

Abschlussbericht zum Forschungsauftrag
„Untersuchungen des Wasserabflusses bei extensiven Dachbegrünungen bei einer
Dachneigung von Null Grad“

Fakultät für Architektur
und Landschaft

Institut für Landschaftsarchitektur

Geschäftsführender Leiter
Prof. Dipl.-Ing. Gilbert Lösken

Tel. +49 511 762 2691
Fax +49 511 762 4043
E-Mail: loesken
@ila.uni-hannover.de

30.09.2015

Auftraggeber: Fachvereinigung Bauwerksbegrünung (FBB)
Kanalstraße 2
66130 Saarbrücken

gefördert durch die FBB Mitglieder:
Diadem APP Dachgarten GmbH
Bonar Xeroflor GmbH
Optigrün international AG
6 fürs Grün GmbH
Vulkatec Riebensahm GmbH

Bearbeitung: Prof. Dipl.-Ing. Gilbert Lösken
Dipl.-Ing. Daniel Westerholt

Gliederung

1 Zielsetzung und Aufgabenstellung.....	2
2 Untersuchte Bauweisen	4
3 Versuchsdurchführung.....	5
4 Untersuchungsmethoden	7
5 Abflussverhalten bei Null Grad.....	8
6 Beurteilung – Entwässerung	16
7 Beurteilung – Oberflächenerosion.....	17
8 Beurteilung – Belastung der Dachkonstruktion durch Bemessungsregen	18
9 Beurteilung – Last aus Bautoleranzen.....	19
10 Abflussbeiwert.....	19
11 Zusammenfassende Beurteilung.....	20

Datum des Berichts: 30.09.2015

Umfang des Berichts: 20 Seiten



Prof. Dipl.-Ing. Gilbert Lösken (Geschäftsführender Leiter)

Besucheradresse:
Herrenhäuser Straße 2A
30419 Hannover
www.ila.uni-hannover.de

Zentrale:
Tel. +49 511 762 0
Fax +49 511 762 3456
www.uni-hannover.de

1 Zielsetzung und Aufgabenstellung

1.1 Ausgangssituation

Flachdächer mit Null Grad Dachneigung werden auch als gefällelose Dächer oder Null-Grad Dächer bezeichnet. Im Gegensatz zu Flachdächern mit Gefälle haben sie waagrecht ausgebildete Oberflächen. Während bei Dachflächen mit Gefälle das Niederschlagswasser gezielt zu den Dachabläufen geleitet wird, kann auf gefällelosen Flächen das Wasser erst abfließen, wenn es sich minimal angestaut hat und durch das sogenannte „Wasserspiegelgefälle“ zu fließen beginnt.

In der Fachliteratur und in Regelwerken wird bei Flachdächern ein Mindestgefälle von 2% als Regelfall angegeben. Geringere Gefälle und insbesondere gefällelose Dächer werden als Sonderkonstruktionen bezeichnet, die entsprechende Maßnahmen fordern. Die „Flachdachrichtlinien“ (Zentralverband des deutschen Dachdeckerhandwerks - ZvdH, 2008) verwenden den Begriff Sonderkonstruktion seit der Ausgabe 2008 nicht mehr und fordern lediglich eine entsprechend höherwertige Art der Dachabdichtung. Die „Dachbegrünungsrichtlinien“ (Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau - FLL, 2008) fordern bei Gefälle unter 2% „besondere Maßnahmen zur Dachentwässerung“, jedoch ohne diese zu konkretisieren.

Dächer mit Null Grad Dachneigung werden zwar ohne Gefälle geplant, tatsächlich ergeben sich bei der Herstellung durch zulässige Durchbiegungen der Bauwerksdecken und aufgrund von Bautoleranzen geringe Oberflächengefälle mit teils unterschiedlichen Richtungen. Durch Gefälle und Gegengefälle können großflächig Pfützen entstehen, in denen das Wasser nur verdunsten aber nicht abfließen kann. Hieraus ergibt sich ein gewisses Schadenpotential, da die Abdichtung im Sommer durch Temperaturunterschiede am Rand der Pfützen und im Winter durch Eisdruck belastet wird und bereits bei kleinen Undichtigkeiten erhebliche Wassermengen in die Dachkonstruktion eindringen können. Daher werden Dächer mit Null Grad Dachneigung einerseits als kritisch angesehen oder abgelehnt, andererseits werden sie häufig gebaut weil gefällelose Dächer die Gestaltung, die Dachkonstruktion und die Herstellung vereinfachen.

Extensive Dachbegrünungen auf gefällelosen Dächern mindern einen Teil des Risikos, da die Belastungen der Abdichtung durch Temperaturunterschiede und Eisdruck praktisch nicht gegeben sind. Andererseits ist zu beobachten, dass bei extensiven Dachbegrünungen mit geringer Aufbaudicke nach Regenereignissen Wasser in oder auf der Begrünung steht und nicht abfließt (siehe Abbildung 1 und Abbildung 2).



Abbildung 1: Wasseranstau auf gefällelosem Dach



Abbildung 2: Detail Wasseranstau

Aufgrund dieser Beobachtungen kommt es in der Praxis zu Auseinandersetzungen zwischen Bauherren, Planern und Unternehmen. Es wird unterstellt, dass die Dränung nicht ausreichend bemessen oder falsch ausgeführt sei. Dränschichten aus Schüttstoffen seien dem Wasserandrang bei Starkregen nicht gewachsen und Kunststoffdränagen geringer Dicke könnten bei einem gefällelosen Dach nicht genug Wasser ableiten.

Aus der augenscheinlichen Feststellung des stehenden Wassers auf dem Dach wird geschlussfolgert, dass

- die Dachkonstruktion durch nicht abfließendes oder zu langsam abfließendes Wasser überlastet würde,
- es bei geringen Aufbaudicken der Begrünung durch die oberflächlich abfließenden Wassermassen zu Erosion käme und
- die Staunässe unerwünschte bzw. schädliche Auswirkungen auf die Begrünung habe.

Von Unternehmern und Produktanbietern wird entgegengehalten, dass

- die verwendeten Kunststoffdränagen und Dränschichten aus Schüttstoffen problemlos entwässern würden,
- die Leistungsfähigkeit der Produkte durch entsprechende Prüfzeugnisse belegt sei,
- bisher auch bei dünn-schichtigen Begrünungsbauweisen keine Entwässerungsprobleme aufgetreten seien und
- die Entwässerung über das Wasserspiegelgefälle nur etwas langsamer erfolge als beim Gefälledach.

Da zum Thema Entwässerung von gefällelosen Dachflächen mit extensiven Dachbegrünungen keine belastbaren Quellen zur Verfügung stehen, können die in der Beratungspraxis regelmäßig auftretenden Nachfragen zur richtigen Ausführung oft nur ausweichend beantwortet werden. Wenn Beratungen aufgrund von Erfahrungswissen und Berechnungen nach persönlicher oder firmeninterner Einschätzung vorgenommen werden, bleibt bei allen Beteiligten ein Gefühl der Unsicherheit. Hier setzen die Fragestellungen dieses Forschungsvorhabens an.

1.2 Zielsetzung

Als übergeordnete Zielsetzung soll durch dieses Forschungsvorhaben beschrieben werden, wie die Entwässerung von gefällelosen Dächern mit extensiven Dachbegrünungen funktioniert. Der offensichtliche Widerspruch zwischen der Aussage „die Entwässerung erfolgt über das Wasserspiegelgefälle“ und der Beobachtung „stehendes Wasser auf dem Dach“ soll untersucht werden. Dabei wird vermutet, dass bei längeren Fließwegen der Wasserstrom aufgrund von Adhäsions- und Kohäsionskräften abreißt und es als Folge zum Wasserstau kommt.

