
Abschlussbericht TransMiT

Teil B

B.2:
Blau-Grüne Infrastrukturen (BGI)

B 2.4 Musterplanungen

Autoren:
Uwe Klaus,
aquaplaner, Hannover

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	ii
Abbildungsverzeichnis	iv
Tabellenverzeichnis	vi
Abkürzungsverzeichnis	vii
1 Grundlagen Musterplanungen	8
1.1 Wasserbilanz	8
1.2 Der natürliche Zustand	9
1.3 Boden	12
1.4 Niederschlag	13
1.5 Bemessungsgrundlagen Niederschlagsentwässerung	16
1.6 Verdunstung	19
1.7 Bewässerungsbedarf	23
2 Musterplanungen	24
2.1 Veranlassung	24
2.2 Ziele	24
2.3 Grundlagen	24
2.3.1 Abflusswirksame Flächen und Versiegelung	24
2.3.2 Bewässerungsbedarf	27
2.4 Bestehende Musterplanungen der Stadtentwässerung Hannover	28
2.5 Ausgewählte Maßnahmenelemente der Musterplanungen	29
2.5.1 Extensive Dachbegrünung	30
2.5.2 Intensive Dachbegrünung	30
2.5.3 Fassadenbegrünung	30
2.5.4 Wasserdurchlässige Befestigung	30
2.5.5 Versickerungsmulden	31
2.5.6 Kies-Rigolen	33
2.5.7 Kunststoff-Rigolen	34
2.5.8 –Mulden-Rigolen	34
2.5.9 Flächenversickerung	36
2.5.10 Regensammler	36
2.5.11 Regentonnen	36
2.5.12 Zisternen	37
2.5.13 Teiche mit Teichufer-Versickerung	37
2.5.14 Oberflächennahe Zuleitung	37
2.5.15 Zusammenfassung	38

2.6	Musterplanungen.....	40
2.6.1	Ermittlung der Versickerungsfähigkeit des Bodens.....	40
2.6.2	Hinweise zur Sicherheit.....	41
2.6.3	Muldenversickerung bei gut versickerungsfähigem Boden.....	42
2.6.4	Muldenversickerung bei mittel versickerungsfähigem Boden.....	43
2.6.5	Mulden-Rigolenversickerung bei mittel versickerungsfähigem Boden.....	44
2.6.6	Teich mit Versickerung bei gut versickerungsfähigem Boden.....	45
2.6.7	Regensammler und Regentonne mit Muldenversickerung bei gut versickerungsfähigem Boden.....	46
2.6.8	Regensammler und Regentonne mit Flächenversickerung bei gut versickerungsfähigem Boden.....	47
2.6.9	Regensammler mit Flächenversickerung bei gut versickerungsfähigem Boden	48
2.7	Kosten-Wirksamkeit der Musterplanungen.....	49
2.8	Fazit Musterplanungen.....	54
2.9	Empfehlungen für Wohnungsbaugenossenschaften in Linden-Nord	55
3	Literaturverzeichnis	56

