

TKB-Bericht 11

Stand: 19. Juli 2024



Industrieverband
Klebstoffe e.V.

Belegreife

Erstellt von der Technischen Kommission Bauklebstoffe (TKB) im
Industrieverband Klebstoffe e.V., Düsseldorf

unter Mitwirkung von

BVPF
Bundesverband Parkett und Fußbodentechnik
bv-parkett.de



BSR
Bundesverband der vereidigten Sachverständigen für Raum und Ausstattung e.V.
www.bsr-sachverstaendige.de



BV FGB
Bundesverband Farbe Gestaltung Bautenschutz
www.farbe.de



FEB
Fachverband der Hersteller elastischer Bodenbeläge e.V.
feb-ev.com



MMFA
Verband mehrschichtig modularer Fußbodenbeläge e.V.
mmfa.eu



vdp
Verband der Deutschen Parkettindustrie e.V.
www.parkett.de



ZVR
Zentralverband Raum und Ausstattung
www.zvr-info.de

Zusammenfassung

Die Belegreife eines Untergrunds wird durch verschiedene Eigenschaften bestimmt, deren Ausprägungen zu bewerten sind. Die Belegreife eines Untergrunds ist nur gegeben, wenn dieser hinsichtlich aller relevanten Eigenschaften die Belegreife-Sollwerte (erreicht) hat.

Eine Belegreife-Eigenschaft ist der Feuchtezustand, der selbst durch die Größen Feuchtegehalt, Feuchtepotential und Feuchteleitfähigkeit bestimmt wird. Der Feuchtezustand ändert sich nach dem Untergrundeinbau so lange, bis das Feuchtepotential einen Gleichgewichtszustand mit den Umgebungsbedingungen erreicht hat. Die Werte für die Parameter der Belegreife sind nicht absolut festzulegen, sondern eine spezifische Belegreife wird in Abhängigkeit vom Alter des Untergrunds, dem geplanten Bodenaufbau und der geplanten Nutzung festgestellt.

Die Verantwortung für die Belegreife eines Untergrunds liegt beim Auftraggeber, die Prüfung der Belegreife obliegt bei der Ausführung von Parkett- und Bodenbelagsarbeiten dem Parkett-/Bodenleger. Die Durchführung von Maßnahmen zur Herstellung eines belegreifen Untergrunds durch den Auftragnehmer kann vereinbart werden.

Vorwort

Die in den letzten Jahren in und zwischen den Fußboden erstellenden Branchen geführte Diskussion um Feuchtemessverfahren sowie die Diskussion über Nachhaltigkeit in den Fußbodenbranchen haben dazu geführt, dass auch das Thema „Belegreife“ neu betrachtet worden ist.

In der Fußbodentechnik wird unter dem Begriff „Belegreife“ der Zustand eines Untergrunds verstanden, in dem er für die Aufnahme eines Bodenbelags oder von Parkett bereit bzw. geeignet ist. Dabei wird Belegreife oftmals auf das eine Kriterium Feuchtigkeit reduziert. Wodurch der Zustand eines belegreifen Untergrunds charakterisiert wird, welche Parameter diesen Zustand beeinflussen, wird mitunter nur unzureichend durch die Feststellung beantwortet, dass der Untergrund (schon ausreichend) trocken ist. Tatsächlich aber sind eine Reihe von Kriterien relevant für die Prüfung und Beurteilung eines Untergrunds und die Feststellung seiner Belegreife durch den Auftraggeber/Planer.

Die TKB und der Bundesverband Parkett und Fußbodentechnik (BVPF) haben daher ein Interesse daran, weitergehende Informationen zur Belegreife zur Verfügung zu stellen. Damit soll eine Weiterentwicklung angestoßen werden, die für den Auftraggeber/Planer die Sicherheit bei der Beurteilung von Untergründen erhöhen und die Anzahl an Beanstandungen reduzieren helfen kann.

Dieser Bericht soll die anerkannten Regeln der Technik tiefergehend erläutern; aus ihm lassen sich keine neuen Prüfungen oder Prüfpflichten ableiten.

Düsseldorf und Berlin, 2024

Technische Kommission Bauklebstoffe (TKB) im

Industrieverband Klebstoffe e.V. (IVK)

Bundesverband Parkett- und Fußbodentechnik (BVPF)

Zusammenfassende Hinweise für die Praxis

Eine Zusammenfassung dieses TKB-Berichts 11, die die wesentlichen Aussagen zur Definition der Belegreife, zu relevanten Untergrundeigenschaften, zur Messung der Belegreiffeuchte, zu Altuntergründen sowie zur Prüfung und Herstellung der Belegreife enthält, ist als Information der Schnittstelle Fußboden verfügbar.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
Vorwort	3
Zusammenfassende Hinweise für die Praxis.....	3
1. Definition der Belegreife	5
2. Entwicklungsstadien eines Untergrundes	5
3. Zeitliche Differenzierung der für die Belegreife relevanten Untergrundeigenschaften	6
3.1 Zeitunabhängige Eigenschaften	6
3.1.1 Zeitunabhängige Eigenschaften in der Reifephase	6
3.1.2 Zeitunabhängige Eigenschaften in der Nutzungsphase.....	6
3.2 Zeitabhängige Eigenschaften	6
3.2.1 Zeitabhängige Eigenschaften in der Reifephase..	6
3.2.2 Zeitabhängige Eigenschaften in der Nutzungsphase.....	7
4. Veränderungen der Eigenschaften neuer mineralischer Estriche in der Reifephase.....	7
4.1 Festigkeit mineralischer Estriche.....	7
4.2 Schwindverhalten mineralischer Estriche	7
4.3 Feuchtezustand mineralischer Estriche	8
4.3.1 Feuchtegehalt und relativer Feuchtegehalt.....	8
4.3.2 Feuchtepotential	8
4.3.3 Feuchteleitfähigkeit	9
5. Klassifizierung von Untergrundarten hinsichtlich des Reifens.....	9
5.1 Neuuntergründe	9
5.1.1 Neue, nass eingebrachte mineralische Estriche..	9
5.1.2 Neue, trocken eingebrachte Untergründe	9
5.2 Altuntergründe.....	9
6. Spezifische Belegreife	10
7. Estrichfeuchtezustand: Einwirkungen und Auswirkungen	10
7.1 Einfluss des Umgebungsklimas auf die Entwicklung der Belegreife	10
7.2 Auswirkungen des Estrichfeuchtezustands auf Verlegewerkstoffe und Bodenbeläge.....	11
8. Charakterisierung der Belegreife in Ausführungsnormen	12
9. Belegreife: Verantwortung, Feststellung und Herstellung.....	12
9.1 Verantwortung für die Belegreife.....	12
9.2 Prüfen der Belegreife	13
9.3 Maßnahmen zum Erreichen der Belegreife	13
10. Hintergrundinformationen zur Feuchte.....	13
10.1 Feuchtezustand	13
10.1.1 Feuchte, Feuchtigkeit, relativer Feuchtegehalt, Wassergehalt, Feuchteanteil	13
10.1.2 Feuchtepotential	13
10.1.3 Feuchtetransport.....	14
10.1.4 Extensive und intensive Zustandsgrößen	14
10.2 Sorptionsisothermen und Feuchtespeicherkapazität	15
10.3 Hygroskopischer Bereich	15
10.4 Trocknung mineralischer Estriche.....	15
10.5 Ausgleichsfeuchte.....	16
10.6 Bedingungen für das Auftreten von Feuchteschäden	16

1. Definition der Belegreife

Die Belegreife ist der Zustand eines Untergrunds, in dem er für die schadens- und mangelfreie, dauerhafte Aufnahme eines Bodenbelags geeignet ist.¹

Für den konkreten Fall bedeutet dies:

Der Untergrund wird hinsichtlich seiner Belegreife durch eine Summe verschiedener Eigenschaften charakterisiert (Zustand im physikalischen Sinn). Die Werte bzw. Ausprägungen dieser Eigenschaften dienen als Maßstab zur Feststellung der Belegreife. Dabei ist zu beachten, dass die Beurteilungsmaßstäbe je nach geplantem Aufbau und nach geplanter Nutzung verschieden sein können.

Erfüllen alle Werte bzw. Ausprägungen die spezifischen einzelfallbezogenen Anforderungen an die Belegreife, ist der Untergrund belegreif.

Der Begriff des „Reifens“ kann im Deutschen mindestens zwei verschiedene Zustände bezeichnen^{2,3}

- I. „... voll entwickelt und daher geeignet zur Ernte [Ernte hier auch im Sinne von ‚Verwendung‘, TKB]“,

oder

- II. „genügend vorbereitet“.

Der Zustand „voll entwickelt“ betrifft insbesondere neue mineralisch gebundene Estriche, die physikalisch und chemisch zeitabhängig „reifen“ und sich entwickeln müssen, um belegreif zu werden.

Der Zustand „genügend vorbereitet“ betrifft alle Untergründe, insbesondere auch neue Fertigteilestriche und auch Altuntergründe, die für den vorgesehenen Bodenaufbau/die vorgesehene Nutzung „genügend vorbereitet“ werden müssen. Durch die Vorbereitung stellt der Verleger die Belegreife aktiv her.

Davon abweichend wird die Belegreife eines Estrichs von Estrichlegern anders verstanden.

