

Auftraggeber:

HafenCity Universität Hamburg
FG: Umweltgerechte Stadt- und Infrastrukturplanung
Überseeallee 16
20457 Hamburg

Hydrologische Berechnungen für das Projekt KLIQ

**„Klimafolgenanpassung innerstädtischer hochverdichteter Quartiere in
Hamburg“**

-

**Berechnung des Wasserhaushaltes und des Verhaltens im
Starkniederschlagsfall für unterschiedliche dezentrale
Regenwasserbewirtschaftungsvarianten für das
Untersuchungsgebiet Winterhude-Süd in Hamburg**

Aufgestellt:

Datum: 13.02.2017

Bearbeiter: Dr.-Ing. Harald Sommer
Dipl.-Ing. Franklin Estupinan



Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker mbH
Rennbahnallee 109A, 15366 Hoppegarten
Tel. 03342/3595-0, Fax. 03342/3595-29,
Internet : www.sieker.de, Email: info@sieker.de



Inhalt

1	Veranlassung	1
2	Datengrundlagen	2
3	Methodik	3
3.1	Berechnungsgrundlagen	5
3.2	Variantenbetrachtung	6
3.2.1	Ist-Zustand (V0).....	7
3.2.2	Errichtung von Gründächern zum Rückhalt und zur Verdunstung von Niederschlagswasser (V1)	8
3.2.3	Versickerung in begrünten Rasenmulden (V2)	9
3.2.4	Versickerung in unterirdischen Füllkörper-Rigolen (V3)	10
3.2.5	Mixszenario (V4)	11
3.2.6	Abschätzung des Wirkung unterschiedlicher Gründachaufbauten (V_Gründach)	11
3.2.7	Abschätzung der Wirkung von Bäumen, bepflanzten Tiefbeeten und Baumrigolen im öffentlichen Straßenraum (V_Straße)	11
3.3	Abschätzung des Überflutungsrisikos.....	13
4	Ergebnisse	14
4.1	Wasserbilanzen nach Teileinzugsgebieten des Sielnetzes	14
4.1.1	Ist-Zustand (V0).....	14
4.1.2	Errichtung von Gründächern (V1) vs. Ist-Zustand (V0)	15
4.1.3	Bewirtschaftung mit Mulden (V2) vs. Ist- Zustand (V0)	16
4.1.4	Bewirtschaftung mit Rigolen (V3) vs. Ist- Zustand (V0).....	17
4.1.5	Mixszenario (V4) vs. Ist-Zustand (V4).....	18
4.2	Wasserbilanz nach Baublöcken	20
4.2.1	Änderung des mittleren jährlichen Oberflächenabflusses	21
4.2.2	Änderung der mittleren jährlichen Versickerung	22
4.2.3	Änderung der mittleren jährlichen Verdunstung	23
4.3	Abschätzung der Wirkung unterschiedlicher extensiver Gründachaufbauten auf die Wasserbilanz (V_Gründach)	24
4.4	Abschätzung der Wirkung von Bäumen, bepflanzte Tiefbeete und Baumrigolen im öffentlichen Straßenraum auf die Wasserbilanz (V_Straße)	25
4.5	Gesamtwasserbilanzen.....	26
4.6	Wirkung von Maßnahmen auf das Überflutungsrisiko	28
4.6.1	Wirkung von Gründächern, Mulden und Rigolen.....	28
4.6.2	Wirkung unterschiedlicher extensiver Gründachaufbauten.....	30



4.6.3	Wirkung von Bäumen, bepflanzten Tiefbeeten und Baumrigolen	31
5	Zusammenfassung	32
6	ANHANG	I

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Lage der Teileinzugsgebiete des Sielnetzes (TEGs).....	4
Abbildung 2:	Lage der Straßenbäume und Darstellung der verwendeten Flächen für die Simulation des Ist-Zustandes (Grünflächen werden aus Übersichtsgründen nicht dargestellt).....	7
Abbildung 3:	Darstellung der Flachdächer und flach geneigten Dächer, die potenziell begrünt werden könnten (Grünflächen und Bäume werden aus Übersichtsgründen nicht dargestellt).....	8
Abbildung 4:	Darstellung des Potenzials zur Versickerung von Niederschlagswasser auf Privatgrundstücken mit Mulden	9
Abbildung 5:	Darstellung des Potenzials zur Versickerung von Niederschlagswasser auf Grundstücken mit Rigolen	10
Abbildung 6:	Darstellung der überdeckten Verkehrsfläche durch Straßenbäume und des näher untersuchten Straßenabschnitts	12
Abbildung 7:	Darstellung der Lage des für die Abschätzung des Überflutungsrisikos genutzten Baublocks	13
Abbildung 8:	Mittlere jährliche Wasserbilanz der Teileinzugsgebiete des Sielnetzes im Ist-Zustand (V0), ohne öffentlichen Straßenraum	14
Abbildung 9:	Mittlere jährliche Wasserbilanz der Teileinzugsgebiete der Variante Errichtung von Gründächern (V1) im Vergleich zum Ist-Zustand (V0), ohne öffentlichen Straßenraum.....	15
Abbildung 10:	Mittlere jährliche Wasserbilanz der Teileinzugsgebiete der Variante „Dezentrale RW-Bewirtschaftung mit Mulden (V2)“ im Vergleich zum Ist-Zustand (V0), ohne öffentlichen Straßenraum	16
Abbildung 11:	Mittlere jährliche Wasserbilanz der Teileinzugsgebiete der dezentralen RW-Bewirtschaftung mit Rigolen (V3) im Vergleich zum Ist-Zustand (V0), ohne öffentlichen Straßenraum	17
Abbildung 12:	Mittlere jährliche Wasserbilanz der Teileinzugsgebiete des Sielnetzes der Variante Mixszenario (V4) im Vergleich zum Ist-Zustand (V0), ohne öffentlichen Straßenraum.....	18
Abbildung 13:	Lage der Baublöcke.....	20
Abbildung 14:	Auswirkung der Bewirtschaftung mit Mix-Variante (V4) auf den mittleren jährlichen Oberflächenabfluss im Verhältnis zum Ist-Zustand (V0), nach Baublöcken aufgeschlüsselt	21
Abbildung 15:	Auswirkung der Bewirtschaftung mit Mulden (V2) auf die mittlere jährliche Versickerung im Verhältnis zum Ist-Zustand (V0), nach Baublöcken aufgeschlüsselt.....	22
Abbildung 16:	Auswirkung der Mixszenarios (V4) auf die mittlere jährliche Verdunstung im Verhältnis zum Ist-Zustand (V0), nach Baublöcken aufgeschlüsselt	23



Abbildung 17: Wirkung unterschiedlicher Gründächer auf die mittlere langjährige Wasserbilanz.....	24
Abbildung 18: Wirkung von Bäumen, bepflanzten Tiefbeeten und Baumrigolen auf die mittlere jährliche Wasserbilanz vom öffentlichen Straßenraum.....	25
Abbildung 19: Wasserbilanzen der Varianten für das Gesamtgebiet (ohne Straßenraum)	26
Abbildung 20: Wasserbilanzen der Varianten für das Gesamtgebiet (mit Straßenraum)	27
Abbildung 21: Abflussvolumenströme der stärksten Abflussereignisse des Baublocks 412005 für den Ist-Zustand und die verschiedenen Maßnahmen.....	28
Abbildung 22: Abflussvolumina der stärksten Abflussereignisse des Baublocks 412005 für die verschiedenen Bewirtschaftungsmaßnahmen.....	29
Abbildung 23: Wirkung unterschiedlicher Dächer auf die Abflussspitzen und Abflussvolumina eines extremen Niederschlagsereignisses	30
Abbildung 24: Abschätzung der Wirkung von Bäumen, bepflanzten Tiefbeeten und Baumrigolen im öffentlichen Straßenraum auf die Abflussspitzen und Abflussvolumina eines extremen Niederschlagsereignisses	31

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Prozentuale Anteile von Abfluss, Versickerung und Verdunstung der Teileinzugsgebiete des Sielnetzes im Ist-Zustand (V0), ohne öffentliche Straßenflächen.....	15
Tabelle 2: Relative Änderung der Wasserbilanzkomponenten durch die Errichtung von Gründächern (V1) in Verhältnis zum Ist-Zustand (V0), ohne öffentlichen Straßenraum	16
Tabelle 3: Relative Änderung der Wasserbilanzkomponenten der dezentralen RW-Bewirtschaftung mit Mulden (V2) in Verhältnis zum Ist-Zustand (V0), ohne öffentlichen Straßenraum	17
Tabelle 4: Relative Änderung der Wasserbilanzkomponenten in der dezentralen Bewirtschaftung mit Rigolen (V3) in Verhältnis zum Ist-Zustand (V0), ohne öffentlichen Straßenraum	18
Tabelle 5: Relative Änderung der Wasserbilanzkomponenten der Variante Mixszenario (V4) in Verhältnis zum Ist-Zustand (V0), ohne öffentlichen Straßenraum	19
Tabelle 6: Darstellung des relativen Anteils von Abfluss und Verdunstung verschiedener Gründächer und des Flachdachs an der mittleren langjährigen Wasserbilanz	24
Tabelle 7: Darstellung des relativen Anteils von Abfluss, Versickerung und Verdunstung verschiedener Straßenentwässerungen an der mittleren langjährigen Wasserbilanz	26



1 Veranlassung

Das Projekt KLIQ „Klimafolgenanpassung innerstädtischer hoch verdichteter Quartiere“ hat zum Ziel, ein Wissensdokument für Hamburger Behördenmitarbeiter sowie einen Leitfaden für Grundeigentümer und Planer zum Thema Überflutungs- und Hitzevorsorge in Hamburg zu erstellen. Die Bearbeitung des Projektes erfolgt durch die HafenCity Universität Hamburg (HCU) im Auftrag der Hamburger Behörde für Umwelt und Energie (BUE). Dafür werden zwei exemplarische Untersuchungsgebiete in Hamburg betrachtet: Das Quartier Winterhude-Süd sowie der Stadtteil St. Georg. Winterhude-Süd war bereits nach dem Starkregen im Juni 2011 durch lokale Überflutungen betroffen und wird mit Fokus auf die Überflutungsvorsorge betrachtet. In St. Georg ist der urbane Wärmeinsel-Effekt bereits deutlich ausgeprägt. Aus diesem Grund liegt hier das Augenmerk auf der Hitzevorsorge. Ziel ist, für beide Untersuchungsgebiete die Potenziale zur nachträglichen Umsetzung von wasser- bzw. klimasensiblen Maßnahmen im Bestand zur Reduzierung des Überflutungsrisikos bzw. von Hitzestress aufzuzeigen.

Zunächst wurde analysiert, in welchen Bereichen eine Gefährdung im Hinblick auf Überflutungen in Folge von Starkregen oder durch Hitzestress in den Sommermonaten entstehen können. In einem zweiten Schritt wurden Potenzialanalysen für die Umsetzung verschiedener wasser- oder klimasensible Maßnahmen durchgeführt (siehe Kap. 4.2 und 4.3 des Wissensdokumentes für die Verwaltung). Nun soll der Effekt dieser Maßnahmen als Beitrag zur Überflutungs- und Hitzevorsorge simuliert werden.

Die (mikro-)klimatischen Simulationen zur Hitzevorsorge werden durch die HCU mit dem Programm ENVI-met für ausgewählte „Zoom-Ins“ innerhalb des Untersuchungsgebietes St. Georg durchgeführt. Die „Zoom-Ins“ bilden typische städtebauliche Situationen im Quartier ab, um generelle Erkenntnisse zu generieren und übertragbare Lösungsansätze aufzuzeigen. Sie dienen der detaillierten Betrachtung der lokalen Situation und möglicher Klimafolgen, der Verortung potenziell umsetzbarer Anpassungsmaßnahmen sowie der Simulation ihrer Wirkungseffekte bzw. ihres Wirkungsgrades. Die Betrachtung kann dabei vom einzelnen Gebäude, über die Parzelle / das Grundstück bis hin zum Wohnblock oder Straßenabschnitt reichen.

Für die siedlungswasserwirtschaftliche Simulationen möglicher Maßnahmen innerhalb des Untersuchungsgebietes Winterhude-Süd hat die HCU die Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker mbH beauftragt. In Auftrag gegeben wurde:

1. die Durchführung von Langzeitsimulationen verschiedener dezentraler Regenwasserbewirtschaftungsarten, um die Wirkung auf den Wasserhaushalt zu bestimmen und
2. die Bestimmung der Wirkung dieser Maßnahmen auf den Starkregenabfluss der bewirtschafteten Flächen.

Die Simulationen wurden mit dem Programm STORM.XXL durchgeführt. Dazu wurden

1. Langzeitsimulationen zur Ermittlung der Wasserbilanz und
 2. Auswertungen der Langzeitsimulation zur Beurteilung des Abflusses
- durchgeführt. Beides ist zur Beurteilung der Wirksamkeit von dezentralen Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen erforderlich.



2 Datengrundlagen

Folgende Datengrundlagen wurden von der HCU zur Verfügung gestellt und für die Modellierung und Simulation des Wasserhaushaltes genutzt:

- ALKIS-Datengrundlagen, Stand September 2016
- Topographie, Stand September 2016
- Versiegelungsgrad der jeweiligen Flächen, Stand September 2016, Auswertung HCU
- Art der Versiegelung, Stand September 2016, Auswertung HCU
- Verteilung der Vegetation (Gehölze, Sträucher, Wiese / Rasen), Stand September 2016, Auswertung HCU
- Potenzial zur Dachbegrünung – Flachdächer, Stand Januar 2017, Auswertung HCU
- Potenzial zur oberirdischen Versickerung, Stand September 2016, Auswertung HCU
- Potenzial zur unterirdischen Versickerung, Stand September 2016, Auswertung HCU
- Versickerungspotentialkarte der BUE, Stand September 2016
- Digitales Geländemodell (DGM1), Stand September 2016
- Teileinzugsgebiete des Sielnetzes, Stand Februar 2015
- Baumstandorte, Stand September 2016
- Vegetationsverteilung, Stand September 2016
- Digitale Baublockkarte, Stand September 2016 (<http://geodienste.hamburg.de/>)
- Auswahl zu prüfender Gründächer („Leichtdach“, „Retentionsdach Mäander 30“ und „Retentionsdach Mäander 60“ der Fa. Optigrün)
- Klimadaten in der Auflösung von 1 Stunde (Wind, Temperatur, Sonnenscheindauer, Luftfeuchtigkeit) für die Zeitspanne von 01.01.1996 bis 31.12.2015,
Quelle: ftp://ftp-cdc.dwd.de/pub/CDC/observations_germany/climate/hourly/; Station: 1975, Hamburg-Fuhlsbüttel
- Regendaten in der Auflösung von 5 Minuten für die Zeitspanne von 01.01.1996 bis 31.12.2015; Station: 1975, Hamburg-Fuhlsbüttel



3 Methodik

Im Folgenden wird die genutzte Methodik für die GIS-Aufbereitung, der gewählten Varianten und der Simulationseinstellungen erklärt.

