



Gutachterliche Stellungnahme:

Untersuchung der Einwirkung von Auftriebskräften auf Dämmstoffe aus extrudiertem Polystyrol auf Dachflächen mit Retention bei Aufbauten mit zeitweiligen Wasseranstau bis zu 48 h

1. Einleitung

Wird auf wasserbelasteten Dachflächen der Niederschlag zeitweilig zurückgehalten, stellt sich die Frage der Auftriebskraft und deren Einfluss auf die Lagestabilität. Die Dämmstoffe aus extrudiertem Polystyrol (XPS) mit einer Rohdichte von ca. $0,38 \text{ kN/m}^3$ schwimmen im Umkehrdach auf. Die Ursachen können unzureichende Auflasten aus Kies, Substrat oder falsche Maßnahmen in der Entwässerung sein. Dies stellt ein Risiko für Dachlandschaften dar.

Das Ziel dieser Versuchsreihe war es, die Auftriebskräfte von XPS-Dämmungen mit unterschiedlichen Dicken zu untersuchen und herauszufinden, bei welchen Wassermengen und Auflasten das Aufschwimmen der Dämmung vollständig verhindert werden kann. Um diese Fragestellungen zu beantworten, wurden verschiedene Kombinationen von Dämmstoffdicken, Auflastmaterialien wie Kies und Substrat, sowie zusätzlichen baulichen Maßnahmen wie Retentionsboxen und Drainagematten in die Experimentreihe einbezogen. Die Dachentwässerung blieb bei der Versuchsreihe unberücksichtigt.

Die verschiedenen Variationen wurden untersucht, um praxisnahe Empfehlungen für Bauprojekte zu entwickeln, in denen XPS-Dämmungen auf Dachlandschaften eingesetzt werden. Die Versuchsreihe zielt darauf ab, sicherzustellen, dass Dämmstoffe auf Dächern und erdüberschüttenden Decken auch in Bereichen, in den Niederschlagwasser kurzzeitig im Schichtaufbau eingestaut wird, lagesicher bleiben, um das Risiko durch Aufschwimmen zu minimieren.

Bisherige bekannte Schadensbilder zeigen, dass bei Versagen der Entwässerungen ein Aufschwimmen möglich ist.



2. Versuchsaufbau

Im Rahmen dieser Studie wurden insgesamt sieben Hauptversuche und mehrere Unterversuche durchgeführt. Die Versuche unterschieden sich in der Dicke der XPS-Dämmung, der Art und Aufbauhöhe der Auflast sowie den zusätzlichen baulichen Elementen wie Retentionsboxen und Drainagematten.