Weiter soll der Frage nachgegangen werden, ob die Entwässerungsleistung im Sinne der Grundstücksentwässerung berechenbar ist und hierfür ein Abflussbeiwert vorgegeben werden kann. Zielsetzung dabei ist es eine allgemein gültige Methodik zu entwickeln, die durch einfache Untersuchungen und Berechnungen einen anrechenbaren Wert für die Planung ergibt. Für die Planungspraxis soll somit auf Grundlage der Untersuchungsergebnisse der Status der Sonderbauweise abgesichert und einfacher handhabbar gemacht werden.

1.3 Aufgabenstellung

Aus der Zielsetzung abgeleitet ergeben sich folgende Aufgaben und Fragestellungen:

1. Beschreibung des Wasserabflusses bei extensiven Dachbegrünungen bei einer Dachneigung von Null Grad.
2. Untersuchung des Wasserabflusses bei einer Fließlänge von bis zu 20 m.
3. Untersuchung des Wasserabflusses bei drei verschiedenen Begrünungsbauweisen.
4. Einschätzung ob die Entwässerung ordnungsgemäß und ausreichend ist.
5. Können die aus der Untersuchung ermittelten Sachverhalte auch durch Messung des Abflusses nach dem FLL Verfahren der Bestimmung des Abflussbeiwertes für Bauweisen und Produkte von Firmen spezifiziert werden?
6. Kommt es durch nicht abfließendes oder zu langsam abfließendes Wasser zur Überlastung der Dachkonstruktion?
7. Welche zusätzlichen Dachlasten ergeben sich durch den Wasseranstau?
8. Kommt es bei geringen Aufbaudicken der Begrünung durch oberflächlich abfließendes Wasser zur Substraterosion?

2 Untersuchte Bauweisen

Diese Untersuchungen sollen grundlegende Erkenntnisse liefern, die als Allgemeingut zur Verfügung gestellt werden. Daher erfolgen die Untersuchungen an drei unterschiedlichen Bauweisen, die einerseits in der Praxis üblichen Bauweisen entsprechen und andererseits keine firmenspezifischen Bauweisen sind. Es werden Produkte, die in der Praxis für extensive Dachbegrünungen verwendet werden, ihrer Funktion entsprechend bei den Bauweisen eingebaut, ohne dass die Produktbezeichnungen angegeben werden. Die Produktbeschreibung erfolgt gemäß den Unterscheidungen der FLL Dachbegrünungsrichtlinie.

Es werden folgende Bauweisen untersucht:

Bauweise 1:	Schichtdicke
- Substrat	8 cm
- Dränmatte mit aufkaschiertem Filtervlies (130g/m ²)	1 cm
- Schutzvlies (300g/m ²)	



Abbildung 3: Bauweise 1 beim Einbau, Dränmatte mit Öffnungen für Kameragehäuse

Bauweise 2:	Schichtdicke
- Substrat	8 cm
- Filtervlies (100g/m ²)	
- Dränplatte	2,5 cm
- Schutzvlies (300g/m ²)	



Abbildung 4: Bauweise 2, eingebaute Dränplatte auf Schutzvlies

Bauweise 3:
- Substrat
- Schutzvlies (300g/m²)

Schichtdicke
8 cm



Abbildung 5: Bauweise 3 Einschichtbauweise

Alle drei Bauweisen haben als unterste Lage ein Schutzvlies von 300g/m², was dem Baustandard entspricht.

Bei allen drei Bauweisen wird das gleiche Substrat verwendet, was nicht ganz der Baupraxis entspricht. Bei den Bauweisen 1 und 2 würde in der Praxis ein Extensivsubstrat für mehrschichtige Bauweisen und bei Bauweise 3 für einschichtige Bauweisen verwendet werden. Substrate für mehrschichtige Bauweisen haben im Vergleich zu Substraten für einschichtige Bauweisen eine höhere Wasserkapazität und eine geringere Wasserdurchlässigkeit. Um die Entwässerungsleistungen von Dränmatte, Dränplatte und Schüttstoff miteinander vergleichen zu können und mögliche Beeinflussungen durch unterschiedliche Substrateigenschaften auszuschließen, werden alle drei Bauweisen mit dem gleichen Substrat in gleicher Schichtdicke untersucht. Es handelt sich dabei um ein Substrat welches hinsichtlich Wasserkapazität und Wasserdurchlässigkeit den Anforderungen der FLL Dachbegrünungsrichtlinie an Substrate für einschichtige extensive Begrünungen entspricht.

Die beiden Kunststoffdranschichten wurden in geringer Schichtdicke von 1 und 2,5 cm gewählt weil sie praxisüblich sind und hier vermutlich am ehesten die Grenzen der Leistungsfähigkeit aufzuzeigen sein werden.

Die Einschichtbauweise wurde gewählt weil aufgrund des höheren Fließwiderstandes zu erwarten ist, dass sich bei dieser Bauweise die Beobachtung „stehendes Wasser“ im Versuch nachbilden und untersuchen lässt.

3 Versuchsdurchführung

Die Untersuchungen wurden in einem Gewächshaus auf dem Gelände der Leibniz Universität Hannover am Standort Herrenhausen an einer 20 m langen Abflussmessstrecke durchgeführt. Bei der Abflussmessstrecke handelt es sich um den Zusammenbau von 4 Versuchsanlagen die sonst für andere Abflussmessungen, wie auch die Bestimmung des Abflussbeiwertes nach dem FLL Verfahren, genutzt werden. Die jeweils 5 m langen Versuchstische werden zu einer Ablaufwanne von 20 m Länge und 1 m Breite zusammengebaut, in welche die zu untersuchenden Bauweisen eingebaut werden (Abbildung 6 und Abbildung 7). Mit vier Hebevorrichtungen kann die 20 m Messstrecke in unterschiedliche Neigungen und somit auch gefällelos eingestellt werden. Der Bemessungsregen wird über Düsen aufgebracht und die Dauer des Abflusses gemessen.



Abbildung 6: Eingebauter Schichtaufbau mit Kameramessstellen



Abbildung 7: Eingehauste Versuchsanlage während der Beregnung

4 Untersuchungsmethoden

Für die durchgeführten Untersuchungen gibt es kein standardisiertes Verfahren. Die Versuchsmethode wurde neu entwickelt und orientierte sich dabei an den Erfahrungen aus der Versuchsdurchführung zur Bestimmung des Abflussbeiwertes nach dem in der FLL-Dachbegrünungsrichtlinie 2008 vorgegebenen Verfahren.

4.1 Prinzip

Ermittlung des Wasserabflusses aus dem Schichtaufbau einer extensiven Dachbegrünung bei einer Dachneigung von Null Grad. Beregnung mit einem 15-minütigen Blockregen von $r(15) = 300 \text{ l / (s x ha)}$, entspricht 27 l/m^2 nach vorlaufender aufbausättigender Beregnung und 24-stündigem Abtropfenlassen.

4.2 Geräte

Wind- und regengeschützte Halle zum Aufstellen der Versuchseinrichtung;

Messtisch von 20 m Länge und 1 m Breite aus Aluminiumwannen, mit 20 cm seitlicher Aufkantung zum Einbau der zu untersuchenden Dachbegrünungsbauweisen, auf Null Grad ausgerichtet (gefällelos), wasserundurchlässig abgedichtet, Siebgitter von rd. 3 mm Maschenweite am Ablaufende, Auffangrinne am Ablaufende mit Ablaufstützen;

- Beregnungseinrichtung
 - bestehend aus Pumpe, Zuleitungen, Absperrschiebern und Düsenrohren; zur möglichst gleichmäßigen Verteilung des Blockregens, Anbringung der Sprühdüsen ca. 60 – 80 cm über dem zu untersuchenden Schichtaufbau; allseitige Einhausung zum Vermeiden von Tropfenabdrift; Durchflussmesser zur Feinregulierung der Beregnungsmenge; Feinmesswasseruhr zum Erfassen der Regenmenge in Abhängigkeit von der Zeit über Stoppuhr;
- Messeinrichtung zum Erfassen des Wasserabflusses in Abhängigkeit von der Zeit
 - mit auf 1 Liter kalibrierten Auffangbehältern und Erfassen der Zeiten mit Stoppuhr;
- Messeinrichtung zum Erfassen der Höhen des Wasserstands in Abhängigkeit von der Zeit
 - im Schichtaufbau eingebaute Endoskopkameras (9 Stück) mit automatischer Erfassung

4.3 Durchführung

Die Untersuchungen des Wasserabflusses erfolgen an Bauweisen ohne Begrünung.