- Für den Estrichleger sind für die Abnahme seines Gewerks die Erfüllung der vereinbarten Anforderungen entsprechend der DIN EN 13813 und der DIN 18560 (DIN 18560-1 enthält Anforderungen an den relativen Feuchtegehaltsanteil eines mineralisch gebundenen Estrichs, bestimmt durch eine CM-

Messung) relevant. Nach der erfolgten Abnahme ist der Estrich grundsätzlich nutzbar.

- Für den Parkett-/Bodenleger ist die Belegreife maßgeblich, also der o. g. Zustand des Untergrunds, der eine schadensfreie Aufnahme von Parkett bzw. Bodenbelägen erlaubt.

2. Entwicklungsstadien eines Untergrundes

Analog zu den Entwicklungsstadien in der Biologie durchlebt auch ein Untergrund verschiedene Entwicklungsstadien. Man kann grob fünf Stadien unterscheiden:

1. Herstellung
2. Bei neuen mineralischen Estrichen: Reifen
3. Ggf. Vorbereitung/Ertüchtigung
4. Nutzung/Verschleiß (Alterung)
5. Rückbau.

In der vierten Phase „Nutzung“ führen Verschleiß bzw. Belastungen infolge der Nutzung zu Änderungen von Eigenschaften, bspw. entstehen Mikrorisse als Vorstufen eines Bruches. Durch Ertüchtigung (Phase 3) mit abtragenden bzw. aufbauenden Verfahren (z. B. Entfernen von brüchigen Oberflächenzonen bzw. Auftragen einer verfestigenden Grundierung) kann eine Verlängerung der Gebrauchsdauer (Phase 4) bei Belagswechsel erreicht werden. Die sich in dieser vierten Phase „Nutzung“ (ggf.) zeitlich verändernden Eigenschaften des Untergrunds können eine Veränderung der Eignung für die Aufnahme bestimmter Bodenbeläge oder für bestimmte Nutzungen bedingen. Das ist insbesondere bei Nutzungsänderungen und Belagswechseln zu beachten.

Während die verbleibende Gebrauchsdauer eines alten Estrichs technisch durch die aufgetretenen Belastungen und die damit verbundenen Alterungserscheinungen bestimmt wird, wird im Rahmen von Wertermittlungen und allgemeiner Nutzungsdauerempfehlungen – wohl mangels definierter Kriterien und Grenzwerte für die kritischen Eigenschaften – von einer mittleren Gebrauchsdauer eines Estrichs ausgegangen. Im Zuge der Nachhaltigkeitsdiskussion ist dies problematisch, da damit die Lebensdauer eines Fußbodens willkürlich und technisch unbegründet be-

¹ TKB-Merkblatt 14, Schnellzementestriche und Zementestriche mit Zusatzmitteln. Stand: November 2022.

Technische Kommission Bauklebstoffe (TKB) im Industrieverband Klebstoffe e.V. (IVK), Düsseldorf.

Verfügbar unter: www.klebstoffe.com.

Anmerkung: Mit „Bodenbelag“ ist hier auch Parkett gemeint.

² Wolfgang Pfeifer et al., Etymologisches Wörterbuch des Deutschen (1993), digitalisierte und von Wolfgang Pfeifer überarbeitete Version

im Digitalen Wörterbuch der deutschen Sprache, <<https://www.dwds.de/>>, abgerufen am 10.05.2023.

³ Etymologisch kann der Begriff des „Reifens“ mindestens zwei verschiedene Umstände bezeichnen. Bei DWDS² findet man: „reif Adj. **im Wachstum voll entwickelt und daher geeignet zur Ernte**, erwachsen, erfahren, seelisch ausgeglichen, **genügend vorbereitet**“.

schränkt wird. Es ist geübte Praxis, Altuntergründe, auch älter als 50 Jahre, problemlos neu zu belegen.

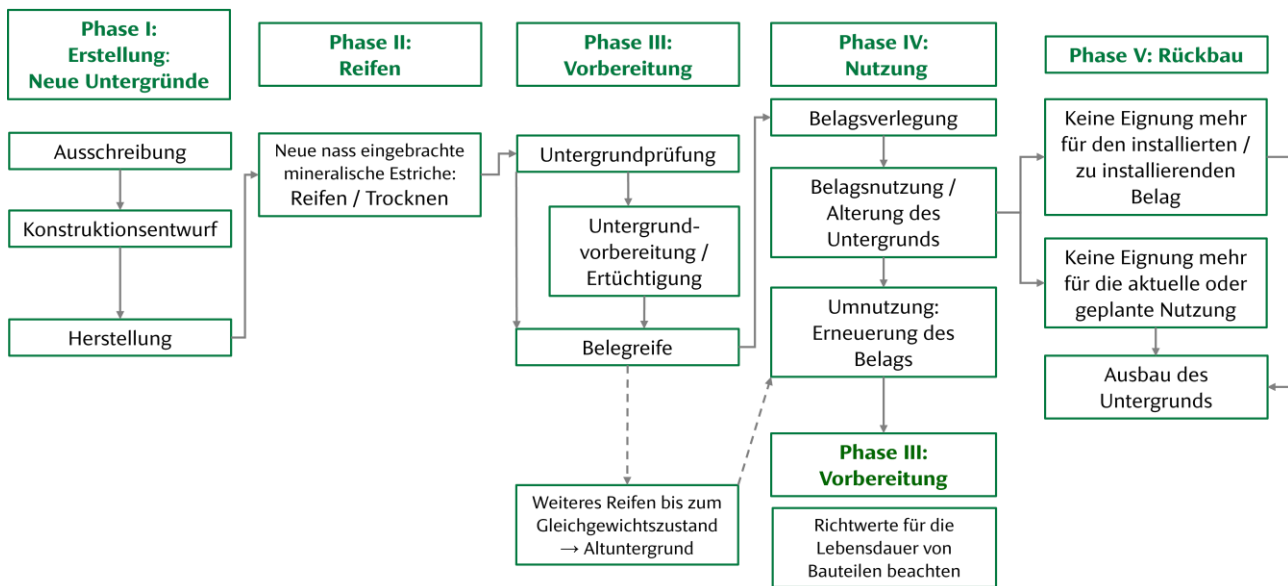


Abb. 1: Lebensphasen eines Untergrunds

3. Zeitliche Differenzierung der für die Belegreife relevanten Untergrundeigenschaften

Hinsichtlich der Eigenschaften, die die Belegreife eines mineralischen Untergrunds charakterisieren, ist es für den Baufortschritt sinnvoll, diese nach zeitunabhängigen und zeitabhängigen Eigenschaften zu differenzieren:

3.1 Zeitunabhängige Eigenschaften

3.1.1 Zeitunabhängige Eigenschaften in der Reifephase

Die Ausprägungen zeitunabhängiger Eigenschaften sind nicht abhängig von der Zeitdauer zwischen Untergrundeinbau und Belagsverlegung. Zeitunabhängige Eigenschaften sind z. B.:

- Höhenlage
- Ebenheit
- Porosität
- Rauigkeit
- überstehende Randdämmstreifen
- bei Fußbodenheizungen: Vorhandensein von Feuchtemessstellen und Vorliegen von Aufheizprotokollen (Funktionsheizungen und ggf. Belegreifheizungen), Oberflächentemperatur. (Siehe auch die Aufzählung in Kap. 3.1.1 der DIN 18356 und DIN 18365.)

3.1.2 Zeitunabhängige Eigenschaften in der Nutzungsphase

Soweit die strukturelle Integrität des Bodens gewährleistet ist, verändern sich Eigenschaften wie:

- Höhenlage
 - Ebenheit
- nicht.

3.2 Zeitabhängige Eigenschaften

Die zeitabhängigen Eigenschaften unterscheiden sich in unterschiedlichen Phasen des Lebenszyklus eines Untergrunds.

3.2.1 Zeitabhängige Eigenschaften in der Reifephase

Die Ausprägungen dieser Eigenschaften sind abhängig von der Zeitspanne nach dem Untergrundeinbau. Diese Eigenschaften sind:

- Feuchtezustand
 - Festigkeit
 - Schwind-/Quellverhalten; Verformung; Risse
- (Detailliertere Erläuterungen: siehe Kap. 4.)

Diese Eigenschaften sind insbesondere für mineralische Estriche relevant, können aber (teilweise) auch für andere Untergründe wie Holzwerkstoffplatten, Fertigteilestriche, Gussasphalt, Holzdielen etc. von Bedeutung sein.

3.2.2 Zeitabhängige Eigenschaften in der Nutzungsphase

In der Nutzungsphase sind die Ausprägungen zeitabhängiger Eigenschaften abhängig von der nutzungsbedingten Belastung des Untergrunds.

Zu diesen Eigenschaften eines Untergrunds gehören insbesondere:

- Innere Festigkeit (Druckfestigkeit, Biegezugfestigkeit, Zugfestigkeit)
- Oberflächenbeschaffenheit (alte Aufbauschichten)
- Oberflächenfestigkeit

4. Veränderungen der Eigenschaften neuer mineralischer Estriche in der Reifephase

Nachfolgend werden die oben genannten drei wesentlichen zeitabhängigen Eigenschaften, die die Belegreife für mineralische Estriche bestimmen, näher erläutert.

Die zeitabhängigen Eigenschaften sind auch für Altuntergründe relevant. Beispielsweise kann sich der Feuchtezustand durch Nutzungsänderung des Gebäudes ändern, durch mechanische Belastungen kann die Festigkeit abnehmen und Verformungen können auftreten.