Abbildungsverzeichnis

Bild 1-1:	Wasserbilanzgrößen (Quelle: BfG, 2003).....	8
Bild 1-2:	Vereinfachte Wasserbilanzgrößen im Rahmen der Regenwasserbewirtschaftung.....	9
Bild 1-3:	Wasserbilanz im natürlichen Zustand.....	10
Bild 1-4:	Wasserbilanz im bebauten Zustand (Quelle: aquaplaner).....	10
Bild 1-5:	Wasserbilanz im bebauten Zustand mit Versickerungsmulden	11
Bild 1-6:	Verdunstung, Versickerung und Abflüsse im bebauten und unbebauten Zustand Quelle: Sieker (2022).....	11
Bild 1-7:	Porenvolumen unterschiedlicher Böden (Quelle: Spektrum, 2022).....	13
Bild 1-8:	Klimaprognose WETTREG für Niedersachsen und DWD-Messungen (LBEG, 2013).....	14
Bild 1-9:	Niederschlagshöhen pro Jahr und jeweils im Sommer- und Winterhalbjahr (Quelle: aquaplaner).....	14
Bild 1-10:	Monatliche Niederschlagshöhen in Hannover 1992-2021 (Quelle: aquaplaner).....	15
Bild 1-11:	Tage pro Jahr mit mehr als 20 mm Niederschlag (Quellen: DWD, 2021)	15
Bild 1-12:	Tage pro Jahr mit mehr als 10 mm Niederschlag (Quellen: DWD, 2020)	16
Bild 1-13:	Beispielhafte Darstellung des Anteils des nicht in die Kanalisation abgeleiteten Jahresniederschlags in Abhängigkeit des Rückhaltevolumens von Versickerungsanlagen.....	18
Bild 1-14:	Mittlere monatliche Niederschläge in Hannover, Verdunstung und Defizit in mm/Monat.....	19
Bild 1-15:	Tatsächliche Verdunstungshöhen für verschiedene Landnutzungen (BfG, 2003)	20
Bild 1-16:	Mittlere Monats- und Jahreswerte der Verdunstungshöhe ausgewählter Flächennutzungen und der korrigierten Niederschlagshöhe für Musterort (1893-2014) (Quelle: DWD, 2015).....	21
Bild 1-17:	Grasreferenzverdunstung nach DWD-Messwerten und WETTREG-Simulationsrechnung in mm pro Jahr (Quelle: LBEG, 2013).....	21
Bild 2-1:	Versiegelungsgrad Linden-Nord (Quelle: nibis; https://nibis.lbeg.de/cardomap3/?permalink=1UNCXI0p).....	25
Bild 2-2:	Übersicht (links) und Detail typischer Blockbebauung in Linden Nord (Quelle google-maps).....	26
Bild 2-3:	Vorhandene Volumen im Bereich einer Mulde; Quelle: aquaplaner.....	33
Bild 2-4:	Oberirdische Zuleitung vom Fallrohr zu Versickerungsanlagen (Quelle: HMULV, 2007).....	37

Bild 2-5:	Oberirdische Zuleitung vom Fallrohr zu einem Teich mit Uferversickerung (Quelle: aquaplaner)	38
Bild 2-6:	Oberirdische Zuleitung vom Fallrohr zu einem Teich mit Uferversickerung (Quelle: aquaplaner, ISAH)	38
Bild 2-7:	Notwendiger Abstand von Versickerungsanlagen zu Gebäuden ohne Abdichtung; Quelle: DWA A138 (2021)	41
Bild 2-8:	Abflussminderungswirkung in Prozent des Jahresniederschlags und Baukosten der einzelnen Musterplanungen in € je Quadratmeter abflusswirksame Fläche	51
Bild 2-9:	Verdunstung in Prozent des Jahresniederschlags und Baukosten der einzelnen Musterplanungen in € je Quadratmeter abflusswirksame Fläche	52