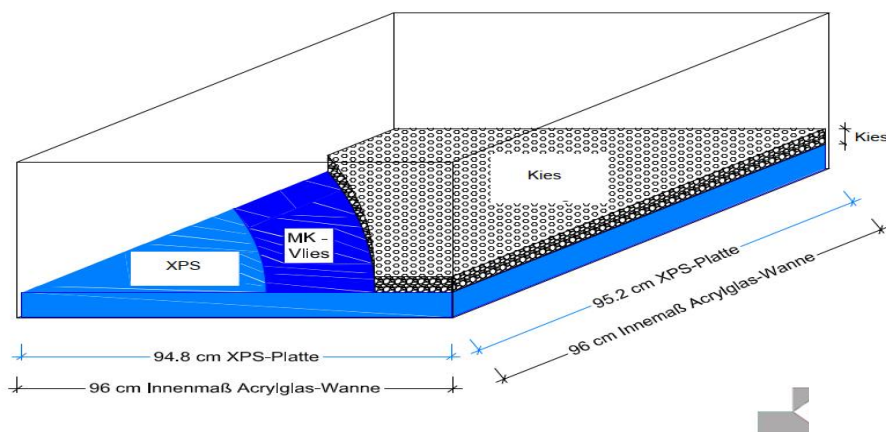


Bild 1

2.1 Materialien und Geräte

- Acrylglas-Wanne	96x96x47cm
- Dachablauf	„Sita Standard, senkrecht DN-70“
- Retentionselement	„Sita Retention, Twist mit Kiesfang“
- Abdichtungsmaterialien	„Flüssigkunststoff, Triflex Pro Detail“
- Wärmedämmung	„Extrudiertes Polystyrol, Ravago Ravatherm XPS 300SL“
- Schutzlagen/Trennlagen	„Ravago, Ravatherm XPS MK, Nähte unverklebt“ „Standard 300g Vlies“
- Retentionsboxen- und Drainagematten	„Optigrün Wasser-Retentionsbox WRB85“ „Optigrün Drain-& Wasserspeicherelement FKD25“
- Auflast	„Kies 16/32 (18 kN/m ³)“ „Substrat (10 kN/m ³ trocken)“

Sonstige Hilfsmittel:

Wasser, Schlauch, Wasseruhr, Waage, Markierungsfarbstoff, Messer, Eimer & Messbecher

2.2. Versuche

Versuch 1:

• Materialien:	100 mm XPS-Dämmung, lose verlegte wasserableitende Trennlage, 0,4 KN/m ² Kies.
• Ziel:	Untersuchung des Aufschwimmverhaltens bei minimaler Kiesauflast. Dieser Versuch diente als Basis für die folgenden Untersuchungen und soll zeigen, ob und wann die Dämmung bei geringem Gewicht aufschwimmt.



Bild 2

Versuch 2:

• Materialien:	100 mm XPS-Dämmung, lose verlegte wasserableitende Trennlage, 75 KN/m ² Kies.
• Ziel:	Vergleich mit Versuch 1, um den Einfluss einer höheren Kiesauflast auf das Aufschwimmverhalten zu bewerten.



Bild 3

Versuch 3:

<ul style="list-style-type: none"> • Materialien: 	100 mm XPS-Dämmung, lose verlegte wasserableitende Trennlage, 1,0 kN/m ² Kies.
<ul style="list-style-type: none"> • Ziel: 	Weitere Erhöhung der Kiesauflast, um zu prüfen, ob eine Kiesauflast von 1,0 kN/m ² ausreicht, um das Aufschwimmen der 100 mm XPS-Dämmung vollständig zu verhindern.



Bild 4

Versuch 4:

<ul style="list-style-type: none"> • Materialien: 	100 mm XPS-Dämmung, lose verlegte wasserableitende Trennlage, Retentionsbox WRB (85 mm), 300 g Vlies, 0,75 kN/m ² Kies.
<ul style="list-style-type: none"> • Ziel: 	Untersuchung des Einflusses einer Retentionsbox und einer zusätzlichen Vlieslage auf das Aufschwimmverhalten. Ziel ist es zu prüfen, ob diese Maßnahmen das Aufschwimmen der Dämmung bei mittlerer Auflast verhindern oder verzögern können.



Bild 5

Versuch 5:

<ul style="list-style-type: none"> • Materialien: 	100 mm XPS-Dämmung, lose verlegte wasserableitende Trennlage, Retentionsbox WRB (85 mm), 300 g Vlies, 1,0 kN/m ² Kies.
<ul style="list-style-type: none"> • Ziel: 	Erhöhung der Kiesauflast bei Verwendung der Retentionsbox und Vlieslage um zu testen, ob 1,0 kN/m ² Kies in Kombination mit diesen baulichen Maßnahmen das Aufschwimmen vollständig verhindern.
<ul style="list-style-type: none"> • Versuchserweiterung 	Prüfung der erforderlichen Wassermenge bis zum Aufschwimmen.



Bild 6

Versuch 6:

<ul style="list-style-type: none"> • Materialien: 	200 mm XPS-Dämmung, lose verlegte wasserableitende Trennlage, Retentionsbox WRB (85 mm), 300 g Vlies, 1,0 kN/m ² Kies.
<ul style="list-style-type: none"> • Ziel: 	Untersuchung des Einflusses einer dickeren XPS-Dämmung unter ähnlichen Bedingungen wie in Versuch 5.



