

Anforderungen an Umkehrdächer mit Trennlage

Erläuterungen zur Anwendung der EN ISO 6946

Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient nach Anhang D.4

Gemeinschaftliche Veröffentlichung von

Leimer, Hans-Peter, Prof. Dr.-Ing.

Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst, Hildesheim-Deutschland, BBS INSTITUTE

und

Bednar, Thomas, Dr. Ing.

Technische Universität Wien, Österreich, Institut für Baustofflehre, Bauphysik und Brandschutz

Dreyer, Jürgen, Prof. Dr. Dr.

Technische Universität Wien, Österreich, Institut für Baustofflehre, Bauphysik und Brandschutz

Künzel, M. Hartwig, Dr.-Ing.

Fraunhofer Institut für Bauphysik, Holzkirchen-Deutschland

Pierre Palier

CSTB Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, Nantes-France

Rode, Carsten, Assoc. Prof. MSc, PhD

Technical University Copenhagen-Denmark, Department of Civil Engineering.

Tejchmann, Jacek, Prof. Dr. habil. inz.

Technical University Gdansk-Poland Institute of Fundamentals of Building and Material Engineering. Civil

Engineering Department

Kurzfassung und Ziel

Dieser Beitrag soll für unterschiedliche Regionen in Europa die Anwendung der Norm EN ISO 6946 im Hinblick auf Wärmeverluste beim Umkehrdach erläutern. In der Fassung der EN ISO 6946 vom Oktober 2003 [1] wird bei der Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten bei Umkehrdächern ein zusätzlicher, niederschlagsbedingter Wärmeverlust berücksichtigt. Die zusätzlichen Wärmeverluste eines Daches, die bedingt durch den Abfluss von erwärmten Niederschlägen unterhalb der Wärmedämmung entstehen, können somit rechnerisch erfasst werden. Die Größe der Wärmeverluste ist abhängig von der Niederschlagsmenge und dem Anteil der Wassermenge, die direkt zwischen Dachabdichtung und Wärmedämmung abläuft. Diese Veröffentlichung soll die Anwendung der Norm für unterschiedliche Regionen in Europa erläutern. In Tabelle [4] sind hierzu ergänzend Klimadaten und Randbedingungen verschiedener Regionen dargestellt. Zudem werden bei Umkehrdächern mit Trennlage die Anforderungen an die Trennlage beschrieben. Hierbei werden die niederschlagsbedingten Wärmeverluste in der Folge soweit verringert, dass diese rechnerisch unberücksichtigt bleiben können.

1 Beschreibung der Baukonstruktion und der bauphysikalischen Grundlagen

Bei Umkehrdächern liegt die Wärmedämmung aus extrudierten Polystyrol-Hartschaumplatten (XPS) nicht wie beim klassischen Warmdach unterhalb der Dachabdichtung, sondern oberhalb der Dachabdichtung. Diese Konstruktionen haben sich für Einsatzbereiche bewährt, wo noch vor Fertigstellung des Gebäudes eine Dichtigkeit des Baukörpers gefordert wird. Schon während der Bauphase kann die Gefahr der Zerstörung der Abdichtung verringert

werden, da die Wärmedämmung einen erhöhten mechanischen Schutz bietet. Weiterhin ist ein Langzeitschutz der Abdichtung vor witterungsbedingten Belastungen gegeben.

Bedingt durch Fugen zwischen den Dämmstoffplatten und an Bauteilanschlüssen gelangt ein Teil des Niederschlagswassers unter die Wärmedämmung. In der Grenzschicht Wärmedämmung / Dachabdichtung, wird dieses Niederschlagswasser durch die Wärme des Gebäudes erwärmt. Gelangt dieses „erwärmte Wasser“ zum Abfluss, wird dem Dachaufbau Wärme entzogen. Diese zusätzlichen, niederschlagsbedingten Wärmeverluste müssen gemäß [1] mit einem Zuschlag ΔU [W/(m²·K)] zum U-Wert des Bauteils berücksichtigt werden.

2 Erläuterungen zur EN ISO 6946 nach Anhang D.4 bei der Anwendung des Korrekturverfahrens für strömendes Wasser zwischen der Dämmung und der Dachabdichtung (ΔU -Zuschlag für Umkehrdächer)

Dieses Korrekturverfahren wird nach Europäischer Norm angewendet, um die Größe des zusätzlichen niederschlagsbedingten Wärmedurchgangskoeffizienten ΔU [W/(m²·K)] bei der energetischen Bewertung des Bauteils zu berücksichtigen. Ein Beispiel für bekieste Umkehrdächer mit einem permeablem Flitervlies und einer wasserableitenden Trennlage zeigt Abbildung [2].