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1-1: Wasserwirtschaftliche notwendige Speicher zur Zielerreichung.....	9
Tabelle 1-2: Speicherelemente natürlichen Bodens	12
Tabelle 1-3: Veränderung der Bemessungsregen Hannover (Quelle: aquaplaner, DWD KOSTRA, 2010).....	16
Tabelle 1-4: Bemessungsregen Hannover (Quelle: DWD KOSTRA, 2010).....	17
Tabelle 1-5: Tatsächliche Verdunstungshöhen für verschiedene Landnutzungen (eigene Auswertung auf Grundlage BfG (2003).....	20
Tabelle 1-6: Niederschlag und Verdunstung in Hannover (Quellen: wetterkontor, LBEG 2022, eigene Auswertung).....	22
Tabelle 1-7: Niederschlag, Verdunstung und Abfluss in Hannover (eigene Auswertung, HAD, 2003).....	22
Tabelle 1-7: Niederschlag und Verdunstung in Hannover (eigene Auswertung).....	22
Tabelle 1-7: Verdunstung in Hannover (eigene Auswertung).....	23
Tabelle 2-1: Beispielhafte Abmessungen typischer Blockbebauung in Linden-Nord (Quelle: eigene Abschätzung aus Luftbildauswertung).....	26
Tabelle 2-2: Beispielhafte Abmessungen typischer abflusswirksamer Flächen je Fallrohr.....	27
Tabelle 2-3: Kategorisierung der Einzelmaßnahmen.....	29
Tabelle 2-4: Nachweis der Mulde für gut durchlässige Böden.....	32
Tabelle 2-5: Nachweis der Mulde für mittel durchlässige Böden.....	32
Tabelle 2-6: Nachweis der Mulde-Rigole für mittel durchlässige Böden.....	35
Tabelle 2-7: Kategorisierung der Einzelmaßnahmen.....	49
Tabelle 2-8: Musterplanungen mit vordimensionierten Maßnahmenkombinationen und deren jeweiligen Wirkungen und Baukosten.....	50

Abkürzungsverzeichnis

DWD	Deutscher Wetterdienst
IMuK	Institut für Meteorologie und Klimatologie, Leibniz Universität Hannover
UTC	Coordinated Universal Time
BGI	Blau-Grüne Infrastruktur

Kurzbeschreibung des Einzelkapitels

Im Stadtteil Hannover Linden-Nord gelangt aus Innenhöfen Regenwasser in die Schmutzwasserkanalisation. Das Aufspüren der Fehlanschlüsse und die Verlegung zusätzlicher Regenwasserleitungen auf den privaten Grundstücken, welches zum Teil unter Gebäuden erfolgen müsste, wird als nicht zumutbar eingeschätzt. Um den Regenwasserzufluss in die Schmutzwasserkanalisation zu mindern wird stattdessen angestrebt, die Grundstückseigentümer zu motivieren das Regenwasser auf den Grundstücken dezentral zu versickern.

Um Wohnungsbaugesellschaften, denen zahlreiche Innenhöfe gehören, die Realisierung von Versickerungsanlagen zu erleichtern wurden Musterplanungen erstellt. Der Schwerpunkt der Musterplanungen liegt auf einfachen und kostengünstigen Lösungen.

1 Grundlagen Musterplanungen

Für die Musterplanungen sind standardisierte Annahmen zur angeschlossenen abflusswirksamen Flächengröße, zur Wasserdurchlässigkeit des Bodens, zu Regenmengen, zur Verdunstung und zum Bewässerungsbedarf zu treffen.

Weiterhin ist zu klären welche Ziele durch die Anlagen erreicht werden sollen und wie die Auswirkungen des Klimawandels zu berücksichtigen sind.

1.1 Wasserbilanz

Die folgende Abbildung zeigt die zahlreichen Vorgänge im Wasserkreislauf. Die wichtigsten Bilanzgrößen sind dabei der Eintrag durch fallenden Niederschlag und die Austräge über Verdunstung, Oberflächenabfluss und Versickerung.

