

# Langzeitstudie zum Abflussverhalten begrünter Dächer

Long-term study of rainfall runoff from green roofs

## Zusammenfassung

Das Abflussverhalten von 18 unterschiedlichen Gründachaufbauten wurde im halbtechnischen Maßstab über zwei Jahre unter realen Witterungsverhältnissen untersucht. Dachbegrünungen bewirken eine erhebliche Reduktion des Gesamtabflusses und der Spitzenabflüsse von Dachflächen. Gründächer verhalten sich hydrologisch wie Speicher. Die Abflussbildung wird primär durch die Höhe und den Wassergehalt der Substratschicht geprägt. Bei Starkniederschlägen bewirkt die Durchlässigkeit des Substrates eine zusätzlich Abflussdrosselung, wobei auch von geneigten Dächern kein oberflächiger Abfluss zu messen war. Schichtaufbauten ab 5 cm führen bereits zur deutlichen Verringerung des Regenabflusses. Die Retentionswirkung lässt sich mit einer Erhöhung des Schichtaufbaus auf bis 15 cm steigern. Höhere Substrataufbauten bewirken lediglich eine unterproportionale Verringerung des Jahresabflusses und wirken sich hinsichtlich des Spitzenabflusses kaum retentionsfördernd aus.

## Summary

The rain runoff of 18 different green roof constructions was investigated during a period of 2 years under actual weather conditions. Green roofs show a significant reduction of total rain runoff and of peak flows. They behave as hydrological retention units. The losses are primarily influenced by the height and the water content of the soil substratum. During heavy rainfall the permeability of the substratum causes a throttling effect but surface runoff was not observed even on steeper roofs. Substrata with a height of just 5 cm already lead to a significant reduction of runoff. The retention effect can be increased by increasing substance heights up to 15 cm. Higher constructions show a less than proportional decrease of total yearly runoff and no significant additional retention of peak flows.

## 1 Problemstellung und Zielsetzung

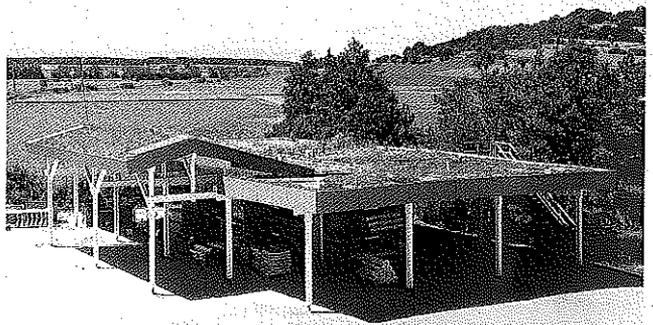
Begrünte Dächer weisen einen deutlich geringeren Niederschlagabfluss auf als konventionell gedeckte Dächer und dienen daher der Umsetzung des Retentionsprinzips in der Grundstücks- und Siedlungsentwässerung. Das Abflussverhalten begrünter Dächer wurde in mehreren Studien anhand von Lysimetern und kleineren Flächen und künstlich aufgetragenen Bemessungsniederschlägen untersucht. Daher wurde ein mehrjähriges Untersuchungsprogramm zum Abflussverhalten verschiedener Aufbauten begrünter Dächer durchgeführt mit folgenden Aufgabenstellungen:

- Untersuchung des Abflussvolumens und der Spitzenabflüsse begrünter Dächer unter natürlichen Witterungsbedingungen
- Untersuchung des Einflusses bautechnischer Parameter auf das Abflussverhalten
- Erstellung eines Modells zur kontinuierlichen Simulation des Niederschlag-Abflussverhaltens von Gründächern
- Kalibrierung und Verifizierung des Simulationsmodells anhand der Messdaten

## 2 Messprogramm

### 2.1 Aufbau der Versuchsanlage

Als halbtechnische Versuchsanlage diente ein 500 m<sup>2</sup> großes Dach eines 4 m hohen Lagergebäudes, auf dem 23 Versuchsflächen installiert wurden (Bild 1). Es ergaben sich insgesamt 23 Versuchsflächen aus 18 Aufbauvarianten sowie 5 unbegrünte Varianten (Deckung mit Folie, Kies, Ziegel). Die Versuchspartellen wurden entsprechend ihrer bautechnischen Ausführung in der Praxis angelegt und repräsentieren hinsichtlich Entwässerungsart, Fließwegen und -längen einen praxisüblichen Dachausschnitt. Die rechteckigen Partellen mit 12 m<sup>2</sup> Fläche wurden in den Neigungsvarianten 0° mit einer punktuellen Entwässerung und 15° mit einer linearen Entwässerung längs einer Schmalseite erstellt. Die 24 m<sup>2</sup> großen dreiecksförmigen Versuchsflächen entwässern mit 1° Neigung punktuell zum Ablauf im spitzen Winkel der Parzelle. Sie repräsentieren ein Achtel einer Dachfläche mit Punktentwässerung. Die Kontrollvarianten wurden mit Flächen von 6 bzw. 9 m<sup>2</sup> ausgeführt. Die Partellen wurden hydraulisch voneinander isoliert, so dass ober- und unterirdische Wasserflüsse zwischen den Versuchsfeldern ausgeschlossen sind. Um Randeffekte durch lokale Turbulenz, tatsächlicher Verdunstung und Überregnung zu



**Bild 1** Versuchsanlage.  
**Figure 1** Experimental site.

**Tabelle 1** Dachaufbauten und Bestückung mit Messbehältern  
**Table 1** Roof constructions and measurement tanks

Nr.	Größe m <sup>2</sup>	Neigung °	Aufbauhöhen cm	Substrat	Messbehältervolumen		
					Sicker- abfluss	Ober- flächen- abfluss	Bewäs- serung *
			Drain-/Substrat- schicht				
D01	24,3	1	-/8	M	500		500
D02	12,0	0	10/15	I	200		200
D03	12,0	0	15/20	I	200		200
D04	12,0	0	10/5	E	200		200
D05	12,0	0	-/5	M	200		200
D06	12,0	0	5/10	E	200		200
D07	12,0	0	5/5	E	200		200
D08	24,1	1	5/5	E	500		200
D09	25,0	1	-/10	E	500		200
D10	25,1	1	5/10	E	500		200
D11	22,4	1	-	Folie	500		200
D12	12,0	15	-/10	E	200	200	
D13	12,0	15	-/15	E	200	200	
D14	12,0	15	-/15	E	200	200	(200)
D15	12,0	15	-/10	E	200	200	(200)
D16	12,0	15	-/5	E	200	200	200
D17	8,9	15	-	Folie	200		
D18	8,7	15	-	Ziegel	200		
D19	17,6	1	-/8	M	500		
D20	24,0	1	-/5	Kies	500		
D21	24,2	1	-/8	M	500		
D22	6,0	0	-/5	Kies	200		
D23	12,0	0	-/8	M	200		

\* In der hier vorgestellten Untersuchungsphase wurde keine aktive Dachbewässerung vorgenommen.

minimieren, wurden ähnliche Varianten nebeneinander angeordnet. Die Dachrandstreifen wurden mit einer Sedumbegrünung versehen, die Arbeitsflächen erhielten eine Kiesbedeckung. Die Vegetation wurde mittels Pflanzung durch Flachballenstauden bzw. Containerware aufgebracht. Dabei wurden für jeden Dachaufbau die passenden, in der Praxis eingesetzten Pflanzenarten ausgewählt. Die Pflege entsprach der Fertigstellungs- und Entwicklungspflege nach den Richtlinien zur Dachbegrünung (FLL 1995).