Für die Aufstellung des hydrologischen Modells wurden die Datengrundlagen aufbereitet und zu Flächeneinheiten hydrologisch gleicher Bedingungen verschnitten. Diese enthalten Informationen zu:

- a) Liegenschaftseigenschaften (privat/öffentlich)
- b) Teileinzugsgebiete des Sielnetzes
- c) Blockflächen (aus digitaler Baublockkarte, keine Verschneidung des öffentlichen Straßenraums)
- d) Versickerungspotential oberirdisch
- e) Versickerungspotential unterirdisch
- f) Gründachpotenzial auf Basis Dachfläche
- g) Bodendaten
- h) Grünflächentypen

Auf dieser Basis werden die Teilflächen, sogenannten „Hydrotopen“, in Teileinzugsgebieten anhand der Abflussrichtung im Kanal zusammengefasst.

Abbildung 1 zeigt die Lage und Ausdehnung der Teileinzugsgebiete des Sielnetzes, auf deren Basis eine erste Auswertung der Simulationsergebnisse erfolgt.



Abbildung 1: Lage der Teileinzugsgebiete des Sielnetzes (TEGs)

Der öffentliche Straßenraum wurde in Straßenabschnitte mit jeweils unterschiedlichen Eigenschaften unterteilt. Hierbei spielt im Bestand der Baumkronendurchmesser für die Ermittlung des Überdeckungsgrades durch Bäume eine entscheidende Rolle. Es erfolgte eine Klassifizierung in 20 %-Schritten.

Die Eigenschaft der privaten und der öffentlichen Flächen wurde in ein hydrologisches Gesamtsystem überführt und für die Langzeitsimulation mit dem hydrologischen Modell STORM vorbereitet.



3.1 Berechnungsgrundlagen

Im Modell wurden alle vorhandenen Flächen sowie deren Versiegelungsarten und die entsprechenden Maßnahmen zur Regenwasserbewirtschaftung abgebildet. Hierzu wurde die Import-Funktion von STORM verwendet, durch die ein Basismodell aus den vorbereiteten GIS-Daten mit allen Flächen, Abflussbildungsparametern, Bodeninformationen und Einzugsgebieten generiert wird. Hierbei wird die Lage der einzelnen Flächen mithilfe der hinterlegten Koordinaten bestimmt. Die Verknüpfung der Flächen wird über die Inhalte der eingeladenen Attributtabelle festgelegt.

Das automatisch generierte STORM-Modell für den Ist-Zustand besteht aus ca. 900 Einzelflächen, die mit dem jeweiligen Baublock verbunden sind. Die Baublöcke sind mit den jeweiligen Teileinzugsgebieten des Sielnetzes (TEG) verbunden. Die Abschnitte des öffentlichen Straßenraums sind direkt mit den TEGs verknüpft.

Das automatisch generierte STORM-Modell für den Ist-Zustand wird anschließend mit Regendaten und Verdunstungsdaten verknüpft, um eine Langzeitsimulation des Wasserhaushaltes durchführen zu können. Hierbei wird die potenzielle Verdunstung mithilfe der Penman-Monteith-Gleichung aus den Eingangsdaten (Sonnenscheindauer, Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Windgeschwindigkeit; zeitliche Auflösung je 1 h) für jeden Zeitschritt ermittelt. Für die korrekte Berechnung der potenziellen Verdunstung sind diese Parameter in einer Höhe von 2 m über dem Boden zu bestimmen. Da die vorliegenden Windgeschwindigkeitsdaten in einer Höhe von 10 m über dem Boden gemessen wurden, erfolgte eine Korrektur über folgende Gleichung:

$$v1(2m) = \frac{v2(10m)}{\left(\frac{h2}{h1}\right)^g}$$

für $g=0,16$ (Verfahren: Grenzschichtprofil bzw. Rauigkeitslänge).

Die 20-jährige Langzeitsimulation erfolgte mit Regendaten der Station Fuhlsbüttel in einer zeitlichen Auflösung von 5-Minuten für den Zeitraum 01.01.1996 bis 31.12.2015. Dies ist für die Ermittlung der Wasserbilanzen und für eine Auswertung der in der Regenreihe enthalten Starkniederschläge in diesem Zeitschritt erforderlich.

Die potenzielle Verdunstung von Gründächern wurde der empirischen Faktor von 1,5 der potenziellen Verdunstung sonstiger Flächen angesetzt, um die erhöhte Verdunstungsleistung durch verstärkte Sonneneinstrahlung und höheren Windgeschwindigkeiten darzustellen.



3.2 Variantenbetrachtung

Für die Abschätzung der Wirksamkeit dezentraler Maßnahmen zur Bewirtschaftung von Regenabflüssen auf Privatgrundstücken auf den Wasserhaushalt wurden folgende Varianten gerechnet:

- V0 – Ist-Zustand
- V1 – Errichtung von Gründächern zum Rückhalt und zur Verdunstung von Niederschlagswasser
- V2 – Versickerung in begrünten Rasenmulden
- V3 – Versickerung in unterirdischen Füllkörper-Rigolen
- V4 – Mixszenario (V1 + Mischung aus V2 und V3).

Zusätzlich wurde die Wirkung verschiedener extensiver Gründachaufbauten sowie die gezielte Rückhaltung und Versickerung von Regenabflüssen in den Pflanzgruben von Straßenbäumen (im Folgenden Baumrigole genannt) oder bepflanzten Tiefbeeten auf die Wasserbilanz in folgenden Varianten untersucht:

- V_Gründach (auf Privatgrundstücken)
- V_Straße (öffentlicher Straßenraum)

Hierbei wurde in den Varianten V0 bis V4 mit dem gesamten Datenbestand, d.h. allen verfügbaren Flächen gerechnet. Die Varianten unterschieden sich in der Anwendung der jeweiligen Bewirtschaftungsmaßnahmen auf Privatgrundstücken. Die Varianten „V_Gründach“ und „V_Straße“ wurden mit einem stark reduzierten Datensatz durchgeführt und dienten der Ermittlung der wasserwirtschaftlichen Wirkung unterschiedlicher extensiver Gründachaufbauten respektive von Straßenbäumen, bepflanzten Tiefbeeten und Baumrigolen. Bei Baumrigolen kann der Regenabfluss von Verkehrsflächen, Gehwegen und Dächern gezielt in die Pflanzgrube der Bäume eingeleitet werden. Je nach Standortbedingungen versickert dort das Wasser oder es wird temporär zurückgehalten und verzögert ins Sielnetz eingeleitet. (Für weitere Erläuterungen siehe Kap. 3 des Wissensdokumentes für die Verwaltung.)

Nachfolgend werden die einzelnen Varianten detailliert dargestellt.

3.2.1 Ist-Zustand (V0)

Die Gesamtfläche des Untersuchungsgebietes beträgt ca. 48,7 ha. Die Abbildung 2 zeigt die verwendeten Informationen zu den Flächenversiegelungen und die Lage der Teileinzugsgebiete des Sietnetzes. Zusätzlich wurden Grünflächentypen, Überdeckungsgrad und Überdeckung durch Straßenbäume verwendet (in der Abb. nicht dargestellt). Für die bestehenden extensiven Gründächer wurde angenommen, dass sie dem Produkt „Leichtdach“ (Beispiel Fa. Optigrün) entsprechen. Für die bestehenden intensiven Gründächer wurde angenommen, dass sie eine Mächtigkeit von 50 cm haben. Für die 8,5 cm dicke Drainschicht wurde zudem zu Grunde gelegt, dass Regenwasser bis zu einer Höhe von 3 cm dauerhaft anstauen kann und somit für die Verdunstung durch die Vegetation zur Verfügung steht. Insgesamt sind im Ist-Zustand (V0) bereits ca. 1,2 ha Gründächer vorhanden (hiervon ca. 80 % extensive Gründächer).

Für den öffentlichen Straßenraum wurden die Baumstandorte aus dem Baumkataster übernommen. Für die Größe der Baumkronen wurde ein Durchmesser von 8 m angenommen. Dadurch entsteht ein Überdeckungsgrad der Straße durch Baumkronen, der in der Simulation abgestuft in 20 %-Schritten berücksichtigt wurde. Die gebildeten Überdeckungsklassen dienen dazu, die Interzeption der Baumkronen abgestuft abzuschätzen und somit die erhöhte Verdunstung modelltechnisch abzubilden.



Abbildung 2: Lage der Straßenbäume und Darstellung der verwendeten Flächen für die Simulation des Ist-Zustandes (Grünflächen werden aus Übersichtsgründen nicht dargestellt)

3.2.2 Errichtung von Gründächern zum Rückhalt und zur Verdunstung von Niederschlagswasser (V1)

Abbildung 3 zeigt die verwendeten Informationen zu den Flächenversiegelungen und der möglichen nachträglichen Errichtung von Gründächern auf Bestandsgebäuden. Als Basis für die Modellerstellung diente der Ist-Zustand (V0), ergänzt um die Abflussreduzierung von Dachflächen mittels Gründach. Für die potenziell per Gründach bewirtschaftbaren Dachflächen wurde analog zu den bestehenden Dächern im Ist-Zustand angenommen, dass das Beispielprodukt „Leichtdach“ (Fa. Optigrün) eingebaut wird. Zu den bestehenden Gründächern des Ist-Zustandes (V0) kommen hier ca. 7,6 ha an potenziell begrünbaren Dächern hinzu. Insgesamt können ca. 45 % der noch unbegrünten Dachflächen mit Gründächern versehen werden (ca. 7,6 ha von 16,8 ha).



Abbildung 3: Darstellung der Flachdächer und flach geneigten Dächer, die potenziell begrünt werden könnten (Grünflächen und Bäume werden aus Übersichtsgründen nicht dargestellt)

3.2.3 Versickerung in begrünten Rasenmulden (V2)

Abbildung 4 zeigt die verwendeten Informationen zur Versickerung von Regenabflüssen in begrünten Rasenmulden auf Privatgrundstücken. Als Basis für die Szenarienerstellung diente der Ist-Zustand (V0), ergänzt um die Versickerung von Abflüssen von privaten Dachflächen und versiegelte Flächen mittels Muldenversickerung. Der öffentliche Straßenraum wird dabei nicht betrachtet. Insgesamt ist der Regenabfluss von ca. 36% der Grundstücke versickerbar (ca. 12,8 ha von 35,8 ha).



Abbildung 4: Darstellung des Potenzials zur Versickerung von Niederschlagswasser auf Privatgrundstücken mit Mulden

3.2.4 Versickerung in unterirdischen Füllkörper-Rigolen (V3)

Abbildung 5 zeigt die verwendeten Informationen zur Versickerung von Regenabflüssen in unterirdischen Füllkörper-Rigolen. Als Basis für die Modellerstellung diente der Ist-Zustand (V0), ergänzt um die Versickerung von Abflüssen von Dachflächen und versiegelte Flächen von Privatgrundstücken mittels Rigolenversickerung. Auch hier wird der öffentliche Raum nicht betrachtet. Aufgrund des vorliegenden Verfahrens zur Ermittlung des Potenzials erreicht die Skala des Bewirtschaftungspotenzials mit Rigolen über 100 %. Dies bedeutet lediglich, dass mehr Platz zur Versickerung zur Verfügung steht, als für diese notwendig ist. Werte oberhalb von 100 % wurden bei der wasserwirtschaftlichen Simulation auf 100 % herabgesetzt, da mehr für die Versickerung nicht notwendig war. Insgesamt ist der Regenabfluss von ca. 20 % der Privatgrundstücke über diese Maßnahme versickerbar (ca. 10,8 ha von 38,5 ha).

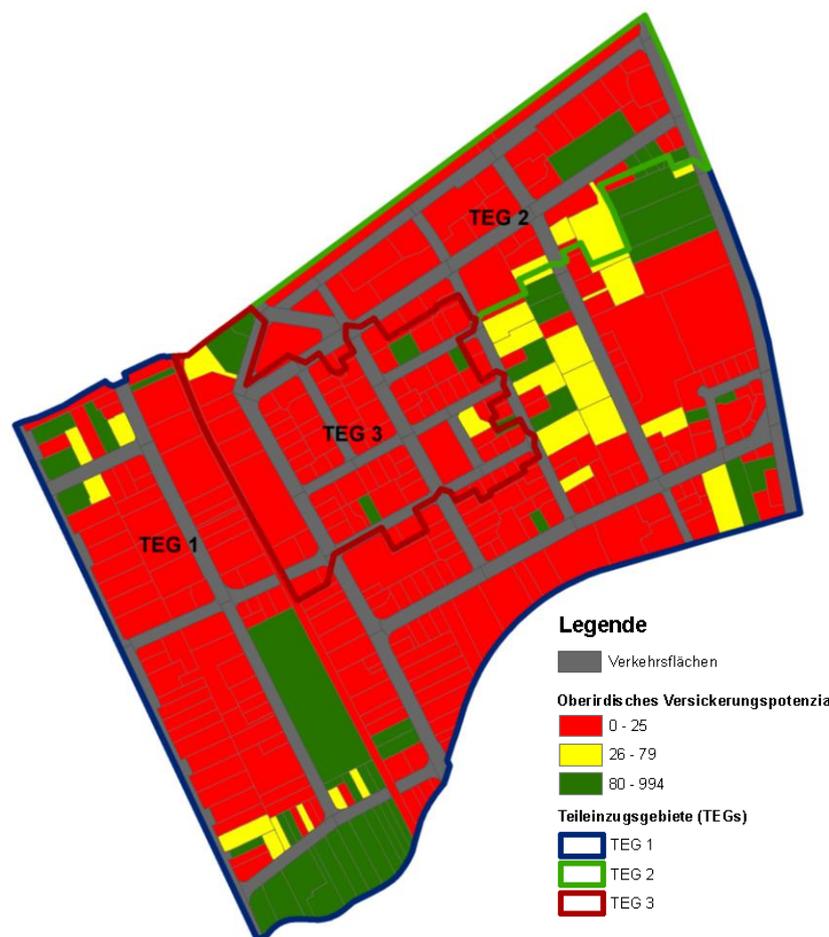


Abbildung 5: Darstellung des Potenzials zur Versickerung von Niederschlagswasser auf Grundstücken mit Rigolen



3.2.5 Mixszenario (V4)

Bei der Simulation des Mixszenarios wurden die Basisvariante V0 (Ist-Zustand) zugrunde gelegt. Es wurden die nachträgliche Errichtung von Gründächern auf Bestandsgebäuden (V1) und Versickerungsmaßnahmen der Varianten V2 (Mulden) und V3 (Rigolen) genutzt und nach folgendem Schema priorisiert: V1 > V2 > V3.

Daraus folgt, dass für Maßnahmen der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung eine mögliche Errichtung von Gründächern vorzuziehen war. Wenn diese nicht möglich war, wurde ggf. eine Versickerung der Regenabflüsse auf Privatgrundstücken mit Mulden vorgenommen. War diese für die jeweilige versiegelte Fläche auch nicht möglich, wurde eine eventuelle Versickerung mit unterirdischen und befahrbaren Rigolen umgesetzt.

Insgesamt können 62 % der Privatgrundstücke (ca. 15 ha von 23,2 ha) über die hier kombinierten Maßnahmen (nachträgliche Dachbegrünung, Versickerungsmaßnahmen mit Mulden oder Rigolen) den Regenabfluss ihrer Dachflächen und versiegelten Flächen komplett auf dem eigenen Grundstück bewirtschaften. Davon werden ca. 9,6 ha über Gründächer (ca. 64,7 %), 4,4 ha über Mulden (ca. 29,3 %) und 0,9 ha über Rigolen (ca. 6,0 %) bewirtschaftet.