Bild 7

Versuch 6.1:

<ul style="list-style-type: none"> • Materialien: 	Variationen von 200 mm und 300 mm XPS mit verschiedenen Kiesauflasten (1,2 KN/m ² , 1,5 KN kg/m ² , 2,25 KN/m ²) bei Verwendung einer Retentionsbox WRB (85 mm), 300 g Vlies und loser verlegter wasserableitenden Trennlage.
<ul style="list-style-type: none"> • Ziel: 	Bestimmung des Aufschwimmverhaltens bei unterschiedlichen Kombinationen von Dämmstoffdicke und Kiesauflast. Diese Versuche sollen aufzeigen, wieviel zusätzliche Auflast notwendig ist, um das Aufschwimmen dickerer Dämmungen zu verhindern.

Versuch 7:

<ul style="list-style-type: none"> • Materialien: 	200 mm XPS-Dämmung, lose verlegte wasserableitende Trennlage, Drainagematte FKD 25, 300 g Vlies, 1,5 kN/m ² Substrat.
<ul style="list-style-type: none"> • Ziel: 	Untersuchung des Aufschwimmverhaltens unter Verwendung eines Substrats zur Begrünung und einer Drainagematte anstelle von Kies. Dieser Versuch soll zeigen, ob Substrat in ähnlicher Weise wie Kies eingesetzt werden kann, um das Aufschwimmen

	zu verhindern, insbesondere in Zusammenhang mit Drainagematten. Hierbei wurde das SitaGreen Element verkehrt eingebaut worden damit ??????????????
--	--



Bild 8

3. Durchführung

Die Dämmplatten wurden auf dem Boden der Wanne platziert und mit den entsprechenden Auflasten beschwert. Dabei kamen eine wasserableitende Trennlage (MK-Vlies), Retentionsboxen und Drainagematten gemäß dem jeweiligen Versuchsaufbau zum Einsatz. Anschließend wurde die Acrylwanne mit Wasser befüllt. Der Wasserstand wurde kontinuierlich überwacht, um den Punkt zu bestimmen, an dem die XPS-Dämmung zu schwimmen begann. Die kritische Wassermenge, bei der das Aufschwimmen einsetzte, wurde für jeden Versuch dokumentiert. Die Versuchsdurchführung wurde mehrfach wiederholt, um den arithmetischen Mittelwert der Wassermenge im Prüfkörper zu erhalten.



Bild 9, Füllungsgrad Wasser



4. Ergebnisse

Die durchgeführten Experimente führen zu einer Reihe von wesentlichen Erkenntnissen hinsichtlich der Aufschwimmstabilität von XPS-Dämmungen (Ravago, Ravatherm XPS 300 SL). In diesem Zusammenhang wurde die Annahme getroffen, dass die erforderliche Mindestauflast gemäß der allgemeinen Bauartgenehmigung (aBG) Nr. Z-23.4-224 vom 30. Januar 2025 (DIBT) mit einem Wert von etwa $0,75 \text{ kN/m}^2$ als Richtwert dient. Der Wert der Auflast gilt nur als notwendige Auflast zur Windsogsicherung, üblicherweise werden mindestens $0,9 \text{ kN/m}^2$ Auflast eingebaut um die Anforderungen der „harten Bedachung“ gemäß DIN 4102-4 einzuhalten.

- **Versuch 1:**

Die 100 mm XPS-Dämmung begann aufzuschwimmen. Der Wasserstand betrug 35 mm. Die Kiesauflast von $0,4 \text{ kN/m}^2$ ist nicht ausreichend, um den Auftrieb zu neutralisieren. Dies bestätigte die Erwartung, dass eine Auflast von $0,4 \text{ kN/m}^2$ nicht ausreicht, um ein Aufschwimmen der Dämmung zu verhindern.