Waagerechte Einstellung der Versuchseinrichtung. Feinjustierung unter Auflast von $0,75 \text{ kN/m}^2$ (75 kg/m^2) auf 1 mm Abweichung vom Mittel. Einbau des zu untersuchenden Schichtaufbaues der Dachbegrünung im feuchten Zustand. Gleichzeitiger Einbau der Endoskopkameras.

Aufbausättigendes Beregnen bis ein gleichmäßiger Wasserabfluss über 10 Minuten eingehalten wird. Während eines Zeitraumes von 24 Stunden abtropfen lassen, sodass annähernd der Zustand der maximalen Wasserkapazität eingestellt ist. Aufbringen des Blockregens von 27 l/m^2 in 15 Minuten in möglichst gleichmäßiger Intensität. Erfassen des Wasserabflusses und der Höhen des Wasserstandes im Schichtaufbau während des Beregnungszeitraumes in Abhängigkeit vom zeitlichen Verlauf.

Die Messungen bei Bauweise 1 und 2 wurden jeweils nach 3 Stunden beendet und anschließend 2mal wiederholt, sodass an einem Tag drei Messungen durchgeführt wurden.

Bei Bauweise 3 wurden die Messungen jeweils nach 23 Stunden beendet, sodass je eine Messung an drei aufeinander folgenden Tagen durchgeführt wurde.

Zeitgleich wurden die Wasserstandshöhen kontinuierlich mit den 9 Endoskopkameras fotografiert (Abbildung 8).

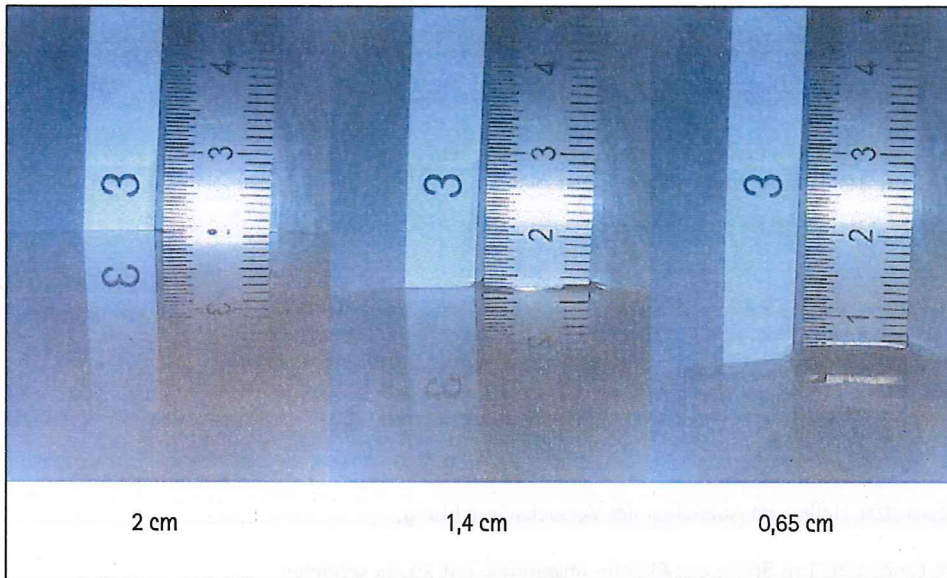


Abbildung 8: Mit den Endoskopkamas aufgenommene Wasserstände

4.4 Berechnung und Darstellung

Die Wasserabflussmenge wird mit der Berechnungsmenge ins Verhältnis gesetzt und das Abflussverhalten in einer Grafik in Abhängigkeit von Volumen und Zeit dargestellt.

Die mit den Endoskopkamas ermittelten Wasserstände werden in einer Grafik in Abhängigkeit von Höhe und Zeit dargestellt. Die Darstellung erfolgt beispielhaft an je einer Messung.

5 Abflussverhalten bei Null Grad

5.1 Ergebnisse der Messungen des Wasserabflusses in Abhängigkeit von der Zeit

Im nachfolgenden Diagramm (Abbildung 9) wird für die Bauweisen 1 bis 3 das Verhalten des Wasserabflusses in Abhängigkeit von der Zeit dargestellt.

Auf der horizontalen Achse ist die Zeit in Minuten für einen Zeitraum von insgesamt drei Stunden eingetragen. Auf der vertikalen Achse ist das Wasservolumen in Liter angegeben. Als Bemessungsregen wurde ein 15-minütiger Blockregen von $r(15) = 300 \text{ l / (s x ha)}$ gewählt, was einem Volumen 27 l/m^2 entspricht. Auf die Versuchsanlage mit einer Fläche von 20 m^2 werden demnach innerhalb von 15 Minuten insgesamt 540 Liter beregnet. Dieser Bemessungsregen ist als Gerade eingezeichnet (rote Linie). Die vertikal gestrichelte Linie bei 15 Minuten kennzeichnet das Ende der Beregnung. Die horizontal gestrichelte Linie kennzeichnet den möglichen maximalen Abfluss bei einer Messung. Die Kurvenverläufe zum Wasserabfluss ähneln sich in solchen Diagrammen grundsätzlich. Der Abfluss beginnt mit einer geringen Verzögerung nach dem Beginn der Beregnung und der Kurvenverlauf steigt an. Der Kurvenwert bei 15 Minuten gibt an wie viel Wasser innerhalb des Bemessungsregens abgeflossen ist und der Kurvenverlauf rechts davon kennzeichnet den Wasserabfluss bis zum nahezu vollständigen Abfluss der aufgebrauchten Wassermenge nach 3 bzw. 23 Stunden.

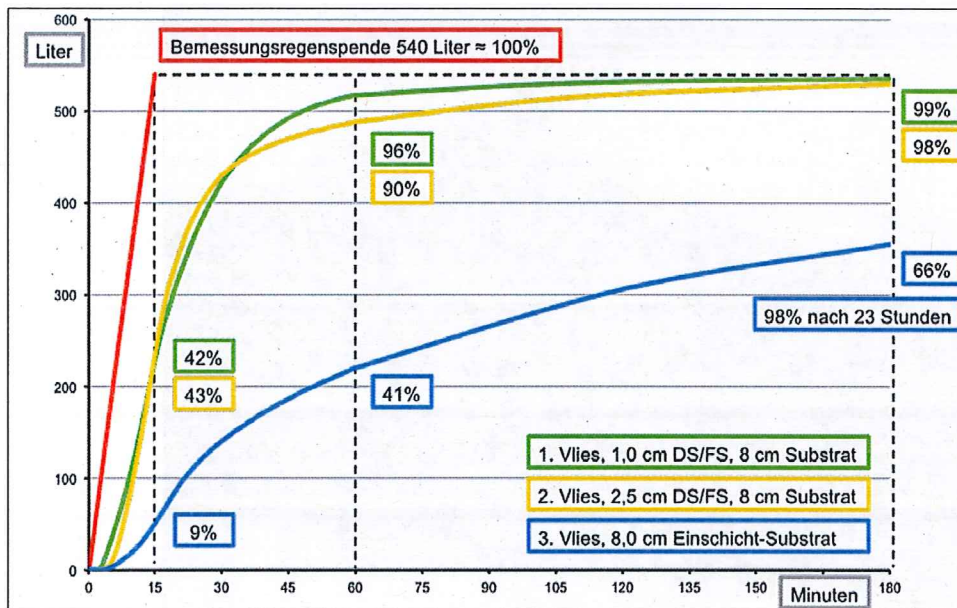


Abbildung 9: Wasserabfluss der drei Bauweisen DS =Dränschicht, FS =Filterschicht

Erwartungsgemäß verläuft der Wasserabfluss bei den beiden Kunststoff-Dränschicht-Bauweisen (Bauweise 1 u. 2) schneller als bei der Einschichtbauweise (Bauweise 3).

