht immer erkennbar sind, das Haftungsverhalten von Dichtstoffen erheblich beeinflussen.

- **Praxis-Tipp** Hydrophobierungsmittel auf Fertigbetonteilen oder Mauerwerk sind oft nicht sichtbar. Ihr Vorhandensein birgt ein erhebliches Risiko für die Haftung von Primern oder Dichtstoffen. Bei Verdacht auf Vorhandensein von Hydrophobierungsmittel sollten immer Vorversuche gemacht werden (Benetzungs- und Haftungstest).

Abb. 2.9 Die Füße eines Geckos haften rein physikalisch auf dem Untergrund. (Foto: S. Gorb, MPG)



2.2.3 Kohäsion

Die *Kohäsion* beschreibt die innere Festigkeit eines Dichtstoffs. Der Begriff „cohere“ stammt ebenfalls aus dem Lateinischen und bedeutet „zusammenhalten“. Man könnte auch sagen, die Kohäsion ist die Haftung des Dichtstoffs in sich selbst. Die Kohäsion hängt sehr stark von Art und Struktur des Dichtstoffs ab und ist eine Materialeigenschaft. Wie aus dem Alltag wohlbekannt ist, kann die Kohäsion von Werkstoffen sehr unterschiedlich sein: Stahl hat eine sehr hohe und Kaugummi fast keine Kohäsion, um zwei Extrembeispiele zu nennen. Die Temperatur spielt für die Höhe der Kohäsion ebenfalls eine große Rolle. Bei steigender Temperatur werden insbesondere Kunststoffe schnell weicher, sie verlieren an Kohäsion. Eine hohe innere Festigkeit muss ein Dichtstoff nicht haben, denn er dient nicht zur Kraftübertragung. Dafür sollte zumindest ein elastischer Dichtstoff eine hohe reversible Dehnung aufweisen. Wird eine Fuge mit Druck beaufschlagt und ist die Kohäsion zu gering, bilden sich Kanäle und das unter Druck stehende Medium dringt ein. Auch Abbaureaktionen, z. B. durch UV-Strahlung, Wärme oder Chemikalien können sich negativ auf die Kohäsion auswirken, was bei einem Dichtstoff bedeutet, dass er in sich reißt und dadurch die Fuge undicht wird. Blasen, Lunker oder andere Fehlstellen im Dichtstoff schwächen ebenfalls die Kohäsion und sind daher möglichst zu vermeiden.

Weiterführende Literatur

ASTM C 920, Standard Specifications for Elastomeric Joint Sealants (2013)

ASTM C 1293, Standard Guide for Use of Joint Sealants (2013)

Cognard, P. (Hrsg.), Adhesives and Sealants – Basic Concepts and High Tech Bonding, Elsevier, Amsterdam (2005)

DIN EN ISO 11600, Hochbau – Fugendichtstoffe – Einteilung und Anforderungen von Dichtungsmassen (2011)

DIN 52460, Fugen und Glasabdichtungen – Begriffe (2000)

DIN EN ISO 6927, Hochbau; Fugendichtstoffe; Begriffe (2012)

Endlich, W., Fertigungstechnik mit Kleb- und Dichtstoffen, Vieweg, Braunschweig, 1995

Merkblatt Nr. 2, Klassifizierung von Dichtstoffen, Industrieverband Dichtstoffe e. V. (2014)

Dichtstofflexikon, Industrieverband Dichtstoffe e. V., Düsseldorf (2004)

Baudichtstoffe

Erfolgreich Fugen abdichten

Pröbster, M.

2016, XVIII, 295 S. 92 Abb.,

ISBN: 978-3-658-09984-8