- **Versuch 2:**

Die Erhöhung der Kiesauflast auf $0,75 \text{ kN/m}^2$ verzögerte das Aufschwimmen, konnte es jedoch nicht gänzlich verhindern. Die XPS-Dämmung begann aufzuschwimmen. Der Wasserstand ist dabei bündig zur Oberkante der Dämmung. Dies zeigt, dass die Wärmedämmung auch bei einer Auflast von $0,75 \text{ kN/m}^2$ aufschwimmt. Die $0,75 \text{ kN/m}^2$ entsprechen der Mindest-Auflast, zur Windsogsicherung gemäß der Anlage 1 der aBG.

- **Versuch 3:**

Mit einer Kiesauflast von $1,0 \text{ kN/m}^2$ konnte das Aufschwimmen der 100 mm XPS-Dämmung vollständig verhindert werden. Der Dämmstoff wurde um ca. 30 mm überstaut.

- **Versuch 4:**

Der Einsatz einer Retentionsbox und einer zusätzlichen Vlieslage mit $0,0652 \text{ kN/m}^2$ zeigte keine signifikante Veränderung der Sicherung gegen Auftrieb. Bei einer Auflast von $0,75 \text{ kN/m}^2$ konnte Aufschwimmen dokumentiert werden. Auch eine Auflast von $0,815 \text{ kN/m}^2$ ist bei einer 100 mm starken Dämmung nicht ausreichend, um die Lagesicherheit zu gewährleisten.

- **Versuch 5:**

Bei 1 kN/m^2 Kiesauflast schwimmt die Dämmung nicht mehr auf. Dies zeigte, dass zusätzliche bauliche Maßnahmen wie Retentionsboxen keinen signifikanten Einfluss





auf das Aufschwimmverhalten haben. Der Versuchsaufbau begann erst aufzuschwimmen, als sich nach einer Füllmenge von ca. 84,3 Litern ca. 35 mm Wasser im Auflastaufbau (Kies) aufstauten.

- **Versuch 6:**

Bei einer 200 mm dicken XPS-Dämmung ist eine deutlich höhere Auflast erforderlich, um das Aufschwimmen zu verhindern. Bei einer Auflast von $1,2 \text{ kN/m}^2$ – $1,5 \text{ kN/m}^2$ konnte das Aufschwimmen nicht verhindert werden. Ab einer Auflast von $>1,68 \text{ kN/m}^2$ blieb der Aufbau lagesicher.

- **Versuch 6.1:**

Bei einer XPS-Dämmung mit einer Dicke von 300 mm zeigte sich, dass auch eine Auflast von $2,25 \text{ kN/m}^2$ nicht ausreicht, um eine vollständige Lagesicherheit zu gewährleisten. Im Versuchsrahmen wurde der Aufbau bedingt der großen Last nicht weiter ausgeführt.

- **Versuch 7:**

Die Verwendung von Substrat und einer Drainagematte FKD 25 führte zu ähnlichen Ergebnissen wie bei Kiesauflast. Bei einer Substrat-Auflast von $1,5 \text{ kN/m}^2$ konnte das Aufschwimmen der 200 mm XPS-Dämmung nicht verhindert werden.

Ein wichtiges übergreifendes Ergebnis aus allen Versuchen ist, dass das Aufschwimmen der XPS-Dämmung in allen Szenarien mit einer Auflast von $0,75 \text{ kN/m}^2$ oder weniger je 100 mm Dämmstärke auftrat. Erst bei höheren Auflasten, insbesondere ab $> 0,9 \text{ kN/m}^2$ je 100 mm Dämmstärke, konnte das Aufschwimmen vollständig verhindert werden.

5. Diskussion

Die Ergebnisse dieser Versuchsreihe bestätigen, dass die Auftriebskräfte, die auf eine XPS-Dämmung wirken, durch die Kombination aus Dämmstoffdicke und Auflast effektiv kontrolliert werden können. Bei dickeren Dämmstoffen, wie 200 mm oder 300 mm steigt das Verhältnis zur Auflast proportional.