Wie bereits erwähnt, wurde der öffentliche Straßenraum nicht berücksichtigt.

3.2.6 Abschätzung des Wirkung unterschiedlicher Gründachaufbauten (V_Gründach)

Zusätzlich wurde in einem separaten Modell (nur eine Dachfläche von 1000 m² pro Maßnahme) die Wirkung von zwei weiteren verschiedenen extensiven Gründachaufbauten („Retentionsdach Mäander 30“ und „Retentionsdach Mäander 60“ der Fa. Optigrün) ermittelt. Die Wirkungen auf die Wasserbilanz wurden mit dem Gründach „Leichtdach“ aus der Variante V1 und einem Flachdach verglichen.

3.2.7 Abschätzung der Wirkung von Bäumen, bepflanzten Tiefbeeten und Baumrigolen im öffentlichen Straßenraum (V_Straße)

Ein weiteres Modell wurde zur Ermittlung der Wirksamkeit von Bäumen, bepflanzten Tiefbeeten und Baumrigolen auf den Wasserhaushalt im öffentlichen Straßenraum aufgebaut. Dazu wurde der südliche Straßenabschnitt des Mühlenkamps ausgewählt, da dieser derzeit ohne Baumbestand ist. Hierbei wurde analog zum reduzierten „Gründach“-Modell eine Straßenfläche von ca. 188 m Länge und 17 m Breite pro Maßnahme abgebildet. Aus modelltechnischen Gründen wurden straßenbegleitende Grünflächen nicht betrachtet. Die Wasserbilanzen der Varianten „Straße, ohne Baumüberdeckung“ und „Straße, 80 % Baumüberdeckung“ berücksichtigen daher keine Versickerung im Straßenraum, d.h. der Versickerungsanteil in der Wasserbilanz ist 0 %. Dies ändert sich, wenn Regenwasser gezielt in bepflanzte Tiefbeete und in die Pflanzgruben von Bäumen (Baumrigolen) geleitet wird, da hier das zugeleitete Wasser auf Grund der guten Versickerungsfähigkeit versickern kann. Es kann aber in manchen Fällen sinnvoll sein, Anlagen nur mit ausschließlicher Retention (ohne Versickerung) und gedrosselter Ableitung zu bauen.

Abbildung 6 zeigt die Überdeckung der öffentlichen Straßenflächen mit Bäumen. Die Festlegung einer 80 %-igen Überdeckung erfolgte nach Ermittlung des Überdeckungsgrads der Straßen im Untersuchungsgebiet auf Basis von Luftbildern.

Im Modell wird Verdunstung über den Benetzungsverlust der Verkehrsflächen abgebildet. Dieser dient als Speicher für anfallendes Regenwasser. Die daraus ermittelte Verdunstung wird als Evapotranspirationsleistung durch Bäume angesetzt. Der in Abbildung 6 dargestellte Straßenabschnitt wurde ausgewählt, um die Wirkung von Bäumen, bepflanzten Tiefbeeten und Baumrigolen auf den Wasserhaushalt und das Überflutungsrisiko im Falle von Starkniederschlägen aufzuzeigen.

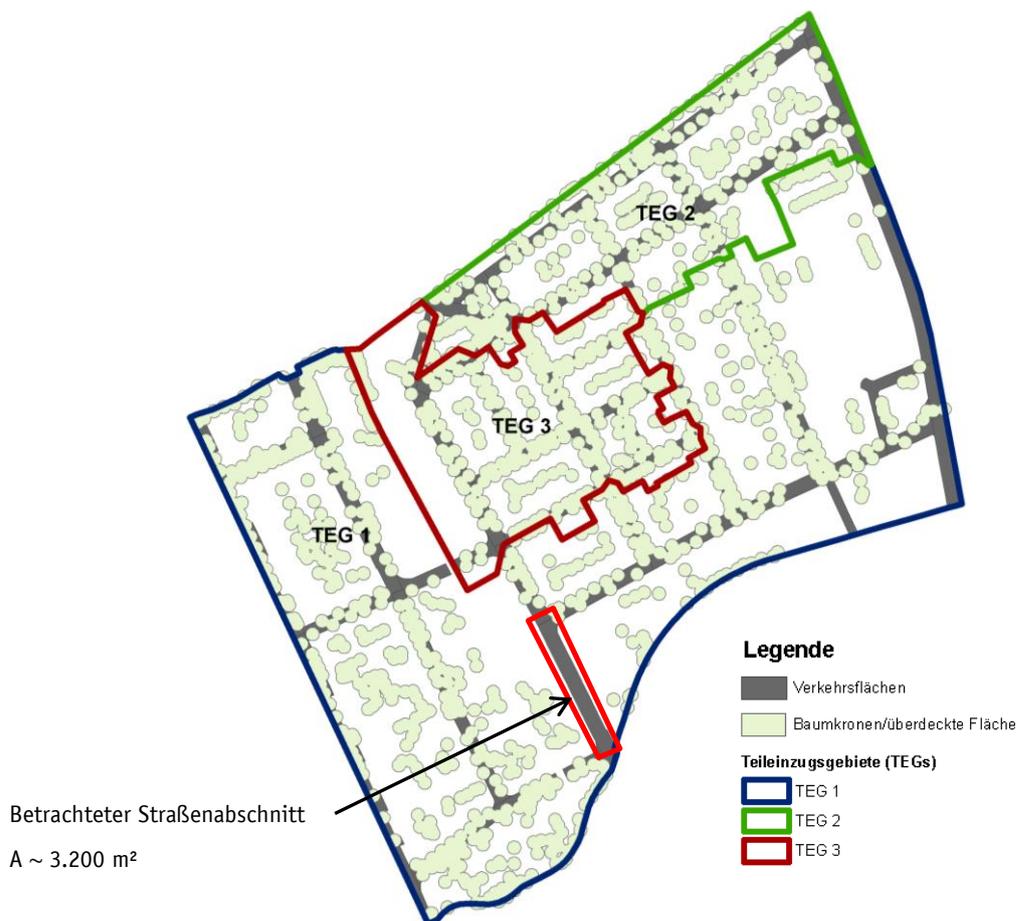


Abbildung 6: Darstellung der überdeckten Verkehrsfläche durch Straßenbäume und des näher untersuchten Straßenabschnitts

Für die Rückhaltung in bepflanzten Tiefbeeten und Baumrigolen im südlichen Straßenabschnitt des Mühlenkamps wird ein Rückhalteraum von ca. 250 m³/ha bei einer Versickerungsleistung von $k_f = 1 \cdot 10^{-5}$ m/s angenommen. Der Dauereinstau in Baumrigolen zur Langzeitbewässerung unterhalb des temporären Speicherraums beträgt 20 cm.

3.3 Abschätzung des Überflutungsrisikos

Für die Abschätzung des Überflutungsrisikos werden die Modelle Ist-Zustand (V0) bis Mixszenario (V4) betrachtet. Zur Ermittlung der Auswirkungen der verschiedenen Regenwasserbewirtschaftungsarten wurde der Baublock 412005 (siehe Abbildung 7) ausgewählt.



Abbildung 7: Darstellung der Lage des für die Abschätzung des Überflutungsrisikos genutzten Baublocks

Die 30 höchsten Gebietsabflüsse¹ des Ist-Zustandes und aller Varianten werden betrachtet und gegenübergestellt. Hohe Gebietsabflüsse korrelieren hierbei mit einer hohen Überflutungswahrscheinlichkeit. Auf diese Weise können Aussagen hinsichtlich des Überflutungsrisikos, stellvertretend für das gesamte Untersuchungsgebiet, abgeleitet werden.

Folgende Anteile der versiegelten Flächen können durch potenzielle Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen² im Baublock 412005 bewirtschaftet werden:

- Errichtung von Gründächern (V1): 33,1 %
- Versickerung mit Mulden (V2): 29,9 %
- Versickerung mit Rigolen (V3): 3,6 %
- Mixszenario (V4): 51,1 %.

¹ Vergleich der Abflussspitzen und der Abflussvolumina

² Anteil an bewirtschaftbaren Dachflächen + versiegelte Flächen, ohne öffentlichen Straßenraum

4 Ergebnisse

Die Ergebnisse der Simulation des Ist-Zustandes sowie der verschiedenen Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen werden in diesem Kapitel dargestellt.

4.1 Wasserbilanzen nach Teileinzugsgebieten des Sielnetzes

In diesem Abschnitt werden die langjährigen mittleren Wasserbilanzen der verschiedenen Varianten (V0) bis (V1) auf Ebene der Teileinzugsgebiete des Sielnetzes gegenübergestellt. Bei der Auswertung wird der öffentliche Straßenraum nicht einbezogen, da hier keine Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen erfolgten und somit die Ergebnisse in allen Varianten gleich sind.

4.1.1 Ist-Zustand (V0)

Die mittlere jährliche Wasserbilanz des Ist-Zustandes für die einzelnen Teileinzugsgebiete des Sielnetzes wird in Abbildung 8 dargestellt.

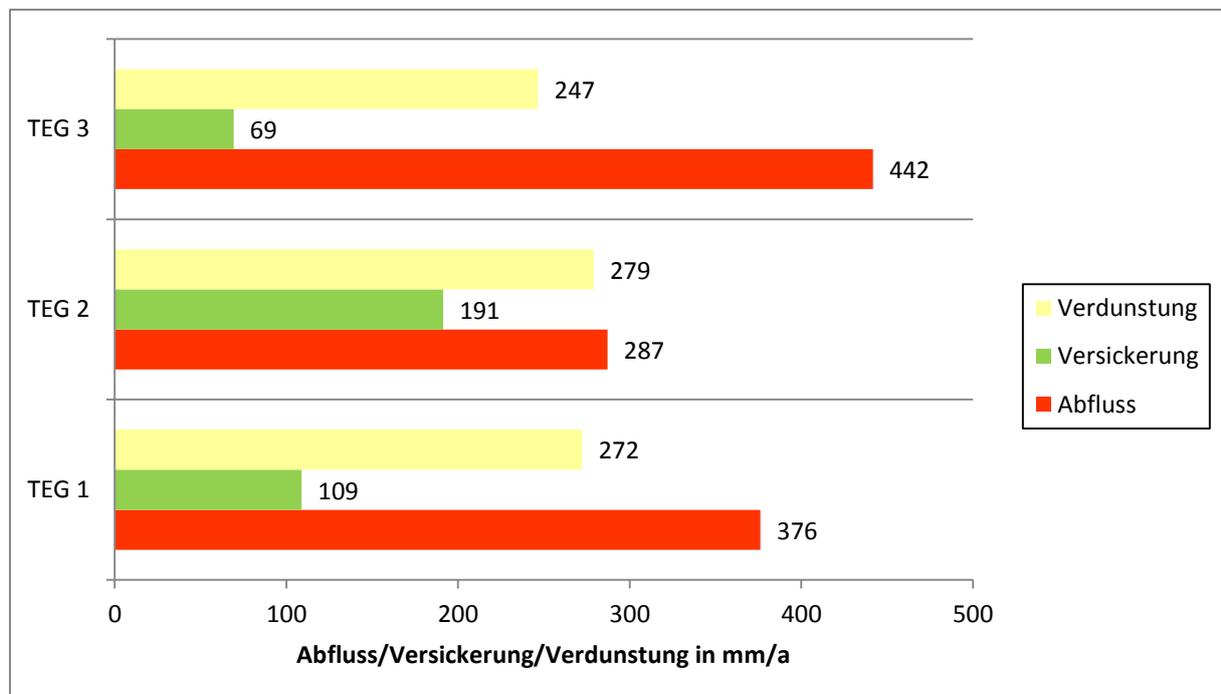


Abbildung 8: Mittlere jährliche Wasserbilanz der Teileinzugsgebiete des Sielnetzes im Ist-Zustand (V0), ohne öffentlichen Straßenraum

Es wird deutlich, dass die Wasserbilanz in den Teileinzugsgebieten des Sielnetzes maßgeblich von dem mittleren jährlichen Abfluss geprägt ist. Gleichzeitig ist zu sehen, dass die Verdunstung relativ hoch liegt und der Anteil der Versickerung relativ niedrig ist. Tabelle 1 zeigt die prozentualen Anteile der Komponenten an der mittleren langjährigen Wasserbilanz.



Tabelle 1: Prozentuale Anteile von Abfluss, Versickerung und Verdunstung der Teileinzugsgebiete des Sielnetzes im Ist-Zustand (V0), ohne öffentliche Straßenflächen

Teileinzugsgebiete Sielnetz	Abfluss	Versickerung	Verdunstung
TEG 1	50%	14%	36%
TEG 2	38%	25%	37%
TEG 3	58%	9%	33%

Der relativ niedrige Anteil von privaten Grünflächen im TEG 3 im Vergleich zu den anderen Teileinzugsgebieten des Sielnetzes schlägt sich in einem höheren mittleren jährlichen Abfluss nieder. Das TEG 2 zeigt mit seinem hohen Grünflächenanteil das gegenteilige Ergebnis. Der Versickerungsanteil an der Wasserbilanz verhält sich proportional zur Größe der privaten Grünflächen und ist im TEG 2 deutlich höher als im TEG 3. Das TEG 1 liegt sowohl bei Abfluss als auch bei der Versickerung zwischen TEG 2 und 3. Die Verdunstung ist in allen TEGs ähnlich, nur beim TEG 3 liegt sie geringfügig um 3 Prozentpunkte niedriger.

4.1.2 Errichtung von Gründächern (V1) vs. Ist-Zustand (V0)

Die mittlere jährliche Wasserbilanz der Variante „Errichtung von Gründächern (V1)“ im Vergleich zum Ist-Zustand (V0) wird für die einzelnen Teileinzugsgebiete des Sielnetzes in Abbildung 9 dargestellt.