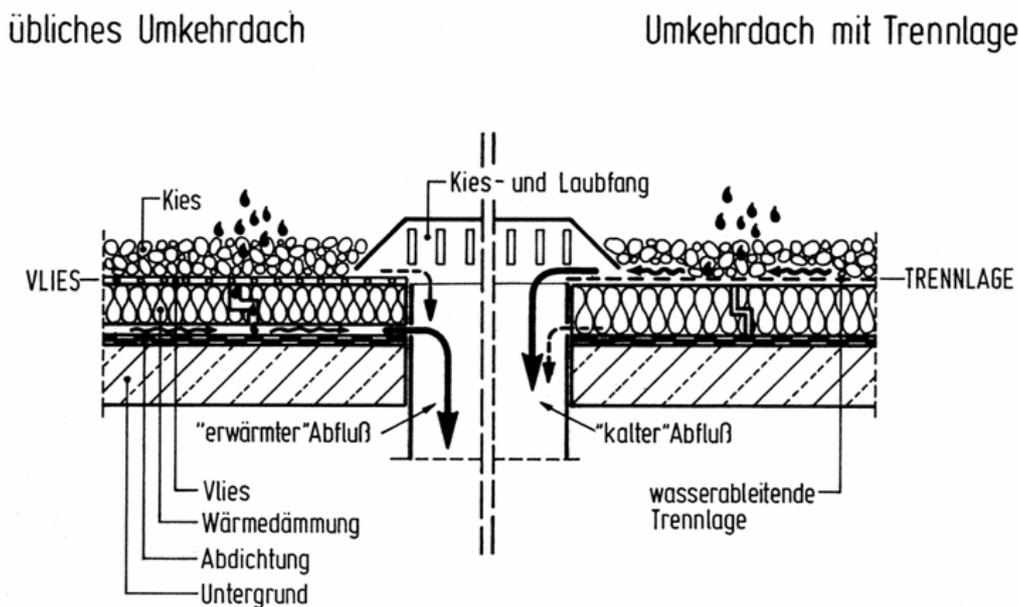


Abbildung 1: bekiestes Umkehrdach mit Flitervlies und wasserableitender Trennlagen [2]

Der Wärmeverlust eines Umkehrdaches setzt sich aus dem Transmissionswärmeverlust durch die Dämmschicht und dem Wärmestrom, der zur Erwärmung des Niederschlagswassers von Umgebungstemperatur auf die Temperatur unter der Dämmschicht notwendig ist, zusammen.

Schematisch ist dies in Abbildung [2] dargestellt.

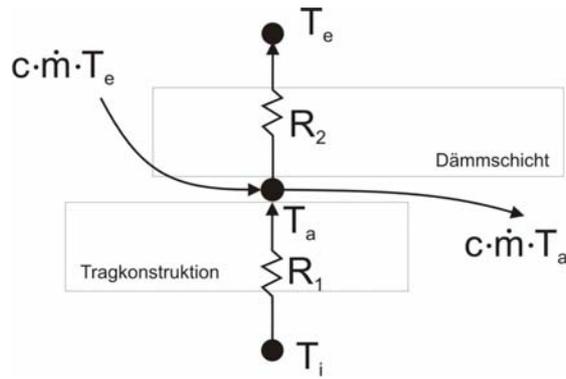


Abbildung 2: Wärmeverluste eines Umkehrdaches

Für den Fall, dass der zusätzliche Wärmestrom zur Erwärmung des Niederschlagswassers klein gegenüber dem Wärmestrom durch die Dämmschicht ist, kann bei der Berechnung des Wärmeverlustes in erster Näherung der U-Wert durch einen Zuschlag korrigiert werden.

$$q = \frac{1}{R_1 + \frac{1}{\frac{1}{R_2} + c\dot{m}}} \cdot (T_i - T_e) \approx \left[\underbrace{\frac{1}{R_1 + R_2}}_{=U} + \underbrace{\left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right)^2 c \cdot \dot{m}}_{=\Delta U} \right] \cdot (T_i - T_e) \quad [\text{GL. 1}]$$

- q = Wärmeverlust des Daches [W/m²]
- R₁ = Thermischer Widerstand der Konstruktion unter der Abdichtung [m²K/W]
- R₂ = Thermischer Widerstand der Konstruktion über der Abdichtung [m²K/W]
- c = spezifische Wärmekapazität von Wasser [J/kg K]
- ṁ = Massestromdichte des Niederschlagswassers, das auf der Abdichtung abfließt [kg/s]
- T_i = Innenlufttemperatur [°C]
- T_a = Temperatur in der Ebene der Abdichtung [°C]
- T_e = Außenlufttemperatur [°C]

Die Größe des ΔU-Zuschlages berechnet sich nach EN ISO 6946 nach Anhang D.4:

$$\Delta U_r = p \cdot f \cdot x \left(\frac{R_i}{R_T} \right)^2 \quad [\text{GL. 2}]$$

- p = durchschnittliche Niederschlagsmenge während der Heizperiode [mm/Tag]
- f = Entwässerungsfaktor, der den Anteil an p, der die Dachabdichtung erreicht, angibt [-]
- x = Faktor für den gestiegenen Wärmeverlust infolge von Regenwasser, das auf die Dachabdichtung strömt [(W·Tag)/(m²·K·mm)]
- R_i = Wärmedurchlasswiderstand der Wärmedämmschicht aus Polystyrol-Extruderschaum, die auf der Dachabdichtung liegt [m²·K/W]
- R_T = Gesamtwärmedurchlasswiderstand der Konstruktion [m²·K/W]
- ΔU_r = zusätzlicher Wärmedurchgangskoeffizienten [W/(m²·K)]