Die Eigengewichte, sowie die Füllungsgrade von Retentionsboxen und / oder Drainagematten haben einen Einfluss auf das Aufschwimmen der Dämmschicht, dies wird bei den weiteren Betrachtungen nicht berücksichtigt.

Wir berücksichtigen nur die Auflast ohne überstauendes Wasser.

Sobald das Wasser über die Retentionsboxen und / oder Drainagematten steigt, schwimmen die nachfolgenden Schichten ebenfalls auf. Durch das Überstauen wird die wirksame





Gewichtskraft verringert. Jedoch kann rechnerisch das in der Retentionsbox stehende Wasser als wirksame Gewichtskraft hinzugezogen werden.

6. Rechnerische Auseinandersetzung:

- Zusätzlich zu den praktischen Versuchen wurde der Versuchsaufbau 1 mathematisch analysiert. Die Ergebnisse der praktischen Experimente stimmen erwartungsgemäß mit den theoretischen Berechnungen der Auftriebskraft überein.

- Formel Auftriebskraft F_A durch das Archimedische Prinzip:

Auftriebskraft:

$$F_A = \rho_{Fl} \cdot \text{verdrängt} \cdot g$$

$$F_A = 0,05536 \text{ m}^3 \cdot 10 \text{ kN/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$F_A = 866,8 \text{ N}$$

$$F_A = 88,4 \text{ kN/m}^2$$

$$F_A = F_A - F_G$$

$$F_A = 0,884 \text{ kN/m}^2 - 0,038 \text{ kN/m}^2 \text{ (Gewichtskraft XPS)}$$

$$F_A = 0,846 \text{ kN/m}^2 = > 0,9 \text{ kN/m}^2$$

- Ein Kräftegleichgewicht ist herzustellen. Einer mit $0,9 \text{ kN/m}^2$ einwirkenden Auftriebskraft ist durch eine gleiche oder größere Gewichtskraft entgegenzuwirken.

7. Fazit:

Die wesentlichen Schlussfolgerungen aus der Untersuchung lauten:

1. Aufschwimmverhalten der XPS-Dämmung

- XPS-Dämmungen mit einer Dicke von 100 mm benötigen neben der Windsogsicherung gemäß aBG von mindestens $0,75 \text{ kN/m}^2$, eine zusätzliche Auflast, um das Aufschwimmen zu verhindern.
- Bei einer Auflast gemäß unserem Versuch 3, von $1,0 \text{ kN/m}^2$, konnte das Aufschwimmen der 100 mm XPS-Platte jedoch zuverlässig verhindert werden.
- Die benötigte Auflast bei Verwendung dickerer XPS-Dämmung steigt proportional.





2. Benötigte Auflast:

- Eine rechnerische Auflast von $> 0,9 \text{ kN/m}^2$ pro 100 mm Dämmstärke ist erforderlich, um das Aufschwimmen der XPS-Dämmung zu verhindern. Basierend auf unseren Untersuchungen ist diese Vorgehensweise der theoretischen Ermittlung jedoch nicht zu empfehlen.
- Auch zusätzliche bauliche Maßnahmen wie Retentionsboxen und Drainagematten können das Aufschwimmen nicht vollständig verhindern, wenn die Auflast auf den Retentionsboxen und Drainagematten nicht ausreichend ist. Bei überstauten Retentionsboxen und / oder Drainagematten wirken weitere Auftriebskräfte auf die Auflast. Dies wirkt sich jedoch nicht nachteilig auf die Lagesicherung des Dämmstoffes aus.