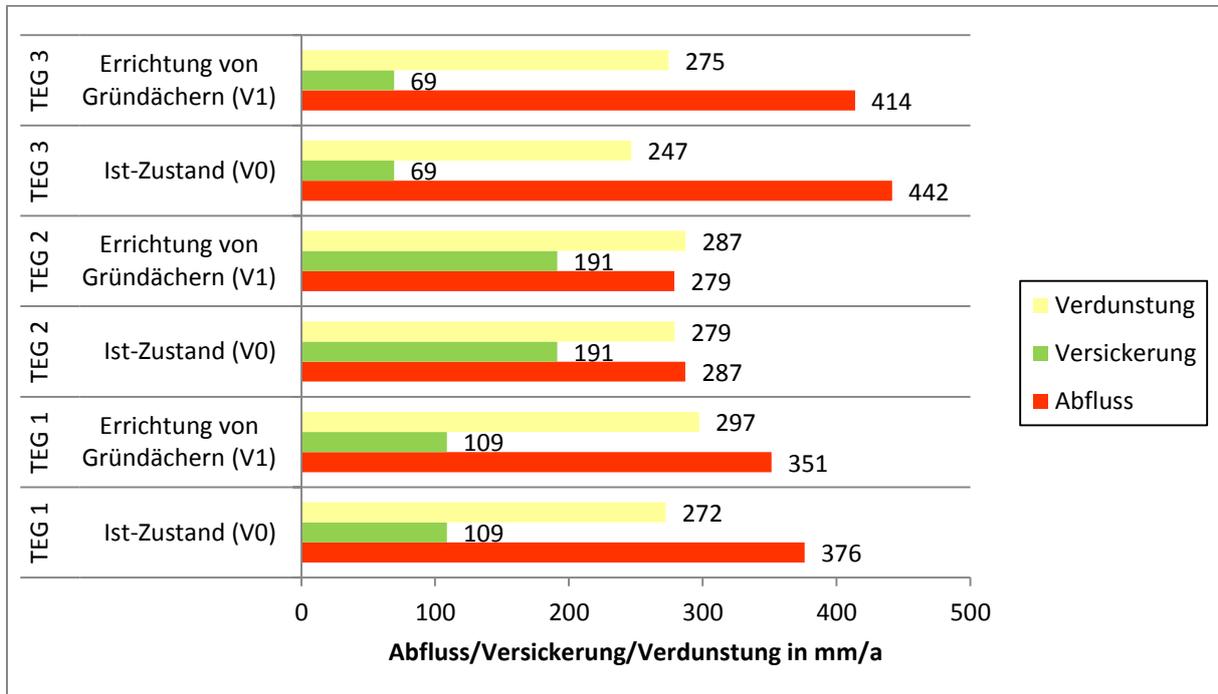


Abbildung 9: Mittlere jährliche Wasserbilanz der Teileinzugsgebiete der Variante Errichtung von Gründächern (V1) im Vergleich zum Ist-Zustand (V0), ohne öffentlichen Straßenraum

Die Errichtung von Gründächern als Leichtdach mit 5 cm Substrathöhe führt in allen TEGs zu einer geringen Senkung des Oberflächenabflusses und einer gleichzeitigen Erhöhung der Verdunstung. Die Senkung respektive Erhöhung in Bezug auf die Gesamtwasserbilanz liegt in den TEGs 1 und 3 mit ca.



- 4 % bzw. + 4 % vor (siehe Tabelle 2). Das TEG 2 besitzt nur einen geringen Anteil an Dächern, die ein Gründachpotenzial haben (siehe Abschnitt 3.2.2) was sich in der geringfügigen Änderung des Abflusses bzw. der Verdunstung zeigt.

Tabelle 2 zeigt die relativen Änderungen in der Wasserbilanz der einzelnen Teileinzugsgebiete des Sielnetzes im Vergleich zum Ist-Zustand (V0).

Tabelle 2: Relative Änderung der Wasserbilanzkomponenten durch die Errichtung von Gründächern (V1) in Verhältnis zum Ist-Zustand (V0), ohne öffentlichen Straßenraum

Teileinzugsgebiete Sielnetz	Abfluss	Versickerung	Verdunstung
TEG 1	-3,3%	0,0%	3,3%
TEG 2	-1,1%	0,0%	1,1%
TEG 3	-3,7%	0,0%	3,7%

4.1.3 Bewirtschaftung mit Mulden (V2) vs. Ist- Zustand (V0)

Die mittlere jährliche Wasserbilanz der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung mit Mulden (V2) im Vergleich zum Ist-Zustand (V0) wird für die einzelnen Teileinzugsgebiete des Sielnetzes in Abbildung 10 dargestellt.

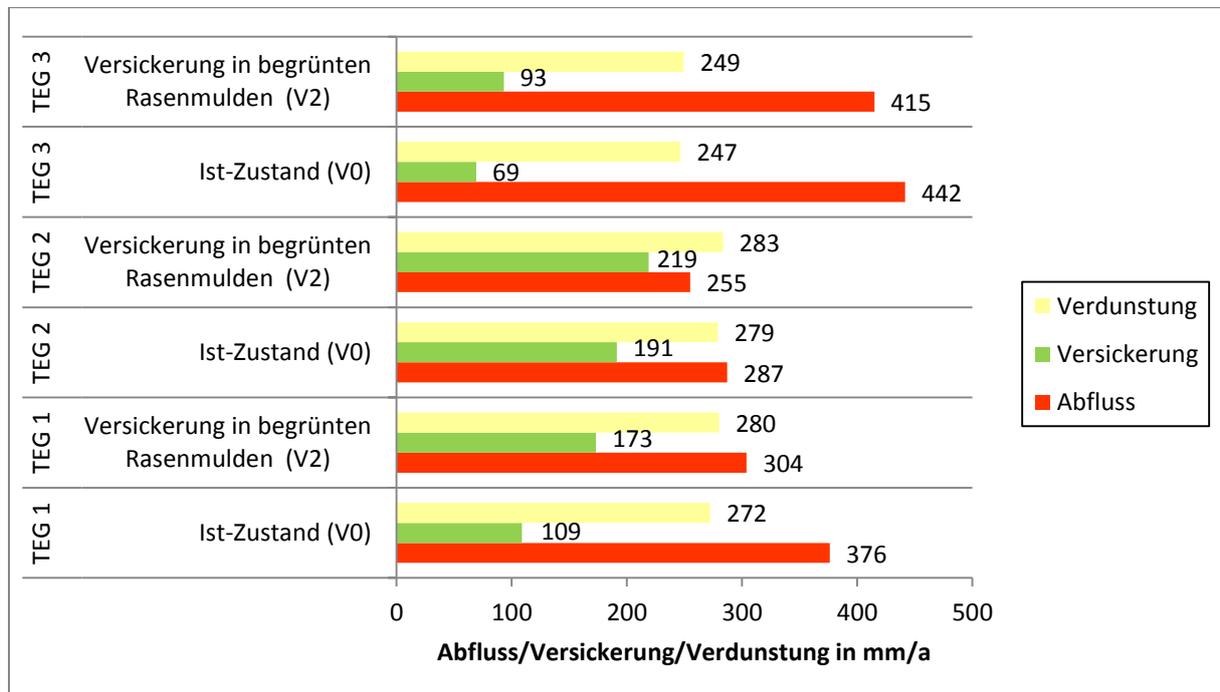


Abbildung 10: Mittlere jährliche Wasserbilanz der Teileinzugsgebiete der Variante „Dezentrale RW-Bewirtschaftung mit Mulden (V2)“ im Vergleich zum Ist-Zustand (V0), ohne öffentlichen Straßenraum

Die dezentrale RW-Bewirtschaftung mit Mulden führt in allen TEGs zu einer deutlichen Senkung des mittleren jährlichen Oberflächenabflusses (siehe auch Tabelle 3). Diese führt vor allem zu einem



Anstieg der Versickerung. Der Effekt ist vor allem im TEG 2 ausgeprägt, welches den höchsten Anteil an bewirtschaftbarer Fläche im Vergleich mit den anderen TEGs besitzt (siehe Kapitel 3.2.3).

Tabelle 3 zeigt die relativen Änderungen in der Wasserbilanz der Teileinzugsgebiete des Sielnetzes im Vergleich zum Ist-Zustand (V0).

Tabelle 3: Relative Änderung der Wasserbilanzkomponenten der dezentralen RW-Bewirtschaftung mit Mulden (V2) in Verhältnis zum Ist-Zustand (V0), ohne öffentlichen Straßenraum

Teileinzugsgebiete Sielnetz	Abfluss	Versickerung	Verdunstung
TEG 1	-12,4%	9,9%	2,5%
TEG 2	-19,0%	14,9%	4,1%
TEG 3	-9,8%	7,8%	2,0%

Aus Tabelle 3 lässt sich ableiten, dass die Verringerung von 1 m³ Abfluss zu einer Erhöhung der Versickerung um ca. 0,8 m³ und der Verdunstung um ca. 0,2 m³ im jährlichen Mittel führt.

4.1.4 Bewirtschaftung mit Rigolen (V3) vs. Ist- Zustand (V0)

Die mittlere jährliche Wasserbilanz der dezentralen RW-Bewirtschaftung mit Rigolen (V3) im Vergleich zum Ist-Zustand (V0) wird für die einzelnen Teileinzugsgebiete des Sielnetzes in Abbildung 11 dargestellt.

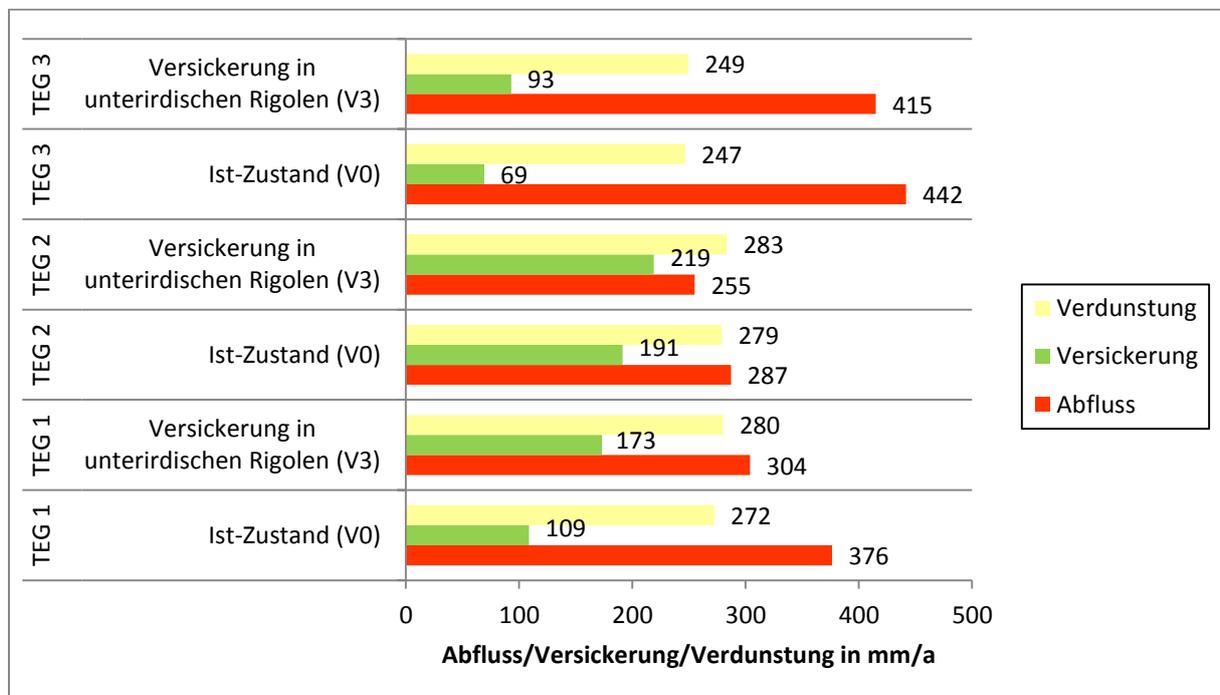


Abbildung 11: Mittlere jährliche Wasserbilanz der Teileinzugsgebiete der dezentralen RW-Bewirtschaftung mit Rigolen (V3) im Vergleich zum Ist-Zustand (V0), ohne öffentlichen Straßenraum

Die dezentrale RW-Bewirtschaftung mit Rigolen führt in allen TEGs zu einer Senkung des mittleren jährlichen Oberflächenabflusses (siehe Tabelle 4). Diese führt analog zur dezentralen RW-Bewirtschaftung mit Mulden vor allem zu einem Anstieg der Versickerung. Der Effekt ist vor allem im TEG 1 ausgeprägt, welches den höchsten Anteil an bewirtschaftbarer Fläche im Vergleich mit den anderen TEGs besitzt (siehe Kapitel 3.2.4).

Die Tabelle 4 zeigt die relativen Änderungen in der Wasserbilanz der Teileinzugsgebiete des Sielnetzes im Vergleich zum Ist-Zustand (V0).

Tabelle 4: Relative Änderung der Wasserbilanzkomponenten in der dezentralen Bewirtschaftung mit Rigolen (V3) in Verhältnis zum Ist-Zustand (V0), ohne öffentlichen Straßenraum

Teileinzugsgebiete Sielnetz	Abfluss	Versickerung	Verdunstung
TEG 1	-9,5%	8,5%	1,0%
TEG 2	-4,2%	3,6%	0,6%
TEG 3	-3,5%	3,2%	0,3%

Aus Tabelle 4 lässt sich ableiten, dass die Verringerung von 1 m³ Abfluss zu einer Erhöhung der Versickerung um ca. 0,88 m³ und der Verdunstung um ca. 0,12 m³ im jährlichen Mittel führt.

4.1.5 Mixszenario (V4) vs. Ist-Zustand (V4)

Die mittlere jährliche Wasserbilanz der Variante Mixszenario (V4) im Vergleich zum Ist-Zustand (V0) wird für die einzelnen Teileinzugsgebiete des Sielnetzes in Abbildung 12 dargestellt.

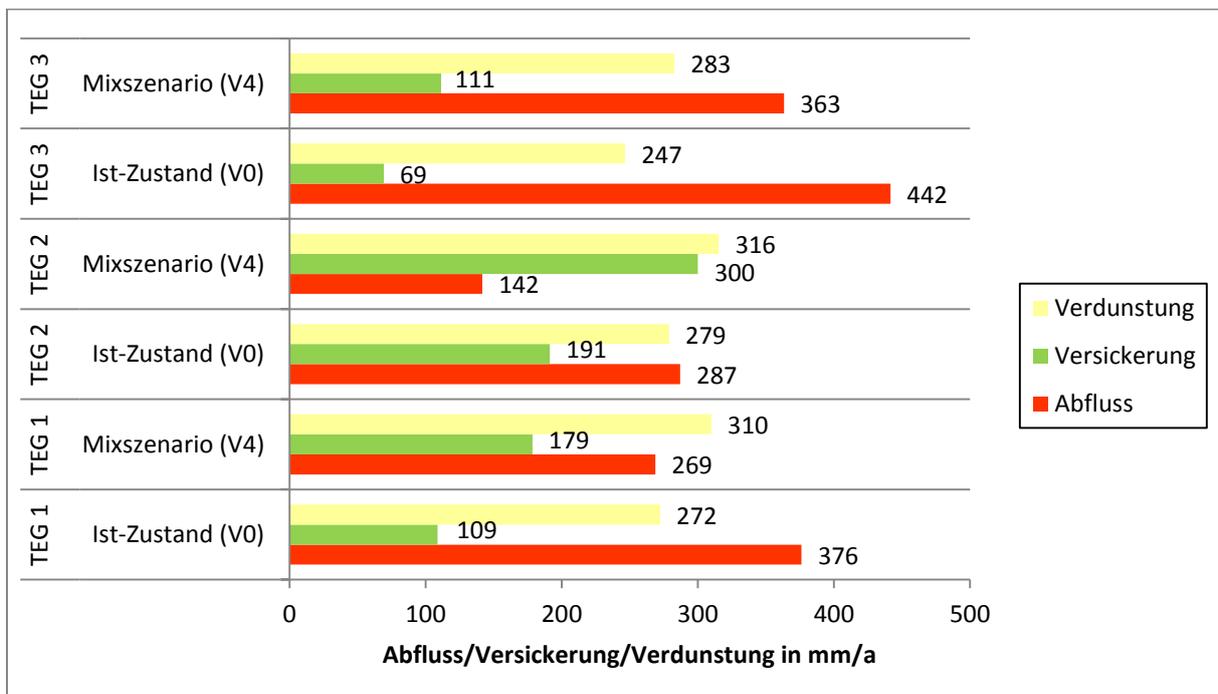


Abbildung 12: Mittlere jährliche Wasserbilanz der Teileinzugsgebiete des Sielnetzes der Variante Mixszenario (V4) im Vergleich zum Ist-Zustand (V0), ohne öffentlichen Straßenraum



Die Maßnahmen im Mixszenario führen in allen TEGs zu einer deutlichen Senkung des mittleren jährlichen Oberflächenabflusses (siehe Tabelle 5). Diese führt analog zur Bewirtschaftung mit Mulden und Rigolen vor allem zu einem Anstieg der Versickerung. Der Effekt ist vor allem im TEG 2 ausgeprägt, welches von einem hohen Ausbau von Gründächern und einem mittleren Bewirtschaftungsgrad mit Mulden im Vergleich zu den anderen TEGs profitiert.