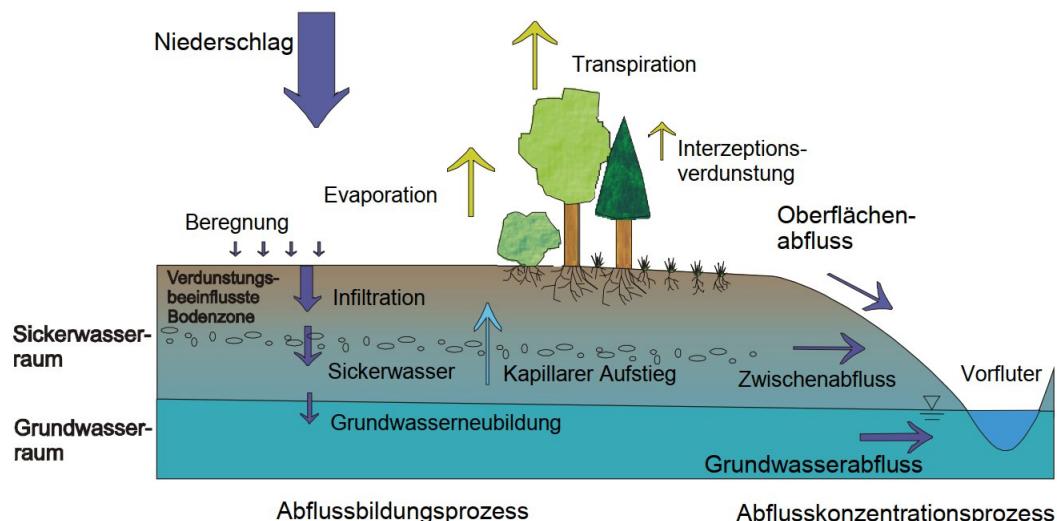


Bild 1-1: Wasserbilanzgrößen (Quelle: BfG, 2003)

Im Rahmen der Auslegung von blau-grüner Infrastruktur werden die komplexen Teilstufen vereinfachend zusammengefasst.

Bemessungsregen:

- Überflutung: 40-80 mm
- Anlagen privat: 20-40 mm

Speicher Überflutung	20-40 mm	2-4 m ³
Speicher dez. RWB	20-40 mm	2-4 m ³
Speicher Bodenwasser	80-200 mm	8-20 m ³

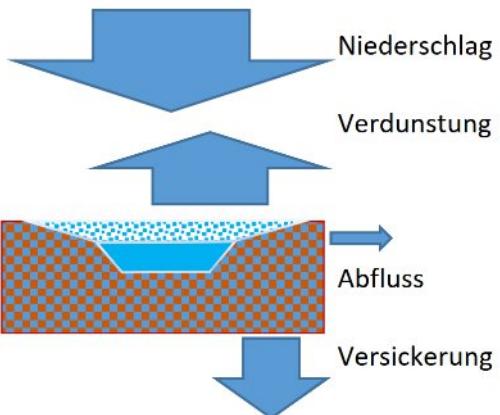


Bild 1-2: Vereinfachte Wasserbilanzgrößen im Rahmen der Regenwasserbewirtschaftung

Wasserwirtschaftlich notwendige Speicher

Tabelle 1-1: Wasserwirtschaftlich notwendige Speicher zur Zielerreichung

	Größenordnung notwendiger Speicher
Überflutungsschutz bei Extremregenereignissen, die einmal in 30 Jahren auftreten	40 mm
Reduktion Spitzenabflusses auf natürliches Maß bei Starkregenereignissen, die einmal in 5 Jahren auftreten	20 mm
Reduktion Schadstoffeinleitung (Reinigung von 50% des abfließenden Niederschlags)	5 mm
Naturnahe Wasserbilanz (ohne kanalisierte Ableitung)	20 mm
Naturnahes Kleinklima	50 mm

1.2 Der natürliche Zustand

Im natürlichen Zustand kommen etwa 60 % des Niederschlags zur Verdunstung, 20 % tragen durch Versickerung zur Grundwasserneubildung bei und etwa 20 % fließen (bei Starkregen) durch oberflächigen Abfluss direkt Gewässern zu. Im Sommer, wenn die Verdunstung höher ist als der Niederschlag, kommt es zum Absinken und im Winter zum Ansteigen des Grundwasserspiegels.