3. Praktische Empfehlungen:

- **Auslegung der Auflast bei XPS-Dämmung:**
Für Bauprojekte, bei denen extrudierte Polystyrol-Hartschaumplatten (XPS) im Umkehrdach mit Retention verwendet werden, sollte eine Mindestauflast von **0,9 kN/m² pro 100 mm Dämmstärke** berücksichtigt werden, um ein Aufschwimmen der Dämmung zuverlässig zu verhindern. Eine Auflast zur Sicherung gegen Windsog gemäß Anlage 1 der aBG der Hersteller von 0,75 kN/m² reicht nicht aus.
- **Berücksichtigung von Sicherheitszuschlägen:**
Um die Baupraxis zu erleichtern, empfehlen wir 6 cm Kies pro 100 mm Dämmstärke, somit 1,08 kN/m².
- **Zusätzliche bauliche Maßnahmen:**
Ergänzend sollten **Retentionsboxen** und **Drainagematten** eingesetzt werden, um die Wirksamkeit der Auflast zu unterstützen. Diese Maßnahmen dürfen jedoch nicht als alleinige Lösung zur Verhinderung des Aufschwimmens betrachtet werden. Die Retentionsboxen und Drainagematten sollten so bemessen werden, dass das Rückhaltevolumen ausreichend dimensioniert ist.

Falls die Statik der Decke die ganzen Lasten nicht aufnehmen kann, kann auch ein Notentwässerungssystem komplett berechnet werden, die oberhalb des Wasseranstau angeordnet wird und die Wassermengen die über die geplante Regen-Rückhaltung ableitet.





8. Schluss

Die vorliegende Untersuchung zeigt, dass eine präzise Planung der Auflast in Abhängigkeit von der Dämmstoffdicke mit von zentraler Bedeutung ist, um die Lagesicherheit der Dämmung sicherzustellen. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass durch die gezielte Kombination aus adäquater Auflast und ergänzenden baulichen Maßnahmen die auftretenden Auftriebskräfte wirksam kontrolliert und ein Aufschwimmen der Dämmung verhindert werden können.

Dämmstoffdicken unter 100 mm sind mit mindestens 1.08 kN/m² Auflast herzustellen. Bei höheren Dämmstoffdicken ist je 10 mm um 0,108 kN/m² zu erhöhen.

Die Wartung der Entwässerungseinrichtungen sollte in kürzeren Intervallen durchgeführt werden als in der DIN EN 12056, „Schwerkraftentwässerungsanlagen innerhalb von Gebäuden“, vorgeschrieben, da die Drosselemente schneller verstopfen.

Wir empfehlen eine temperaturabhängig gesteuerte Heizung vorzusehen.

Es sei darauf hingewiesen, dass diese Empfehlungen für Umkehrdächer mit unverklebten Trennlagen und Drosseln in der Abdichtungsebene gelten.





Forschungspartner 1:

Ingenieurbüro Klaus Hafer

Projektleiter:

Herr Klaus Hafer

Bearbeiter/Autoren:

Herr Sebastian Jung

Herr Felix Hafer

Forschungspartner 2:

Herr Jens Klee, Fa. Sita

Forschungspartner 3:

Herr Uwe Rentzsch, Ravago

Begriffe:

[**Retention** = zurückhalten]

[**Retentionsboxen / Drainagematten** = mit Freigabe des Herstellers der Wärmedämmung]

[**XPS** = geschlossenzelliger, harter Dämmstoff aus Polystyrol]

[**MK-Vlies** = diffusionsoffene, wasserableitende Trennlage mit einer Polyethylen-Microfadenstruktur]

Quellen:

aBG Z-23.4-224. *Regelungsgegenstand. Die allgemeine Bauartgenehmigung gilt für die Bauart Wärmedämmsystem Umkehrdach.*

Gegenstand: Wärmedämmsystem Umkehrdach unter Verwendung von extrudierten Polystyrol-Hartschaumplatten ROOFMATE SL-AP, Ravatherm XPS 300 SL, Ravatherm XPS 300 SL B1 FLOORMATE 500-AP, Ravatherm XPS 500 SL, Ravatherm XPS 500 SL B1 FLOORMATE 700-AP, Ravatherm XPS 700 SL