Unerwartet zeigen die Dränmatte (Bauweise 1) und die Dränplatte (Bauweise 2) bei unterschiedlicher Dicke praktisch das gleiche Abflussverhalten. Bei genauer Hinsicht ergeben sich allerdings geringfügige Abweichungen. Bei der Dränmatte beginnt der Abfluss etwas früher als bei der Dränplatte. Dennoch ist der Abfluss der Dränplatte nach 15 Minuten geringfügig (1%) höher als bei der Dränmatte um dann beim 1 Stunden Wert wieder um 6% weniger Abfluss als die Dränmatte aufzuweisen. Zum Ende der Messung nach 3 Stunden liegen beide Bauweisen mit 99% und 98% Abfluss wieder dicht beieinander.

Diese wechselnden Abweichungen im Kurvenverlauf lassen sich durch die Art des Einbaus erklären nachdem Mess- und Dokumentationsfehler ausgeschlossen werden konnten. Beide Kunststoffdränschichten haben Noppen als Abstandhalter, sie werden jedoch unterschiedlich eingebaut. Bei der 1 cm Dränmatte werden die Noppen nach oben hin ausgerichtet, da auf den Noppen das Filtervlies kaschiert ist. Die Dränplatte wird mit den Noppen nach unten eingebaut und das Filtervlies oben aufgelegt. Bei der Dränmatte fließt das Wasser innerhalb der Matte auf der glatten Kunststoffoberfläche (Abbildung 10). Bei der „aufgestellten“ Dränplatte fließt das Wasser unterhalb der Platte auf dem Schutzvlies (Abbildung 11). Das Schutzvlies hat eine höhere Rauigkeit als die glatte Kunststoffoberfläche. Dies erklärt den schnelleren Abflussbeginn und den schnellen Abfluss nach Ende der Beregnung bei der Dränmatte. Im Zeitraum des höchsten Wasserandrangs im zweiten Drittel der Beregnung zeigt die größere Dicke der Dränplatte Wirkung und ermöglicht einen größeren Abfluss. Mit abnehmenden Wasservolumen und geringer werdender Wasserfilmdicke oberhalb des Schutzvlieses wirkt dessen raue Oberfläche minimal abflussverzögernd.

Die Bauweise 3 mit dem Einschichtaufbau zeigt erwartungsgemäß einen deutlich verzögerten stetigen Wasserabfluss mit flachem Kurvenverlauf. Zum Ende der Messung nach 23 Stunden ist ebenfalls praktisch der gesamte Bemessungsregen abgeflossen.

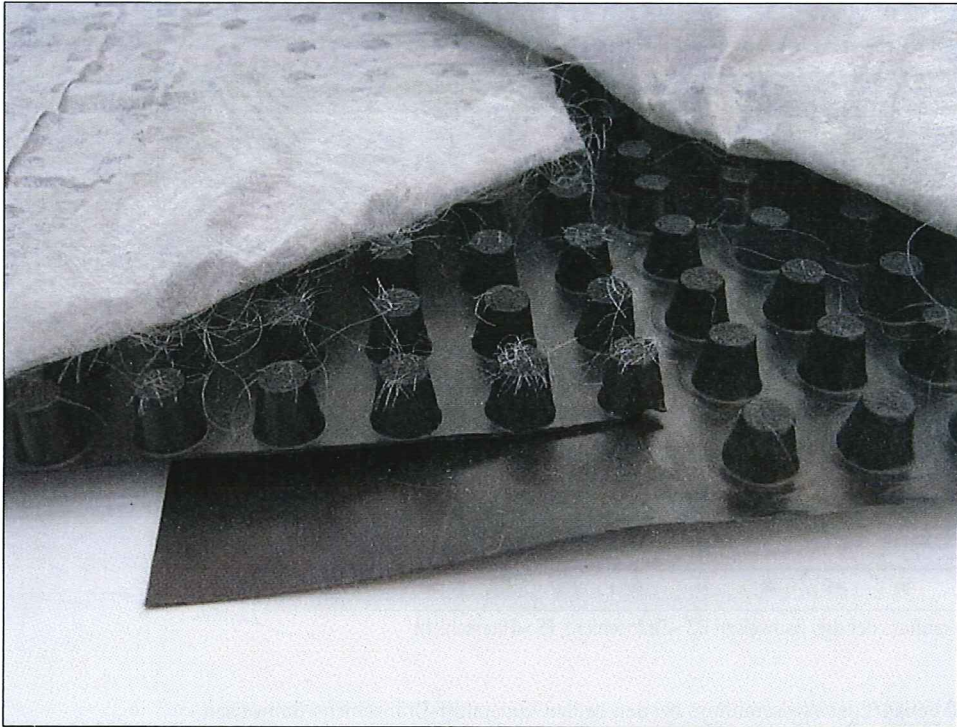


Abbildung 10: Dränmatte, Wasser wird auf glatter Kunststoffoberfläche abgeleitet

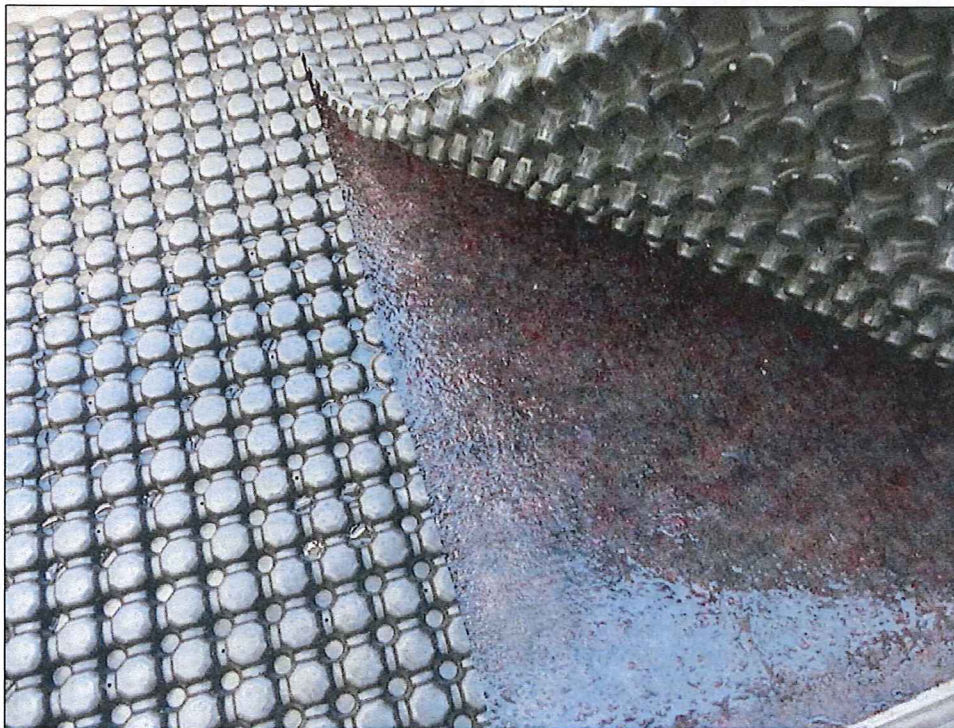


Abbildung 11: Wasserabfluss unter Dränplatte auf Schutzvlies

5.2 Wasserstände innerhalb des Aufbaus

Die Wasserstandshöhen innerhalb des Aufbaus während der Versuchsdurchführung zeigen bei den drei Bauweisen grundsätzlich einen ähnlichen Verlauf (Abbildung 12, Abbildung 13 und Abbildung 14).