Die mittlere Abflusshöhe in Deutschland betrug im Zeitraum 1961-1990 327 mm/a, was 38 % des korrigierten Niederschlags von 859 mm/a und 41 % des gemessenen Niederschlags von 789 mm/a entspricht. Für das Rasterfeld des Hydrologischen Atlas in dem Linden-Nord liegt der Abfluss mit 309 mm/a angegeben, was 43 % bezogen auf den korrigierten Niederschlag von 711 mm/a und 48 % bezogen auf den gemessenen Niederschlag von 646 mm entspricht. Das mittlere Grundwasserdargebot wird mit 150 mm/a für den Grundwasserkörper 55 (Wietze/Fuhse Lockergestein nördlich Hannover) angegeben (LBEG, 2013)

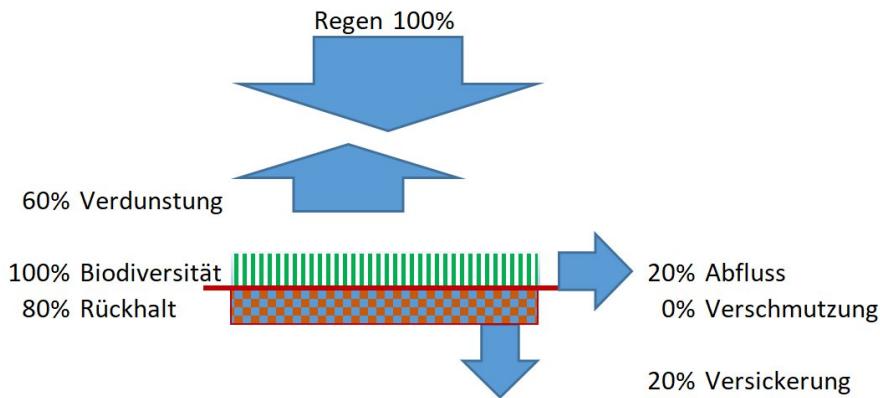


Bild 1-3: Wasserbilanz im natürlichen Zustand

Durch eine Bebauung und klassische Ableitung durch einen Regenwasserkanal sind Verdunstung und Versickerung deutlich vermindert und der Abflussanteil ist deutlich erhöht. In der Folge sind insbesondere in Innenstädten Probleme durch Überflutung (bei Starkregen) sowie Hitzestress (durch verminderte Verdunstungskühlung) zu beobachten.

Durch eine Bebauung kommt es bei Verkehrsflächen – auch bei wasserdurchlässiger Befestigung – zu reduzierter Verdunstung, ebenso wie bei klassischen extensiven Gründächern (mit 2% Dachneigung).

Bei einer Dachfläche kommen über geringe Niederschlagsereignisse mit weniger als 0,6 bis 1 mm (je nach Art der Oberfläche) und damit in Hannover etwa 15 bis 20 % des Jahresniederschlags zur Verdunstung und 80 bis 85 % werden in die Regenwasserkanalisation geleitet, wie in Bild 2-3 dargestellt.

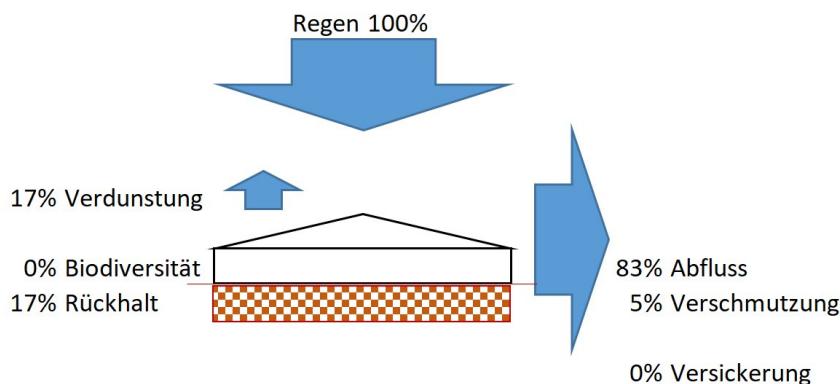


Bild 1-4: Wasserbilanz im bebauten Zustand (Quelle: aquaplaner)

Bezogen auf den Niederschlag der Dachfläche kommt bei Versickerung des Dachablaufs in einer Versickerungsmulde zusätzlich etwa 6 % zur Verdunstung sodass 77 % des Dachablaufs versickern.