Neben den praxiserprobten optigrün-Regelschichtaufbauten wurden auch Sonderbauweisen getestet (Tabelle 1, Bild 1 und 2). Folgende baulichen Merkmale wurden variiert:

- Aufbauhöhe: 5–35 cm
- Schichtaufbau: ein-, zwei- und dreischichtig
- Substratart: extensiv-einschichtig, extensiv-mehrschichtig und intensiv
- Gefälle-(Neigungs-)Ausbildung: 0 % (0°), 2 % (1,14°) und 26,8 % (15°)
- Art der Begrünung: extensiv und intensiv.

Im Mai 1995 erfolgte die Begrünung (Bild 3), sowie der Beginn der kontinuierlichen Messungen durch eine zentrale Datenerfassungsanlage. Wesentliche Kriterien bei der Konzeption der Versuchsanlage waren:

- Repräsentativität der Versuchflächen
- Minimierung von Störeinflüssen (ungleichmäßige Beregnung, Randströmungen)
- kontinuierliche Messung von Niederschlag, Dachabfluss und meteorologischen Daten

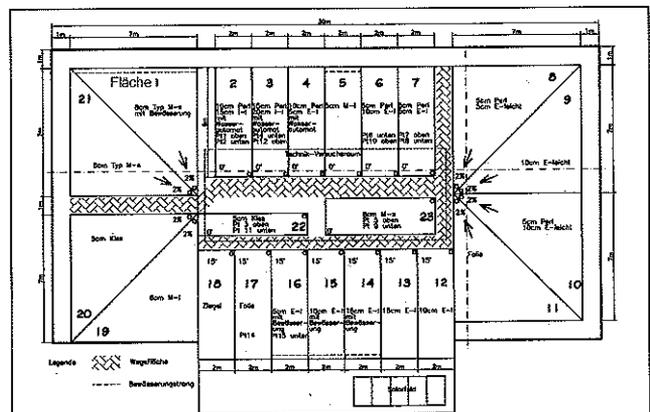
## 2.2 Messgrößen

Die Versuchspartellen sind als nicht wägbare Lysimeter konzipiert. Eine Versuchfläche wird als abgegrenzter Kon-

trollraum betrachtet, für den alle Ein- und Ausgangsgrößen, sowie die Speicherinhaltsänderungen im Kontrollraum selbst von Interesse sind. Niederschlag und Abflüsse aller Versuchsfächen werden kontinuierlich gemessen. Eine repräsentative Erfassung des im Substrat gespeicherten Wassers ist mit einer Wägung möglich, jedoch für die Projektziele nicht zwangsläufig erforderlich und angesichts der Anzahl und Größe der Versuchspartellen zu aufwendig. Bei den mit 15° stärker geneigten Dächern werden die unter- und oberflächigen Dachabflüsse getrennt voneinander erfasst. Als meteorologische Begleitgrößen werden Lufttemperatur, relative Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit und -richtung, Globalstrahlung und Bodentemperatur gemessen. Die Abflüsse wurden volumetrisch mit einer Auflösung der Abflusshöhe von  $\Delta h_a < 0,05 \text{ mm}/(\text{m}^2 \times \text{min})$  erfasst.

## 3 Untersuchungsergebnisse

Nach der Anwuchsphase der Vegetation und Beendigung der Einfahr- und Prüfphase der Messeinrichtungen begann der Messbetrieb am 1. 10. 1995. Die nachfolgenden Messergebnisse wurden für die zwei Messjahre 1. 10. 1995 bis 30. 9. 1997 ermittelt.



**Bild 2** Anordnung der Versuchsfächen.  
**Figure 2** Arrangement of the test areas.



**Bild 3** Gestaltung der Versuchspartellen.  
**Figure 3** Design of the test areas.

**Tabelle 2** Monatssummen des Niederschlags in der Messzeitspanne**Table 2** Monthly rainfall sums during the measurement period

Monat	Sigma- ringen $\Sigma h_N$ mm	Mess- anlage $\Sigma h_N$ mm	Monat	Sigma- ringen $\Sigma h_N$ mm	Mess- anlage $\Sigma h_N$ mm
10/1995	14	6	10/1996	62	65
11/1995	79	75	11/1996	76	46
12/1995	74	57	12/1996	62	51
1/1996	6	3	1/1997	3	1
2/1996	35	25	2/1997	75	56
3/1996	52	16*	3/1997	33	24
4/1996	37	22	4/1997	33	25
5/1996	85	79	5/1997	33	57
6/1996	69	120	6/1997	124	159
7/1996	93	99	7/1997	160	140
8/1996	166	159	8/1997	24	35
9/1996	28	25	9/1997	27	37
Summe	738	686		712	696

\* 5 Ausfalltage

### 3.1 Niederschlag

Die Tabelle 2 gibt die Monatssummen der Niederschlags erfassung der Versuchsanlage in Krauchenwies-Göggingen im Vergleich zu einer ca. 10 km entfernt in Sigmaringen-Laiz bestehenden Messstation des Deutschen Wetterdienstes für den Messzeitraum Oktober 1995 bis September 1997 wieder.

### 3.2 Abflussverhältnisse

Das Abflussverhältnis ist der Quotient von Abflusshöhe und Niederschlagshöhe in der jeweiligen Bilanzierungszeitspanne. Es kennzeichnet das Abfluss- bzw. Retentionsverhalten der Dächer im Rahmen von Wasserbilanzen über längere Zeitspannen. Um eine Vergleichbarkeit zu früheren Unter-

suchungen (z. B. Lieseke 1995) zu erzielen, wurde neben der Gesamtzeitspanne drei Witterungsperioden für Bilanzierung gewählt: sommerlich (1. 5.–30. 9.), kühl (15. 3.–30. 4. und 1. 10.–15. 11.), winterlich (15. 11.–15. 3.).

#### 3.2.1 Jahresabflussbeiwerte

Die Tabellen 3 und 4 und Bild 4 fassen die Kenndaten und Abflussverhältnisse der untersuchten Dachaufbauten zusammen. Das Abflussverhältnis über die gesamte Messzeitspanne entspricht dem mittleren Jahresabflussbeiwert  $\psi_a$  über die zwei Messjahre. Die mit 15° geneigten und mit Folie bzw. Ziegel gedeckten Dächer mit  $\psi_a = 85\%$  bzw.  $\psi_a = 75\%$  liefern den meisten Abfluss. Flachdächer mit Folien- bzw. Kiesdeckung unterscheiden sich mit  $\psi_a = 62\div 68\%$  hiervon kaum. Das ausgeprägte Retentionsvermögen begrünter Dächer wird durch  $\psi_a = 15\div 38\%$  für die zweijährige Auswertzeitspanne dokumentiert.