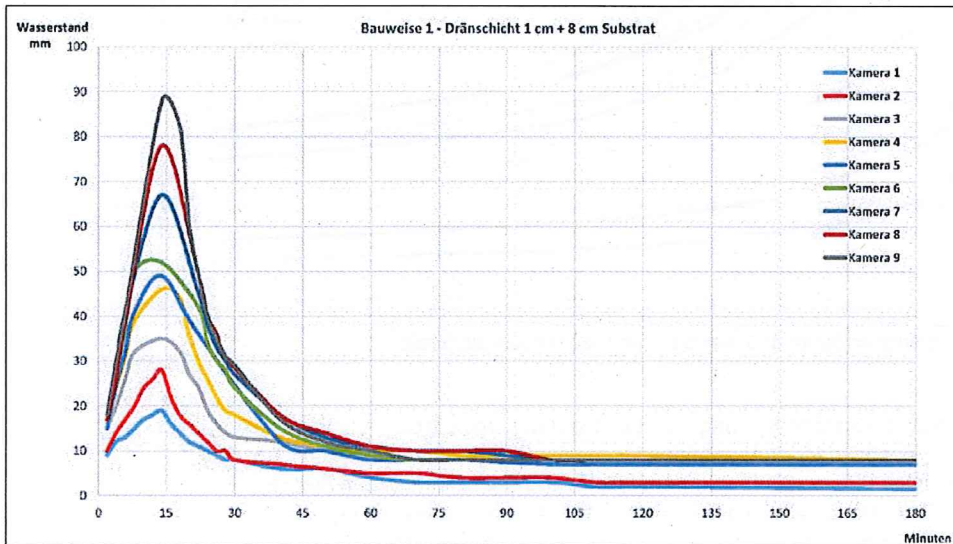


Abbildung 12: Wasserstände bei Bauweise 1

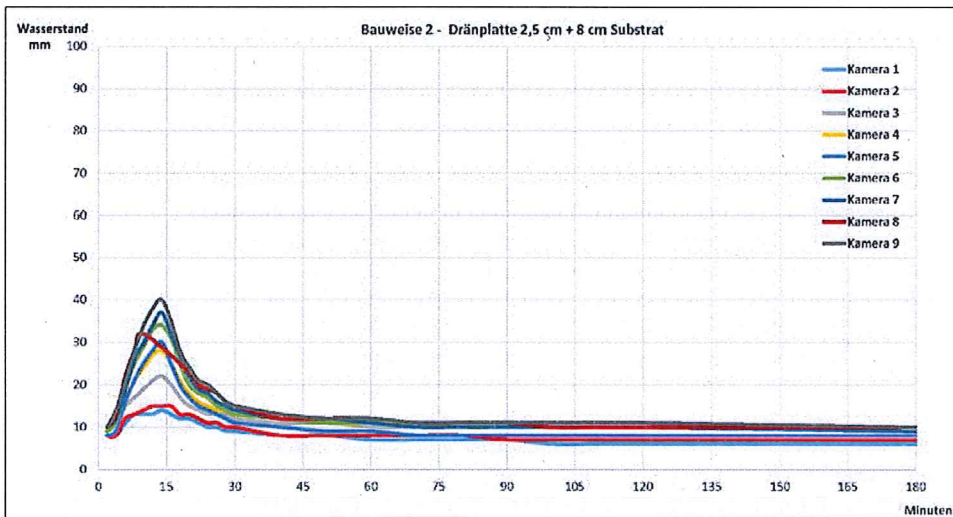


Abbildung 13: Wasserstände bei Bauweise 2

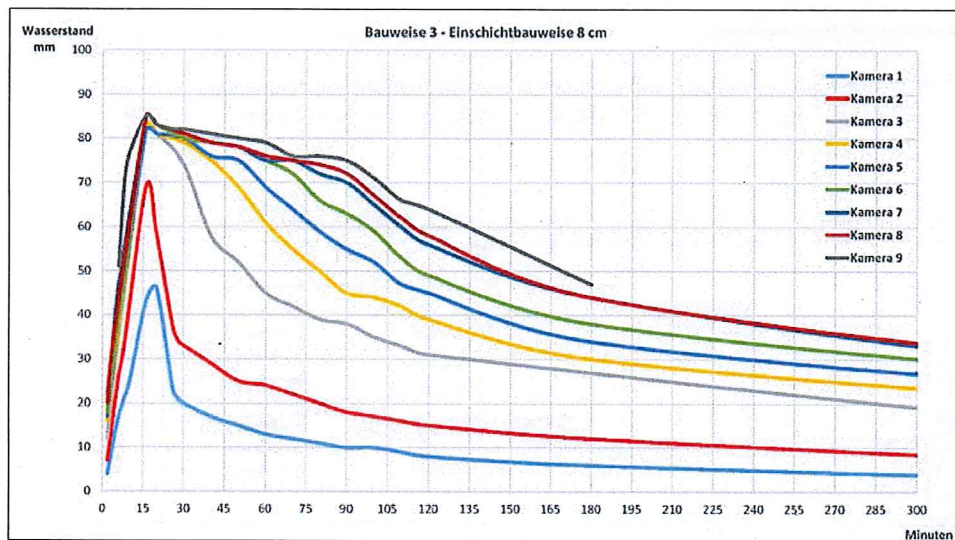


Abbildung 14: Wasserstände bei Bauweise 3, Kamera 9 nach 180 Minuten ausgefallen

Da der Schichtaufbau versuchsbedingt vorgesättigt ist und nur wenig freier Porenraum im Substrat vorhanden ist, steigt der Wasserstand während der Beregnung relativ schnell an. Dabei erreichen die maximalen Wasserstände in Abhängigkeit von der Entfernung zum Abfluss unterschiedliche Höhen. Mit zunehmender Fließlänge zum Abfluss steigen die maximalen Wasserstände. Die absoluten Höhen unterscheiden sich bei den Bauweisen.

Die Bauweise 1 mit einer Dränmatte von 1 cm Dicke erreicht maximale Werte in Abflussnähe (Kamera 1, Fließlänge 0,4 m) von 1,9 cm und bei größter Fließlänge (Kamera 9, Fließlänge 18,75 m) von 8,8 cm.

Die Bauweise 2 mit einer Dränplatte von 2,5 cm Dicke erreicht Wasserstände zwischen 1,4 cm und 4,0 cm

Die Bauweise 3 mit 8 cm Einschichtbauweise erreicht Wasserstände zwischen 4,6 cm und 8,5 cm.

Die maximalen Wasserstände werden zum Ende des Bemessungsregens erreicht. Danach sinkt der Wasserspiegel kontinuierlich ab. Bei den Dränschichtbauweisen geschieht dies relativ rasch. Etwa 15 Minuten nach Beregnungsende liegen die maximalen Wasserstände zwischen 0,8 und 2,9 cm Höhe bei Bauweise 1 und bei Bauweise 2 zwischen 0,9 und 1,5 cm Höhe. Die Unterschiede der beiden Dränschichtbauweisen in den maximalen Wasserständen lassen sich durch das unterschiedliche Hohlraumvolumen der Dränschicht erklären. Bemerkenswert ist jedoch, dass dies nahezu keinen Einfluss auf das Gesamtabflussverhalten hat (Abbildung 9)

Bei der Einschichtbauweise erfolgt der Abfluss langsamer und dementsprechend sinken auch die Wasserspiegel nicht so rasch. Etwa 15 Minuten nach Beregnungsende liegen die maximalen Wasserstände bei der Einschichtbauweise zwischen 2,0 cm und 8,2 cm Höhe. Dabei wird die Schichtdicke des Aufbaus von 8 cm überschritten und das Wasser wird an der Oberfläche sichtbar. Erst nach einer Gesamtlauzeit von ca. 1 Stunde werden Wasserstände zwischen 1,4 und 7,9 cm erreicht (Abbildung 15 bis Abbildung 21), sodass das Wasser nicht mehr an der Oberfläche zu sehen ist.