Die Größe $[f]$ beschreibt den Anteil der Wassermenge, die in Abhängigkeit der Wasserdichtheit der Dämmschicht, ihrer Fugenausbildung oder einer ggf. vorhandenen wasserableitenden Trennlage auf der Dämmschicht, unterhalb der Dämmschicht auf der Dachabdichtung abläuft. Der Ansatz für eine durchschnittliche Niederschlagsmenge $[p]$ einer Region in Europa kann der Tabelle [4] des Anhangs angenommen werden.

Im Falle einer einlagigen Dämmschicht aus Polystyrol-Extruderschäum (XPS), mit Stumpfstoß* (* Verlegung in Deutschland nicht zulässig) und bei permeablen Filtervliesen mit Kiesschüttungen, beträgt die Größe des Entwässerungsfaktors $[f \cdot x = 0.04]$. Je nach Grad und Ausbildung der Trennlage als Ableitung oberhalb der Wärmedämmschicht reduziert sich Entwässerungsfaktor $[f \cdot x \rightarrow 0]$. Bei einem $\Delta U_r < 0.01$ darf der Korrekturwert vernachlässigt werden. Die Reduzierung des ΔU_r -Wertes ist konstruktiv und somit abhängig von

- der Art der Verlegung der Dämmschicht (Stumpfstoß oder Verfälzung)
- Auflage einer wasserableitenden Trennlage auf der Dämmschicht.

3 Zum aktuellen Stand der Forschung zum Wärme- und Feuchteverhalten von Umkehrdächern mit Trennlagen

Im Rahmen der Forschung und Bewertung von Umkehrdächern wurden von verschiedensten Hochschulen, Universitäten und Instituten Untersuchungen durchgeführt. Diese Untersuchungen sind an dieser Stelle nur ergänzend zusammengefasst, da sie schon in [2] umfassend erläutert wurden. Sie wurden [2] nur zwecks einfacheren Lesens, direkt übernommen wurden.

3.1 Rechnerische Untersuchung des Feuchteverhaltens in den XPS-Dämmstoffplatten aufgrund der Diffusionsbehinderung unterschiedlicher Trennlagen

Von der EMPA wurden Untersuchungen [4] zum modifizierten Umkehrdachaufbau mit wasserableitenden Trennlagen durchgeführt. Untersuchungsziel war die Beschreibung der Anforderungen des s_d -Wertes der Trennlage auch unter Langzeitbelastung. Die ermittelten Diffusionswiderstände wurden als Materialkennwerte für die rechnergestützte Feuchteuntersuchung der Umkehrdachaufbauten mit dem Programm MATCH [7] verwendet.

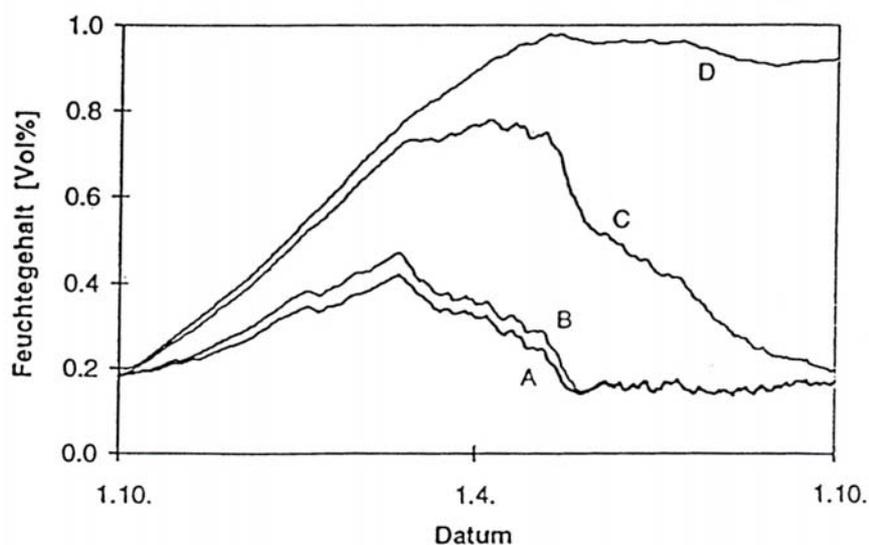


Abbildung 3: Berechneter Feuchteverlauf im Kernbereich der XPS-Platten [4],[7]

Der Verlauf des Feuchtegehaltes wurde jeweils für ein Jahr vom Beginn der Tauperiode bis zum Ende der Verdunstungsperiode erfasst. Die Feuchteaufnahme der Dämmstoffplatten verläuft für Trennlagen (A,B,C) mit niedrigen s_d -Werten ($s_d < 4.0$ m) entsprechend der jahreszeitlich bedingten Feuchteschwankungen, nur bei Folien (D) mit hohen s_d -Werten (hier $s_d = 108$ m) trocknet die aufgenommene Wassermenge nicht mehr aus.