4.1 Festigkeit mineralischer Estriche

Die Entwicklung der Festigkeit von Zement- und Calciumsulfatestrichen, als den am häufigsten eingesetzten mineralischen Estrichen, folgt dem Fortschreiten der Hydratationsreaktionen, der Gefügebildung und der Trocknung.

Bei Zementestrichen sind Hydratation und Gefügebau – und somit die Liegezeit seit Einbau des Estrichs – maßgeblich für die Entwicklung der Festigkeit. Der Feuchtegehalt übt keinen wesentlichen Einfluss auf die Festigkeit aus. Bei Calciumsulfatestrichen korreliert die Festigkeit sehr stark mit deren Feuchtegehalt, der Einfluss der Liegezeit ist dagegen nur hinsichtlich der physikalischen Trocknung relevant.

Bei Zementestrichen auf Basis von ternären Schnellzementen werden hohe Festigkeiten aufgrund der hohen Reaktionsgeschwindigkeiten und schnellen Gefügebildung sehr schnell erreicht.

Bei allen Untergründen kann die Festigkeit im Lauf des Lebenszyklus abnehmen. Das Ausmaß dieser Festigkeitsreduktion hängt dabei von der Estrichart, der Art und Höhe der Belastung und dem Nutzungsklima (z. B. infolge von Spannungen, die bei stark schwankender relativer Luftfeuchte durch Parkettböden erzeugt werden können) ab.

Welche Festigkeiten mineralische Estriche zum Zeitpunkt des Erreichens eines Belegreife-Grenzwerts erreicht haben, kann auf der Baustelle nicht geprüft werden. Nach den Maßgaben der DIN 18560-1 mit Verweisen und Subverweisen auf die Normen DIN EN 13813, DIN EN 13892-2 und DIN EN 13892-1 werden die Festigkeitswerte von Norm-Estrichen nach 28 Tagen (unter definierten Lagerbedingungen) bestimmt. Bei Estrichen mit Schnellzement als Bindemittel sind die Herstellerangaben zum Belegreifezeitpunkt maßgeblich.

4.2 Schwindverhalten mineralischer Estriche

Mineralische Estriche können beim Erhärten/Trocknen Dimensionsänderungen und Verformungen unterliegen. Dieses zeitabhängige Schwinden (seltener: Quellen), insbesondere von Zementestrichen, ist bestimmt durch den Fortgang der Hydratationsreaktionen und den Gefügebau sowie den Wasserverlust beim Trocknen. Infolge des Schwindens können zeitabhängig z. B. Risse im Estrich, Hohllagen oder Randverformungen (Schüsseln) auftreten. Das Ausmaß des Schwindens ist stark von der Estrichzusammensetzung abhängig.

Das Schwinden bei Zementestrichen ist deutlich ausgeprägter als bei Calciumsulfatestrichen. Bei Zementestrichen ist das Schwinden für die maximal möglichen fugenfreien Feldgrößen maßgeblich, während bei Calciumsulfatestrichen die entsprechenden Feldgrößen durch die zu erwartenden thermisch bedingten Ausdehnungen begrenzt werden. Eine Orientierung zu den zu erwartenden Schwindmaßen enthält DIN 18560-1. Für Zementestriche wird ohne Deklaration einer Schwindklasse von einem „normalen“ Schwindmaß von $\geq 0,5$ mm/m ausgegangen. Für Calciumsulfatestriche ohne Deklaration gilt diese Festlegung nicht. Die Messung des Schwindmaßes erfolgt gemäß DIN EN 13892-9 vom Zeitpunkt der Estrichherstellung bis zum Zeitpunkt, an dem nur noch geringe, definierte Messwertänderungen auftreten. Allerdings ist dabei zu beachten, dass die Messung des Schwindmaßes nach DIN EN 13892-9 nur die horizontale Längenänderung erfasst, nicht jedoch ein mögliches Schüsselungsverhalten, also vertikale Verformungen des Estrichs.

Welche Schwindung/Verformung mineralischer Estriche nach dem Erreichen eines Belegreife-Grenzwerts noch auftritt, kann mit baustellenüblichen Methoden nicht geprüft werden. Hier ist relevant, dass das Schwinden des Estrichs zum Zeitpunkt des Erreichens des feuchtebezogenen Belegreife-Grenzwerts in der Regel noch nicht abgeschlossen ist. Damit können nachträgliche Dimensionsänderungen des mit einem Bodenbelag/Parkett belegten Estrichs, insbesondere bei Zementestrichen, nicht ausgeschlossen werden. Dies kann sich insbesondere durch Vergrößerung der

Randfugen bzw. Randabsenkungen nach einigen Monaten Liegezeit äußern.

4.3 Feuchtezustand mineralischer Estriche

Zur Beschreibung des Feuchtezustands eines mineralischen Estrichs im hygrokopischen Bereich ($\leq 95\%$ r. LF.) sind Kenntnisse zu folgenden drei Faktoren erforderlich:

4.3.1 Feuchtegehalt und relativer Feuchtegehalt

Der Feuchtegehalt⁴ ist der Wassergehalt⁵ des Estrichs. Bei den üblichen Messmethoden wird in der Regel nur ein Bruchteil des tatsächlich vorhandenen Wassers erfasst, die Werte können sich daher von Methode zu Methode erheblich unterscheiden. Um klarzustellen, auf welche Methode sich der Wassergehalt bezieht, wird der Feuchtegehalt üblicherweise mit einer Hilfsmaßeinheit bzw. Pseudoeinheit⁶ bemisst (z. B. „CM-%“, „Darr-%“, „Darr(105 °C)-%“, ...).

Der Messwert des relativen Feuchtegehalts gibt einen Hinweis darauf, welche Wassermasse in Abhängigkeit vom Umgebungsklima und in Abhängigkeit von der Lage der Estrich- und messartspezifischen Sorptionsisotherme bis zum Gleichgewichtszustand noch an die Umgebung abgegeben wird.

Relative Feuchtegehalte mineralischer Estriche werden in der Praxis auf zwei unterschiedliche Arten ermittelt:

1. CM-Messung:

Auf der Baustelle erfolgt die Bestimmung eines methodenspezifischen relativen Feuchtegehalts durch eine CM-Messung. Bei dieser reagiert ein Teil des in der Estrichprobe enthaltenen Wassers mit einem Überschuss an Calciumcarbid in einer verschlossenen Druckflasche. (Siehe TKB-Merkblatt 16⁷).

Die CM-Messung ist eine dynamische Messung, d. h. sie wird nach einer definierten Zeit, weit vor dem Erreichen eines Gleichgewichtszustandes, abgebrochen. Neben der tatsächlich vorhandenen Menge an Wasser im Prüfgut wird das Ergebnis wesentlich von weiteren Faktoren (u. a. dem Schütteln und damit dem Zermahlen des Carbid und Prüfgutes und der Diffusion von Wasser aus

dem Prüfgut durch die Luft und in das Calciumcarbid) bestimmt.

2. Darr-Prüfung:

Bei der Darr-Prüfung im Labor wird der Feuchtegehalt durch Darren, d. h. Trocknung im Ofen bei einer bestimmten Temperatur, mittels Wägung bis zur Gewichtskonstanz bestimmt.

Anmerkung: Üblicherweise wird der erhaltene Gewichtsverlust auf die Trockenmasse bezogen. Wenn als Pseudoeinheit „Masse-%“ angegeben wird, ist dies irreführend, da dafür eigentlich korrekt der Quotient aus der Masse des während der Trocknung abgegebenen Wassers und der Masse der feuchten Probe, multipliziert mit 100, berechnet werden müsste.

Üblicherweise erfolgt das Darren in einem Ofen, der mit Raumluft im Kontakt steht. Zementestriche werden bei einer Temperatur von $T = 105\text{ °C}$, Calciumsulfatestriche bei $T = 40\text{ °C}$ gedarrt.

Die Darrdauer ist je nach Probe variabel, in mehreren Schritten wird gedarrt und gewogen bis Gewichtskonstanz der Probe erreicht ist. Auch bei der Darr-Prüfung ist das Messergebnis abhängig von den Prüfbedingungen, hier insbesondere der Ofentemperatur und der relativen Luftfeuchte im Ofen, die bei Temperaturen nahe der Raumlufttemperatur (z. B. $T = 40\text{ °C}$ für Calciumsulfatestriche) noch recht hoch sein kann.

4.3.2 Feuchtepotential

Das Feuchtepotential⁸ ist das chemische Potential des Wassers in/an einer Substanz.

Da das chemische Potential des Wassers technisch nicht unmittelbar messbar ist, wird der messbare Wasserdampfpartialdruck (Wasserdampfdruck) als verbundene Größe bestimmt. Anschaulich gibt es die Triebkraft wieder, mit der Wasser bei einer bestimmten Temperatur aus dem Estrich entweichen kann. Gemessen wird der Wasserdampfpartialdruck in einem kleinen Volumen, das sich hinreichend dem thermodynamischen Gleichgewicht mit der Untergrundprobe angenähert hat. Um die Triebkraft leichter abschätzen zu können, wird anstelle des Wasserdampfpartialdrucks häufig die relative Luftfeuchte (Wasserdampfpartial-

⁴ Eine ausführlichere Definition des Feuchtegehalts ist in Kap. 10 enthalten.