Eine differenzierte Betrachtung der unterschiedlichen Aufbauhöhen der begrünter Dächer lässt drei signifikant unterschiedliche Gruppen erkennen (Tabelle 4). So ist bei Aufbauhöhen bis 10 cm im Mittel ein Jahresabflussbeiwert  $\psi_a = 34\%$  und bei Aufbauhöhen von 10–15 cm im Mittel  $\psi_a = 27\%$  festzustellen. Die wesentlich höheren Aufbauten von 25 cm und 35 cm weisen mit 15% und 20% nochmals geringere Abflussverhältnisse auf. Die geringen Standardabweichungen der Mittelwerte belegen, dass relativ homogene Gruppen vorliegen, deren Abflussverhalten durch einen Gruppenmittelwert relativ gut getroffen wird. Die unterschiedlichen Aufbauarten und Dachneigungen prägen das Abflussverhalten nicht so entscheidend wie die Aufbauhöhe.

Verglichen mit den Untersuchungsergebnissen aus Tornesch (Lieseke 1999) sind die Abflussverhältnisse in Krauchenwies etwas geringer, was gleichbedeutend mit höherer Rückhaltung ist. Bei den Aufbauhöhen unter 10 cm sind die Ergebnisse ähnlich. Untersuchungen an 4 m<sup>2</sup> großen Versuchsflächen am Standort Hannover (Lieseke 1998) weisen allerdings für alle Aufbauarten deutlich niedrigeren Was-

**Tabelle 3** Abflussverhältnisse der unbegrünter Versuchsdächer (1. 10. 95–30. 09. 97)**Table 3** Coefficients of runoff on normal roofs (Oct. 1, 1995–Sept. 30, 1997)

Nr.	Größe m <sup>2</sup>	Neig °	Höhe cm	Deckung	Form	Bew./Anst.	Abflussverhältnis			
							somm.	kühl	wint.	gesamt
							%	%	%	%
D11	22,4	1		Folie	D	–	61	78	81	67
D17	8,9	15		Folie	R	–	79	103	91	85
D18	8,7	15		Ziegel	R	–	72	96	65	75
D20	24,0	1	5	Kies	D	–	62	83	73	68
D22	6,0	0	5	Kies	R	–	56	71	78	62
Mittelwert							66	86	78	71
Median							62	83	78	68
Minimum							56	71	65	62
Maximum							79	103	91	85
Standardabweichung							9,3	12,9	9,5	8,9

**Tabelle 4** Abflussverhältnisse der begrünten Versuchsdächer (1. 10. 95–30. 09. 97)  
**Table 4** Coefficients of runoff on green roofs (Oct. 1, 1995–Sept. 30, 1997)

Nr.	Größe	Neig	Höhe	Substrat	Form	Bew./Anst.	Abflussverhältnis			
							somm.	kühl	wint.	gesamt
							%	%	%	%

#### Begrünte Dächer, Aufbauhöhen 5 bis 10 cm

D05	12,0	0	5	M	R	mB	24	49	55	34
D16	12,0	15	5	E	R	mB	30	40	53	35
D01	24,3	.1	8	M	D	mB	31	49	57	38
D19	17,6	1	8	M	D	–	30	42	44	32
D21	24,2	1	8	M	D	–	30	46	56	37
D23	12,0	0	8	M	R	–	25	42	58	33
D08	24,1	1	5/5	E	D	–	31	52	54	38
D07	12,0	0	5/5	E	R	–	23	52	51	32
D09	25,0	1	10	E	D	–	25	50	45	32
D12	12,0	15	10	E	R	–	23	43	43	30
D15	12,0	15	10	E	R	mB	24	39	54	31
Mittelwert							27	46	52	34
Median							25	46	54	33
Minimum							23	39	43	30
Maximum							31	52	58	38
Standardabweichung							3,5	4,6	5,3	2,8

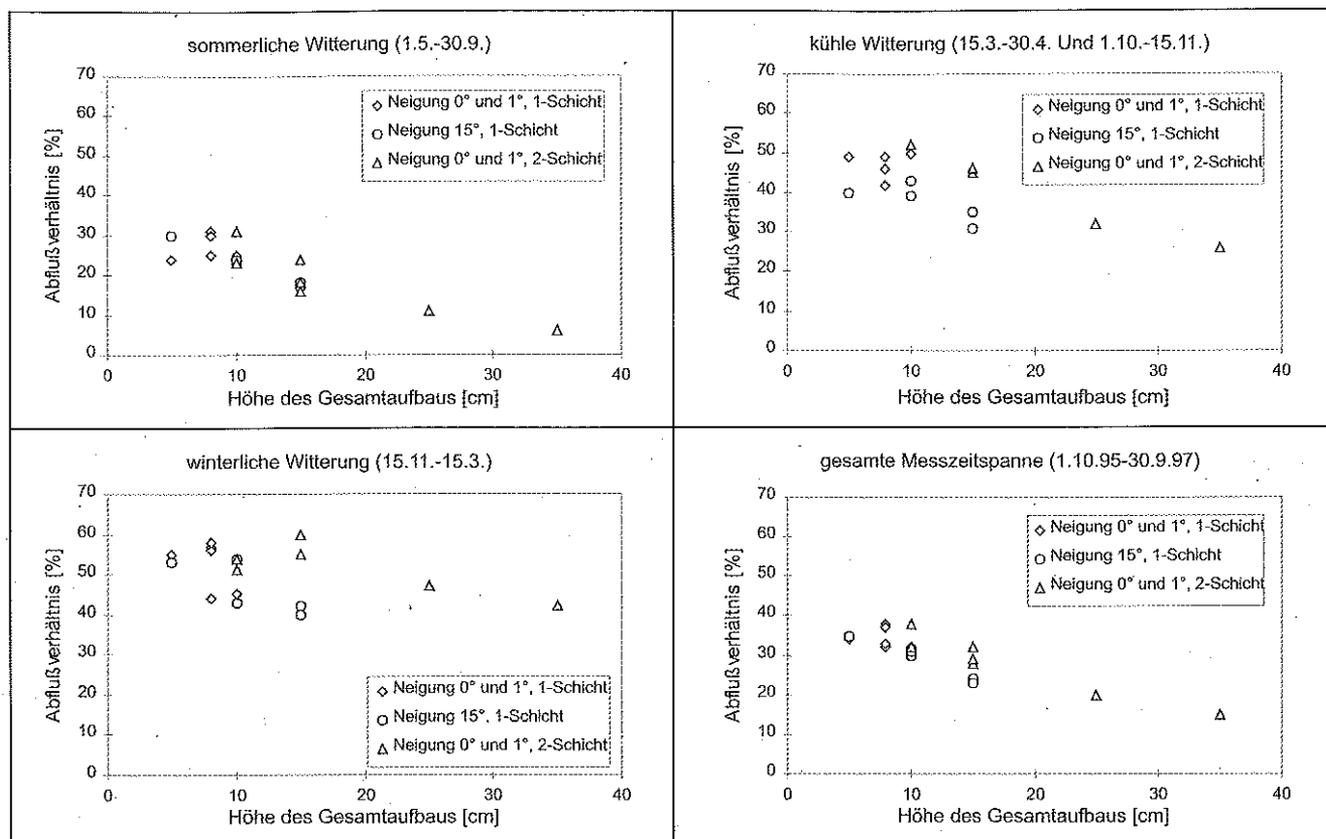
#### Begrünte Dächer, Aufbauhöhen 10 und 15 cm