Zum Ende der Messungen werden bei allen Bauweisen geringe Wasserstände zwischen 0,5 bis 1,0 cm gemessen. Es handelt sich hierbei um noch nicht abgeflossenes Restwasser welches im und auf dem Schutzvlies extrem langsam „tropfenweise“ abfließt. Hinzu kommt Restwasser welches aufgrund von Einstellungstoleranzen der Versuchsanlage nicht abfließen kann.



Abbildung 15: Blick in Beregnungsanlage – Ausdehnung „stehendes“ Oberflächenwasser 14. Minute

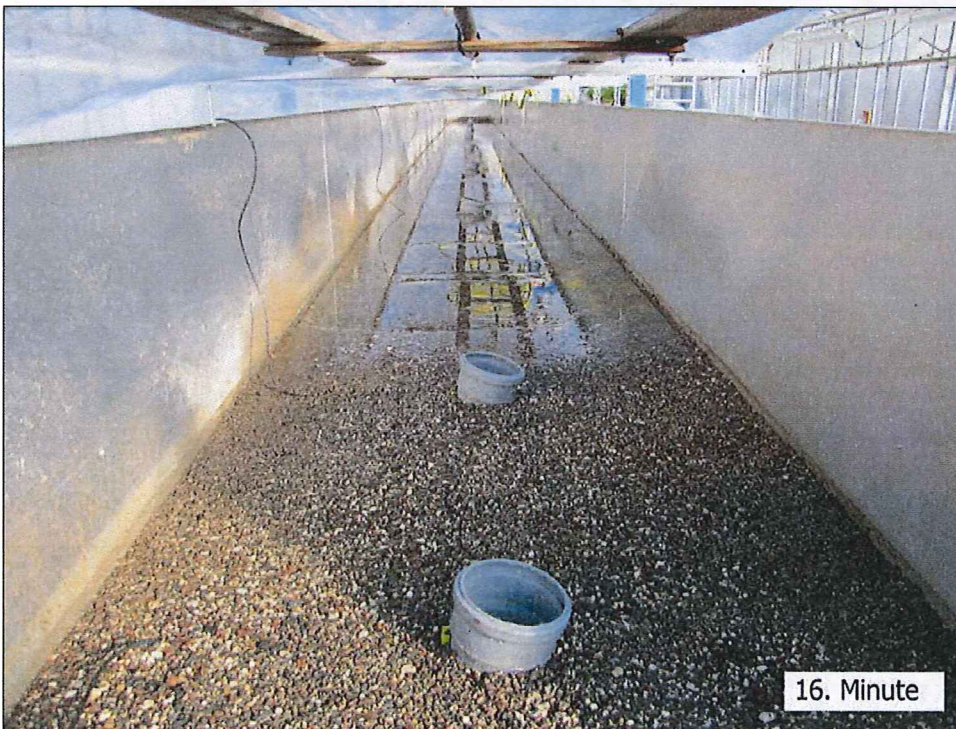


Abbildung 16: Blick in Beregnungsanlage – Ausdehnung „stehendes“ Oberflächenwasser 16. Minute



Abbildung 17: Blick in Beregnungsanlage - Ausdehnung „stehendes“ Oberflächenwasser 19. Minute



Abbildung 18: Blick in Beregnungsanlage - Ausdehnung „stehendes“ Oberflächenwasser 23. Minute



Abbildung 19: Blick in Beregnungsanlage - Ausdehnung „stehendes“ Oberflächenwasser 32. Minute



Abbildung 20: Blick in Beregnungsanlage - Ausdehnung „stehendes“ Oberflächenwasser 44. Minute



Abbildung 21: Blick in Beregnungsanlage - Ausdehnung „stehendes“ Oberflächenwasser 58. Minute

6 Beurteilung – Entwässerung

Bei allen drei Bauweisen fließt das durch den Bemessungsregen aufgebrachte Wasser in überschaubarer Zeit nahezu vollständig ab. Bei den Bauweisen mit Dränmatte und Dränplatte sind es nach 3 Stunden 99% bzw. 98%. Diese Leistung wird innerhalb von 12 Stunden 3 mal erreicht, da die Messungen mit dreifacher Wiederholung durchgeführt wurden. Dies zeigt, dass die Leistungsfähigkeit der Bauweisen 1 und 2 deutlich über den Rahmenbedingungen der Versuchsdurchführung liegen. Dies wird auch durch die Betrachtung der Wasserstände innerhalb der Schichtaufbauten bestätigt. Der theoretisch zur Verfügung stehende Durchflussquerschnitt am Ablauf von 9 cm bzw. 10,5 cm Höhe (Dränschicht + Substrat) wird nur bis zu einer Höhe von 1,3 cm in Anspruch genommen. Der Abfluss erfolgt überwiegend innerhalb der Dränschicht.

Bei der Einschichtbauweise (Bauweise 3) sind nach 23 Stunden 98% der Wassermenge abgeflossen. Diese Leistung lässt sich innerhalb von drei Tagen mit gleichem Ergebnis drei Mal wiederholen. Demnach sind auch hier die Grenzen der Leistungsfähigkeit noch nicht erreicht. Der nach Beregnungsende zunehmend flacher werdende Kurvenverlauf bildet einerseits die hohe Abflussverzögerung ab und zeigt andererseits, dass bei größerer Wassermenge die Entwässerungsleistung noch lange nicht erschöpft ist. Auch hier wird durch die Betrachtung der Wasserstände deutlich, dass der theoretisch zur Verfügung stehende Durchflussquerschnitt am Ablauf von 8 cm Höhe (Substrat) nur bis zu einer Höhe von 3,3 cm in Anspruch genommen wird.

Durch die Messungen der Wasserstände lassen sich auch die Beobachtungen in der Praxis erklären, dass das Wasser bei gefällelosen Dächern steht und nicht abfließt. Insbesondere bei geringeren Schichtdicken ist die Oberfläche auch bei geringeren Niederschlagsereignissen schnell erreicht und durch den langsamen Abfluss über mehrere Stunden entsteht der Eindruck stehenden Wassers ohne Abfluss. Der Abfluss findet wie nachgewiesen statt, ist jedoch mit bloßem Auge kaum erkennbar.

Somit ist bei allen drei Bauweisen eine ordnungsgemäße Entwässerung gegeben.

7 Beurteilung – Oberflächenerosion

Bei der Einschichtbauweise stiegen die Wasserstände so weit an, dass die Schichtdicke des Aufbaus überschritten wurde und das Wasser an der Oberfläche sichtbar wurde. Aufgrund des sichtbaren Oberflächenwassers wird bei Baustellendiskussionen vorgetragen, dass sich hieraus eine Gefährdung durch Oberflächenerosion ergäbe. Dies konnte durch die Versuche nicht bestätigt werden.

Anders als bei Gefälledächern fließt das Oberflächenwasser nicht an der Oberfläche zum Ablauf.

Die Bildfolge Abbildung 15 bis Abbildung 21 zeigt die Flächenausdehnung des an der Oberfläche stehenden Wassers. Mit Ende der Beregnung ist die größte Ausdehnung erreicht, danach „zieht sich das Wasser langsam zurück“. Es kommt also praktisch nicht zu einem Oberflächenabfluss, der erodierende Wirkung haben könnte. Mit der Abbildung 22 soll dieses Abflussverhalten veranschaulicht werden.

