

---

### 2.1 Aufbau der Klebstoffe

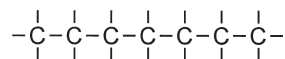
#### 2.1.1 Kohlenstoff als zentrales Element

Die Klebstoffe sind hinsichtlich ihres chemischen Aufbaus den *organischen* Verbindungen zuzuordnen. Im Gegensatz zu der *anorganischen* Chemie, in der die Stoffe aus der unbelebten Natur behandelt werden (z. B. Mineralien, Metalle), befasst sich die organische Chemie mit den Verbindungen des Kohlenstoffs als zentralem Element der vielfältigen Stoffe, die die belebte Natur ausmachen (z. B. pflanzliche und tierische Produkte wie Holz, Eiweiße, Harze, Fette, Erdöl).

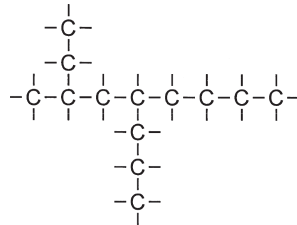
Die besondere Eigenschaft des Kohlenstoffs und somit seine dominierende Stellung unter allen bekannten Elementen besteht darin, dass er sich praktisch unbegrenzt mit sich selbst und auch mit einer Vielzahl anderer Elemente verbinden kann. Jedes Kohlenstoffatom (die Atome sind die kleinsten für die Eigenschaft eines Elements charakteristischen „Bausteine“) besitzt dafür vier „Arme“, die es zum Eingehen einer Bindung „ausstrecken“ kann. In der Chemie werden diese „Arme“ mit einfachen Strichen dargestellt, man nennt sie nach dem lateinischen Wort *valentia* = Kraft, Stärke, auch *Valenzen*:



Diese Valenzen oder auch Bindungsmöglichkeiten zwischen einzelnen Kohlenstoffatomen führen zu langen Ketten,



die auch Verzweigungen, vernetzte oder ringförmige Strukturen aufweisen können:



Auch die Ausbildung von zwei Bindungen zwischen zwei Kohlenstoffatomen ist möglich



weiterhin existieren Verbindungen mit anderen Elementen, so z. B. mit



oder

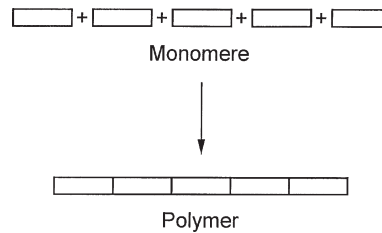


Die Anzahl der Valenzen und somit der Bindungsmöglichkeiten ist bei den einzelnen Elementen verschieden und durch den Aufbau ihrer Atome vorgegeben. Aus diesen Erläuterungen lässt sich ableiten, dass eine große Fülle (über 1 Mio.) verschiedener organischer Verbindungen existiert, an denen sich vor allem die Elemente

Chemisches Symbol		
Kohlenstoff	C	Aus dem Lateinischen carbo
Wasserstoff	H	Aus dem Lateinischen hydrogenium
Sauerstoff	O	Aus dem Lateinischen oxigenium
Stickstoff	N	Aus dem Lateinischen nitrogenium

beteiligen. Zu diesen organischen Verbindungen gehört auch der weitaus größte Teil der Klebstoffe. Da diese wiederum in ihrem Aufbau den uns bekannten Kunststoffen sehr ähnlich, z. T. sogar mit ihnen identisch sind, werden sie ebenfalls den Produkten des „Kunststoffzeitalters“ zugeordnet. Die modernen „künstlichen“ Klebstoffe wurden erst vor ca. 100 Jahren bekannt. Der erste Kunststoff mit technischer Bedeutung ist das von dem Belgier L. H. Baekeland (1863–1944) erfundene und nach ihm benannte „Bakelite“, ein Phenol-Formaldehydharz, das auch heute noch als Kunststoff eingesetzt wird.

**Abb. 2.1** Polymerbildung aus Monomeren (I)



### 2.1.2 Monomer – Polymer

Zur weiteren Beschreibung der Klebstoffe ist es erforderlich, zwei wichtige Fachausdrücke zu erläutern (Abb. 2.1).

**Monomer** Dieser Begriff leitet sich aus der griechischen Sprache ab (monos = einzeln, allein) und bezeichnet die entsprechenden „Einzelteile“, die sich über eine chemische Reaktion zu einem Polymer verbinden.