D04	12,0	0	10/5	E	R	mA	16	45	60	28
D06	12,0	0	5/10	E	R	–	18	45	55	29
D10	25,1	1	5/10	E	D	–	24	46	55	32
D13	12,0	15	15	E	R	–	17	35	42	24
D14	12,0	15	15	E	R	mB	18	31	40	23
Mittelwert							18	40	50	27
Median							18	45	55	28
Minimum							16	31	40	23
Maximum							24	46	60	32
Standardabweichung							3,0	7,0	9,1	3,7

#### Begrünte Dächer, Aufbauhöhen größer 15 cm

D03	12,0	0	15/20	I	R	mA	6	26	42	15
D02	12,0	0	10/15	I	R	mA	11	32	47	20

mB = mit Bewässerung; mA = mit Anstau



**Bild 4** Abflussverhältnisse begrünter Dächer in unterschiedlichen Witterungsperioden.

**Figure 4** Coefficients of runoff on green roofs in different weather periods.

serrückhalt bzw. höhere Abflussverhältnisse auf. Ursachen hierfür können Maßstabeffekte gegenüber größeren Versuchsfeldern oder regional unterschiedliche Niederschlagsverhältnisse sein.

### 3.2.2 Einfluss der Witterungsperioden auf das Abflussverhältnis

Interessant ist die unterschiedliche Ausprägung der Abflussverhältnisse in den drei Witterungsabschnitten, Tabelle 4 und Bild 4. Bei winterlicher Witterung sind weitgehend unabhängig von der Aufbauhöhe Abflussverhältnisse von 40–60 %, im Mittel bei etwa 50 % zu beobachten. Ein erheblich differenziertes Verhalten ist bei sommerlicher Witterung festzustellen. Die Abflussverhältnisse der Aufbauten über 10 cm liegen im Mittel bei 18 % und für Aufbauten bis 10 cm etwa bei 27 %. Bereits bei kühler Witterung gleicht sich das Abflussverhalten der beiden letztgenannten Gruppen mit Abflussverhältnissen von 40 % bzw. 46 % erheblich an. Diese Erkenntnisse decken sich mit den Untersuchungen in Tornesch (Lieseke 1999). Erklärbar ist dieser Effekt durch die wichtige Rolle der Verdunstung, die dem Substrat das gespeicherte Bodenwasser entzieht und somit das verfügbare Speichervolumen für das nächste Niederschlagsereignis erhöht. Während bei sommerlicher Witterung infolge hoher Verdunstung in den höheren Aufbauten mehr Speichervolumen reaktiviert werden kann, verringert sich dieser Vorteil in Witterungsphasen mit geringerer Verdunstung deutlich.

### 3.2.3 Einfluss des Schichtaufbaus auf das Abflussverhältnis

Bei sommerlicher Witterung ist die Höhe des Gründachaufbaus der maßgebende Parameter für den Wasserrückhalt (Lieseke 1999). Bei gleicher Aufbauhöhe entscheidet dann allerdings die Zusammensetzung der Drän- und Subs-

tratschicht (s. a. Lieseke 1998, Kolb 1999). Systematische Unterschiede der Abflussverhältnisse infolge der anderen Dacheigenschaften treten nicht zutage. Bei kühler und winterlicher Witterung hingegen lassen homogene Dachaufbauten ein etwas besseres Retentionsverhalten als Mehrschichtaufbauten gleicher Schichthöhe erkennen. Während in Einschichtaufbauten das Wasser länger verbleibt, erfolgt durch die Dränschicht der Mehrschichtaufbauten eine schnellere Entwässerung der Substratschicht.

### 3.2.4 Einfluss der Dachneigung auf das Abflussverhältnis

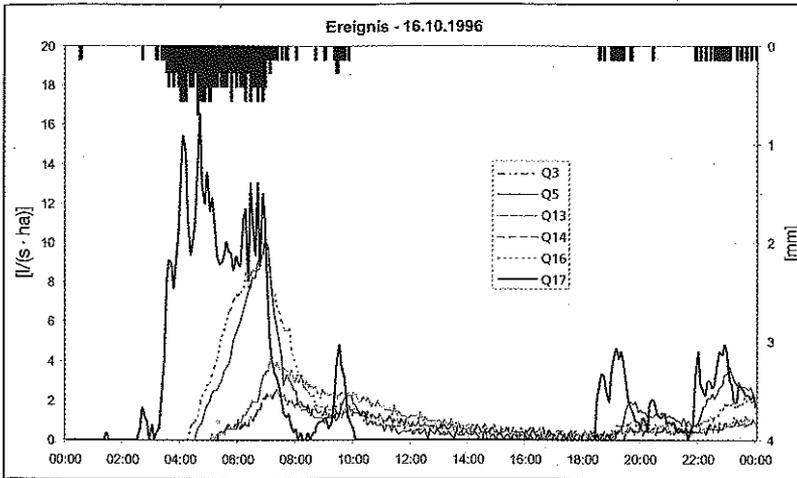
Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass die Dachneigung bei gleichem Substrataufbau keinen signifikanten Einfluss auf das Abflussverhältnis und damit das Rückhaltevermögen begrünter Dächer ausübt. Diese Erkenntnis wird durch die Untersuchung von Kolb (1999) bestätigt. Der von Lieseke (1998) angeführte erhöhte Oberflächenabfluss bei über 5 % geneigten Dächern konnte während der Langzeituntersuchungen am Standort Krauchenwies nicht beobachtet werden.

### 3.3 Abflussganglinien

Um die Retentionswirkung begrünter Dächer unter realer Belastung durch Einzelereignisse zu dokumentieren, werden die Abflussganglinien ausgewählter Gründächer für zwei unterschiedliche Regenereignisse dargestellt.

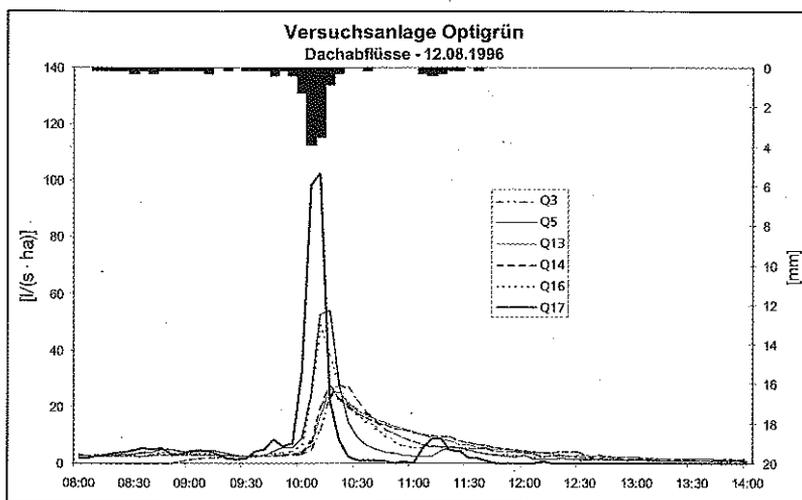
#### 3.3.1 Schwachniederschlag (Dauerregen)