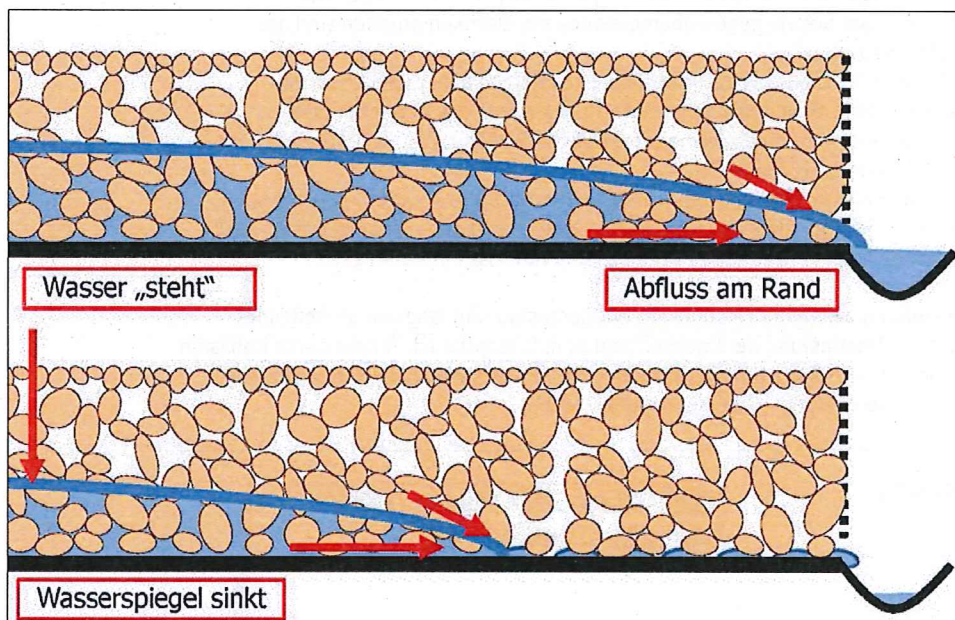


Abbildung 22: Abflussverhalten im Schichtaufbau durch Absinken des Wasserspiegels

Während der Beregnung steigt der Wasserspiegel im Schichtaufbau an. Mit dem sich einstellenden „Wasserspiegelgefälle“ beginnt der Abfluss. Da aufgrund zunächst geringer Wasserhöhe am Ablauf nur ein geringer Abflussquerschnitt nutzbar ist, staut sich mit zunehmender Fließstrecke das Wasser an. Das Wasserspiegelgefälle ist in Ablaufrichtung am größten und somit auch die Fließgeschwindigkeit.

Mit zunehmender Fließlänge wird ein nahezu gleichbleibender Wasserstand erreicht. Ab etwa 8-10 m Fließlänge bis zum Ende der Fließstrecke ist die Fließgeschwindigkeit sehr gering. Das Wasser „steht“ und scheint nicht abzufließen.

Der Abfluss erfolgt tatsächlich jedoch zu einem geringen Teil an der Oberfläche insbesondere im Bereich mit ausgeprägtem Wasserspiegelgefälle. Im Bereich geringen Wasserspiegelgefälles fließt das Wasser nur minimal in horizontaler Richtung und hauptsächlich durch Absinken des Wasserspiegels.

8 Beurteilung – Belastung der Dachkonstruktion durch Bemessungsregen

Das verzögert abfließende Niederschlagswasser, der Wasseranstau und das Restwasser sind zeitweilige zusätzliche Belastungen der Dachkonstruktion. Da der Wasseranstau die höchste Belastung darstellt, wird dieser nachfolgend unter der Annahme, dass kein Abfluss stattfindet, betrachtet.

Beim Bemessungsregen ($r_{15} = 300l/(s \times ha)$) werden 27 Liter pro Quadratmeter aufgebracht. Diese Wassermenge wird bei keinem Bemessungsregen erreicht, die für die Bemessung der Dachentwässerung ($r_{5,5}$) und bei der Notentwässerung ($r_{5,100}$) zugrunde gelegt werden (DIN 1986-100 Tabelle A.1(2008)). Der Bemessungsregen ist somit ein extrem selten vorkommendes Regenerignis.

Bei der Betrachtung des Lastfalls durch Niederschlagswasser ergeben sich grundsätzliche Unterschiede zwischen gefällelosen Dächern und Dächern mit Gefälle (Abbildung 23). Bei Dächern mit Gefälle fließt das Wasser vom Hochpunkt zum Tiefpunkt. Versagt die Entwässerung sammelt sich das Wasser am Tiefpunkt und es kommt zum Wasseranstau. Durch geringe Belastung am Hochpunkt und hohe Belastung am Tiefpunkt wird die Dachkonstruktion ungleichmäßig belastet. Zum Schutz gegen Überbelastung der Dachkonstruktion sind am Tiefpunkt Notabläufe vorzusehen.

Beim gefällelosen Dach verbleibt das Wasser dort wo es niedergegangen ist bis sich ein Wasserspiegelgefälle einstellt. Beim Versagen des Abflusses würde das Wasser auf der Dachfläche gleichmäßig anstauen. Die maximale zusätzliche Belastung aus $27l/m^2$ wäre dann eine Flächenlast von $0,27kN/m^2$ ($27 kg/m^2$).

Da bei Dachkonstruktionen eine mögliche Schneelast von mindestens $75 kg/m^2$ berechnet werden, ist die Last von $27 kg/m^2$ sicher abgedeckt und eine Überlastung ist auch bei der fast dreifachen Wassermenge beim vollständigen Versagen des Abflusses nicht möglich.

Der sich bei der Beregnung zeitweilig einstellende Wasseranstau und langsam abfließendes Wasser führen nicht zur Überlastung der Dachkonstruktion. Dies gilt auch für die durch Kohäsion und Adhäsion an und auf der Abdichtung verbleibende Restwassermenge, die vergleichsweise gering ist (siehe auch 9 Beurteilung – Last aus Bautoleranzen).

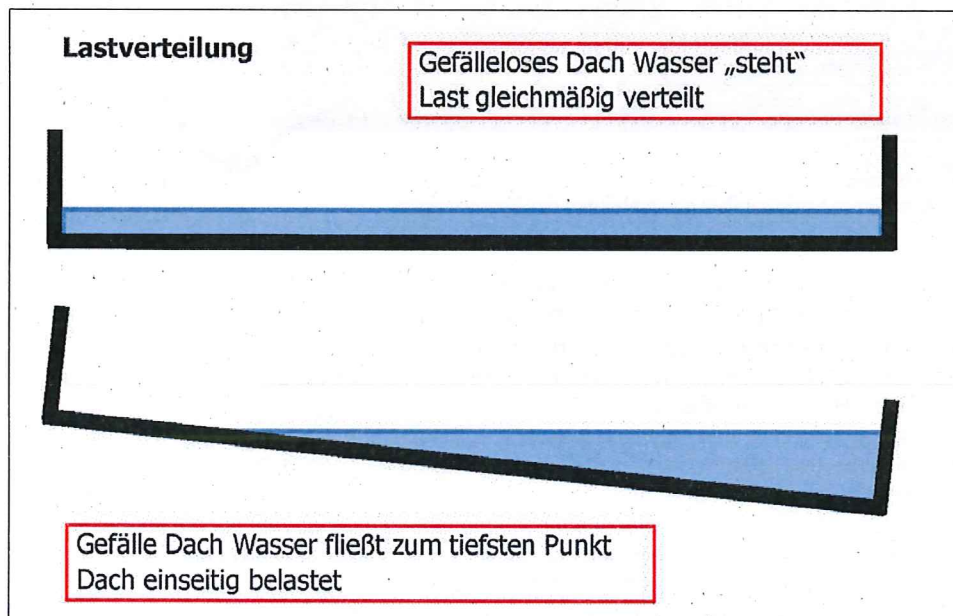


Abbildung 23: Lastverteilung durch Niederschlagswasser bei Dächern mit und ohne Gefälle

9 Beurteilung – Last aus Bautoleranzen

Dach- und Deckenkonstruktionen, die gefällelos geplant sind, weisen tatsächlich durch Bautoleranzen und zulässige Durchbiegung der Konstruktion vertiefte Unebenheiten auf, die sich mit Wasser füllen können (Abbildung 24). Da die zulässigen Durchbiegungen abhängig von der Baukonstruktion, den Baustoffen und der Spannweite mehrere Zentimeter betragen können, ist hier eine entsprechende Last durch stehendes Wasser anzusetzen, da dieses nicht abfließen kann. Hier ergibt sich der baupraktische Widerspruch, dass einerseits diese Unebenheiten für die Entwässerung auszugleichen oder an diesen Stellen die Abläufe anzuordnen wären und dass dies andererseits nicht immer geschieht. Somit ist das in diesen Unebenheiten ohne Ablaufmöglichkeit verbleibende Wasser der ständigen Last hinzuzurechnen. Formal sind diese Lasten nicht als Verkehrslast anzusehen und somit auch nicht bei der Schneelastreserve berücksichtigt.