**Polymer** Ebenfalls griechischen Ursprungs (polys = viel, meros = Anteil, Teil) und bedeutet so viel wie ein System aus „vielen Teilen“.

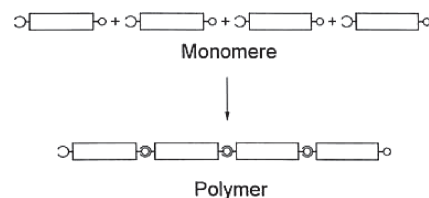
### 2.1.3 Polymerbildung

Bildhaft lässt sich die Polymerbildung mit dem Zusammenstellen eines Zuges vergleichen. Durch die an den einzelnen Wagen vorhandenen „Haken und Ösen“ können sich beliebig viele Wagen (Monomere) zu einem Zug (Polymer) zusammenhängen (Abb. 2.2).

Die Monomere verfügen dazu über spezielle Kombinationen verschiedener Elemente, sog. „reaktive Gruppen“, die sich an Stelle der bildhaft genannten „Haken und Ösen“ mit denjenigen Gruppen der Nachbarmonomere über eine chemische Reaktion verbinden. Auf diese Weise entstehen die „Polymerstrukturen“ von geraden und verzweigten bzw. miteinander vernetzten Ketten. Bei der Behandlung der wichtigsten Klebstoffe werden diese reaktiven Gruppen näher erläutert.

Wenn sich nur eine begrenzte Anzahl von Monomeren durch eine chemische Reaktion vereinigt, spricht man von *Prepolymeren*, eine Vorstufe von Polymeren, die aber noch

**Abb. 2.2** Polymerbildung aus Monomeren (II)



reaktionsbereite Gruppen aufweist. Sie werden z. T. auch in Mischungen mit ähnlich aufgebauten Monomeren eingesetzt. Der Einfachheit halber wird im Folgenden weiterhin der Begriff Monomer verwendet.

---

## 2.2 Einteilung der Klebstoffe

Berücksichtigt man die vielfältigen Möglichkeiten, nach denen Klebstoffe aufgebaut sein können, und die dazugehörigen Varianten für ihre Verarbeitung, so kommt man auf tausende verschiedener „Rezepturen“ oder „Formulierungen“, die sich im praktischen Einsatz befinden. Dadurch hat es der Anwender auch schwer, den richtigen Klebstoff zu finden und oft hört man daher die Frage: „Welcher Klebstoff eignet sich für das Kleben bestimmter Werkstoffe?“. Erleichtert wird die Beantwortung durch die Beschreibung der im Folgenden beschriebenen Eigenschaftskriterien.

### 2.2.1 Klebstoffe, die durch eine chemische Reaktion aushärten (Reaktionsklebstoffe)

In diesem Fall besteht der auf die Füge­teile aufgetragene flüssige Klebstoff aus den zu einer chemischen Reaktion bereiten Monomermolekülen (Abschn. 2.1.2 und 2.1.3). Diese liegen infolge ihrer „Kleinheit“ meistens in flüssiger Form vor. Nach dem Auftragen des Klebstoffs und der Vereinigung der zu klebenden Füge­teile tritt in der Klebfuge eine chemische Reaktion ein. Aus den (flüssigen) Monomeren bildet sich die feste („harte“) Klebschicht. Dieser zeitabhängige Vorgang wird als *Härten*, *Aushärten* oder auch *Abbinden* bezeichnet. Da er über eine chemische Reaktion abläuft, spricht man von *chemisch reagierenden Klebstoffen* oder von *Reaktionsklebstoffen*.

### 2.2.2 Klebstoffe, die ohne eine chemische Reaktion aushärten (physikalisch abbindende Klebstoffe)

Der Vorgang der Polymerbildung durch die Reaktion der Monomere miteinander (Abschn. 2.1.3) kann bereits vom Klebstoffhersteller, d. h. vor der Klebstoffverarbeitung beim Anwender, durchgeführt werden. Das hat allerdings zur Folge, dass die vorhandenen Polymere, da sie lange Ketten- oder auch verzweigte Netzstrukturen aufweisen, nicht mehr flüssig sind und in dieser Form nicht verarbeitet werden können. Für einen Einsatz müssen sie daher auf eine geeignete Weise in einen flüssigen Zustand überführt werden. Für diese „Verflüssigung“ gibt es verschiedene Möglichkeiten:

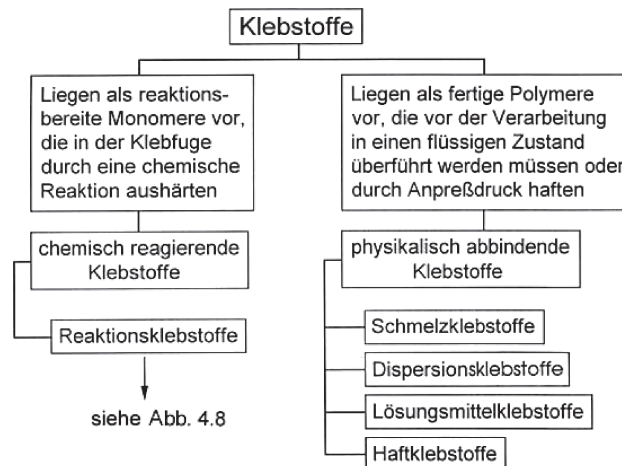
- Die Polymere werden in organischen Lösungsmitteln gelöst. Derartige Klebstoffe bezeichnet man als *Lösungsmittelklebstoffe* (Abschn. 2.2.3).

- Als flüssiges Medium kann auch Wasser dienen, in dem die feinstverteilten Polymere „schwimmen“. Diese Klebstoffe sind als *Dispersionen* (lateinisch *dispergere* = feinverteilen) im Handel, (Abschn. 5.4).
- Es gibt auch Polymere, die durch Wärmezufuhr zum Schmelzen gebracht werden können, sie werden in schmelzflüssiger und lösungsmittelfreier Form auf die Fügeteile aufgetragen. Nach Abkühlung der Klebstoffschmelze in der Klebfuge entsteht die fertige Klebung. Die auf diese Weise durch Schmelzen und Abkühlen verarbeitbaren Klebstoffe bezeichnet man als *Schmelzklebstoffe* (Abschn. 5.1).
- Bekannt sind weiterhin auf entsprechende Trägermaterialien aufgebraute Polymerschichten, die durch Zusatz klebrigmachender Bestandteile (z. B. Harze) über eine eigene Klebrigkeit verfügen. Diese als *Haftklebstoffe* (Abschn. 5.6) bezeichneten Systeme ergeben eine Klebung durch Aufbringen eines ausreichenden Anpressdruckes auf die Fügeteile.

Wenn Lösungsmittelklebstoffe oder auch Dispersionen auf die Fügeteile aufgebracht werden, müssen die Lösungsmittel oder das Wasser vor dem Vereinigen der Fügeteile aus der flüssigen Klebschicht entweichen, sie müssen „abdunsten“. Hierbei findet keine chemische Reaktion statt, der Vorgang des Lösungsmittelverdunstens ist ein sog. „physikalischer“ Vorgang. Somit spricht man anstatt von chemisch reagierenden oder Reaktionsklebstoffen von *physikalisch abbindenden Klebstoffen*. Da die Abkühlung einer Schmelze bei den Schmelzklebstoffen oder die Druckaufbringung bei den Haftklebstoffen ebenfalls physikalische Vorgänge sind, gehören auch sie zu dieser Gruppe. Im Gegensatz zu der Härtung bei den Reaktionsklebstoffen wird dieser Vorgang, wie der Name bereits andeutet, bei dem physikalisch abbindenden Klebstoffen als „Abbinden“ bzw. „Verfestigen“ bezeichnet.

In Abb. 2.3 sind diese Zusammenhänge schematisch dargestellt.

**Abb. 2.3** Einteilung der Klebstoffe nach der Aushärtungsart



Ergänzend zu den in den beiden vorstehenden Abschnitten beschriebenen Einteilungskriterien sind weitere Merkmale üblich (Abschn. 2.2.3–2.2.6).