Das Ereignis am 16. 10. 1996 ist ein 7 h dauernder Regen mit einer Niederschlagssumme von 21,3 mm und geringer Intensität. Die Ganglinien sind in Bild 5 dargestellt, die Schichtaufbauten der Varianten sind Tabelle 1 zu entnehmen. Dem Ereignis ging eine Trockenperiode von 7 Tagen



**Bild 5** Niederschlags- und Abflussganglinie vom 16. 10. 1996.

**Figure 5** Rainfall runoff graph for Oct. 16, 1996.



**Bild 6** Niederschlags- und Abflussganglinie vom 12. 08. 1996.

**Figure 6** Rainfall runoff graph for Aug. 8, 1996.

voraus. Die Abflussganglinie des geneigten Foliendaches D17 gibt den Niederschlagsverlauf ohne nennenswerte Retentionswirkung kongruent wieder. Das intensiv begrünte Dach D03 lieferte hingegen keinen Abfluss, da offensichtlich der 35 cm hohe Gesamtaufbau den Niederschlag vollständig aufnahm. Die Abflussganglinie des Daches D13 mit 15 cm Aufbau beginnt mit erheblicher Zeitverzögerung und weist eine erhebliche Reduktion von Spitzenabfluss und Abflussvolumen auf. Die Abflussganglinien der Dächer mit 5 cm Substratschicht (D05 und D16) ähneln sich prinzipiell. Ihr Spitzenabfluss tritt etwa gleichzeitig gegen Niederschlagende auf, wobei das mit 15° geneigte Dach höhere Spitzenabflüsse liefert.

### 3.3.2 Starkniederschlag

Das Ereignis am 12. 8. 1996 stellt einen kurzen Starkregen mit einer Summe von 10 mm in 30 Minuten und einer Spitzenintensität von 130 l/(s×ha) dar, dessen Vorgeschichte durch 43 mm Niederschlag in 7 Tagen geprägt ist. Bild 5 gibt die Ganglinien des Niederschlages und der Abflüsse der gleichen Dachaufbauten wie in Bild 6 wieder. Die Substrate können weitgehend als wassergesättigt angesehen werden. Auf dem Foliendach D17 findet eine gewisse Abflussdämpfung der beiden Niederschlagsspitzen statt. Die 5 cm hohen Einschichtaufbauten der Dächer D05 und D16 bewirkten bereits einen erheblichen Retentionseffekt. Der

Spitzenabfluss des flachen Daches D05 tritt schnell und höher als der des mit 15° geneigten Daches D16 auf. Ein Grund für dieses unerwartete Phänomen darf in der Vorfeuchtesituation vermutet werden. Flache Dächer weisen eine längere Entwässerungsdauer als steile Dächer auf, so dass zu Beginn des nächsten Niederschlages eine aufgrund des höheren Wassergehaltes größere Abflussbereitschaft zu verzeichnen ist.

Die geneigten Dächer D13 und D14 mit Substrathöhen von 15 cm zeigen ein stark reduziertes Maximum erst 10 Minuten nach dem Niederschlagsmaximum. Die Abflussganglinie des Daches D03 mit 20 cm Substrat und 15 cm Drainschicht unterscheidet sich kaum von denen der Dächer D13 und D14. Bei sehr feuchten Dachaufbauten ist offenkundig die Durchlässigkeit des Substrates und nicht dessen Höhe die entscheidende Größe für die Dämpfung der Abflussganglinie. Bereits eine mit 5 cm sehr gering mächtige, wassergesättigte Substratschicht bewirkt eine wesentliche Dämpfung der Abflussganglinie von Starkregen. Eine weitere Erhöhung des Retentionsvermögens kann mit 5–15 cm Substrathöhe bewirkt werden.

### 3.4 Spitzenabflüsse

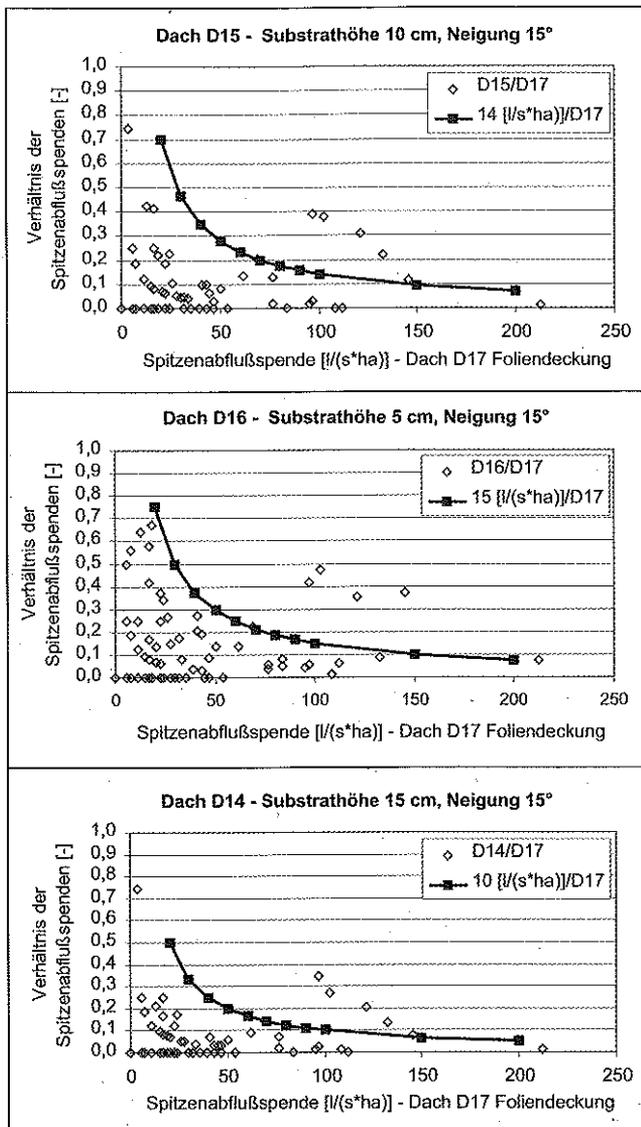
Die Spitzenabflüsse von Dachflächen sind für die hydraulische Dimensionierung der Anlagen zur Gebäude-, Grundstücks- und Stadtentwässerung als Lastfälle anzusetzen. Für die Dimensionierung werden zumeist Bemessungsregen mit zuvor definierten Häufigkeiten und Dauern angesetzt. Im Folgenden sollen die unter realen Bedingungen aufgetretenen Spitzenabflüsse untersucht werden.

#### 3.4.1 Verhältnisse der Spitzenabflüsse geneigter Dächer

Bild 7 stellt das Verhältnis der Spitzenabflussspenden dreier einschichtiger Gründachaufbauten zum Spitzenabfluss des Daches D17 (Foliendeckung, 15° Neigung) als Referenz dar. Das Referenzdach gestattet den Vergleich mit der aktuellen Regenbelastung, als auch mit dem Abflussverhalten einer sehr glatten Dachhaut als baulicher Alternative.