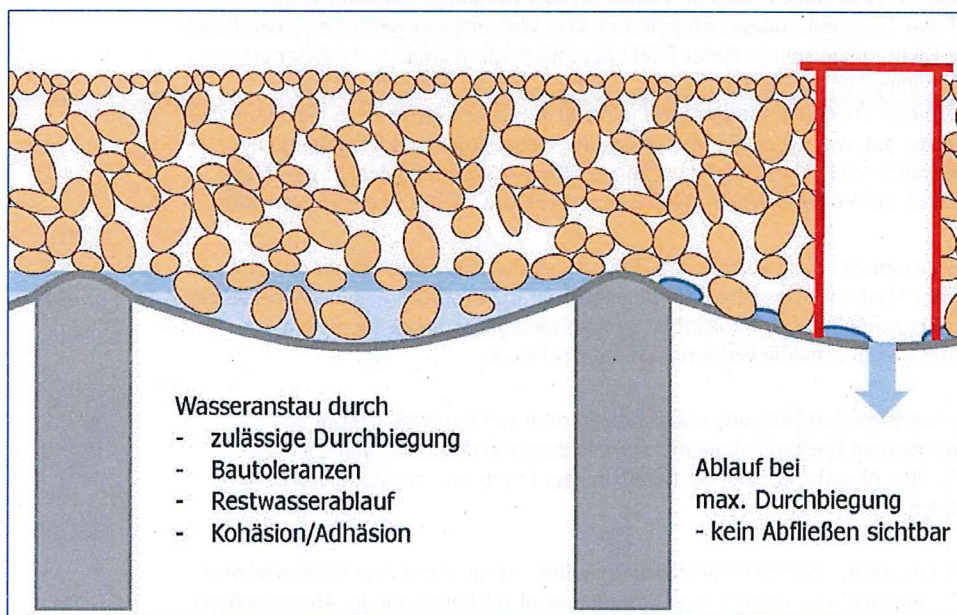


Abbildung 24: Wasseranstau durch Bautoleranzen und zulässige Durchbiegung

10 Abflussbeiwert

Der Abflussbeiwert bei Dachbegrünungen wird nach den in der FLL Dachbegrünungsrichtlinie 2008 beschriebenen Verfahren ermittelt. Die Untersuchung erfolgte in Anlehnung an dieses Verfahren mit geänderten Rahmenbedingungen bezüglich der Fließlänge von 20 m und der Verwendung von Einschichtsubstrat auch bei Mehrschichtbauweisen. Insofern sind diese Untersuchungsergebnisse nicht direkt vergleichbar.

Hinweise zur Anwendung in der Praxis:

Der Abflussbeiwert ist zunächst einmal ein wertneutraler Beiwert zur Berechnung der Entwässerung. Zur Berechnung der Entwässerung eines begrünten gefällelosen Daches wäre es somit hinreichend genau, wenn produktbezogen die nach dem FLL Verfahren ermittelten Beiwerte bei 2% und 5 m Fließlänge herangezogen werden. Es entstünde kein neuer Untersuchungsaufwand und die Dimensionierung der Entwässerung, tendenziell etwas zu hoch, liegt auf der sicheren Seite.

Will man für ein Produkt oder bezogen auf ein Bauprojekt mit bestimmten Fließlängen exaktere Werte haben, so sind diese nur durch gesonderte Untersuchung zu ermitteln.

11 Zusammenfassende Beurteilung

Mit den Untersuchungsergebnissen können einige Fragen zum Abflussverhalten bei begrüntem gefällelosen Dächern geklärt werden. Bei Bauweisen die in ihren Eigenschaften der FLL Dachbegrünungsrichtlinie entsprechen erfolgt sowohl bei Mehrschichtbauweisen als auch bei Einschichtbauweisen die Entwässerung sicher und in geordneter Weise.

Der scheinbare Widerspruch zwischen der Praxisbeobachtung von „stehendem Wasser“ bei gefällelosen Dächern und einer geordneten Entwässerung konnte aufgelöst werden. Die Vermutung, dass bei längeren Fließwegen der Wasserstrom aufgrund von Adhäsions- und Kohäsionskräften abreißt und es als Folge zum Wasserstau kommt, hat sich nicht bestätigt. Im Gegenteil, geringe Restwassermengen fließen nach Ende der Messungen noch langsam tröpfelnd ab. Der Wasserstau im Schichtaufbau steht scheinbar, weil der Wasserabfluss mit sichtbarer Geschwindigkeit nur in Ablaufröhren erfolgt. Mit zunehmender Fließlänge pendelt sich der Wasserspiegel auf eine Höhe ein, sodass sich praktisch kein Wasserspiegelgefälle einstellt. Durch die 20 m lange Versuchsanlage konnte dieser Effekt deutlich erkannt werden, da dieser erst ab etwa 8 bis 10 m Fließlänge beim Einschichtaufbau durch den an der Schichtoberfläche sichtbaren Wasserspiegel ersichtlich ist. Der gleiche Effekt tritt in abgeschwächter Form bei den Mehrschichtaufbauten auf, was durch die Messungen der Wasserstände im Schichtaufbau mittels Endoskopkameras nachgewiesen werden konnte. Die Entwässerung des Wasserstaus erfolgt durch Absinken des Wasserspiegels nahezu ohne sichtbare horizontale Fließbewegung.

Die Lasten durch Wasseranstau und verzögerten Abfluss sind durch die Berücksichtigung der Schneelast als Verkehrslast gut abgesichert. Im Gegensatz zu Gefälledächern, bei denen sich das Wasser am Tiefpunkt sammeln kann, verbleibt bei gefällelosen Dächern das noch nicht abgeflossene Wasser als gleichmäßig verteilte Last auf der Fläche.

Durch konstruktiv zulässige Durchbiegung und Bautoleranzen von Bauwerksdecken und Dachkonstruktionen können Unebenheiten entstehen, in denen sich Wasser sammeln kann. Fehlen an diesen Stellen Abläufe, müssen die Lasten bei der Ermittlung der ständigen Last berücksichtigt werden.

Der durch diese Untersuchung ermittelte prozentuale Abfluss ist nicht mit dem Abflussbeiwert der FLL Dachbegrünungsrichtlinie vergleichbar. Während beim FLL Verfahren der Abflussbeiwert bei 5 m Fließlänge ermittelt wird, erfolgten die Messungen bei 20 m Länge. Vergleichsmessungen des Einschichtaufbaus mit 5, 10, 15 und 20 m Länge zeigen deutlich Unterschiede im prozentualen Abfluss.

Die Untersuchung für lange Fließlängen könnte für einzelne Bauprojekte interessant sein. Je nach Zielsetzung lassen sich mit Dränschichtbauweisen relativ rasche Abflüsse realisieren wohingegen Einschichtbauweisen als Retentionsraum mit stark verzögertem Abfluss interessant sind.

Die Zielsetzung dieser Untersuchung ist die Klärung von Fragestellungen zur Entwässerung und die Beschreibung des Abflussverhaltens bei gefällelosen Dächern. Möglicherweise schädliche Auswirkungen auf die Begrünung durch verzögerten Wasserabfluss und Wasserstau sind nicht Gegenstand dieser Untersuchung.