3.2 Abflussverhalten unter ungünstigen klimatischen Randbedingungen

Um das Abflussverhalten / Leckraten (Verhältnis zwischen der unter der Wärmedämmung abfließenden Wassermenge und der oberseitig abfließenden Niederschlagsmenge in Prozent) im Labor unter verschiedenen baukonstruktiven Randbedingungen zu untersuchen, führte das CSTB unterschiedliche Untersuchungen für die Zulassung (Avis Technique) von Umkehrdächern mit Trennlage durch [5,6]. Ziel war es, den Einfluss der Verlegung der Trennlage im Randbereich zu erfassen.

Die Nachbildung unterschiedlicher klimatischer Randbedingungen erfolgte durch die Veränderung der Regenintensität, der Windgeschwindigkeit und des Windeinfallwinkels. Die vom CSTB ermittelten Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die ermittelten Leckraten (L) schwanken zwischen 0,3% und ca. 5%. Der größte Teil des Niederschlages (63 mm/h) kommt oberhalb der Trennlage zum schnellen Abfluss.
- Bei Randausbildungen ohne Hochführung der Trennlage an aufgehenden Bauteilen beträgt die maximale Leckrate ca. 3-5%.
- Bei Randausbildungen mit Hochführung der Trennlage an aufgehenden Bauteilen beträgt die maximale Leckrate ca. 1%.

3.3 Messungen der Leckraten in Abhängigkeit der Niederschlagsintensität

Im Rahmen einer Untersuchung der TU Berlin an einem Umkehrdach mit Trennlage wurde die Leckrate in Abhängigkeit von der Niederschlagsintensität ermittelt. Im Randbereich war die Trennlage aufgekantet über die Oberkante der Kiesschicht geführt.

Tabelle 1: Auf dem Versuchsdach gemessene Leckrate (L) in Abhängigkeit der Niederschlagsintensität [mm/h]

Niederschlagsintensität [mm/h]	Leckrate [%]
ca. 1	5.8 – 8.2
ca. 2	2.4 – 5.6
ca. 4.5 – 5.5	1.8

Die durchgeführten Versuche bei Einsatz von Trennlagen zeigen, dass bei steigenden Niederschlagsmengen diese vermehrt oberhalb der Trennlage abfließen und somit nicht zu proportional erhöhten Wärmeverlusten führen.

3.4 Vorgaben zur Größe des Faktors [f · x]

Die Größe der Wärmeverluste ist Abhängig von der Niederschlagsmenge und der Leckrate. Nach Umrechnung kann die Größe [f · x] der nachfolgenden Tabelle [2] entnommen werden.

Tabelle 2: Vorgaben zur Größe des Faktors [f · x] in Abhängigkeit der Leckrate (L)

	Leckrate L [%]	Faktor f · x [(W· Tag)/(m ² ·K·mm)]
1 →	Randausbildung mit hochführen der wasserabweisenden Trennlage	0.0005
2 →	Hohe Niederschlagsmenge mit wasserabweisender Trennlage	0.0010
5 →	Randausbildung ohne hochführen der wasserabweisenden Trennlage	0.0024
8 →	Niedrige Niederschlagsmenge mit wasserabweisender Trennlage	0.0038
83 →	Stumpfstoß der Dämmschicht mit Filtervlies * <small>*Vorgabe nach der EN ISO 6946 Anhang D.4</small>	0.04
100 →	Vollständiger Ablauf auf der Dachabdichtung	0,0481

4 Ermittlung der repräsentativen Niederschlagsmengen p in Europa

Die niederschlagsbedingten Wärmedurchgangskoeffizienten von Umkehrdächern müssen nach Gleichung [GL. 2] berechnet werden. Hierbei ist der durchschnittliche Niederschlag p während der Heizperiode anzusetzen. Der Sachverständigenausschuss des Deutschen Institutes für Bautechnik für die Zulassung von Umkehrdach-Dämmsystemen hatte z.B. für Deutschland einen Zuschlag $\Delta U = 0,05 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ (siehe DIN 4108-2) festgelegt. Dabei bezog er sich auch auf eine Studie nach [9], in der von einer durchschnittlichen Niederschlagsmenge von 1,7 mm/d während der Heizperiode ausgegangen wird. Grundlage war hier der Ansatz der Heizperiode nur von November bis einschließlich März. Die Allgemeingültigkeit für Europa ist hierbei nicht überprüft worden. Die in [9] zugrunde gelegte Heizperiode von November bis März ist eher optimistisch gewählt und setzt entweder ein sehr warmes Jahr oder ein sehr gut gedämmtes Gebäude voraus. Da es in Mitteleuropa während des Sommerhalbjahres mehr regnet als im Winter, kommt der richtigen Wahl der Heizperiode hierbei eine große Bedeutung zu.