Die Verhältnisse der Spitzenabflussspenden von Grün- und Foliendächern liegen bei 5 cm Aufbauhöhe unter 0,5, bei 10 cm Aufbauhöhe unter 0,4 und bei 15 cm Aufbauhöhe unter 0,3. Diese Werte wurden beim Großteil der Regenereignisse deutlich unterschritten; in vielen Fällen trat gar kein Regenabfluss auf. Bereits bei der geringen Schichtdicke von 5 cm tritt eine entscheidende Reduktion der Spitzenabflüsse auf. Die Höhe des Substrates wirkt sich auf die Häufigkeit und Höhe der Spitzenabflüsse erkennbar aus.

Kolb (1999) ermittelte für einen optigrün-Versuchsaufbau mit einer Gesamthöhe von 9 cm einen Spitzenabflussbeiwert  $\Psi_s = 0,15$  bei einem Bemessungsregen von 100 l/(s×ha) und einen Spitzenabflussbeiwert  $\Psi_s = 0,39$  bei einem Bemessungsregen von 200 l/(s×ha). Die nahe liegende Überlegung, Spitzenabflusswerte nähmen mit steigender Regenintensität zu lässt sich durch die Messungen natürlicher Regenereignisse jedoch nicht bestätigen. So bewirken Vorfeuchte des Dachaufbaus und Dauer der Regenintensität



**Bild 7** Spitzenabflüsse geneigter Dächer im Vergleich zum Referenzdach.  
**Figure 7** Peak runoff on sloped roofs compared to the reference roof.

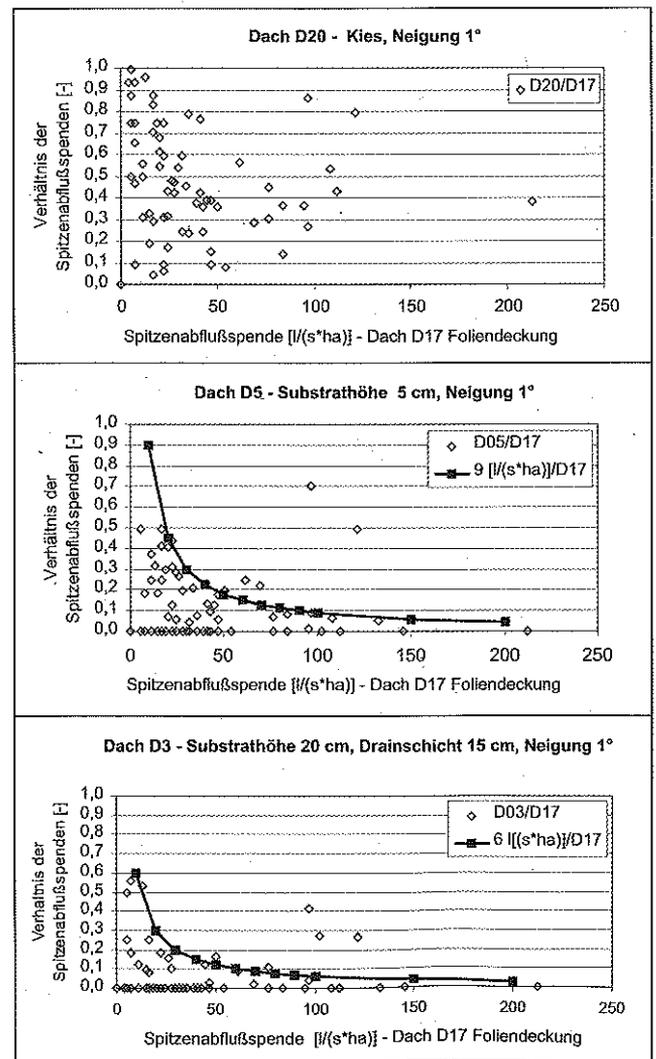
sehr unterschiedliche Spitzenabflüsse bei gleichen Regenintensitäten.

**3.4.2 Verhältnisse der Spitzenabflüsse flacher Dächer**  
 Als Vergleichsmaßstab für flache Gründächer wurde das geneigte Foliendach D17 sowie das flache Kiesdach D20 verwendet. Das Foliendach als Referenz gestattet den Vergleich mit der aktuellen Regenbelastung, nicht jedoch mit dem Abflussverhalten eines foliengedeckten Flachdaches, das aufgrund des geringen Gefälles geringere Spitzenabflüsse aufweisen muss.

Bild 8 zeigt das Verhältnis der Spitzenabflussspenden zweier Gründachaufbauten und des Kiesdaches zum Spitzenabfluss des Daches D17 (Foliendeckung, 15° Neigung) als Referenz. Durch die Kiesdeckung wird bereits eine Retentionswirkung erzielt, die jedoch sehr stark streut und durch die Begrünung deutlich zu verbessern ist. Die Vielfalt der untersuchten flachen Gründächer wird hier durch die beiden Varianten D05 mit 5 cm und D03 mit 35 cm Aufbauhöhe dargestellt. Bei Spitzenabflussspenden über 25 l/(s\*ha) liegt das Verhältnis der Spitzenabflüsse der Gründächer zum Foliendach im Regelfall unter 0,25, lediglich in

Einzelfällen treten höhere Werte auf. Die Schichthöhe beeinflusst diese Grenze nur unmaßgeblich. Das Dach D03 weist allerdings häufig geringere Werte auf als das Dach D05. In einer Vielzahl von Fällen tritt kein Abfluss auf. Bei gering intensiven Regen tritt die abflussdämpfende Wirkung der Substratdurchlässigkeit in den Hintergrund, da sie größer als die Regenintensität ist. So entspricht die im Datenmaterial erkennbare Grenze von  $25 \text{ l}/(\text{s} \times \text{ha})$  einer Substratdurchlässigkeit von  $2,5 \times 10^{-6} \text{ [m/s]}$ . Die in diesem Bereich höhere Streuung der Verhältnisse der Spitzenabflüsse dürfte ursächlich auf die jeweils unterschiedlichen Bodenwassergerhalte zurückzuführen sein.

Bei Dach D05 fallen in Bild 8 zwei hohe Verhältnisswerte im Bereich von Spitzenabflussspenden von 100 l/(s\*ha) deutlich auf. In beiden Fällen handelt es sich um konvektive Starkniederschläge mit Niederschlagshöhen von 65 mm (3. 7. 97) bzw. 26 mm (9. 7. 96). Die beim Dach D05 festgestellten Verhältnisswerte der Spitzenabflussspenden von 0,70 bzw. 0,50 korrespondieren nicht mit denen vergleichbarer Dachaufbauten (z. B. Dach D15 mit 15° Neigung: Verhältnisswerte der Spitzenabflussspenden 0,39 bzw. 0,30) und liegen über denen der Dächer mit höheren Aufbauten (D09 mit 10 cm Substrathöhe: 0,47 bzw. 0,26). Der im Vergleich zu den Dächern D09 und D15 andere Substrattyp des Daches D05 reicht als Erklärung nicht, da das Dach D19 mit



**Bild 8** Spitzenabflüsse flacher Dächer im Vergleich zum Referenzdach.  
**Figure 8** Peak runoff on flat roofs compared to the reference roof.