### 2.2.3 Lösungsmittelhaltige und lösungsmittelfreie Klebstoffe

Wie vorstehend beschrieben, müssen die auf Polymerbasis aufgebauten Klebstoffe durch entsprechende Lösungsmittel bzw. Wasser in einen verarbeitungsfähigen Zustand überführt werden. Somit entsteht die wichtige Gruppe der *Lösungsmittelklebstoffe* im Gegensatz zu den in Form von Monomeren verarbeitbaren *Reaktionsklebstoffen*, die auf Grund ihres meistens flüssigen oder pastösen Zustands keiner Lösungsmittel bedürfen. Im allgemeinen Sprachgebrauch werden als Lösungsmittelklebstoffe nur solche Produkte bezeichnet, die in ihren Formulierungen organische und in den meisten Fällen brennbare Lösungsmittel enthalten.

### 2.2.4 Klebstoffe auf natürlicher und künstlicher Basis

Eine weitere Möglichkeit, die Klebstoffe einzuteilen, besteht in der Unterscheidung, ob es sich bei ihnen um organische Verbindungen aus Naturprodukten, sog. „natürliche“ Klebstoffe, handelt oder ob sie über gezielte chemische Reaktionen hergestellt sind, sog. „künstliche“ Klebstoffe. Aus dem täglichen Leben sind viele Stoffe bekannt, die über eine natürliche Klebrigkeit verfügen, z. B. Baumharze, Pflanzensäfte, Wachse, Eiweiß, Gelatine, Casein, Stärke. Gegenüber den künstlich hergestellten Klebstoffen treten sie zwar mengenmäßig stark zurück, verfügen jedoch z. T. über hervorragende Eigenschaften bei Spezialanwendungen, wie z. B. Caseinklebstoffe zum Etikettieren von Flaschen.

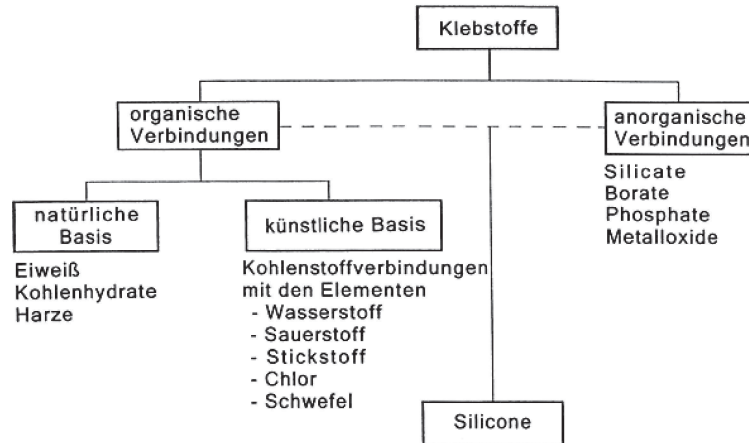
### 2.2.5 Klebstoffe auf organischer und anorganischer Basis

Wie in Abschn. 2.1.1 erwähnt, werden in der Chemie die Bereiche „organisch“ und „anorganisch“ unterschieden. Somit sind neben den organischen Klebstoffen ebenfalls auf anorganischer Basis aufgebaute Klebstoffe im Einsatz. Deren Vorteil besteht auf Grund ihres chemischen Aufbaus vor allem in der sehr guten Dauerbeständigkeit der Klebschichten gegenüber Wärme bei Temperaturen bis zu 500 °C, in Spezialfällen sogar darüber. Wichtige Einsatzgebiete liegen in der Glüh- und Halogenlampenfertigung für die Glas-/Sockel-Verklebung bzw. zum Einkleben der Stromzuführungsdrähte.

In Abb. 2.4 sind die in den vorstehenden Abschn. 2.2.4 und 2.2.5 beschriebenen Klebstoffe hinsichtlich ihrer chemischen Basis nochmals zusammengestellt.

Bemerkung: Auf Grund ihres chemischen Aufbaus stellen die Silicone Verbindungen mit organischen und anorganischen Strukturmerkmalen dar.

Eine weitere Art der Klebstoffeinteilung wird in Abschn. 3.3, Abb. 3.7 dargestellt.



**Abb. 2.4** Einteilung der Klebstoffe nach der chemischen Basis

### 2.2.6 Anwendungsbezogene Klebstoffbezeichnungen

Üblich sind auch Klebstoffbezeichnungen, die sich nach speziellen Anwendungen richten, so z. B.