4.1 Festlegung der Heizperiode

Die VDI-Richtlinie 2067, Berechnung der Kosten für Wärmeversorgungsanlagen - betriebstechnische und wirtschaftliche Grundlagen, legt einen *Heiztag* fest, wenn die Außentemperatur $< 15 \text{ °C}$ beträgt. Die *Heizperiode* wird durch die Zeit beschrieben in der die Außentemperatur von 15 °C im übergreifenden Fünftagesmittel unterschritten wird. Im Zeitraum vom 1. September bis zum 31. Mai, der *Heizzeit*, wird so die Heizperiode entsprechend den tatsächlich auftretenden Witterungsbedingungen ermittelt, d.h., jedes Jahr hat seine eigene Heizperiode. Es gibt definitionsgemäß keine Heizperiode, die über die Heizzeit hinausgehen kann.

4.2 Auswertung von Klimadaten In Europa

Um die durchschnittliche Niederschlagsmenge während der Heizperiode zu kennen, wurden die Niederschlagsereignisse im Rahmen einer Recherche [14] für unterschiedliche Regionen in Europa ausgewertet. Hierbei wurden nur die Niederschlagsmengen des Monats während der Heizzeit berücksichtigt, bei der die mittlere Außentemperatur $< 15^{\circ}\text{C}$ betrug. Die Daten sind in der Tabelle [4] des Anhangs dargestellt. Die mittleren Regenmengen über die Heizperiode betragen dabei zwischen 0.8 und 5 mm/Tag.

Bei Zugrundelegung der Gleichung [GL. 2] ergeben sich in Abhängigkeit der durchschnittlichen Niederschlagsmenge während der Heizperiode $[p]$ und des Entwässerungsfaktor $[f \cdot x]$ unterschiedliche Auswirkungen auf die Dämmschichtdicke eines Umkehrdaches, um einen bestimmten, vorgeschriebenen U-Wert einzuhalten. In Abbildung [4] sind die erforderlichen Dämmdicken für ein übliches Umkehrdach zusammengestellt, die erforderlich werden, um einen U-Wert von $0.2 \text{ W/m}^2\text{K}$ einzuhalten. Die Tragkonstruktion besteht hier exemplarisch aus 20cm Stahlbeton.

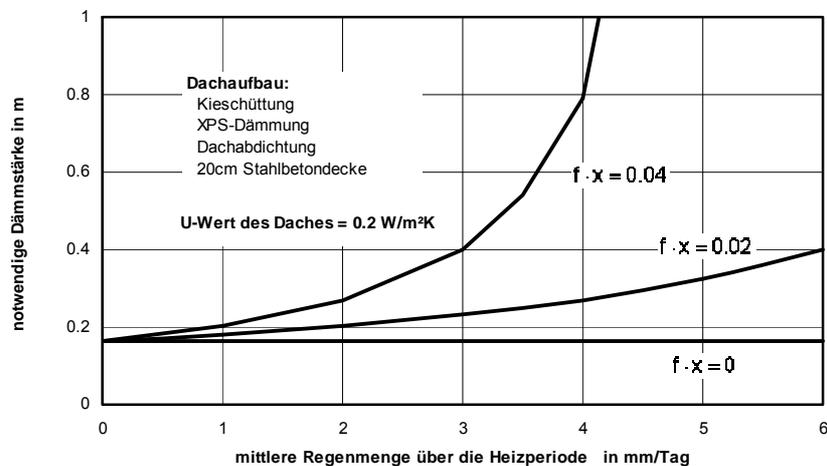


Abbildung 4: Erforderliche (Gesamt-) Dämmstärke in [m!] eines Umkehrdaches mit unterschiedlichen Entwässerungsfaktoren zur Einhaltung eines U-Wertes von $0.2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

5 Anforderungen an die wasserableitende Trennlage von Umkehrdächern zur Einhaltung eines Korrekturwertes des Wärmedurchgangskoeffizienten $\Delta U \rightarrow 0 \text{ [W}/(\text{m}^2\text{K})]$

Die durchgeführten Berechnungen ermitteln für bestimmte Regionen in Europa erhebliche zusätzliche Dämmschichtdicken, die in die Konstruktion eingebaut werden müssen. Ein Korrekturwert $\Delta U \sim 0 \text{ [W}/(\text{m}^2\text{K})]$ bei Umkehrdächern ist aber, wie dargestellt, bei Reduzierung der Leckraten mittels einer wasserableitenden Trennlage möglich.

Die Trennlage hat hierbei verschiedene Anforderungen zu erfüllen, die anhand von normierten Baustoffuntersuchungen bestimmt werden müssen. Hierbei sind die EN ISO 13 859-1, Abdichtungsbahnen, sowie die EN 13859-1, Definition und Eigenschaften von Unterdeck- und Unterspannbahnen, als Grundlage heranzuziehen.