**Tabelle 5 Spitzenabflussspenden begrünter Dächer**  
**Table 5 Rate of peak discharge on green roofs**

		D05	D07	D08	D04	D01	D21	D23	D09	D06	D10	D02	D03	D16	D15	D13	D14	D17
Substratschicht	cm	5	5	5	5	8	8	8	10	10	10	15	20	5	10	15	15	
Drainschicht	cm	0	5	5	10	0	0	0	0	5	5	10	15	0	0	0	0	
Neigung	°	0	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	0	15	15	15	15	15
Größe	m <sup>2</sup>	12	12	24	12	24	24	12	25	12	25	12	12	12	12	12	12	12
Substrat		M	E	E	E	M	M	M	E	E	E	I	I	E	E	E	E	Folie
Anzahl der Ereignisse	-	47	47	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	49	49	47	49	49
Median	l/(s · ha)	3	1	2	0	1	1	1	4	0	1	0	0	4	1	0	1	43
arithm. Mittel	l/(s · ha)	6	6	6	9	5	7	3	6	6	5	5	3	8	5	5	4	57
<b>90%-Quantil</b>	<b>l/(s · ha)</b>	<b>9</b>	<b>17</b>	<b>14</b>	<b>25</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>8</b>	<b>12</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>13</b>	<b>6</b>	<b>15</b>	<b>14</b>	<b>8</b>	<b>10</b>	<b>109</b>
95%-Quantil	l/(s · ha)	15	18	34	41	30	43	19	21	40	31	32	21	42	34	24	22	128
97,5%-Quantil	l/(s · ha)	53	48	36	72	38	43	29	30	47	37	48	31	48	38	33	27	143
<b>Maximum</b>	<b>l/(s · ha)</b>	<b>68</b>	<b>64</b>	<b>44</b>	<b>85</b>	<b>39</b>	<b>90</b>	<b>30</b>	<b>46</b>	<b>50</b>	<b>42</b>	<b>54</b>	<b>40</b>	<b>54</b>	<b>39</b>	<b>100</b>	<b>33</b>	<b>213</b>

gleichem Substrat und 8 cm Aufbauhöhe mit Verhältniswerten von 0,34 bzw. 0,19 geringere Werte als das nächstliegende Vergleichsdach D09 aufweist. Eine kausale Ursache, die einen Ausschluss als Messfehler rechtfertigt, war nicht zu ermitteln. Statistisch sind beide Werte als Ausreißer nachgewiesen, die jedoch im Zusammenhang mit den erwähnten Starkregenereignissen stehen müssen.

### 3.4.3 Spitzenabflussbeiwerte

Vereinfachte Abflussberechnungen kleinerer, befestigter Flächen werden häufig mit Hilfe von Spitzenabflussbeiwerten durchgeführt, welche die einfachen Abflussbildungs- und Konzentrationsprozesse dieser Flächen hinreichend berücksichtigen. Der Spitzenabflussbeiwert  $\psi_s$  ist definiert als Quotient aus maximaler Niederschlagsabflussspende  $q_{\max}$  und zugehöriger maximaler Regenspende  $r_{\max}$ .

Gründächer hingegen verhalten sich hydrologisch wie Speicher, deren Abfluss von Speicherfüllung, Drossel Eigenschaften und Niederschlagsbelastung abhängt. Die Beschreibung dieses Verhaltens ist mit einem Abflussbeiwert nicht zureichend möglich. Abflussbildung und Abflusskonzentration werden maßgeblich von der Vorfeuchtesituation des Bodenspeichers geprägt. So kann bei einem durchfeuchteten

Dach eine geringe Niederschlagsintensität einen höheren Spitzenabfluss erzeugen als eine hohe Niederschlagsintensität, die auf ein trockenes Dach trifft. Infolge der starken Abflussverzögerung begrünter Dächer ist zudem eine eindeutige Zuordnung von Spitzenintensitäten des Niederschlages und resultierenden Maximalabflüssen sehr erschwert.

Das Verhältnis der Spitzenabflussspenden von Grün- zu Foliendächern kann als vorsichtige Annäherung an Spitzenabflussbeiwerte interpretiert werden. Folgende Ergebnisse können für die untersuchten Dachbegrünungen abgeleitet werden. Gründächer mit 5 cm Aufbauhöhe weisen im Regelfall Spitzenabflussbeiwerte  $\psi_s < 0,5$  auf. Bei Aufbauhöhen ab 8 cm sind im Regelfall Spitzenabflussbeiwerte  $\psi_s < 0,3$  festzustellen. In Extremfällen mit vollständiger Durchnässung der Bodenmatrix liegen die Spitzenabflussbeiwerte bei Aufbauten über 5 cm mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit  $\psi_s < 0,5$ .

Die empirisch festgestellten Spitzenabflussbeiwerte sind nicht abhängig von der Regenintensität. Die Höhe des Substrataufbaus übt kaum Einfluss auf den Wertebereich der Spitzenabflussbeiwerte aus, wohl aber auf die Auftretenswahrscheinlichkeit innerhalb des Wertebereiches. Die Dachneigung beeinflusst den Wertebereich der Spitzenab-

Version 4.0

**erwin.**  
 Regenwasser  
 bewirtschaftung

Entwurf, Dimensionierung, Nachweis

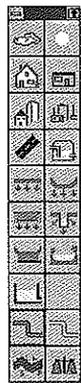
Infos und Demo im Internet: [www.ifs-hannover.de](http://www.ifs-hannover.de)  
 oder Abruf per Fax unter: +49 (0)511 / 70 13 999

Niederschlag-Abflussmodell für  
 Siedlungsgebiete für naturnahe  
 und konventionelle Entwässerung

Nachweis der Leistungsfähigkeit  
 für Versickerungsanlagen,  
 Retentionsbodenfilter und  
 Regenbecken

Zusätzliche Module für  
 Gründächer, Teiche und  
 Regenwassernutzungs-  
 anlagen

Nach 6 Jahren R-Win heißt die  
 bekannte Software nun erwin.



INGENIEURGESELLSCHAFT  
 FÜR STADTHYDROLOGIE mbH

Ingenieurgesellschaft für Stadthydrologie mbH  
 Stiftstr. 12, D-30159 Hannover  
 Tel. 0511 / 70 13 9 - 0, Fax. 0511 / 70 13 9 - 99  
 email: [info@ifs-hannover.de](mailto:info@ifs-hannover.de)

flussbeiwerte nicht signifikant. Untersuchungen von Kolb (1999) bestätigen diese Erkenntnisse.

#### 3.4.4 Spitzenabflussspenden

Die Spitzenabflussspenden der Dächer wurden statistisch ausgewertet, um die zu erwartenden Größenordnungen empirisch abgesichert quantifizieren zu können. Die Analyse wurde für Ereignisse durchgeführt, deren Spitzenabflussspenden beim Foliendach D17 über  $20 \text{ l}/(\text{s} \times \text{ha})$  betragen. Tabelle 5 stellt die Ergebnisse zusammen.