Tabelle 5 zeigt die relativen Änderungen in der Wasserbilanz der Teileinzugsgebiete des Sielnetzes im Vergleich zum Ist-Zustand (V0).

Tabelle 5: Relative Änderung der Wasserbilanzkomponenten der Variante Mixszenario (V4) in Verhältnis zum Ist-Zustand (V0), ohne öffentlichen Straßenraum

Teileinzugsgebiete Sielnetz	Abfluss	Versickerung	Verdunstung
TEG 1	-14,2%	9,2%	5,0%
TEG 2	-19,2%	14,4%	4,8%
TEG 3	-10,3%	5,6%	4,7%

Aus Tabelle 5 lässt sich ableiten, dass die Verringerung von 1 m³ Abfluss zu einer Erhöhung der Versickerung um ca. 0,6 m³ und der Verdunstung um ca. 0,4 m³ im jährlichen Mittel führt. Die Anteile weichen in den einzelnen Teileinzugsgebieten des Sielnetzes von diesen Mittelwerten ab.

4.2 Wasserbilanz nach Baublöcken

In diesem Kapitel werden die detaillierten Ergebnisse der Bewirtschaftungsmaßnahmen der Varianten V1 bis V3 im Verhältnis zum Ist-Zustand (V0) für die Baublockebene, verschnitten mit den Teileinzugsgebieten des Sielnetzes (siehe Abbildung 13) dargestellt. Aus Gründen der Übersicht werden nur einzelne Ergebniskarten aufgezeigt. Die vollständige Sammlung ist dem Anhang zu entnehmen.



Abbildung 13: Lage der Baublöcke

4.2.1 Änderung des mittleren jährlichen Oberflächenabflusses

Abbildung 14 zeigt die Senkungen des mittleren jährlichen Oberflächenabflusses in den Baublöcken, welche durch eine Bewirtschaftung mit Rigolen (V3) gemäß dem vorliegenden Potenzial zur unterirdischen Versickerung erreicht werden kann.

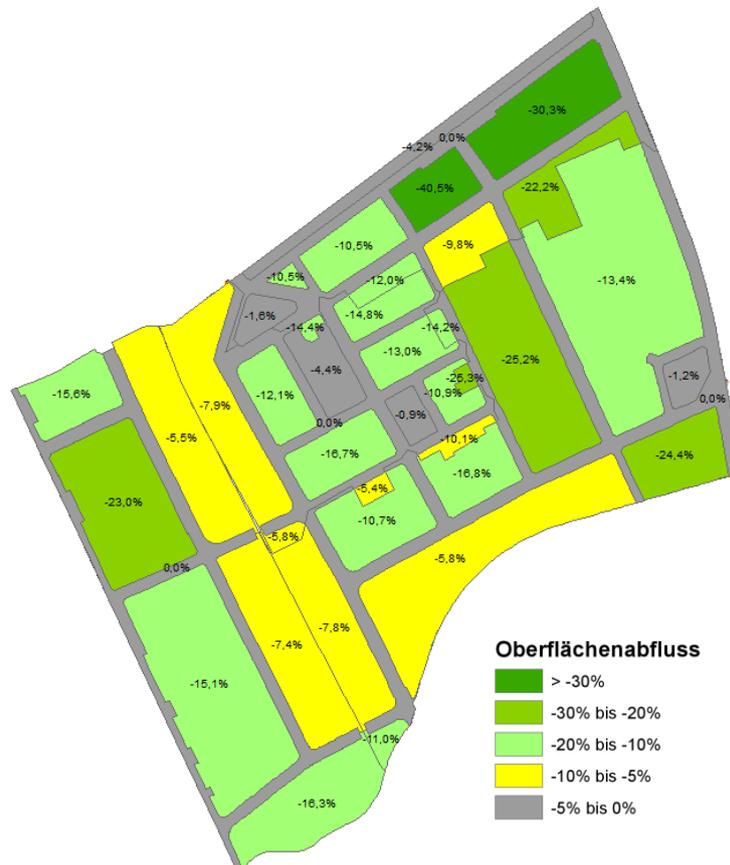


Abbildung 14: Auswirkung der Bewirtschaftung mit Mix-Variante (V4) auf den mittleren jährlichen Oberflächenabfluss im Verhältnis zum Ist-Zustand (V0), nach Baublöcken aufgeschlüsselt

Die Ergebnisse der Bewirtschaftung mit der Mix-Variante zeigen, dass der Anteil des Oberflächenabflusses an der mittleren jährlichen Wasserbilanz z.T. deutlich gesenkt werden kann.

Eine gute Senkung des Oberflächenabflusses zeigte auch die dezentrale Bewirtschaftung mit Mulden (V2) (siehe Anhang). Das Szenario mit Rigolen (V3) zeigt eine deutlich geringe Senkung des Oberflächenabflusses, welche dem Ergebnis der Bewirtschaftung mit Mulden ähnelt. Den geringsten Einfluss hat die Errichtung von Gründächern (V1).

4.2.2 Änderung der mittleren jährlichen Versickerung

Abbildung 15 zeigt die Erhöhungen der mittleren jährlichen Versickerung in den Baublöcken, welche durch eine Bewirtschaftung mit Mulden (V2) gemäß dem vorliegenden Potenzial zur oberirdischen Versickerung erreicht werden kann.

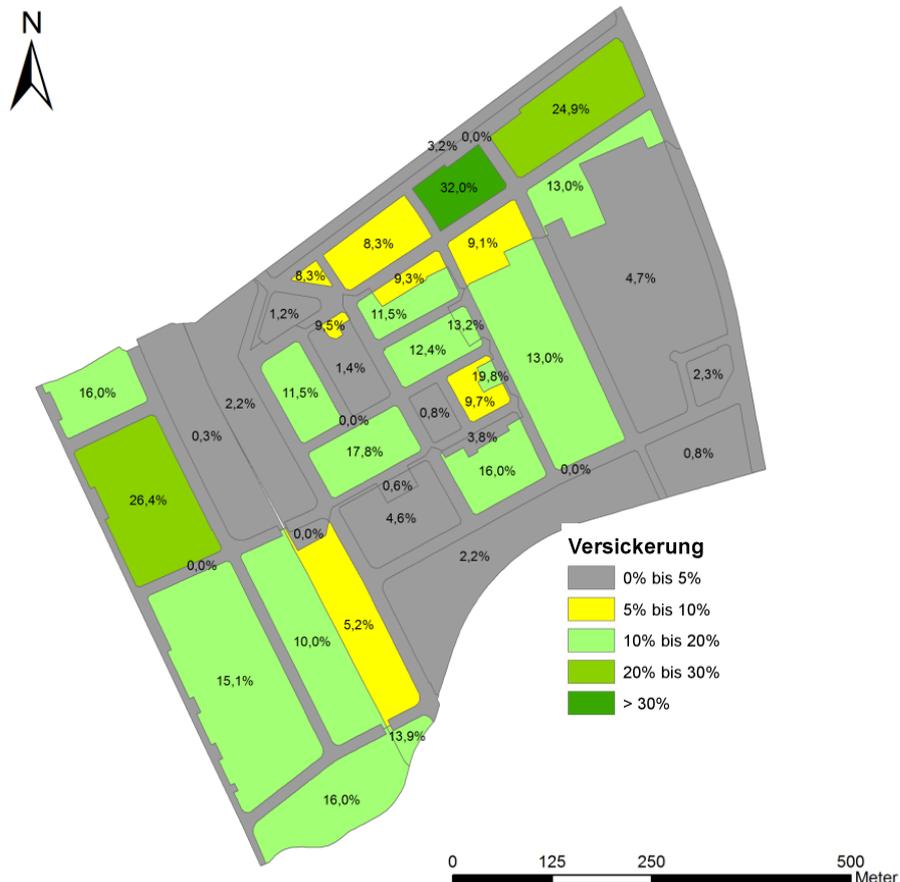


Abbildung 15: Auswirkung der Bewirtschaftung mit Mulden (V2) auf die mittlere jährliche Versickerung im Verhältnis zum Ist-Zustand (V0), nach Baublöcken aufgeschlüsselt

Die Ergebnisse der Bewirtschaftung mit Mulden (V2) zeigen, dass der Anteil der Versickerung an der mittleren jährlichen Wasserbilanz z.T. deutlich und großflächig erhöht werden kann.

Einen geringeren Einfluss zeigte die Regenwasserbewirtschaftung mit Rigolen (V3), analog zur Senkung des mittleren jährlichen Oberflächenabflusses. Gründächer dagegen haben keinen Versickerungsanteil und verhalten sich dazu neutral. Die Variante Mixszenario (V4) zeigt eine Erhöhung der Versickerung, die in weiten Teilen der Bewirtschaftung mit Mulden ähnelt.

4.2.3 Änderung der mittleren jährlichen Verdunstung

Abbildung 16 zeigt die Erhöhungen der mittleren jährlichen Verdunstung in den Baublöcken, welche durch das Mixszenario (V4) gemäß dem vorliegenden Potenzial zur Ausbildung von Gründächern und der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung durch Mulden und Rigolen erreicht werden kann.

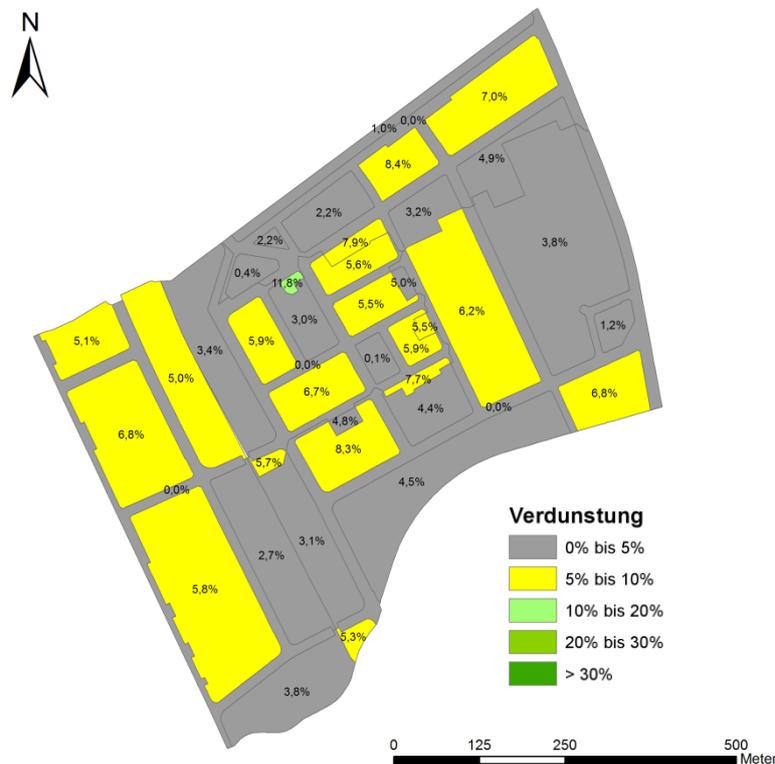


Abbildung 16: Auswirkung der Mixszenarios (V4) auf die mittlere jährliche Verdunstung im Verhältnis zum Ist-Zustand (V0), nach Baublöcken aufgeschlüsselt

Der Anteil der Verdunstung an der mittleren jährlichen Wasserbilanz kann bei der Verwendung von extensiven Gründächern als Leichtdach mit 5 cm Substrathöhe (ohne Dauereinstau) und der Bewirtschaftung mit Mulden und Rigolen breitflächig erhöht werden.

Die Ergebnisse der Ausbildung von Gründächern in der Variante V1 zeigen, dass die Verdunstung mit extensiven Gründächern etwas niedrigere Ergebnisse als das Mixszenario erreicht. Die Bewirtschaftung mit Mulden (V2) und Rigolen (V3) zeigt etwas niedrigere Effekte auf die Verdunstung, wobei die Bewirtschaftung mit Rigolen erwartungsgemäß den geringsten Einfluss zeigt.

4.3 Abschätzung der Wirkung unterschiedlicher extensiver Gründachaufbauten auf die Wasserbilanz (V_Gründach)

Die mittlere jährliche Wasserbilanz von drei verschiedenen extensiven Gründachaufbauten und einem Flachdach wird in Abbildung 17 dargestellt.

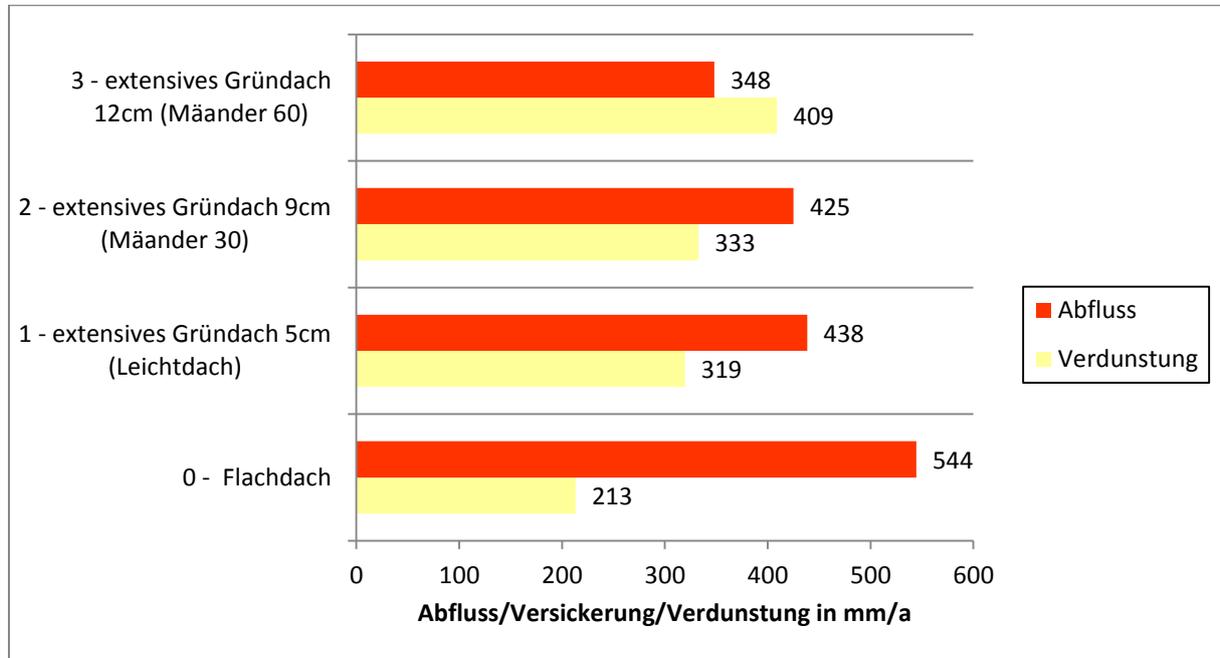


Abbildung 17: Wirkung unterschiedlicher Gründächer auf die mittlere langjährige Wasserbilanz

Die Ergebnisse verdeutlichen, dass bereits der Einsatz eines Gründaches mit einem sehr geringen Aufbau (Leichtdach) zu einer deutliche Reduktion des mittleren jährlichen Abflusses führt und die Verdunstung um diesen Wert erhöht. Beim Einsatz vom Gründach „Mäander 30“ mit temporärem Einstau sinkt der Abfluss respektive erhöht sich die Verdunstung nur geringfügig im Vergleich zum „Leichtdach“. Dies ist darauf zurückzuführen, dass der Unterschied zwischen beiden Dächern in einer Substratstärke von 1 cm (6 cm vs. 5 cm) liegt und „Mäander 30“ eine Drainschicht von 3 cm besitzt. Die Wasserverfügbarkeit ist in beiden Dächern ähnlich, da sich die Drainschicht von „Mäander 30“ nach einem Niederschlagsereignis relativ schnell entleert und keinen Dauereinstau besitzt. Dieser für die erhöhte Wasserverfügbarkeit und somit für eine erhöhte Verdunstung notwendige Dauereinstau liegt beim Gründach „Mäander 60“ vor und führt hier zu einer deutlich höheren Verdunstung.