⁵ Die Masse und damit der Wasser- bzw. Feuchtegehalt ist eine extensive physikalische Größe, ihr Wert ist abhängig von der Größe des Systems, d. h. z. B. eine Masse von 1 kg Estrich enthält nur 1/10 der Wassermasse, die in einer Masse von 10 kg desselben Estrichs enthalten ist.

⁶ Eine Erläuterung der Begriffe findet man hier: <https://de.wikipedia.org/wiki/Hilfsma%C3%9FFeinheit>

⁷ TKB Merkblatt 16, CM-Messung, Stand: in Überarbeitung; Veröffentlichung in 2024
Technische Kommission Bauklebstoffe (TKB) im Industrieverband

Klebstoffe e.V. (IVK), Düsseldorf.

Verfügbar unter: www.klebstoffe.com.

Anmerkung: Der Druck in „Pa“ oder „bar“ des dabei entstandenen gasförmigen Ethins (Acetylens) kann an einem Manometer abgelesen werden und muss dann, entsprechend der Einwaage, in Masse-% umgerechnet werden. Spezielle Manometer haben teilweise zusätzliche Skalen, die für verschiedene Einwaagen bereits die Umrechnung des Druckes in Masse-% Wasser enthalten.

⁸ Definition des Feuchtepotentials und Zusammenhang zwischen relativer Luftfeuchte und chemischem Potential: siehe Kap. 10.

druck/Sättigungs-Wasserdampfpartialdruck) in % angezeigt. Als Einheit des Messwerts wird dann die Pseudoeinheit „% r. LF.“ oder „%-rLF“ angegeben. Da der Sättigungs-Wasserdampfpartialdruck stark temperaturabhängig ist, wird die ebenfalls gemessene Temperatur (typischerweise in °C) auch stets angegeben. (Weitere Informationen: siehe Kap. 10.1.2)

4.3.3 Feuchteleitfähigkeit

Für die Beurteilung des Feuchtezustands eines Estrichs hinsichtlich der Belegreife ist neben dem Wassergehalt und dem Feuchtepotential auch relevant, mit welcher Geschwindigkeit (Volumenstrom) der Wasser(dampf-)transport erfolgen kann. Dafür ist die Kenntnis der Feuchteleitfähigkeit bzw. des Feuchteleitwiderstands des Estrichs notwendig. In der Baustellenpraxis ist eine Abschätzung der Feuchteleitfähigkeit nicht einfach möglich und gehört nicht zu den Prüfpflichten.

5. Klassifizierung von Untergrundarten hinsichtlich des Reifens

Anhand der zeitabhängigen Eigenschaften, die die Belegreife mitbestimmen, können drei Arten von Untergründen differenziert werden:

5.1 Neuuntergründe

Hinsichtlich der Zeitschiene, auf der das Reifen erfolgt, kann man bei Neuuntergründen zwei Klassen unterscheiden. Bei neu eingebrachten wasserenthaltenden mineralischen Estrichen beträgt die Reifezeit Wochen bis Monate, bei trocken eingebrachten Fertigteil-estrichen und thermoplastischen, heiß eingebrachten Estrichen sowie Reaktionsharzestrichen hingegen liegt die Reifezeit im Bereich von Stunden.

5.1.1 Neue, nass eingebrachte mineralische Estriche

Von den zeitabhängigen Eigenschaften sind bei neu eingebauten mineralischen Estrichen der Feuchtezustand, dabei insbesondere das Feuchtepotential und der Feuchtegehalt, für die Verlegung von Parkett und Bodenbelägen besonders wichtig und auf baustellenübliche Weise ermittelbar. Neue mineralische Estriche trocknen bis sie den feuchtebezogenen Gleichgewichtszustand mit ihrer Umgebung erreicht haben (Ausgleichsfeuchte).

Aufgrund langjähriger praktischer Erfahrung gilt es als gesichert, dass Parkett und Bodenbeläge schadensfrei verlegt werden können, auch wenn der mineralische Estrich als Untergrund seine Ausgleichsfeuchte noch nicht erreicht hat. Die feuchtebezogene Belegreife, als ein Teil der Belegreife, ist damit – wie andere Eigenschaften auch – bereits vor Erreichen des Gleichgewichtszustands gegeben. Zum Zeitpunkt des Erreichens

der feuchtebezogenen Belegreife sind häufig auch die weiteren zeitabhängigen Eigenschaften – Festigkeitsaufbau und ausreichender Schwindungs-/Verformungsabbau – für die Belagsverlegung ausreichend fortgeschritten.

Die Festlegung konkreter Grenzwerte für Feuchtepotential oder Feuchtegehalt (für spezifische Estrichzusammensetzungen) als Maßstab für das Vorliegen der feuchtebezogenen Belegreife ist das Ergebnis einer branchenspezifischen Risikoabschätzung. Die Festlegung erfolgt dabei auf Basis theoretischer Überlegungen und langjähriger praktischer Erfahrung.

Zeitabhängige Eigenschaften verändern sich durch chemische (Hydratationsreaktionen) und physikalische (Wasserabgabe (Trocknung)) Vorgänge. Zu einem bestimmten Zeitpunkt sind Werte zu diesen Eigenschaften erreicht, die die Aufnahme eines Bodenbelags bzw. Parketts erlauben.

Zu beachten ist dabei, dass sich die verschiedenen zeitabhängigen Eigenschaften nicht mit derselben Geschwindigkeit ändern und daher die unterschiedlichen Eigenschaften zu unterschiedlichen Zeitpunkten Werte erreicht haben, die das Belegen des Untergrunds erlauben.

5.1.2 Neue, trocken eingebrachte Untergründe

Nach dem Einbau ändern sich die Eigenschaften nicht kurzfristig, sondern nur noch im Zuge der Alterung langfristig.

Bei den trocken eingebrachten Untergründen kann man 2 Kategorien unterscheiden:

- a) Estriche, die ähnlich wie neue mineralische Estriche eingebracht werden, die aber nur abkühlen (Gussasphalt) oder nur chemisch abbinden (Kunsthazestriche) müssen. Zeitabhängige Eigenschaften verändern sich bei diesen Systemen sehr schnell (< 1 Tag). Die Reifephase ist hier so kurz, dass sie in der Regel nicht extra betrachtet werden muss und als Teil der Herstellung verstanden werden kann.
- b) Im Trockenbau eingebaute Fertigteil-estriche und Systemböden:
Nach dem Einbau/der Herstellung ändern sich die Eigenschaften nicht kurzfristig, sondern nur noch im Zuge der Alterung langfristig. Eine Vorbereitung des Untergrunds und das Belegen mit einem Bodenbelag bzw. Parkett können nach Herstellung kurzfristig erfolgen.

5.2 Altuntergründe

Bei Altuntergründen muss analog zu trocken eingebrachten Untergründen keine kurzfristige Änderung von zeitabhängigen Eigenschaften abgewartet werden. Es ist aber zu beachten, dass die Vorgeschichte des

Untergrunds Einfluss auf seine Eigenschaften haben kann. Daraus kann resultieren, dass nur noch eine eingeschränkte Belegreife gegeben ist und/oder, dass eine Ertüchtigung durch geeignete Vorbereitungsmaßnahmen notwendig ist.

Bei alten Estrichen ist die Belegreiffeuchte gleich der Ausgleichsfeuchte, also deutlich niedriger als bei neuen Estrichen. Weicht bei alten Estrichen die Feuchte (Feuchtegehalt/Feuchtepotential) deutlich von den üblichen Werten der Ausgleichsfeuchte ab, muss dies näher betrachtet werden.

6. Spezifische Belegreife

Eine Belegreife ist nicht absolut zu attestieren, sondern sinnvollerweise nur in Abhängigkeit vom Alter des Untergrunds, vom geplanten Bodenaufbau und der geplanten Nutzung festzustellen. Damit müssen sowohl die Prüfung des Untergrunds als auch die Bewertung seiner Eignung und die notwendigen Untergrundvorbereitungsmaßnahmen spezifisch (einzelfallbezogen) erfolgen.

Es ist sinnvoll, die Untergrundprüfung, Untergrundbeurteilung und später auch die Untergrundvorbereitung differenziert in Abhängigkeit von der Art des neuen Bodenaufbaus durchzuführen. Z. B. muss ein Untergrund für die vollflächige Klebung einer Massivdiele oder von Holzpflaster andere Voraussetzungen zwingend erfüllen als für die Aufnahme eines fixierten PVC-Belags. Eine selbstliegende Teppichfliese kann auf einen älteren Nutzboden, z. B. keramische Fliesen oder einen festliegenden PVC-Belag, verlegt werden, während andere Beläge wie geklebtes Parkett höhere Anforderungen an den Untergrund stellen.

Aus Punkt 3.1.1 der DIN 18356 oder DIN 18365 „Als Bedenken nach §4, Abs. 3 VOB/B können insbesondere in Betracht kommen:“ kann man zum einen ableiten, dass nicht in jedem Fall alle dort genannten Prüfpunkte für einen spezifischen Untergrund relevant sein müssen, und zum anderen, dass ggf. nicht alle relevanten Prüf-Parameter dort abschließend genannt sind (s. Abb. 3).

Der Auftraggeber/Planer kann und muss daher entscheiden, ob der Untergrund grundsätzlich für den geplanten neuen Bodenaufbau geeignet ist, welche zu prüfenden Eigenschaften er zur Bewertung der Belegreife heranzieht und wie die notwendige Untergrundvorbereitung erfolgen soll.