5.1 Diffusionsfähigkeit der Trennlage

Das Diffusionsverhalten der Trennlage ist nach EN ISO 12572 zu bestimmen. Die Größe der wasserdampfdiffusionsäquivalenten Luftschichtdicke sollte auf $s_d < 0.1 \text{ m}$ begrenzt werden [12]. Die Alterung kann in diesem Fall un-

berücksichtigt bleiben. Gealterte Trennlagen (z.B. PP-Vliese) zeigen nach natürlicher, 5jähriger Freibewitterung, keine Unterschiede der s_d -Werte zu einer neuwertigen Trennlage auf [11].

5.2 Dauerhaftigkeit der wasserableitenden Trennlage

Die Dauerhaftigkeit der Trennlage ist auf der Grundlage der in prEN 13859-1, Anhang C, vorgeschriebenen Laboruntersuchungen, UV-Bestrahlung mit einer Dauer von 336 h und anschließender Wärmelagerung (90 Tage) bei erhöhter Temperatur von 70°C, durchzuführen. Ergänzend ist die chemische Beanspruchung in saurem, alkalischem und salzigem Milieu, z.B. auf der Grundlage der prEN 13984, Abdichtungsbahnen, nach Anhang C, zu führen.

5.3 Wasserdichtheit der Trennlage

Aufgrund der Anforderungen der DIN 18195 T5, Abdichtungen gegen nichtdrückendes Wasser, ist die Abdichtung an aufgehenden Bauteilen > 150 mm heraufzuführen. Die maximale Höhe des Wasserdruckes auf die Trennlage kann so auf $w \leq 150$ mm begrenzt werden. Im Rahmen der Untersuchungen der TU Berlin wurde die Trennlage mit einer Wasserdruckbelastung sowohl im Feld- als auch im Überlappungsbereich geprüft. Hierbei zeigte sich, dass es zu keinen nennenswerten Wassereintrüben gekommen war. Der größte Teil des Wassers konnte so oberhalb der Trennlage zum Abfluss gelangen. Eine Verklebung der 3.0 m breiten Bahnen in dem Bereich der Längsstöße verbessert die Dichtigkeit der Trennlage zusätzlich.

Die Prüfung der Wasserdichtheit der Trennlage ist auf der Grundlage der prEN 13859 – 5.2.3, zu führen.

5.4 Mechanische Beschädigungen der Trennlage

Die Untersuchungen der TU Berlin zeigen, dass keine Beschädigung infolge einer Begehung des Umkehrdaches mit Kiesauflage an der Trennlage hervorgerufen wurde. Selbst bei höheren Belastungen wurde die Trennlage nicht geschädigt, sondern eher die Wärmedämmung zusammengedrückt. Die Anforderungen an die Festigkeit der Bahnen können somit über die Zugfestigkeit der Bahnen nach EN 12311-1 festgelegt werden. Die Zugfestigkeit sollte, auf der Grundlage der geführten Prüfungen, $F \geq 100$ [N/5cm] betragen. Das Kaltbiegeverhalten ist nach EN 1109 bei $\theta_e = -5^\circ\text{C}$ nachzuweisen.

5.5 Konstruktive Anforderungen an das Verlegen der wasserableitenden Trennlage

Bei Umkehrdächern wird die diffusionsoffene, wasserableitende (Trennung beachten) Trennlage anstelle der herkömmlichen Vliesauflage auf die Dämmstoffplatten aufgelegt. Um die volle Funktionsfähigkeit im Hinblick auf die Wasserableitung zu erlangen, ist auf der Grundlage der Versuche der TU Berlin [2] eine Überlappung von 15 cm einzuhalten. Auf der Grundlage der Versuche des CSTB [5,6] sollte die Trennlage an aufgehenden Bauteilen 15 cm hoch aufgekantet werden. Die aufgekantete Trennlage ist gegen mechanische Beschädigung zu schützen. Die diesbezüglichen Empfehlungen in den Verarbeitungsrichtlinien der Hersteller sind zu befolgen.

5.6 Zusammenfassung der Anforderungen an die Trennlage

Grundlage der Baustoffprüfungen der Trennlage ist die EN ISO 13 859-1, Abdichtungsbahnen, sowie die EN 13859-1, Definition und Eigenschaften von Unterdeck- und Unterspannbahnen.

Tabelle 3: Anforderungen an die wasserableitende Trennlage auf Umkehrdächern

Bauphysikalische / mechanische Anforderungen an die Trennlage	
Diffusionsverhalten nach prEN ISO 12572	$s_d < 0.1$ [m]
Wasserdruckbelastung nach prEN 13859	Verfahren A
Dauerhaftigkeitsnachweis gegen UV nach prEN 13859-1 auf Alkalibeständigkeit prEN 13984	Anhang C Anhang C
Zugfestigkeit nach EN 12311-1	$F \geq 100$ [N/5cm]
Nachweis Kaltbiegeverhalten nach EN 1109	bei $\theta_e -5^\circ\text{C}$
Konstruktive Anforderungen an die Ausführung der Trennlage	
Bahnenbreite	3.0 m
Bahnen	vollflächig verlegt
Stöße	min. 150 mm überlappend
Empfehlungen	
Bahnen an den aufgehenden Bauteilen	150 mm aufgekantet
Bahnenstöße	verklebt