Tabelle 6 zeigt den relativen Anteil von Abfluss und Verdunstung an der mittleren langjährigen Wasserbilanz für die verschiedenen Dachtypen.

Tabelle 6: Darstellung des relativen Anteils von Abfluss und Verdunstung verschiedener Gründächer und des Flachdachs an der mittleren langjährigen Wasserbilanz

Dach	Abfluss	Verdunstung
Flachdach	28%	72%
Extensives Gründach 5 cm (Leichtdach)	42%	58%
Extensives Gründach 9 cm (Mäander 30)	44%	56%
Extensives Gründach 12 cm (Mäander 60)	54%	46%

4.4 Abschätzung der Wirkung von Bäumen, bepflanzte Tiefbeete und Baumrigolen im öffentlichen Straßenraum auf die Wasserbilanz (V_Straße)

Die mittlere jährliche Wasserbilanz eines baumlosen Straßenabschnitts (Mühlenkamp, südlicher Abschnitt) im Vergleich zu einem bepflanzten Straßenbereich wird in Abbildung 18 dargestellt. Die betrachteten Varianten hierbei sind: mit Bäumen (80 %-iger Überdeckungsgrad), Entwässerung über abflusslose bepflanzte Tiefbeete (bepflanzte mit Sträuchern), abflusslose Baumrigolen mit Versickerung sowie Baumrigolen mit Drosselabfluss.

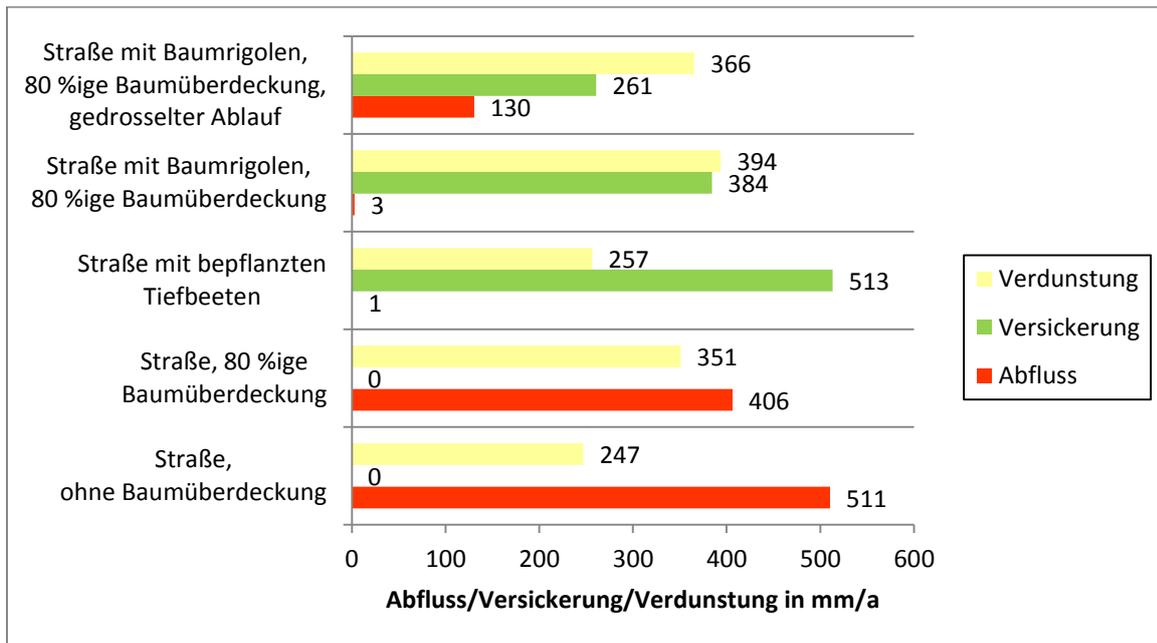


Abbildung 18: Wirkung von Bäumen, bepflanzten Tiefbeeten und Baumrigolen auf die mittlere jährliche Wasserbilanz vom öffentlichen Straßenraum

Der mittlere jährliche Oberflächenabfluss vom öffentlichen Straßenraum wird bereits durch den Interzeptionseffekt einer dichten Baumbegrünung deutlich gesenkt und die Verdunstung entsprechend erhöht (vgl. „Straße, 80 %-ige Baumüberdeckung“ vs. „Straße, ohne Baumüberdeckung“). Bei einer Straße ohne Bäume, die über bepflanzte Tiefbeete entwässert wird, erhöht sich der Verdunstungsanteil geringfügig, jedoch wird nahezu sämtlicher Oberflächenabfluss versickert. Bei der Nutzung von Baumrigolen bleibt der Oberflächenabfluss ebenfalls sehr niedrig. Der Dauerwassereinstau, welcher die Wasserversorgung der Bäume erheblich verbessert, führt jedoch zu einer etwas geringeren Versickerungsleistung als bei den bepflanzten Tiefbeeten. Wird die Baumrigole mit Drosselung ausgeführt ergibt sich zur vorhergehenden Variante ein Abfluss und der Versickerungsanteil wird verringert. Würde man den Bereich der Baumrigole komplett dichten, d.h. die Versickerung ausschließen, würde das versickernde Wasser komplett zum Abfluss kommen.

Tabelle 7 zeigt den relativen Anteil von Abfluss, Versickerung und Verdunstung an der mittleren langjährigen Wasserbilanz unterschiedlicher Straßenentwässerungen.



Tabelle 7: Darstellung des relativen Anteils von Abfluss, Versickerung und Verdunstung verschiedener Straßenentwässerungen an der mittleren langjährigen Wasserbilanz

Maßnahme	Abfluss	Versickerung	Verdunstung
Straße, ohne Baumüberdeckung	67 %	0 %	33 %
Straße, 80 %-ige Baumüberdeckung	54 %	0 %	46 %
Straße mit bepflanzten Tiefbeeten	0,1%	67 %	33 %
Straße mit Baumrigolen, 80 %-ige Baumüberdeckung	0,4%	49 %	51 %
Straße mit Baumrigolen, gedrosselter Ablauf, 80 %-ige Baumüberdeckung	17 %	35 %	48 %
Straße mit Baumrigolen (gedichtet), gedrosselter Ablauf, 80 %-ige Baumüberdeckung	52 %	0 %	48 %

4.5 Gesamtwasserbilanzen

Die Wasserbilanzen der Privatflächen des gesamten Untersuchungsgebiets werden in der **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** für die Varianten Ist-Zustand (V0) bis Mixszenario (V4) dargestellt. Hier ist der öffentliche Straßenraum nicht enthalten.

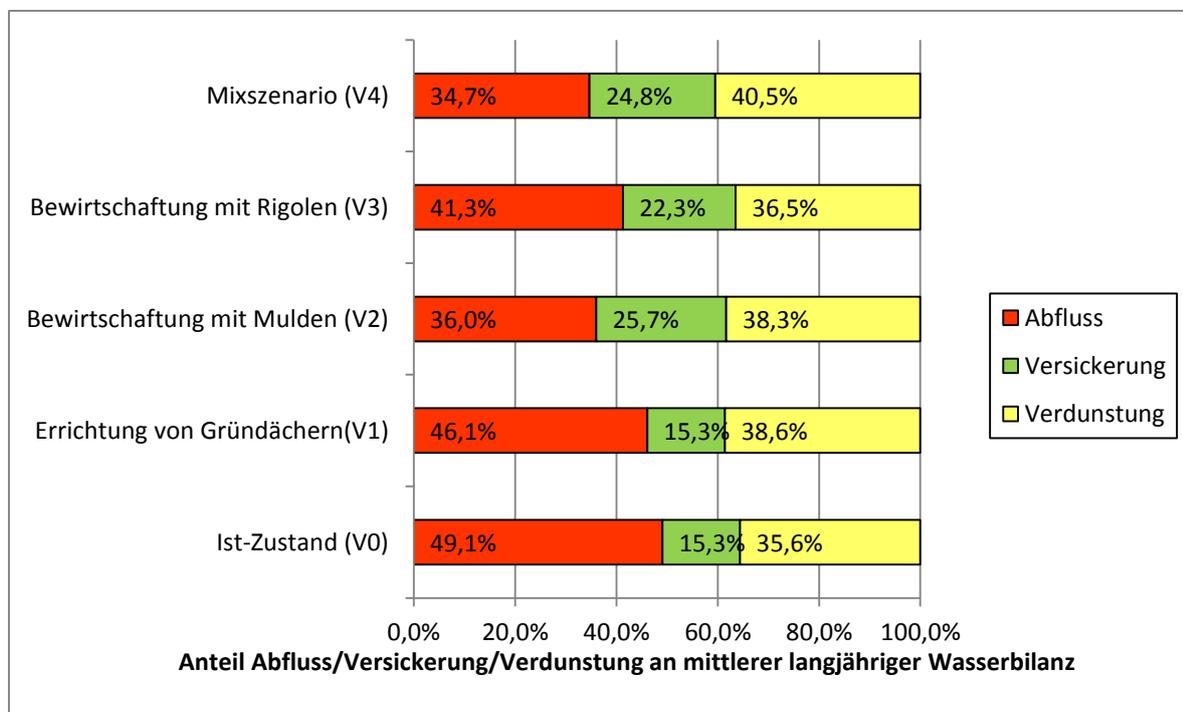


Abbildung 19: Wasserbilanzen der Varianten für das Gesamtgebiet (ohne Straßenraum)

Die Modellergebnisse aus der Langzeitsimulation der verschiedenen Varianten zeigen, dass sich durch Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen eine deutliche Verbesserung der städtisch geprägten Wasserbilanz erzielen ließe. Die Wirkungen sind für die einzelnen Maßnahmen unterschiedlich. In der

Variante Mixszenario (V4) ergibt sich eine ausgewogene Maßnahmenwirkung hinsichtlich Versickerung und Verdunstung.

In der Variante „Mixszenario (V4)“ wurde berechnet, welche Auswirkung die Bewirtschaftung geeigneter Flächen mit nur einer der möglichen Maßnahmen auf die Wasserbilanz hat. Aus der weiteren Verknüpfung der Maßnahmen sind jedoch noch erhebliche Synergieeffekte zu erwarten. Beispielweise könnte der gedrosselte Ablauf eines Gründachs in eine Mulde oder Rigole fließen, wodurch das Volumen dieser Anlagen deutlich kleiner als bei der Bewirtschaftung eines nicht begrünten Dachs wäre und der vorteilhafte Effekt einer reinen Muldenversickerung auf die Wasserbilanz erhalten bliebe.

Der Vergleich unterschiedlicher extensiver Gründachaufbauten zeigt, dass der Rückhalt und die Verdunstung von Dachflächen bereits durch den Einsatz von einfachen extensiven Gründächern deutlich verbessert werden kann. Eine weitere signifikante Verbesserung wird durch die Verwendung von extensiven Gründächern mit einer größeren Mächtigkeit und vor allem einem Dauerwassereinstau erreicht, der durch sogenannte Retentionsdächer mit gezielter Drosselung noch verbessert werden könnte.

Im nachfolgenden Diagramm werden die Ergebnisse des Gesamtgebiets unter Einbezug des Straßenraums dargestellt. Da dieser zum großen Teil versiegelt ist, verschiebt sich die Wasserbilanz im Gesamtbild leicht hin zu mehr Abfluss (Straßen). Allerdings ist auch die Verdunstung durch eine weitestgehend hohe Dichte an Straßenbäumen erkennbar. Beides geht zu Lasten der Versickerung.

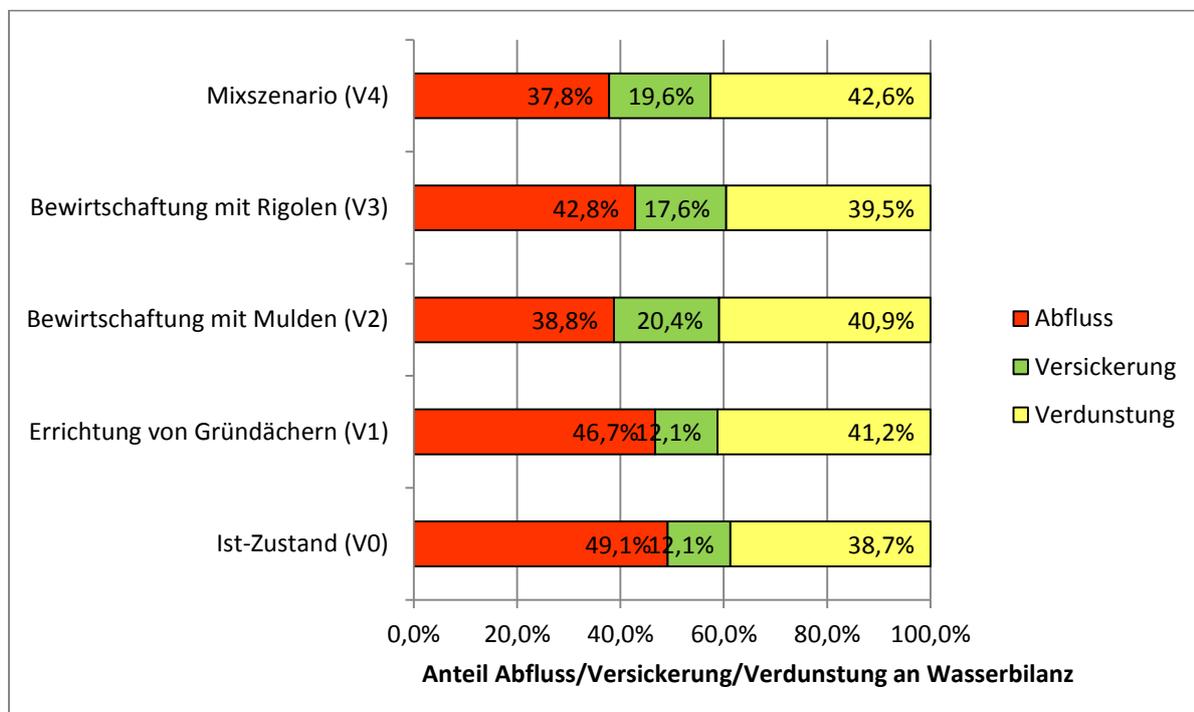


Abbildung 20: Wasserbilanzen der Varianten für das Gesamtgebiet (mit Straßenraum)

Weitergehende Versickerungsmaßnahmen im öffentlichen Straßenraum zeigen sehr vielversprechende Ergebnisse. Der oberflächliche Abfluss lässt sich durch die Verwendung von bepflanzten Tiefbeeten und/oder Baumrigolen auf ein Minimum reduzieren. Hierdurch würden zum einen die Verdunstung

und Versickerung deutlich erhöht und zum anderen die Sielnetze signifikant entlastet. Es zeigt sich auch, dass die Verdunstung in Straßenzügen mit vielen Bäumen deutlich besser ist als ohne. Diese kann auch durch bepflanzte Tiefbeete mit niedriger Vegetation nicht erreicht werden.