- Kaltleim oder warmhärtender Klebstoff als Hinweis auf die *Verarbeitungstemperatur*;
- Haftklebstoff, Schmelzklebstoff, Kontaktklebstoff, 2 K-Klebstoff als Hinweis auf ein bestimmtes *Verarbeitungsverfahren*;
- Holzleim, Tapetenkleister, Etikettierklebstoff, Metallklebstoff als Hinweis auf einen *Verwendungszweck*;
- Klebstofffolie, Leimpulver, Lösungsmittelklebstoff als Hinweis auf die *Lieferform*;
- Epoxidharzklebstoff, Methacrylatklebstoff, Polyurethanklebstoff als Hinweis auf die eingesetzte chemische *Klebstoffbasis (Klebstoffgrundstoff)*.

Unter einem *Leim* oder *Kleister* versteht man relativ hochviskose Klebstoffe, die auf tierischen und/oder pflanzlichen (ggf. gemischt mit künstlichen) Grundstoffen aufgebaut sind und Wasser als Lösungs- bzw. Quellmittel aufweisen.

Einer kritischen Betrachtung bedarf die Bezeichnung *Alleskleber*. Mit dieser Bezeichnung wird oftmals ein „Universalklebstoff“ suggeriert, der für alle Anwendungen und Beanspruchungen der verschiedensten Materialien geeignet ist. Insbesondere nach dem Studium der Ausführungen zur Klebstoffauswahl in Kap. 8 wird der Leser verstehen, warum derartige Klebstoffe zwar für spezielle Anwendungen geeignet sind, nicht aber „alles“ können.

Unter *Klebstoffen* sind somit Produkte zu verstehen, die gemäß ihrer jeweiligen chemischen Zusammensetzung und dem vorliegenden physikalischen Zustand auf die Füge- teile

aufgebracht werden und in der Klebfuge entweder durch eine chemische Reaktion oder durch physikalisches Abbinden die Klebschicht ausbilden.

Vielleicht fällt spätestens an dieser Stelle auf, dass bisher keine *Kleber* erwähnt wurden. Der Ausdruck „Kleber“ wird im allgemeinen Sprachgebrauch zwar vielfältig benutzt, sollte jedoch durch das Wort Klebstoff ersetzt werden. Der heute zweifellos vorhandene hohe technische Stand des Klebens als Fertigungsverfahren reiht die *Klebstoffe* als wichtige *Werkstoffe* in die große Zahl der Fertigungsmittel ein.

**Merke** Ein „Kleber“ ist jemand, der mit einem „Klebstoff“ klebt!

---

## 2.3 Klebstoffzusätze und haftvermittelnde Substanzen

Für die vorstehend aufgeführten Klebstoffe sind nach Art ihres Aufbaus und ihrer Einteilung für deren Formulierung Zusätze erforderlich, um deren Verarbeitungs- und Anforderungseigenschaften sicher zu stellen. Im Wesentlichen handelt es sich dabei um die folgenden Produkte:

### 2.3.1 Härter

Der Begriff „Härter“ kann bei chemisch reagierenden Klebstoffarten in seiner Funktion als Klebstoffbestandteil u. a. unter zwei verschiedenen Eigenschaftskriterien betrachtet werden,

- als eine der beiden Komponenten (meistens diejenige mit dem geringeren Volumen- oder Gewichtsanteil) bei Zweikomponenten-Reaktionssystemen, z. B. die Aminkomponente bei Epoxidharzen (Abschn. 4.1.1);
- als ein Zusatz, um eine Polymerisationsreaktion einzuleiten, z. B. organische Peroxide bei den Methacrylatklebstoffen (Abschn. 4.3.3).

Für beide Beispiele trifft die normenmäßig gegebene Definition für einen Härter als „Klebstoffbestandteil, der eine Vernetzung des Klebstoffs bewirkt“ zwar zu, hinsichtlich der Beteiligung am Reaktionsablauf gibt es jedoch grundsätzliche Unterschiede:

Im ersten Fall (Epoxidharz) bildet die als Härter bezeichnete Komponente (Amin) durch die gemeinsame Vernetzung mit dem Epoxid einen wesentlichen Bestandteil der ausgehärteten Klebschicht.

Im zweiten Fall (Methacrylat) trifft das nicht zu, da der wirksame Anteil des Härters (Peroxid) am Reaktionsgeschehen gegenüber dem Basismonomer sehr gering ist und somit keinen die Eigenschaft der Klebschicht bestimmenden Polymeranteil bildet.