Damit sind insbesondere auch neue Bodenaufbauten auf vorhandenen Nutzböden möglich.

7. Estrichfeuchtezustand: Einwirkungen und Auswirkungen

Die Entwicklung des Feuchtezustands wird insbesondere vom Umgebungsklima bestimmt, während der Untergrund-Feuchtezustand selbst signifikante Auswirkungen auf aufzubringende Schichten haben kann.

7.1 Einfluss des Umgebungsklimas auf die Entwicklung der Belegreife

Die Entwicklung der in Kap. 4 genannten drei zeitabhängigen Eigenschaften (Festigkeit, Schwindverhalten, Feuchtezustand) wird vom Umgebungsklima beeinflusst (s. Abb. 2). Die Temperatur und die relative Luftfeuchtigkeit in der Umgebung beeinflussen sowohl die Hydratationsreaktionen als auch die physikalische Trocknung und damit die beiden Größen, die die drei zeitabhängigen Eigenschaften bestimmen. Je trockener die Umgebungsluft in Relation zur Estrichfeuchte ist, umso schneller trocknet der Estrich.

- Bei Zementestrichen ist für die vollständige Hydratation über einen ausreichend langen Zeitraum ein ausreichendes Wasserangebot notwendig, so dass hohe Umgebungstemperaturen, sehr hohe Luftwechselraten und niedrige Umgebungsluftfeuchten den Festigkeitsaufbau stören und das Schwinden verstärken können.
- Calciumsulfatbasierte Estriche enthalten zu Beginn einen größeren Überschuss an Wasser und sind daher anfänglich bezüglich des Festigkeitsaufbaus weniger kritisch. Dafür können sie ihre Endfestigkeit aber nur erreichen, wenn sie trocken sind.

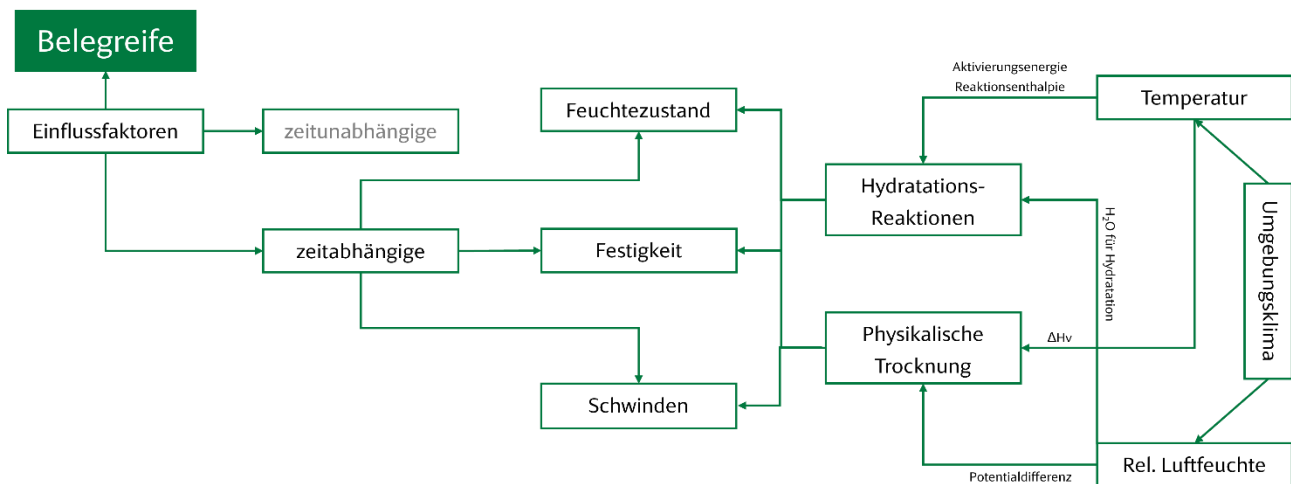


Abb. 2: Indirekter Einfluss des Umgebungsclimas auf die zeitabhängigen für die Belegreife relevanten Eigenschaften

7.2 Auswirkungen des Estrichfeuchtezustands auf Verlegewerkstoffe und Bodenbeläge

Der Feuchtezustand eines Estrichs beeinflusst den Feuchtezustand der Verlegewerkstoffe. Ein feuchter Estrich wird verhindern, dass die Verlegewerkstoffe ihre Ausgleichsfeuchte erreichen können. Damit werden u. a. die gewünschten Eigenschaften in Bezug auf die Festigkeit nicht erreicht; auch sind Zersetzungsreaktionen (Hydrolyse von Estern u. ä.) mit Geruchstoffbildung möglich, mineralische Spachtelmassen können durch sekundäre Ettringitbildung zerstört werden. Verschiedene Bodenbeläge reagieren unterschiedlich auf erhöhte Untergrundfeuchten, vor allem mit Maßänderungen.

Der Feuchtezustand eines Estrichs beeinflusst die Auswahl geeigneter Verlegewerkstoffe und Bodenbeläge, z. B. hinsichtlich der folgenden Eigenschaften:

- Diffusionseigenschaften aufzubringender Verlegewerkstoffe:
Durch Installation einer wasserdampfdiffusionsbremsenden Grundierung (z. B. 2 K-EP-Grundierung, 1 K-PUR-Grundierung oder spezieller Dispersionsgrundierungen) kann eine Belagsverlegung ggf. bei Feuchtegehalten/korrespondierenden relativen Luftfeuchten des Untergrunds erfolgen, die über den üblichen materialspezifischen Belegreife-feuchtegrenzwerten liegen. Die Festigkeit des Estrichs darf dabei aber nicht beeinträchtigt werden (z. B. bei calciumsulfatbasierten Estrichen).
- Feuchteempfindlichkeit der aufzubringenden Verlegewerkstoffe:
Dispersionsprodukte (Grundierungen, Klebstoffe) sind in der Regel deutlich empfindlicher gegen hohe

relative Luftfeuchten (resultierend aus hoher Untergrundfeuchte) als vernetzte Reaktionsharzprodukte, wobei auch deren Eigenschaften eine Abhängigkeit von der relativen Luftfeuchte zeigen.

- Wasserdampfdiffusionswiderstand zu installierender Bodenbeläge bzw. Parkettarten:
Bei weitgehend diffusionsdichten Bodenbelägen, wie z. B. Gummibelägen, kann ein erhöhter Feuchtegehalt des Untergrunds deutlich eher zu Schäden führen (Blasenbildung, Ablösungen, Erweichung von Grundierungen und Klebstoffen) als bei diffusionsoffenen Belägen wie Textilbelägen.
- Feuchteempfindlichkeit zu installierender Bodenbeläge bzw. Parkettarten:
Verschiedene Bodenbeläge reagieren unterschiedlich auf erhöhte Luftfeuchten (resultierend aus hoher Untergrundfeuchte). Insbesondere Parkett zeigt in Abhängigkeit von der Holzart, den Dimensionen und der Konstruktion der Elemente sehr unterschiedliche Maßänderungen/Quellerscheinungen, und elastische Bodenbeläge können z. B. Blasen ausbilden oder aufstippen.

Ist der feuchtebezogene Belegreifgrenzwert erreicht oder unterschritten, können diese Schäden nicht mehr auftreten.

Anmerkung: Das TKB-Merkblatt 17 „Raumklima“ enthält weitergehende Hinweise zur Auswirkung des Raumklimas auf Bodenbeläge und Verlegewerkstoffe während der Verlegung und der Nutzung.⁹

⁹ TKB-Merkblatt 17, Raumklima – Auswirkungen des Raumklimas auf Bodenbeläge und Verlegewerkstoffe während der Verlegung und der Nutzung. Stand: März 2018.
Technische Kommission Bauklebstoffe (TKB) im Industrieverband

Klebstoffe e.V. (IVK), Düsseldorf.
Verfügbar unter: www.klebstoffe.com.

8. Charakterisierung der Belegreife in Ausführungsnormen

Der Parkett-/Bodenleger muss, wenn er ein oder mehrere Probleme/Mängel beim Zustand des Untergrundes feststellt, Bedenken beim Auftraggeber anmelden. Dann muss die Beseitigung der Probleme/Mängel vereinbart und durchgeführt werden, sofern die Arbeiten fortgeführt werden sollen. In Kap. 3.1.1 der DIN 18356¹⁰ bzw. DIN 18365¹¹ sind beispielhaft Probleme/Mängel aufgeführt, die der Belegreife entgegenstehen. Sinngemäß sind dies:

- unrichtige Höhenlage des Untergrundes im Verhältnis zur Höhenlage anschließender Bauteile
- größere Unebenheiten des Untergrundes als nach DIN 18202 „Toleranzen im Hochbau – Bauwerke“ zulässig
- Risse im Untergrund

- nicht genügend feste, zu poröse, zu raue oder verunreinigte Oberfläche des Untergrundes
- fehlender Überstand des Randdämmstreifens
- nicht genügend trockener Untergrund
- fehlende Markierung von Messstellen bei beheizten Fußbodenkonstruktionen
- fehlendes Aufheizprotokoll bei beheizten Fußbodenkonstruktionen
- ungeeignete Temperatur des Untergrundes

Weitere Probleme/Mängel können z. B. eine unzureichende Festigkeit des Altuntergrundes oder fehlende Informationen/Planungsunterlagen sein, die die Belegreife in Frage stellen, so dass Bedenken anzumelden sind. Gleichzeitig müssen nicht alle angeführten Parameter relevant sein für die Beurteilung der Belegreife eines spezifischen Untergrundes.