4.6 Wirkung von Maßnahmen auf das Überflutungsrisiko

Der Fokus dieser Studie liegt auf der Wirkung von Maßnahmen zur Versickerung, zum Rückhalt und zur Verdunstung von Niederschlagswasser auf die Wasserbilanz. Die Modellergebnisse lassen jedoch auch Rückschlüsse auf ihre Wirkung in Hinsicht auf das Überflutungsrisiko zu. Das Überflutungsrisiko ergibt sich aus Überflutungswahrscheinlichkeit mal potenziellem Schadensausmaß. Wird das gleiche Gebiet in verschiedenen Modellen betrachtet, so ist das potenzielle Schadensausmaß in allen gleich. Aus diesem Grund richtet sich das Augenmerk auf die Unterschiede in der Überflutungswahrscheinlichkeit. Diese ist umso höher, je größer die Spitzenabflüsse und auch je größer die Abflussvolumina sind, die oberflächlich und über das Sielnetz aus dem Gebiet abfließen. Sowohl hohe Spitzenabflüsse als auch hohe Abflussvolumina können zu einer Überlastung des aufnehmenden Sielnetzes führen. Die Ergebnisse beider Bilanzgrößen werden im Folgenden dargestellt.

4.6.1 Wirkung von Gründächern, Mulden und Rigolen

Die 30 größten Spitzenabflüsse des Baublocks 412005 (siehe Kapitel 3.3) werden in Abbildung 21 für den Ist-Zustand und die verschiedenen Maßnahmen dargestellt.

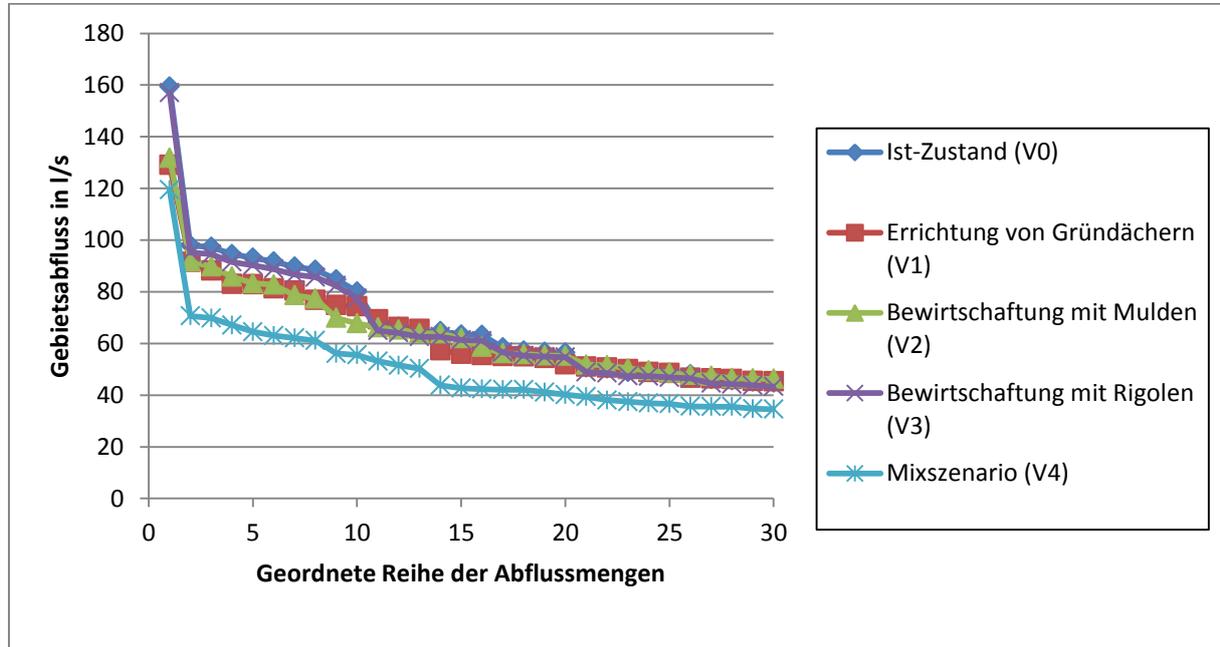


Abbildung 21: Abflussvolumenströme der stärksten Abflussereignisse des Baublocks 412005 für den Ist-Zustand und die verschiedenen Maßnahmen

Es ist deutlich zu erkennen, dass die verschiedenen Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen, mit Ausnahme der Rigole, im Vergleich zum Ist-Zustand eine deutliche Reduktion der Spitzenabflüsse erzeugen. Hierbei ist das Mixszenario bei der Reduktion der höchsten Gebietsabflüsse etwas wirksamer als die Versickerung über Rigolen und die Muldenversickerung. Die Gründächer zeigen

einen etwas geringeren Effekt, senken die Abflussspitzen im Vergleich zu Ist-Zustand jedoch deutlich. Hier könnten gezielt gedrosselte Retentionsgründächer eine bessere Wirkung erzielen. Der Minderungseffekt des Mixszenarios liegt bei den drei höchsten Gebietsabflüssen höher als bei der Versickerung mit Mulden oder Rigolen bzw. der Erstellung von Gründächern.

Die größten Abflussvolumina des Baublocks 412005 werden in Abbildung 22 für den Ist-Zustand und die verschiedenen Maßnahmen dargestellt.

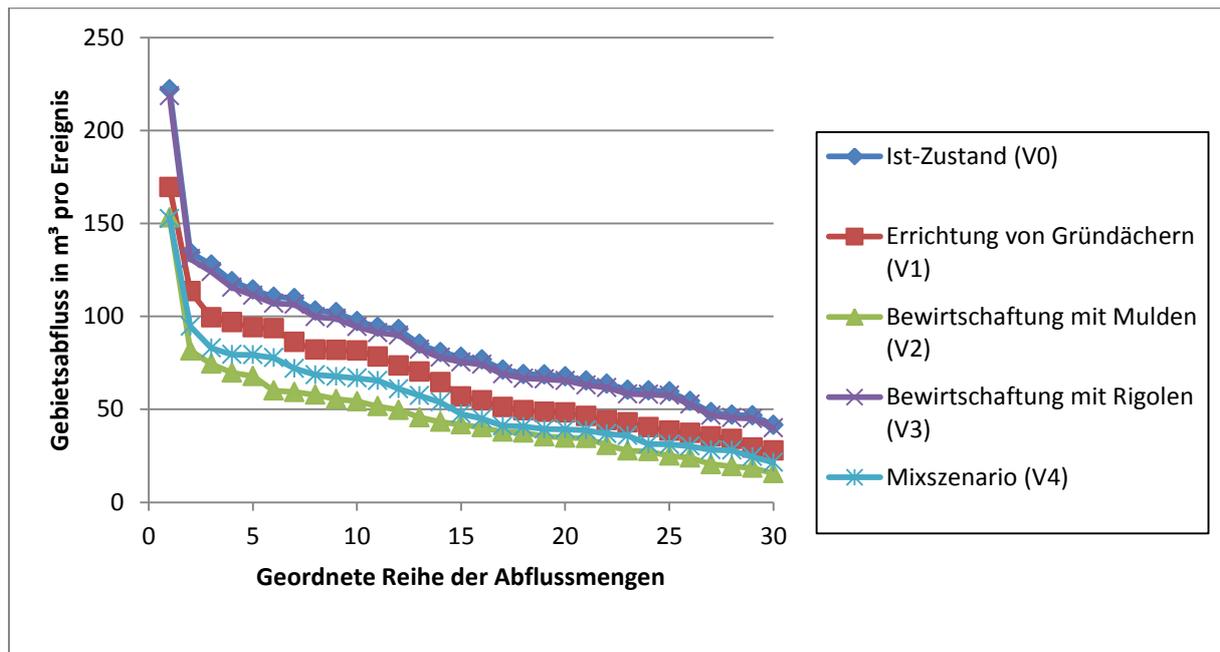


Abbildung 22: Abflussvolumina der stärksten Abflussereignisse des Baublocks 412005 für die verschiedenen Bewirtschaftungsmaßnahmen

Es ist deutlich zu erkennen, dass die Bewirtschaftung mit Mulden oder Mixszenario eine deutliche Reduktion der Abflussvolumina erzeugen. Der Bau von Gründächern alleine führt, anders als bei den Spitzenabflüssen, nicht zu einer deutlichen Reduktion der Abflussvolumina. Am schlechtesten schneidet das Szenario mit Rigolen ab, das einen deutlich geringeren Einfluss als die Bewirtschaftung in den anderen Szenarien hat.

Das stärkste Regenereignis führt im Fall der Bewirtschaftung mit dezentralen Maßnahmen zu deutlich erhöhten Abflussvolumina im Vergleich zu den restlichen Ereignissen. Dies ist auf die begrenzte Aufnahmekapazität der zugrunde gelegten Mulden- und Rigolen zurückzuführen, die auf ein 5-jährliches Niederschlagsereignis dimensioniert sind.

4.6.2 Wirkung unterschiedlicher extensiver Gründachaufbauten

Die Wirkung unterschiedlicher Dachaufbauten auf die Abflussspitzen und Abflussvolumina eines extremen Niederschlagsereignisses (47 mm in 70 min, 26.8.1997) werden in Abbildung 23 dargestellt. Dieses Ereignis ist hinsichtlich Dauer und Niederschlagsmenge dem Starkregenereignis vom 06.06.2011 sehr ähnlich. Dieses führte im Quartier Winterhude-Süd zu lokalen Überflutungen, war aber nur kleinzellig und wurde an der für diese Studie maßgebende Messstation Hamburg-Fuhlsbüttel nicht mit dieser Intensität erfasst.

Das Beispiel bezieht sich auf vier jeweils 1000 m² große Dachflächen, analog zu der Wasserbilanzberechnung im Abschnitt 4.3.

Zu sehen ist, dass bereits das einfachste extensive Gründach (Leichtdach) zu einer deutlichen Minderung des Spitzenabflusses beiträgt. Die Verwendung eines extensiven Gründaches mit einer geringfügig größeren Vegetationsschicht und einer zusätzlichen Drainschicht (Mäander 30) führt bereits dazu, dass die Abflussspitzen in diesem Beispiel auf einen einstelligen Bereich reduziert werden. Hierdurch würde das Sielnetz deutlich entlastet werden. Der Effekt kann durch eine erhöhte Rückhaltung (Mäander 60) noch verstärkt werden.

Abbildung 23 zeigt nicht nur die verzögernde Wirkung der verschiedenen Gründächer auf den Abfluss, sondern auch die deutlich reduzierten Abflussvolumina. Bereits das Leichtdach reduziert das Abflussvolumen um ca. 20 % im Vergleich zum Flachdach mit Bitumenabdichtung. Die als Vergleich verwendeten extensiven Gründachaufbauten „Mäander 30“ und „Mäander 60“ erreichen Reduktionen von ca. 25 % respektive ca. 62 %.

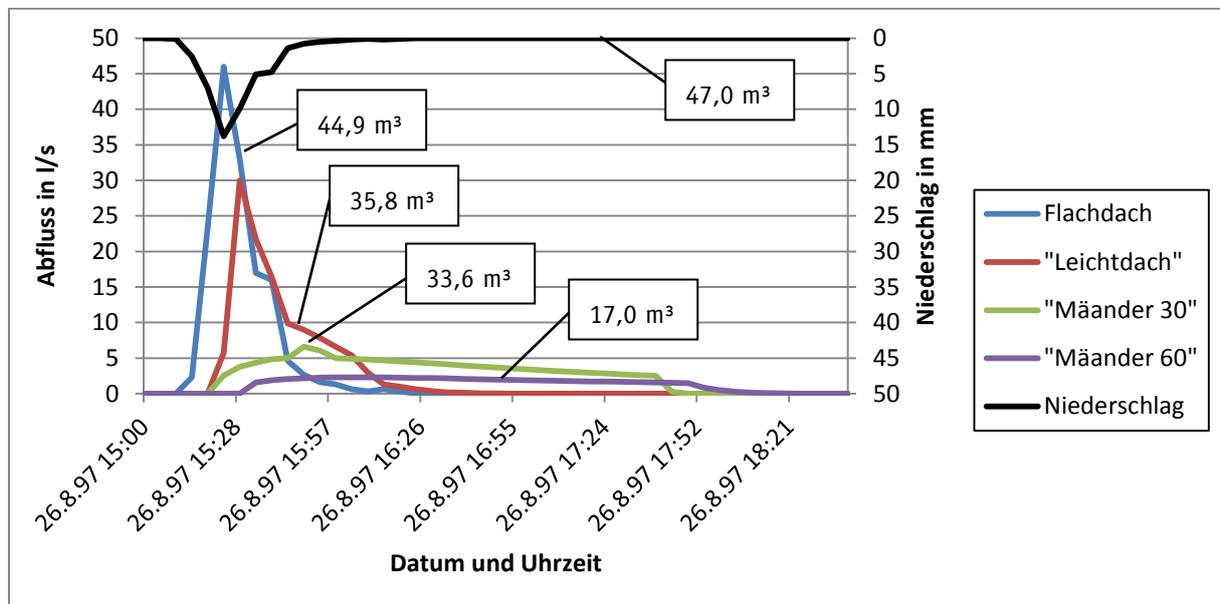


Abbildung 23: Wirkung unterschiedlicher Dächer auf die Abflussspitzen und Abflussvolumina eines extremen Niederschlagsereignisses

Insgesamt zeigen Gründächer ein deutlich besseres Abflussverhalten als konventionelle Flachdächer. Generell gilt, dass eine größere Mächtigkeit und vor allem ein temporärer Einstau diesen Effekt deutlich verstärken. Die Nutzung von Gründächern wird daher generell für eine Reduzierung der Überflutungswahrscheinlichkeit und somit des Überflutungsrisikos empfohlen.

4.6.3 Wirkung von Bäumen, bepflanzten Tiefbeeten und Baumrigolen

Die Wirkung von Bäumen, bepflanzten Tiefbeeten und Baumrigolen auf die Abflussspitzen und Abflussvolumina desselben extremen Niederschlagsereignisses wie unter 4.6.2 (47 mm in 70 min) werden in der Abbildung 24 dargestellt.

Das Beispiel bezieht sich auf denselben, jeweils ca. 3.200 m² großen öffentlichen Straßenraum, analog zu der Wasserbilanzberechnung im Abschnitt 4.4.