6. Schlussfolgerungen

Die Anwendung der europäischen Norm EN ISO 6946 [1] auf Umkehrdächer in Gebieten mit stärkerer Niederschlagstätigkeit führt ohne wasserableitende Trennlage zu rechnerischen Wärmeverlusten während der Heizperiode, die nicht mehr auf sinnvolle Weise durch eine Erhöhung der Dämmschichtdicke kompensiert werden können. Deshalb wird in Zukunft am Einsatz solcher Trennlagen bei Umkehrdachkonstruktionen kein Weg mehr vorbeiführen. Da die Trennlage in der Regel das herkömmliche Rieselschutzvlies ersetzt ist bei deren Anwendung auch kein wesentlich höherer Verlegungsaufwand zu befürchten. Inwieweit die hier vorgestellten Ergebnisse auch auf Dachkonstruktionen ohne Kiesdeckung übertragbar sind ist noch zu klären. Beispielsweise stellen begrünte Umkehrdächer mit Sicherheit höhere Anforderungen an die Trennlage, was deren Dauerhaftigkeit und Wurzelschutzzeigenschaften angeht. Da Umkehrdachkonstruktionen in der Regel langlebiger und weniger schadensanfällig sind als konventionelle Flachdächer wären genauere Untersuchungen zum Verhalten der wasserableitenden Trennlage unter einer Dachbegrünung wünschenswert.

6 Literatur

- [1] EN ISO 6946: 1996+A1:2003: Building components and building elements - Thermal resistance and thermal transmittance - Calculation method.
- [2] Cziesielski, E., Fechner, O.: Experimentelle Untersuchung zum ΔU -Wert bekiester Umkehrdächer mit wasserableitender Trennlage: Umkehrdach mit $\Delta U=0 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$. Bauphysik 23 (2001), Heft 5. Ernst&Sohn, Berlin 2001, Deutschland.
- [3] Cziesielski, E., Fechner, O., Merkel H.: Grundsätze zur Planung von Umkehrdächern. Bauphysikkalender (2001), Ernst&Sohn, Berlin 2001, Deutschland.
- [4] EMPA, Abteilung Bauphysik: Voruntersuchungen zum Umkehrdach mit wasserundurchlässiger Trennlage - Beurteilung des Wärme- und Feuchteverhaltens, Bericht-Nr.: 157 577 vom 25.03.1996.
- [5] Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB), Abteilung Aerodynamik und klimatische Umgebung : Etude expérimentale du pourcentage d'eau infiltre en sons face de l'isolat dans le système toiture a isolation inversée de POLIGLAS avec GLASCOFORM 60 mm. Nantes 09.2003.
- [6] Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB): Document d'Application – reference Avis Technique; URSA International Paris 05.2004.
- [7] Rode Pedersen, C.: Combined heat and moisture transfer in building constructions, Ph. D. Thesis, Thermal Insulation Laboratory, Technical University of Denmark, Report No. 214, 1990.
- [8] Mayer, E.: Neue Untersuchungen und Überlegungen zur Frage des Zuschlags ΔU bei Umkehrdächern. Fraunhofer Institut für Bauphysik, Gutachten Nr. B Ho 2/84, 1984. Im Auftrag von Dow Europe S.A., Horgen und BASF AG, Ludwigshafen.
- [9] Künzel, H. M., Kießl, K.: Quantifizierung der niederschlagsbedingten Wärmeverluste bei Umkehrdächern, Bauphysik 19 (1997), Heft 1, S. 7 - 11, Verlag W. Ernst & Sohn.
- [10] Künzel, H.: Feuchtigkeitsverhältnisse, Temperaturverhältnisse und Wärmeschutz bei nichtbelüfteten Flachdächern mit über der Abdichtung angebrachter Wärmedämmung aus extrudiertem Polystyrol-Hartschaum; Gesundheitsingenieur, 1978, Heft 12.
- [11] Cammerer, J.; Alberti, R.: Untersuchungen an Unterdeck- und Unterspannbahnen. WKSB 45/2000. ztv Zeitschriftverlag GmbH, Neu-Isenburg.
- [12] Leimer, H.-P.; Berechnung der Feuchte im geneigten Dach - Ansatz des 'wahren' s_d - Wertes von Unterspannbahnen. Internationale Zeitschrift für Bauinstandsetzen IZB, 1/98.
- [13] Wetterdaten
Testreferenzjahre des Deutsche Wetterdienstes; Povl Frich, Stig Rosenørn, Henning Madsen and Jens Juncher Jensen, "Observed Precipitation in Denmark, 1961-90", DANISH METEOROLOGICAL INSTITUTE, MINISTRY OF TRANSPORT, TECHNICAL REPORT 97-8.;
www.mos.gov.pl/soe_pl/rys6.htm; <http://gw.eduhi.at/programm/zamg/zamgprog.htm>;
www.klimadiagramme.de; www.Klimadaten.de, uva.