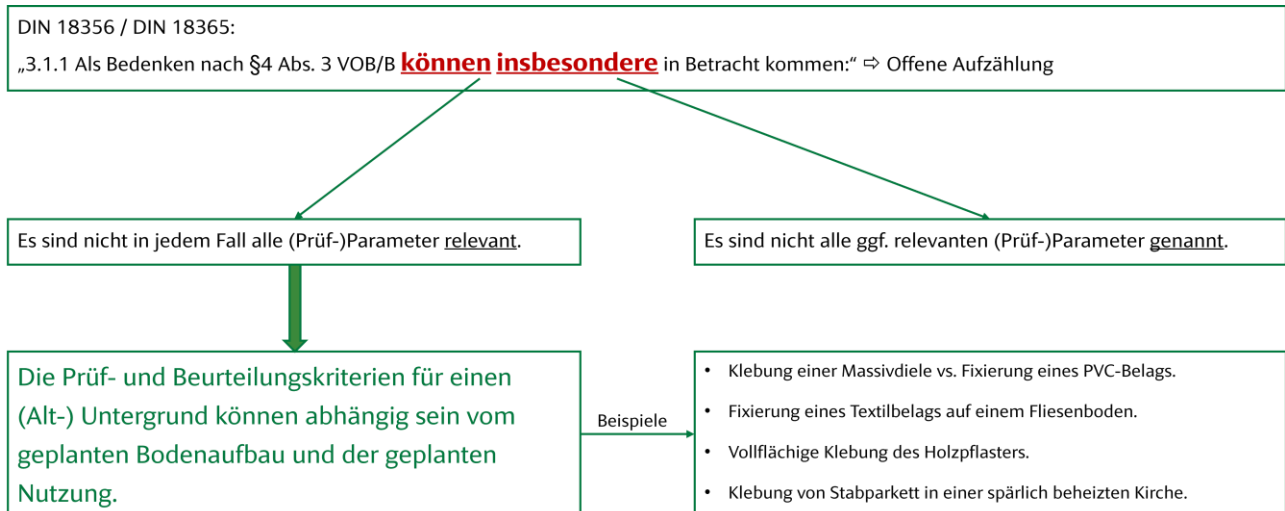


Abb. 3: Selektion von Prüfparametern zur Feststellung einer spezifischen Belegreife

9. Belegreife: Verantwortung, Feststellung und Herstellung

Auftraggeber und Auftragnehmer haben unterschiedliche Zuständigkeiten und Verantwortlichkeiten bei der Belegreife.

9.1 Verantwortung für die Belegreife

Dem Auftraggeber obliegt es, dem Auftragnehmer nach Auslegung des § 642 BGB im Beck'schen Kom-

mentar¹² den Untergrund so zur Verfügung stellen, dass der Auftragnehmer seine Werkleistung mangelfrei erbringen kann. Der Untergrund muss daher [im Grundsatz] belegreif sein.

Die Verantwortung für die Prüfung liegt beim Auftragnehmer. Für die Prüfungsdurchführung ist er auch auf richtige und zutreffende Angaben des Auftraggebers angewiesen (z. B. hinsichtlich der Estrichdicke oder der Verwendung von Estrichbindemitteln oder Estrichzusatzmitteln).

¹⁰ DIN 18356:2019-09, Parkett- und Holzpfisterarbeiten. Berlin: Beuth Verlag GmbH. September 2019.

¹¹ DIN 18365:2019:09, Bodenbelagarbeiten. Berlin: Beuth Verlag GmbH. September 2019.

¹² Beck'scher VOB-Kommentar, VOB-Teil C; Herausgeber: Englert, Katzenbach, Motzke; Verlag C.H. Beck, 4. Auflage 2021, S. 2658 f.

Anmerkung: Abweichend hiervon ist ein Abnahmekriterium für Estricharbeiten, nämlich die mit der CM-Methode ermittelte Teilmenge des Feuchtegehalts, in der DIN 18560 ebenfalls mit „Belegreife“ benannt worden.

9.2 Prüfen der Belegreife

Die Prüfung des Untergrunds obliegt dem Auftragnehmer, obgleich es im Verantwortungsbereich des Auftraggebers liegt, einen belegreifen Untergrund zur Verfügung zu stellen. Der Umfang der Prüfpflichten ist unbestimmt, allerdings gibt es eine Aufzählung von zu prüfenden Eigenschaften in den entsprechenden Normen mit dem Hinweis, dass Mängel und Abweichungen als Bedenken dem Auftraggeber i. d. R. schriftlich mitzuteilen sind (siehe Kap. 8). Die Belegreife, insbesondere auch von Altuntergründen, kann differenziert nach Art des geplanten Aufbaus bzw. der geplanten Nutzung durch den Auftraggeber/Planer festgestellt werden.

Das Alter des Untergrunds und seine Nutzungsvorgeschichte können nicht vom Auftragnehmer geprüft werden, ggf. sollten jedoch zur Klärung Bedenken angemeldet werden. Im Rahmen des Bedenkenanmeldens ist eine Vereinbarung zwischen Auftragnehmer und Auftraggeber insbesondere dann zu treffen, wenn das Alter des Untergrunds relevante Richtwerte für seine Lebensdauer erreicht oder überschritten hat. Das Alter und die Nutzungsvorgeschichte selbst sind hier indirekte Indikatoren für den gealterten Zustand des Estrichs. Unmittelbar kann der Alterungszustand mit einfachen Methoden (Hammerschlag, Ritzfestigkeit, ...) nur sehr eingeschränkt untersucht werden.

9.3 Maßnahmen zum Erreichen der Belegreife

Sowohl Alt- als auch Neuuntergründe müssen in der Regel durch verschiedene Leistungen vorbereitet oder ertüchtigt werden.

In der DIN 18356¹³ und der DIN 18365¹⁴, jeweils Kapitel 4, sind Maßnahmen zur Herstellung der Belegreife eines Untergrunds aufgeführt. „Nebenleistungen“ sind dabei automatisch Teil des Auftrages, „Besondere Leistungen“ hingegen müssen gesondert zwischen Auftragnehmer und -geber vereinbart und dann auch vergütet werden.

Zu beachten ist, dass die Aufzählungen im Kapitel 4 der DIN 18356 und 18365 offene Aufzählungen sind.

10. Hintergrundinformationen zur Feuchte

10.1 Feuchtezustand

Wie in Kap. 4.3 ausgeführt, wird der Feuchtezustand eines Systems durch Werte zu den Parametern:

- a) Feuchtegehalt
- b) Feuchtepotential
- c) Feuchteleitfähigkeit

beschrieben.

Mit „Parameter“ werden in diesem Bericht allgemein Einflussgrößen/Einflussfaktoren bezeichnet. Diese können, müssen aber nicht, physikalische Zustandsgrößen sein. Gleichbedeutend mit Parameter wird in diesem Kontext auch das Wort „Eigenschaft(en)“ verwendet.

Eine physikalische Zustandsgröße ist eine makroskopische physikalische Größe, die (ggf. zusammen mit anderen Zustandsgrößen) den Zustand eines physikalischen Systems beschreibt. Beispiele für solche Größen sind z. B. Länge, Masse, Zeit, Stromstärke oder hier eben Feuchtegehalt [M-%] und Feuchtepotential [% r. F].

10.1.1 Feuchte, Feuchtigkeit, relativer Feuchtegehalt, Wassergehalt, Feuchteanteil

Die Begriffe Feuchte und Feuchtigkeit bzw. Feuchtegehalt und Wassergehalt werden bei Baustoffen synonym benutzt. Feuchtigkeit ist der Gehalt an Wasser, anderen Flüssigkeiten, Gas oder Dampf in Boden, Luft und Materie oder in Räumen. Das Gegenteil ist die Trockenheit, die die Abwesenheit dieser Stoffe beschreibt. Bei Baustoffen und in Gebäudeteilen wird Feuchte mit Wasser gleichgesetzt.

Der Feuchtegehalt ist das Verhältnis der Masse des im Stoff enthaltenen Wassers zur Masse des wasserfreien Stoffes.

Der Feuchtegehalt wird daher als dimensionslose Verhältniszahl angegeben.

Alternativ zum Feuchtegehalt kann die Materialfeuchte auch durch den Feuchteanteil beschrieben werden. Der Feuchteanteil ist das Verhältnis der Masse des im Stoff enthaltenen Wassers zur Gesamtmasse des Stoffes. Der Feuchteanteil kann ebenfalls als dimensionslose Verhältniszahl angegeben werden, oder nach Multiplikation mit dem Faktor 100 mit der Einheit [%] oder [Masse-%].

10.1.2 Feuchtepotential

Mit „Feuchtepotential“ ist hier die intensive physikalische Zustandsgröße des Wasserdampfpartialdrucks gemeint, der sich in einem kleinen Luftvolumen bildet, das im Gleichgewicht mit dem mineralischen Estrich steht. Dieser Wasserdampfpartialdruck wird häufig nicht direkt als Druck gemessen, sondern es wird mit speziellen Sensoren die korrespondierende relative Luftfeuchte bestimmt. Die Einheit der korrespondieren-

¹³ Siehe Fußnote 10.