Zu sehen ist, dass die Überdeckung des Straßenraums zu 80 % mit Bäumen kaum eine Wirkung auf den Spitzenabfluss im Vergleich zur Straße ohne Baumüberdeckung hat. Der geringe Interzeptionspeicher der Baumkronen ist relativ schnell gefüllt und führt nur zu einer unwesentlichen Verzögerung des Abflusses sowie Senkung des Abflussvolumens (-5 %). Die Entwässerung dieser Straße über bepflanzte Tiefbeeten hingegen führt zu einer wesentlichen Verringerung des Spitzenabflusses und zu einer deutlichen Senkung und zeitlichen Verzögerung des Abfluss- bzw. Überlaufvolumens (-88 %). Die Entwässerung über Baumrigolen zeigt ebenfalls eine deutliche Senkung beider Größen im Vergleich zur Straße mit und ohne Baumüberdeckung (Senkung des Überlaufvolumens um - 82 %).

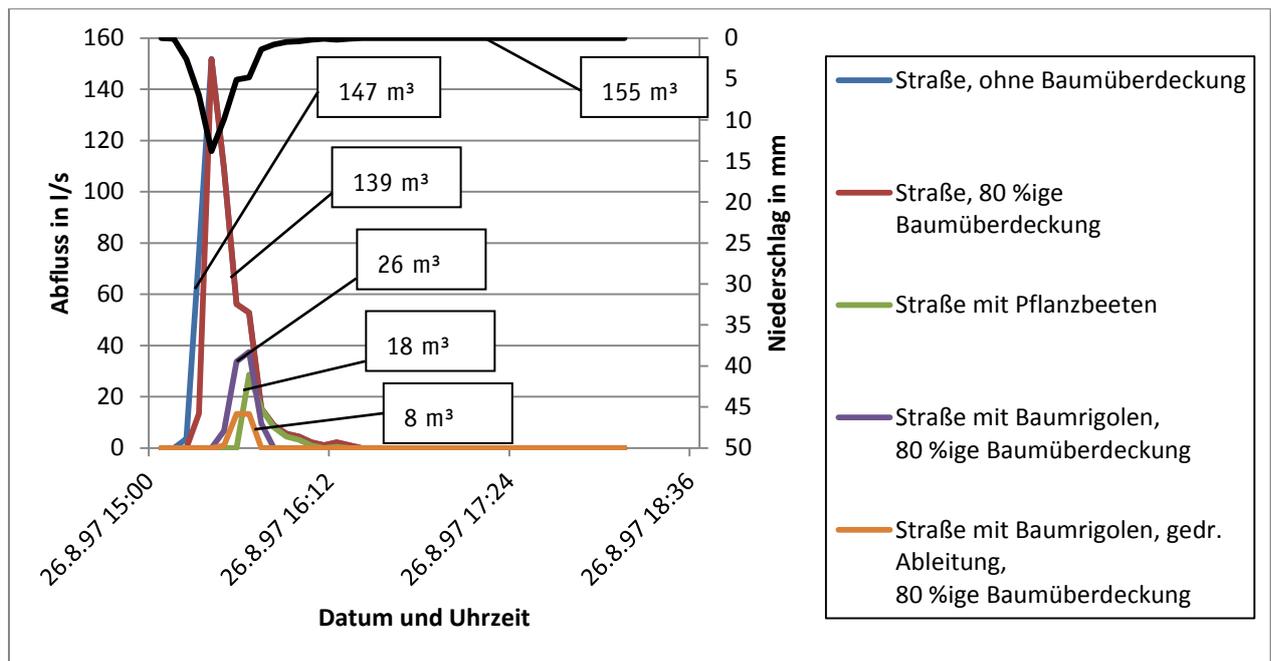


Abbildung 24: Abschätzung der Wirkung von Bäumen, bepflanzten Tiefbeeten und Baumrigolen im öffentlichen Straßenraum auf die Abflussspitzen und Abflussvolumina eines extremen Niederschlagsereignisses

Die dargestellten Ergebnisse für bepflanzte Tiefbeete und Baumrigolen basieren auf vereinfachten Annahmen. Das Abflussverhalten ändert sich in Abhängigkeit von den Rahmenbedingungen und der Dimensionen der Anlagen. Nichtsdestotrotz zeigen die Ergebnisse, dass diese Anlagen als wichtige Bausteine der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung und des Überflutungsschutzes zu sehen sind.



5 Zusammenfassung

In den vorliegenden Untersuchungen und Berechnungen für das Projekt KLIQ wurden Maßnahmen sowohl auf den Privatflächen als auch im öffentlichen Straßenraum auf ihre Wirkung sowohl auf den Wasserhaushalt als auch auf die Abflussspitzenverminderung untersucht. Dazu zählen Infiltration und Verdunstung sowie Abflussmenge und Intensität. Diese Parameter sind relevant sowohl für den Klimaschutz und die Klimaanpassung im städtischen Raum als auch für die Überflutungsvorsorge. Vor dem Hintergrund des prognostizierten Klimawandels mit einer Zunahme der Häufigkeit von Starkniederschlägen und der Anzahl aufeinanderfolgender Trockentage in den Sommermonaten werden angepasste, vorbeugende Maßnahmen notwendig.

Bezüglich der Wasserbilanz bieten die Bewirtschaftungsmaßnahmen mit Versickerung, wie Mulden und Rigolen, einen positiven Beitrag zur Erhöhung der lokalen Versickerungsleistung und zum lokalen Grundwasserhaushalt. Gleichzeitig kann bei der Muldenversickerung auch die Verdunstungsleistung gegenüber dem Abfluß von versiegelten Flächen erhöht werden. Ergänzend dazu dienen die Gründächer insbesondere der Erhöhung der Verdunstung und dem Rückhalt von Niederschlagswasser auf Dachflächen. Diese haben im derzeitigen Zustand keine wasserwirtschaftlich und kleinklimatisch relevante Funktion. Somit kann das Mikroklima mit diesen Maßnahmen positiv beeinflusst werden.

Die Abflussspitzenverringering im Falle von Starkniederschlägen fällt gerade bei Muldenversickerung, Gründächern und dem Mixszenario im Einzugsgebiet mit bis zu 40% sehr deutlich aus. Sie können damit bei weitgehender Umsetzung einen guten Beitrag zur Verringerung des lokalen Überflutungsrisikos bei zukünftig zu erwartenden Starkniederschlägen leisten.

Aus den Ergebnissen kann gefolgert werden, das ein breiter Mix und eine dem Standort angepasste Wahl dezentraler Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen wie Gründächer, Mulden, Rigolen und bepflanzte Tiefbeete bzw. Baumrigolen einen wichtigen Beitrag zur Erreichung der Ziele zur Erreichung der lokalen Wasserbilanz, zum Überflutungsschutz und allgemein zur Reduzierung der Folgen des Klimawandels leisten.



6 ANHANG

Folgende Karten sind dem Anhang beigelegt:

	Kartenummer
Ist-Zustand (V0)	
Oberflächenabfluss, absolut	1.1
Versickerung, absolut	1.2
Verdunstung, absolut	1.3
Errichtung von Gründächern (V1)	
Oberflächenabfluss, relativ zu V0	2.1
Versickerung, relativ zu V0	2.2
Verdunstung, relativ zu V0	2.3
Versickerung mit Mulden (V2)	
Oberflächenabfluss, relativ zu V0	3.1
Versickerung, relativ zu V0	3.2
Verdunstung, relativ zu V0	3.3
Versickerung mit Rigolen (V3)	
Oberflächenabfluss, relativ zu V0	4.1
Versickerung, relativ zu V0	4.2
Verdunstung, relativ zu V0	4.3
Mixszenario (V4)	
Oberflächenabfluss, relativ zu V0	5.1
Versickerung, relativ zu V0	5.2
Verdunstung, relativ zu V0	5.3



Methodik

Aufbereitung der GIS-Daten

Im Folgenden wird die genutzte Methodik für die GIS-Aufbereitung, der gewählten Varianten und der Simulationseinstellungen erklärt.

Für die Aufstellung des hydrologischen Modells war eine Aufbereitung der vorhandenen GIS-Datengrundlagen erforderlich. Hierzu wurden folgende Schritte durchgeführt:

2. Shapefile „Gründachpotential_MK“ als Basisshape genutzt
3. Durch umfangreiche Verschneidung wurde ein Shapefile erstellt, das die verschiedenen Dachflächen „Flachdach“; „Flachdach_Zusatz“³; „intensives Gruendach“; „extensives Gruendach“; „sonstiges Dach“⁴ beinhaltet
4. Verschneidung mit folgenden Shapefiles:
 - a) Liegenschaftseigenschaften (privat/öffentlich)
 - b) Teileinzugsgebiete des Sielnetzes
 - c) Blockflächen (aus digitaler Baublockkarte, keine Verschneidung des öffentlichen Straßenraums)
 - d) Versickerungspotential oberirdisch (AKP)
 - e) Versickerungspotential unterirdisch
 - f) Bodendaten
 - g) Grünflächentypen

Ergebnis: 2720 Dachflächen + 276 Flächen (Grünflächen + versiegelte Flächen + Baustellen)

5. Vorbereitung des öffentlichen Straßenraums: Unterteilung der vorhandenen Straßenflächen in Straßenabschnitte (Input: Verkehrsflächen aus Shapefile „Flächenfunktionen_MK“)

Ergebnis: 66 Straßenabschnitte

6. Berechnung des von Bäumen überdeckten öffentlichen Straßenraums (Input: Straßenabschnitte, Baumstandorte):
 - a) Annahme: Baumkronen haben Durchmesser von 8 m
 - b) Berechnung der zusammenhängenden Baumfläche (keine Überlappung)
 - c) Berechnung der Überdeckung (absolut, relativ)

Ergebnis: 66 Straßenabschnitte mit Überdeckungsgrad

7. Verschneidung der Ergebnisse aus 3. und 5.
 - a) Update/Neuberechnung der Flächen in der Attributtabelle

³ Dächer, die als Gründächer geeignet sind (ohne Flachdächer)

⁴ Dächer, die nicht als Gründächer geeignet sind



- b) Ermittlung der zu bewirtschaftenden Fläche (Fläche * Bewirtschaftungspotenzial) für die verschiedenen Bewirtschaftungsarten

Ergebnis: 3062 Einzelflächen

8. Verschmelzung der Flächen gleicher Eigenschaften („Dissolve“)

Dieser Schritt war notwendig, um die Anzahl der Flächen zu reduzieren und damit die Rechenzeit der späteren Wasserhaushaltssimulationen erheblich zu senken.

Ergebnis: 900 Einzelflächen

9. Shapefile aus 7. für die Verwendung in STORM aufbereiten; hierzu folgende Spalten hinzufügen:

- a) RETOB (Zahl, alle 0 (Platzhalter))
- b) EFL_ID (STRING; eindeutigen Namen geben, (durchnummerieren))
- c) Flächen neu berechnen lassen
- d) Area_Abkop (hier die zu bewirtschaftenden Flächen übernehmen)
- e) Area_Baum (hier die Baumflächen übernehmen)
- f) Anteil_Baum (= Area_Baum/Area) berechnen
- g) Anteil_Abkop (=Area_Abkop/Area) berechnen

10. Shapefile aus 8. aufbereiten, Überdeckungsklassen für die Straßenabschnitte bilden

→ 5 ABP-Klassen á 20 % Überdeckungsgrad (20 %, 40 %, ..., 100 %)

Ziel: Einfluss der Bäume auf den Wasserhaushalt des öffentlichen Straßenraums (mehr Verdunstung, weniger Abfluss) abbilden

11. Shapefile aus 9. aufbereiten, Landnutzungsklassen bilden (nur für Grünflächen):

→ 5 Klassen im 20 % Raster Überdeckungsgrad für Wiesen (20 %, 40 %, ..., 100 %)

→ 5 Klassen im 20 % Raster Überdeckungsgrad für Sträucher (20 %, 40 %, ..., 100 %)

Ziel: Einfluss der Bäume auf den Wasserhaushalt der Grünflächen abbilden

Ergebnis: Shapefile für die Übernahme in STORM



Hydrologische Berechnung mit STORM

Als Niederschlag-Abfluss-Modell wurde die Software STORM verwendet. Das Modell STORM ist ein deterministisches, flächendetailliertes und konzeptionelles Modell. Es unterscheidet grundsätzlich die Abflussbildung versiegelter und unversiegelter Flächen. Die Abflussbildung „natürlicher“ Flächen findet im Rahmen der Bodenwasserhaushaltsmodellierung statt. Dagegen wird für die versiegelten Flächen weiterhin der Abflussbildungsansatz nach der Grenzwertmethode angewendet. Das bedeutet, dass kein fester Abflußbeiwert verwendet wird, sondern der Abfluß in Abhängigkeit von diversen Parametern wie Muldenverlust, Benetzungsverlust, Anfangs- und Endabflussbeiwert für jeden einzelnen Zeitschritt berechnet wird. Maßgebend dafür die Einleitung sind die Informationen zur Landnutzung und den Bodeneigenschaften.

Die Berechnung erfolgt auf Basis von sogenannten Hydrotopen, das sind Flächen gleicher Eigenschaften, die über Teileinzugsgebiete zusammengefasst werden. Auf dieser Ebene werden die Prozesse der Abflussbildung und Abflusskonzentration gesteuert. Der Niederschlag, die Temperatur sowie die potenzielle Evapotranspiration werden als mittlerer Jahresgang der täglichen Verdunstungsrate zugrunde gelegt.

Bei der Abbildung des Bodenwasserhaushaltes der verschiedenen Flächen- und Bewirtschaftungsarten wird der Boden als Speicherelement betrachtet, der sich aus einer oder mehreren Schichten zusammensetzt. Dabei sind die Zuflüsse und Abflüsse aus diesem Speicher Funktionen des Speicherinhalts, d.h. der aktuellen Bodenfeuchte. Der Bodenfeuchte kommt eine zentrale Rolle in dem Modelkonzept zu.

Das Programm STORM weist folgende Leistungsmerkmale auf:

- dynamische Modellierung der Abflussbildungsprozesse auf verschiedenen befestigten und unbefestigten Oberflächen
- Modellierung dezentraler Maßnahmen zur Regenwasserbewirtschaftung wie Mulden, Rigolen, Gründächer etc.
- Abbildung von urbanen Entwässerungssystemen inkl. Retentions- und Entlastungsbauwerke
- Berechnung geschlossener Wasserbilanzen
- Einzelereignisse (Modellregen, Langzeitsimulation und Seriensimulation)
- Bodenfeuchtesimulation
- GIS-Schnittstelle
- Ausgabe und Einbindung externer Ganglinien.

Zur Beschreibung der Zu- bzw. Abflussfunktionen des Bodenwasserhaushaltes verwendet das Modell STORM sogenannte charakteristische Kennlinien, mit welchen das Modell auch die Befüllung und Entleerung anderer Speicherkomponenten steuert. Aus den Teilprozessen Perkolation, Interflow, lateraler Makroporenfluss und Oberflächenabfluss (als Resultierende der vertikalen Prozesse) bilden sich pro Teileinzugsgebiet Abflusskomponenten, die entsprechend den Simulationsansätzen retendiert werden. Eine ausführliche Beschreibung mit Informationen finden Sie unter www.sieker.de.