Für die Klebstoffverarbeitung bedeutet dieser Unterschied ein wichtiges Kriterium bei der Auswahl der Misch- bzw. Dosiergeräte (Abschn. 7.2.2). (Folgt man diesen Betracht-



tungen, wären durchaus die auf Fügeiteiloberflächen vorhandenen Wassermoleküle als „Härter“ für Cyanacrylatklebstoffe zu bezeichnen, Abschn. 4.3.1)

### 2.3.2 Vernetzer

Häufig wird der Begriff „Vernetzer“ mit einem Härter gleich gestellt, obwohl es hinsichtlich der Funktion Unterschiede gibt. Im eigentlichen Sinn sind Vernetzer Substanzen, die an lineare Molekülketten reaktive Molekülgruppen „anknüpfen“, so dass durch deren chemische Reaktionen aus z. B. linearen Strukturen zwei- oder dreidimensionale vernetzte Polymere gebildet werden können.

### 2.3.3 Beschleuniger, Katalysatoren

Hierbei handelt es sich um Verbindungen, die bereits bei sehr geringen Konzentrationen (< 1 %) einen Reaktionsablauf entweder erst ermöglichen oder beschleunigen können. In der Regel werden die Beschleuniger der Härterkomponente zugegeben, wie z. B. in Abschn. 4.3.3 (Methacrylatklebstoffe) beschrieben. In ähnlicher Weise ist die Funktion von Katalysatoren zu sehen mit dem Unterschied, dass diese im Endprodukt nicht erscheinen und bei der Reaktion nicht verbraucht oder verändert werden.

### 2.3.4 Haftvermittler

Neben den in Abschn. 7.1.3.1 beschriebenen Primern dienen Haftvermittler in gleicher Weise der Verbesserung der Haftungseigenschaften von Klebschichten auf den Fügeiteiloberflächen. Während Primer in der Regel auf die Oberflächen aufgetragen werden, sind Haftvermittler in den meisten Fällen in geringer Konzentration Klebstoffbestandteile. Aus didaktischer Sicht lässt sich deren Funktionsweise aus Abb. 2.2 nachvollziehen: Zwei verschiedene reaktive Gruppen (Abschn. 2.1.3 und 3.1) an einem in den meisten Fällen linearen Molekülsegment ermöglichen einerseits eine chemische Reaktion mit den Atomen/Molekülen der Fügeiteiloberfläche und andererseits mit entsprechenden funktionellen Gruppen der Klebstoffmoleküle. Auf diese Weise entstehen dann bei der Härtingsreaktion sog. „chemische Brücken“. Vielfältig eingesetzt werden Haftvermittler auf Basis von Silanen (organische Siliziumverbindungen). Derartige Haftvermittler sind z. B. seit langem bei der Herstellung glasfaserverstärkter Kunststoffe im Einsatz, um die Adhäsion zwischen Glasfaser und dem entsprechenden Harz sowie auch für Glas-/Glasklebungen zu verbessern.

### 2.3.5 Füllstoffe

Mit dem Zusatz von Füllstoffen werden verschiedene Eigenschaftsänderungen der Klebstoffe bzw. der Klebschichten angestrebt. Ihre wichtigsten Merkmale sind in Abhängigkeit von der jeweiligen Anwendung die chemische Zusammensetzung, Korngrößenverteilung, Dichte, Benetzbarkeit und für spezielle Anwendungen ergänzend Wärmeleitfähigkeit, Wärmeausdehnungskoeffizient (Abschn. 7.3.1), elektrische Leitfähigkeit (Abschn. 11.5). Weiterhin gilt ein inertes Verhalten den Polymermolekülen gegenüber (kein Anlösen, Anquellen, Klebrigmachen) als wesentliche Voraussetzung für einen Einsatz.

Eine Beeinflussung der Klebschichteigenschaften liegt u. a. in den Möglichkeiten einer Verstärkung der Klebschicht, deren geringere Schwindung während der Aushärtung, so wie der Verleihung besonderer elektrischer und physikalischer Eigenschaften. Als Zusatz zu Klebstoffen kann beispielsweise eine Veränderung rheologischer Eigenschaften vorteilhaft sein. Nicht zu verwechseln mit Füllstoffen sind sog. *Streckmittel*, die vielfach vor dem Hintergrund einer Kostenreduzierung und z. T. auch einer Qualitätsminderung der Klebstoffe gesehen werden müssen.