¹⁴ Siehe Fußnote 11.

den relativen Luftfeuchte ist [% r. F.]; dies ist der prozentuale Anteil bezogen auf den (temperaturabhängigen) Sättigungsdampfdruck von Wasser, wobei der Sättigungsdampfdruck der Druck der dampfförmigen Phase eines Stoffes ist, der sich einstellt, wenn sich flüssige und dampfförmige Phase im Gleichgewicht befinden. Die relative Luftfeuchte ist ein stetiges, material-unabhängiges Potential. Der funktionale Zusammenhang zwischen relativer Luftfeuchte und Feuchtegehalt ist die Feuchtespeicherfunktion, die im hygroskopischen Bereich (≤ 95 % r. F.) mit der Sorptionsisotherme identisch ist. Das Feuchtepotential nach Kießl Φ erfasst auch den überhygroskopischen Bereich, wobei dann im überhygroskopischen Bereich (rel. LF > 95 bis 100 % r. F.) die Feuchtespeicherkenngroße der Kapillardruck ist. Im Gegensatz zur relativen Luftfeuchte φ kann das Feuchtepotential Φ auch Werte über 1 annehmen. Die Feuchtespeicherfunktion, die den funktionalen Zusammenhang zwischen Feuchtegehalt und Feuchtepotential darstellt, umfasst damit auch den Bereich des flüssigen Wassers in einem Baustoff. Für die Beurteilung der Belegreife ist nur der hygroskopische Bereich (≤ 95 % r. F.) relevant, weshalb die Sorptionsisotherme hier den funktionalen Zusammenhang zwischen Feuchtegehalt und relativer Luftfeuchte abbildet.

Der Zusammenhang zwischen der relativen Luftfeuchte und dem Feuchtepotential ist abzulesen aus einer abgeleiteten Gleichung für die partielle molare Gibbs-Energie:

$$(\partial G/\partial n_i)_{p,T} = \mu_i = R \cdot T \cdot \ln(p_i/p_0)$$

Das chemische Potential μ ist die partielle Ableitung der freien Enthalpie G nach der Stoffmenge n .

Der Druck-Quotient p_i/p_0 steht für die relative Luftfeuchte.

Über die ideale Gasgleichung sind Druck und Stoffmenge bzw. Konzentration ineinander umrechenbar.

In der Praxis ist bei Berücksichtigung von Coulomb-Wechselwirkungen, Wasserstoffbrücken und van der Waals-Wechselwirkungen anstelle der Konzentration c_i die relative Aktivität des Wassers a_i zu berücksichtigen: $\mu_i = \mu_i^0 + R \cdot T \cdot \ln(a_i)$

Es gibt also einen logarithmischen Zusammenhang zwischen chemischen Potential und Wasserdampfdruck/relativer Luftfeuchte/Wasserkonzentration/Wasseraktivität.

Das chemische Potential ist nur in Ausnahmefällen unmittelbar zu bestimmen. Ein Beispiel sind elektrochemische Reaktionen, die über die Nernst-Gleichung beschrieben werden:

$$E = E_0 + (R \cdot T / z_e \cdot F) \cdot \ln(a_{ox}/a_{red})$$

Mit:

E = Elektrodenpotential

E_0 = Standardelektrodenpotential

z_e = Anzahl der bei der Redox-Reaktion übertragenen Elektronen

F = Faraday-Konstante = 96.485 C/mol

a_{ox} = Aktivität der oxidierten Form

a_{red} = Aktivität der reduzierten Form

Hier entspricht die gemessene Spannung U der Potentialdifferenz ($E_0 - E$).

10.1.3 Feuchtetransport

Der Wasser-Volumenstrom wird beeinflusst durch die unterschiedlichen Energiezustände, die Wasser in dem mineralischen Gefüge einnehmen kann, und die Gefügestruktur (z. B. Porengrößenverteilung), die die Wassertransportwege und -mechanismen bestimmt. Der relative Anteil der verschiedenen Energiezustände des Wassers und die Transportmechanismen sind abhängig vom Feuchtegehalt und vom Feuchtepotential, so dass sich der Volumenstrom des Wassers aus dem Estrich im Verlaufe der Estrichrocknung ändert, also nicht konstant ist.

Diese Einflussgrößen und Zusammenhänge sind kompliziert und nur aufwendig zu ermitteln und können in der Praxis bei der Feststellung des Feuchtzustands eines Estrichs und seiner Belegreife nicht berücksichtigt werden.

Messtechnisch könnte die Rate [g/h], mit der Wasser aus der Estrichoberfläche austritt, bestimmt werden, wobei dieser Volumenstrom [g/m² h] neben der Feuchteleitfähigkeit auch von der Feuchtepotentialdifferenz und ggf. auch vom Feuchtegehalt abhängig ist.

Dieser dritte Faktor der Beschreibung des Feuchtezustands eines Estrichs, die Feuchteleitfähigkeit, kann durch den Auftrag einer wasserdampfdiffusionsbremsenden Grundierung beeinflusst werden, in der Form, dass durch die Grundierung der Wasserdampf-Volumenstrom reduziert wird.

10.1.4 Extensive und intensive Zustandsgrößen

Die beiden Zustandsgrößen Feuchtegehalt und Feuchtepotential, mittels derer in der Praxis der Feuchtezustand eines Estrichs (partiell) charakterisiert werden kann, gehören verschiedenen der zwei fundamental unterschiedlichen Klassen von physikalischen Zustandsgrößen an.

Es werden grundsätzlich unterschieden:

Extensive Zustandsgrößen:

Eine extensive Zustandsgröße hängt von der Größe des betrachteten Systems ab.

Beispiele sind Masse, Volumen, Entropie, Stoffmenge und die chemischen Potentiale [U (Innere Energie), H (Enthalpie), F (Freie Energie (Helmholtz-Potential)), G (Freie Enthalpie)].

Intensive Zustandsgrößen:

Eine intensive Zustandsgröße ist unabhängig von der Größe des betrachteten Systems.

Beispiele sind p (Druck), T (Temperatur), μ (chemisches Potential).

Der Quotient aus zwei extensiven Größen ist eine intensive Größe. Beispiel:

Massendichte ρ (*intensiv*) [kg/m^3] = Masse m (*extensiv*) [kg]/Volumen V (*extensiv*) [m^3]

10.2 Sorptionsisothermen und Feuchtespeicherkapazität

Die Feuchtespeicherfunktion ist der funktionale Zusammenhang zwischen Wasserdampfpartialdruck [Pa] bzw. relativer Luftfeuchtigkeit [% r. F.] und Wassergehalt ([Masse-%] oder [kg/m^3]). Zur Beschreibung dieses Zusammenhangs werden verschiedene Funktionen benutzt. Die Isotherme von Brunauer, Emmett und Teller (BET-Isotherme) beschreibt das Sorptionsverhalten von porösen mineralischen Stoffen im Gleichgewichtszustand im hygroskopischen Bereich relativ gut.

Zu bedenken ist, dass die Sorptionsisotherme je nachdem, ob sie durch einen Aufwechungs- oder Trocknungsprozess bestimmt wurde, unterschiedliche Lagen hat, d. h. der Funktionswert der Feuchtespeicherfunktion ist wegabhängig, das Sorptionsdiagramm zeigt somit eine Hysterese.

Im Gegensatz zur Wärmespeicherfunktion ist die Feuchtespeicherfunktion ausgesprochen nicht-linear. Dies hat zur Folge, dass auch die erste Ableitung der Isotherme, die Feuchtespeicherkapazität ξ , keine Konstante oder lineare Funktion ist und damit selbst vom Wasserdampfpartialdruck/der relativen Luftfeuchte abhängt. Die Feuchtespeicherkapazität ist damit die Ableitung des „Reservoirs“ Feuchtemasse nach dem „Potential“ Wasserdampfpartialdruck/relative Luftfeuchte. Analoge Größen sind im Gebiet der Wärmelehre (Wärmekapazität = Ableitung der Wärmemenge nach der Temperatur ($C = dQ/dT$)) und der Elektrizität (Kapazität = Ableitung der Ladung nach der Spannung ($C = dQ/dU$)) relevant. Die Feuchtekapazität wird bestimmt durch die spezifische chemische Zusammensetzung und die physikalische Porenstruktur des Materials.

10.3 Hygroskopischer Bereich

Im hygroskopischen Bereich beträgt die relative Luftfeuchte 0,1 bis 95 % r. F. In diesem Bereich nehmen Stoffe Wasser in gasförmigem Zustand (Wasserdampf) auf bzw. geben dieses ab. Der hygroskopische Bereich wird auch als Sorptionsfeuchtebereich bezeichnet. In diesem Luftfeuchtebereich ist die Feuchtespeicherfunktion mit der Sorptionsisotherme identisch, die den funktionalen Zusammenhang zwischen Feuchtegehalt und Feuchtepotential beschreibt.

Der Bereich der relativen Luftfeuchte von 95 % bis 100 % r. F. wird als überhygroskopischer Bereich bezeichnet, danach folgt der Übersättigungsbereich. Ab ca. 95 % r. F. wird flüssiges Wasser eingelagert. Im überhygroskopischen Bereich ist der Kapillardruck die Feuchtespeicherkenngröße. Die Kelvin-Gleichung stellt für den überhygroskopischen und den Übersättigungs-

bereich einen Zusammenhang zwischen einem Wert für die relative Luftfeuchte und dem kapillaren Unterdruck her, wobei dieser vom Kapillarradius bestimmt wird. Im hygroskopischen Bereich gilt daher der oben erwähnte logarithmische Zusammenhang zwischen relativer Luftfeuchte und Feuchtepotential, im überhygroskopischen Bereich besteht dagegen ein logarithmischer Zusammenhang zwischen dem Feuchtepotential und dem Kapillarradius.