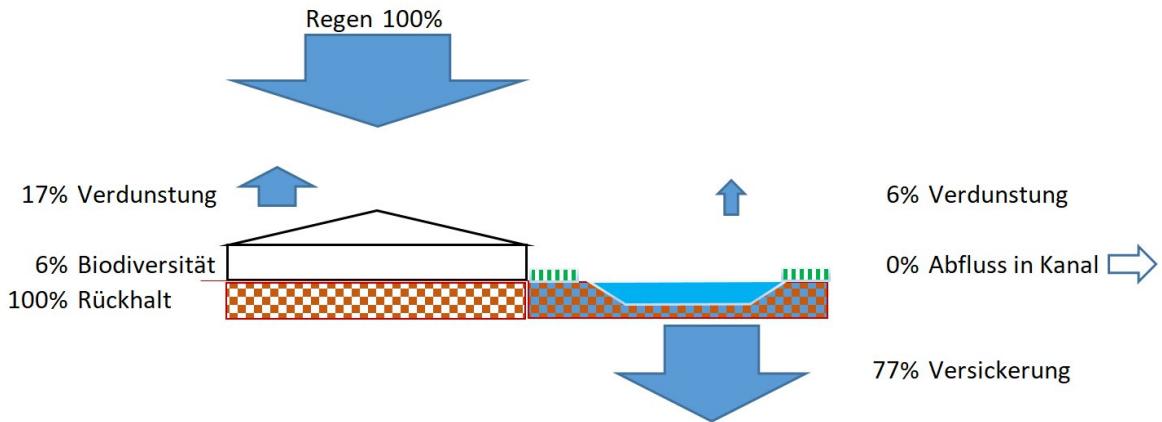


Bild 1-5: Wasserbilanz im bebauten Zustand mit Versickerungsmulden

Aufgrund der Flächenbefestigung ist die Verdunstung im Vergleich zum natürlichen Zustand immer geringer. Ein Ausgleich kann z.B. durch Begrünung der Fassaden sowie durch begrünte Dächer oder durch sog. Klimadächer erreicht werden.