Die Mittelwerte sind durchweg größer als die Mediane, so dass linksschiefe Verteilungen vorliegen. Geringe Spitzenabflussspenden sind entschieden häufiger als hohe. Diese im Niederschlagsverhalten gründende Tatsache wird durch die ausgeprägte Retentionsfähigkeit der Gründächer deutlich verstärkt. Die Quantile geben an, wie viel Werte der untersuchten Stichproben unterhalb des angegebenen Wertes liegen. Das 90%-Quantil des Foliendaches D17 liegt bei  $109 \text{ l}/(\text{s} \times \text{ha})$ . Dieser Wert wird bei 90 % der Ereignisse unterschritten und von 10 % überschritten. Er liegt in der Größenordnung der in der Stadtentwässerung üblichen einjährigen Bemessungsregen mit 15 Minuten Dauer. In der Messzeitspanne wurde beim Foliendach eine maximale Abflussspende von  $213 \text{ l}/(\text{s} \times \text{ha})$  festgestellt. Bei den Gründächern lagen die höchsten Abflussspenden im Bereich  $35\text{--}70 \text{ l}/(\text{s} \times \text{ha})$  mit wenigen Ausnahmen. 90 % der Ereignisse wiesen Spitzenabflussspenden auf, die unterhalb der 90%-Quantile im Bereich von  $10\text{--}15 \text{ l}/(\text{s} \times \text{ha})$  lagen.

In den Abbildungen 7 und 8 wurden für die jeweiligen Dachaufbauten die 90%-Quantile der Spitzenabflussspenden eingearbeitet und als Verhältnis zum Spitzenabfluss des Daches D17 funktional dargestellt. Es wird deutlich, dass dieser Wert das Spitzenabflussverhalten der Dächer als Randfunktion sehr zutreffend kennzeichnet. Die höheren Spitzenabflussspenden bzw. Abflussverhältnisse stammen allesamt aus zwei äußerst ergiebigen Niederschlagsperioden, die in Abschnitt 3 bereits angesprochen wurden.

Durch detaillierte Ganglinienanalyse lässt sich im Datenmaterial zudem folgendes nachweisen:

Hohe Spitzenabflussspenden treten ausschließlich infolge konvektiver Niederschläge mit sehr ergiebigen Vorregensituationen auf, die zur vollständigen Durchnässung der Dachaufbauten führen.

Nach den o. g. Extremsituationen trat innerhalb weniger niederschlagsarmer oder -freier Tage eine weitgehende Regeneration des Retentionsvermögens der Dachaufbauten auf. Auf trockene Aufbauten treffende Starkniederschläge bewirken abhängig von deren Schichtdicke keine oder nur sehr geringe Abflussspenden.

Für Bemessungszwecke sind statistisch abgesicherte Spitzenabflussspenden mit Angabe von Überschreitungshäufigkeiten aussagekräftiger als Spitzenabflussbeiwerte, die das Abflussbildungsverhalten von Gründächern nicht realitätsgerecht beschreiben können.

## 4 Zusammenfassung

Dachbegrünungen bewirken eine erhebliche Reduktion des Gesamtabflusses sowie des Spitzenabflusses von Dachflächen. Diese Effekte lassen sich als gesicherte Erkenntnisse durch die kontinuierlichen Messungen in allen Witterungsperioden der zweijährigen Untersuchungszeitspanne nachweisen. Folgende Eigenschaften der untersuchten Gründächer sind durch die Untersuchungen an der Versuchsanlage in Krauchenwies-Gögingen nachgewiesen:

1. Der jährliche Wasserrückhalt bei Extensivbegrünungen beträgt im Mittel 60 % vom Niederschlag, bei Intensivbegrünungen liegt der Wert sogar bei 85 %.
2. Bereits Extensivbegrünungen mit Schichthöhen von 5 cm bewirken im Vergleich zu einer Foliendeckung eine Reduktion des Gesamtabflusses bezogen auf die Niederschlagssumme auf ca. 30 % in der Sommerperiode und ca. 55 % in der Winterperiode.
3. Die untersuchten Gründachaufbauten wiesen selbst bei vollständiger Durchnässung Spitzenabflussbeiwerte  $\psi_s < 0,5$  auf. Substrathöhen ab 8 cm zeigten im Regelfall Spitzenabflussbeiwerte  $\psi_s < 0,3$ .
4. Die Spitzenabflussspenden begrünter Dächer lagen zu über 90 % unterhalb eines Bereiches von  $10\text{--}15 \text{ l}/(\text{s} \times \text{ha})$ . Die Maxima der Spitzenabflussspenden lagen mit zwei Ausnahmen im Bereich  $35\text{--}70 \text{ l}/(\text{s} \times \text{ha})$ .
5. Bei Dachneigungen bis  $15^\circ$  wurde zu keiner Zeit Oberflächenabfluss festgestellt. Die geneigten Dächer unterschieden sich in der Retentionswirkung wenig von flachen Dächern.
6. Schichtaufbauten ab 5 cm bewirken bereits eine deutliche Retention des Regenabflusses. Die Retentionswirkung lässt sich mit einer Erhöhung des Schichtaufbaus auf bis 15 cm steigern. Höhere Substrataufbauten bewirken lediglich eine unterproportionale Verringerung des Jahresabflusses und wirken sich hinsichtlich des Spitzenabflusses kaum retentionsfördernd aus.

## 5 Bearbeitung des Vorhabens

Die Konzeption, wissenschaftliche Betreuung und Auswertung des Vorhabens oblag Prof. Dr.-Ing. M. Uhl. Projektleitung und örtliche Betreuung des Versuchsbetriebs nahm die Firma optigrün mit Dipl.-Ing. M. Henneberg und Dipl.-Biol. Dr. G. Mann war. Die Ingenieurgesellschaft für Stadthydrologie mbH, Hannover war mit der Konzeption der Versuchsanlage, Bau und Betreuung der Messausstattung, sowie der Datenprüfung, -verarbeitung und -auswertung betraut. Die Projektbearbeitung erfolgte durch Dipl.-Math. L. Schiedt, Dipl.-Ing. K. Gallus, Umwelttechniker H. Kühl, sowie durch die Studenten P. Nipp, M. Sievers und S. Kaemling.

### Literatur

- FLL (1995): Richtlinien für die Planung, Ausführung und Pflege von Dachbegrünungen. Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V., Bonn (Hrsg.), 64.
- FLL (2002): Richtlinien für die Planung, Ausführung und Pflege von Dachbegrünungen. Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V., Bonn (Hrsg.), 95.
- Kolb, W. (1998): Entlastung von Kanal-Abflussbauwerken durch Gründächer. *Dach+Grün* 3 (7), 4–8.
- Kolb, W. (1999): Einfluß der Substrate auf die Abflussverhältnisse von geneigten Gründächern. *Dach+Grün* 3 (8), 4–8.
- Lieseke, H.-J. (1995): Wasserrückhaltung und Abflussbeiwerte bei extensiven Dachbegrünungen. *Stadt und Grün* 10 (44), 683–687.
- Lieseke, H.-J. (1998): Das Retentionsvermögen von Dachbegrünungen. *Stadt und Grün* 1 (47), 46–53.
- Lieseke, H.-J. (1999): Gefälle, Substrat und Vegetation. *DDH* 26 (120), 26–31.

### Anschriften der Verfasser

Prof. Dr.-Ing. Mathias Uhl, Fachhochschule Münster, Fachbereich Bauingenieurwesen, Labor für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Corrensstr. 25, 48149 Münster; Dipl.-Math. Lutz Schiedt, Ingenieurgesellschaft für Stadthydrologie mbH, Stiftstr. 12, 30165 Hannover; Dr. Gunter Mann und Dipl.-Ing. Martin Henneberg, Optigrün International AG, Am Birkenstock 19, 72505 Krauchenwies-Gögingen