10.4 Trocknung mineralischer Estriche

"Trocknen" ist ein trocknendes Material dann, wenn es seine umgebungsspezifische Ausgleichsfeuchte erreicht hat. Das Material gibt dann keine Feuchte (= Wasser) mehr an seine Umgebung ab und nimmt keine Feuchte aus der Umgebung mehr auf. Ein trockener Estrich kann aufgefeuchtet werden, wenn z. B. die Luftfeuchte im Raum dauerhaft steigt oder die Estrichtemperatur, z. B. aufgrund einer fehlenden Wärmedämmung, niedriger als die Raumtemperatur ist.

Bei der Ausgleichsfeuchte ist die korrespondierende relative Luftfeuchte (KRL) aller (unterschiedlichen) Materialien gleich, auf dem Weg dorthin können sie zu gleichen Zeitpunkten materialspezifisch bedingte unterschiedliche KRL-Werte aufweisen.

Die sich langfristig einstellende KRL des Estrichs entspricht der relativen Luftfeuchte der Umgebung. Dies ist dann die oben aufgeführte „Ausgleichsfeuchte“.

Hinweis: Massebezogene Ausgleichsfeuchtegehalte unterschiedlicher Materialien sind in der Regel verschieden. Auch bei gleichem Material und bei gleicher KRL können die Ausgleichsfeuchtegehalte verschieden sein, je nachdem, ob vorher ein Absorptions- oder Desorptionsprozess stattgefunden hat.

Mineralische Estriche wie Zement- und Calciumsulfat-Estriche sind Gemische aus Bindemittel, Gesteinskörnung/Zuschlag und Wasser. Wasser wird im Überschuss zugegeben, um einen gut verarbeitbaren Mörtel zu erhalten. Das Trocknen des Estrichmörtels erfolgt durch Wasserbindung des Bindemittels (Hydratation) und physikalische Trocknung. Abhängig vom Bindemittel-Typ und der konkreten Zusammensetzung sind die Anteile der Trocknung durch Hydratation bzw. physikalisches Trocknen unterschiedlich.

"Trocknen" eines mineralischen Estrichs bedeutet, dass das Estrichmaterial

- Feuchte (= Wasser) an die Umgebung, insbesondere die Luft, abgibt (physikalisches Trocknen). Die Triebkraft für diesen Prozess ist eine Wasserdampfpartialdruckdifferenz zwischen Estrich (höherer Wasserdampfpartialdruck) und Umgebung (niedriger Wasserdampfpartialdruck).
- Wasser chemisch bindet (Hydratation) und dieses Wasser damit keinen wesentlichen Beitrag zum

Wasserdampfpartialdruck mehr liefert. In Abhängigkeit von der Wasserdampfpartialdruckdifferenz kann der Estrich auch Wasser aus der Umgebung aufnehmen, wenn z. B. die relative Raumluftfeuchte über einem weitgehend getrockneten Estrich längerfristig ansteigt, z. B. bei einer Nutzungsänderung oder falschem Heiz- und Lüftungsverhalten.

In der Regel befindet sich ein trocknender Estrich auf dem Weg zur Ausgleichsfeuchte, d. h. derjenigen korrespondierenden relativen Luftfeuchte, die identisch mit dem zeitlichen Mittelwert der Umgebung ist.

Bei Zementestrichen auf Basis von Schnellzementen (ternäre Systeme), die schnell erhärten und schnell trocknen (SZ-T¹⁵), erfolgt die Wasserbindung ganz überwiegend chemisch, so dass die feuchtebezogene Belegreife schnell und weitgehend unabhängig vom umgebenden Raumklima erreicht wird.

Im Gegensatz dazu wird bei Zement-Estrichen auf Basis von Normalzementen und von Schnellzementen, die nur schnell erhärten (SZ-B¹⁶), und Calciumsulfatestrichen nur ein kleinerer Teil des bei der Herstellung zugegebenen Wassers chemisch gebunden und diese Estriche müssen im Wesentlichen physikalisch trocknen.

Materialspezifische und materialunabhängige Faktoren können das Estrichtrocknen (den Weg zur Ausgleichsfeuchte) beeinflussen.

Materialspezifische Faktoren:

- Die Diffusionsgeschwindigkeit von Wasserdampf im Estrich.
- Die Transportmechanismen und -geschwindigkeiten von flüssigem Wasser im Estrich.
- Die Nachhydratation des Estrichbindemittels.
- Das Auftreten einer Hysterese beim Sorptionsverhalten (relevant beim temporären Aufweichen während des Trocknungsprozesses, z. B. beim Tag/Nacht-Wechsel).
- Die Materialdicke (Diffusionswege, ortsdifferenzierter Luftfeuchtigkeitsgradient).
- Sinterschichten an der Oberfläche, die häufig dampfbremsend wirken.

Materialunabhängige Faktoren:

¹⁵ Siehe 1.

¹⁶ Siehe 1.

¹⁷ W. Schnell; Zur Ermittlung von Belegreife und Ausgleichsfeuchte von mineralisch gebundenen Estrichen; boden-wand-decke 1 (1985)

¹⁸ W. Schnell; Das Trocknungsverhalten von Estrichen – Beurteilung und Schlussfolgerungen für die Praxis;

- Das Wasserdampfpartialdruckgefälle zwischen Estrich und Umgebung (Luft, Untergrund, Wände, ...).

Der Feuchtegehalt eines Estrichs wird nach der einschlägigen Literatur als besonders bedeutsame Eigenschaft für die Feststellung der Belegreife angeführt bzw. häufig sogar mit ihr gleichgesetzt.^{17 18 19}, was allerdings zu kurz greift.

Die „feuchtebezogene Belegreife“ ist ein Teil der Belegreife und kann folgendermaßen definiert werden:

„Die feuchtebezogene Belegreife ist der Zustand eines Estrichs, in dem er hinsichtlich seines Feuchtezustands (Feuchtegehalt und Feuchtepotential) für die schadens- und mangelfreie dauerhafte Aufnahme von Bodenbelägen geeignet ist.“

Der Feuchtezustand eines Estrichs kann die Druck- und Biegezugfestigkeit des Estrichs und damit über diese Eigenschaft auch indirekt die Belegreife beeinflussen. Insbesondere bei Calciumsulfatestrichen sind die mechanischen Eigenschaften ausgeprägt abhängig vom Feuchtezustand bzw. Feuchtegehalt (siehe 5.1). Daher können die meisten calciumsulfatbasierten Estriche bei erhöhter Feuchte nicht mittels dampfdiffusionsbremsender Grundierungen abgesperrt werden

10.5 Ausgleichsfeuchte

Die Ausgleichsfeuchte ist der Feuchtegehalt, der sich in einem Stoff/Körper einstellt, wenn er sich im thermodynamischen Gleichgewicht mit seiner Umgebung befindet.

10.6. Bedingungen für das Auftreten von Feuchteschäden

Für das Auftreten eines Feuchteschadens bei einem feuchten Estrich müssen drei Grundvoraussetzungen erfüllt sein:

1. Transportmöglichkeit der Feuchte aus dem Estrich an die Wirkstelle für den Schaden.
2. Ein höherer Wasserdampfpartialdruck im Estrich als an der zukünftigen Wirkstelle des Schadens.
3. Eine zur Schadensauslösung ausreichende Wassermenge im Estrich.

Nur wenn alle drei Grundvoraussetzungen erfüllt sind, kann ein Schaden auftreten:

- Kann die Feuchte nicht ausreichend schnell aus dem Estrich in die Verlegewerkstoffe/den Bodenbe-

Aachener Bausachverständigentage 1994; veröffentlicht in: Rainer Oswald, AlBau, Bauverlag GmbH, Wiesbaden

¹⁹ Verbändeübergreifender Kommentar zur DIN 18365 Bodenbelagsarbeiten
Hamburg: SM-Verlag Michael Steinert, 2017. ISBN: 978-3-924883-16-4

lag eindringen (Grundvoraussetzung 1. nicht erfüllt), z. B. weil eine Dampfbremse vorhanden ist, kann es keinen Feuchteschaden geben, unabhängig von der Höhe des Wassergehalts und des in der Praxis auftretenden Wasserdampfdrucks.

- Ist ein Estrich "trocken" in Relation zur zukünftigen Wirkstelle (Grundvoraussetzung 2. nicht erfüllt), kann es keinen Feuchteschaden geben (unabhängig davon, wie hoch der Wassergehalt ist), da keine Triebkraft für den Wassertransport vorhanden ist.
- Ist der KRL-Grenzwert in einem Estrich überschritten, kann trotzdem ein Feuchteschaden ausbleiben, wenn die Wassermenge im Untergrund so gering ist, dass sie sich nicht negativ auf den Bodenausbau auswirkt (Grundvoraussetzung 3. nicht erfüllt).

Ist ein Estrich noch nicht "trocken", können alle drei oben genannten Faktoren die Feuchtwirkung aus dem Estrich auf seine Umgebung beeinflussen.