Tabelle 4: Durchschnittlicher Niederschlag [p] während der Heizperiode für unterschiedliche Regionen in Europa aus [14]

Land		Ort	[mm/Tag]
Belgien		Brüssel	1.98
Dänemark		Nord Jutland	1.66
		Viborg	1.82
		Arhus	1.56
		Vejle	1.96
		Ringkoebing	2.04
		Ribe	2.09
		Süd Jutland	1.93
		Funen	1.52
		West Zealand	1.37
		Ost Zealand	1.41
		Storstroem	1.37
		Bornholm	1.51
		Kattegat Region	1.30
Deutschland		Holzkirchen	3.86
		Kassel	2.72
		Dresden	1.47
		Rostock	1.35
		Chemnitz	1.50
		Leipzig	1.13
		Schwerin	1.42
		Magdeburg	1.10
		Fichtelberg	2.59
Nord- und Ostseeküste, nördliches Schleswig-Holstein	TRY 1	Bremerhaven, Cuxhaven, Flensburg, Kiel, Emden	1.86
Nord- und westdeutsches Tiefland	TRY 2	Braunschweig, Wolfsburg, Oldenburg, Osnabrück, Münster, Aachen, Bonn	1.75
Ruhrgebiet und weitere Ballungsgebiete des Flachlandes	TRY 3	Großstädte wie Berlin, Hamburg, Düsseldorf, Köln, Bremen, Hannover	3.08
Nördliche und westliche Mittelgebirge ohne Hochlagen	TRY 4	Trier, Kassel, Gießen, Göttingen	2.63
Franken und nördliches Baden-Württemberg	TRY 5	Würzburg, Nürnberg, Stuttgart, Heilbronn, Pforzheim	1.90
Nördlicher Oberrheingraben	TRY 6	Frankfurt/M., Wiesbaden, Mainz, Mannheim, Ludwigshafen, Heidelberg, Karlsruhe	2.17
Südlicher Oberrheingraben	TRY 7	Freiburg, Offenburg	2.32
Donaubecken und Alpenvorland bis ca. 600 m	TRY 8	Augsburg, Ulm	2.11
Alpenvorland von ca. 600 – 1000 m Höhe	TRY 9	München, Bad Tölz, Garmisch-Partenkirchen	2.39
Schwarzwald, Schwäbische und Fränkische Alp	TRY 10	Stötten, Aalen	2.42
Hochlagen der nördlichen und westlichen Mittelgebirge	TRY 11	Hof, Marktredwitz, Harz	3.86
Bodensee mit Umgebung	TRY 12	Friedrichshafen, Konstanz	2.37
Neue Bundesländer	keine TRY		ca. 1,7-2-4
Finnland		Helsinki	1.49

		Vaasa	1.11
		Sodankylae	1.04
		Jyvaeskylae	1.37
		Kuusamo	1.19
Frankreich			
		Paris	1.57
		Marseille	1.53
		Belfort	2.53
		Cap de la Hague	1.89
		Toulouse	1.63
Griechenland			
		Athen	1.66
		Khania (Kreta)	3.55
		Samos	4.05
		Ioannina	4.02
		Tripolis	3.26
Großbritannien			
		London	1.96
		Plymouth	2.63
		Aberdeen	1.97
		Aberporth	2.19
		Manchester	1.96
		Belfast	2.15
Irland			
		Dublin	1.87
		Cork	3.23
		Rosslare	2.32
		Shannon	2.38
		Malin Head	2.74
Italien			
		Rom	2.59
		Mailand	2.92
		Monte Cimone	2.01
		Venedig	2.09
		Crotone	2.59
		Capo Carbonara	0.85
Niederlande			
		Maastricht	1.81
		De Bilt	1.94
		De Kooy	1.91
		Eelde	1.87
		Vlissingen	1.80
Norwegen			
		Oslo	1.74
		Vardo	1.37
		Bergen	5.01
		Vaernes	2.12
		Bodoe	2.60
Österreich			
		Wien	1.29
		Innsbruck	1.68
		Salzburg	2.31

		Graz	1.57
		Sonnblick (3105 m)	5.36
Polen		Warschau	1.04
		Kasprowy Wierch	3.87
		Hel	1.24
		Suwalki	1.23
		Przemysl	1.29
Schweden		Göteborg	1.93
		Stockholm	1.18
		Karesuando	0.87
		Östersund	1.07
		Haparanda	1.31
Schweiz		Basel-Binningen	1.72
		Bern	2.16
		Davos	2.03
		Genf	2.22
		Interlaken	2.61
		Lugano	3.86
		San Bernadino	3.76
		Zermatt	1.64
		Zürich-Kloten	2.13
		Zürich (SMA)	2.36
Spanien		Madrid	1.60
		Barcelona	1.59
		La Coruna	3.41
		Burgos	1.81
		Sevilla	2.68
		Murcia	1.00
Tschechien		Prag	1.04
		Brünn	0.97
		Cheb / Eger	1.21
		Ostrava	1.36