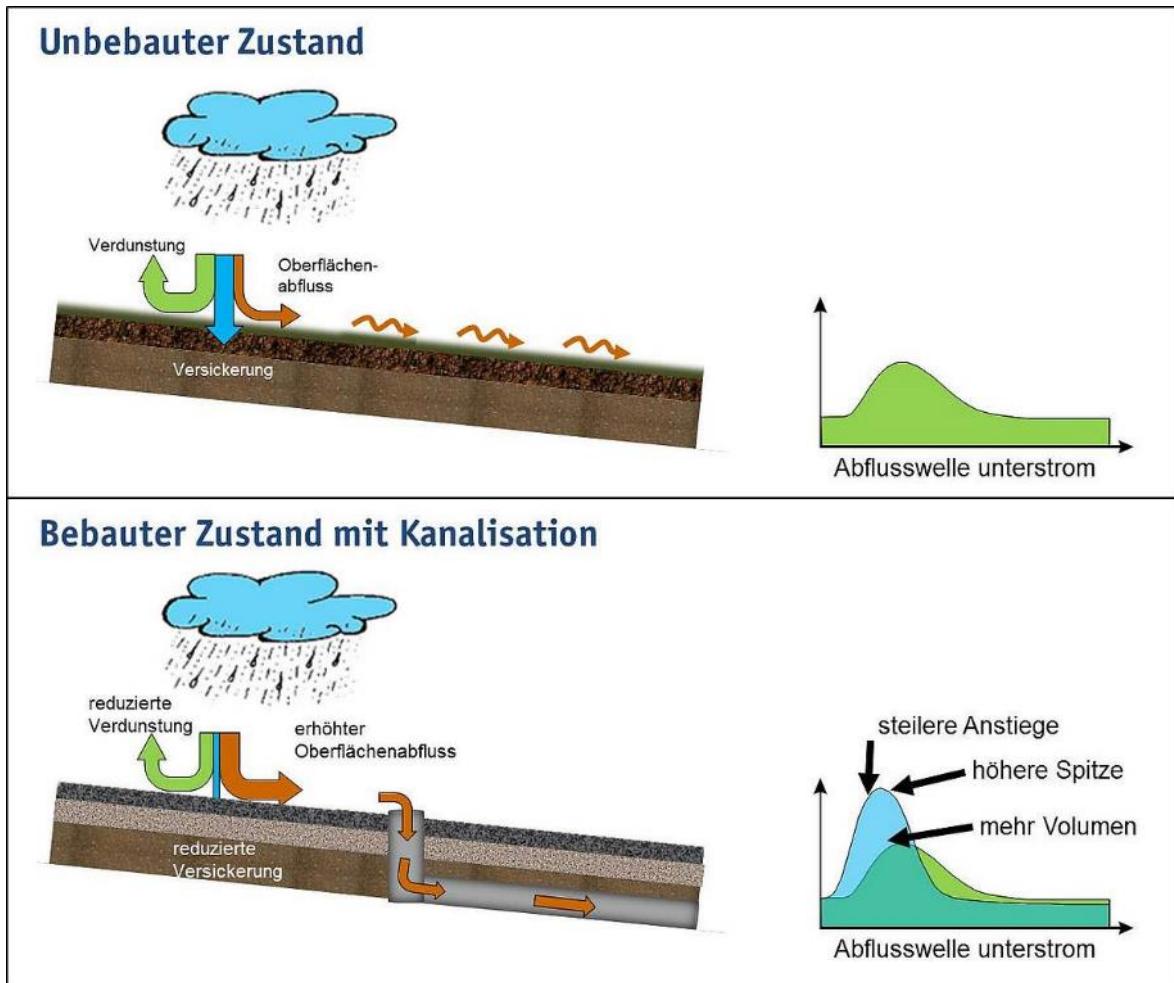


Bild 1-6: Verdunstung, Versickerung und Abflüsse im bebauten und unbebauten Zustand Quelle: Sieker (2022)

1.3 Boden

Bei der Bilanzierung werden zumeist nur Niederschlag und Verdunstung berücksichtigt und der Einfluss des Bodens vernachlässigt.

Wie Tabelle 1-2 zeigt wirken unterschiedliche „Speicher“ zum Rückhalt fallenden Niederschlags und zur zeitversetzten Verdunstung und Versickerung des sehr diskontinuierlich anfallenden Regenwassers.

Tabelle 1-2: Speicherelemente natürlichen Bodens

Speicherelement Boden mit 1 m Tiefe	Größenordnung in mm (Liter/m ²)
- Oberflächenbenetzung: Niederschlagswasser das die Oberfläche befeuchtet und direkt wieder verdunstet	1 mm
- Mulden: fallender Regen sammelt sich in Mulden aus denen das Wasser verdunstet und versickert	20 mm
- Nutzbare Feldkapazität: In Feinporen in den Boden eingesickertes Wasser, das Pflanzen zur Verdunstung zur Verfügung steht	80 mm (Sand) 200 mm (Lehm oder stark humos)
- Makroporen: In den Boden eingesickerter Regen, der mit der Zeit hauptsächlich dem Grundwasser zufließt	150 mm
- Grundwasser	Sehr groß

Die folgende Abbildung veranschaulicht die Anteile des Porenvolumens im Boden und dessen Aufteilung in Nutzporenraum und Haftwasserraum für Böden mit unterschiedlichen Korngrößen. Schluffige Böden, die schlecht wasserdurchlässig sind können 30 – 45 % Haftwasser aufnehmen und verfügen nur über 15 – 15 % Nutzporen.

Sandige Böden, die gut wasserdurchlässig sind können nur 10 – 30 % Haftwasser aufnehmen und verfügen über 20 – 33 % Nutzporen.

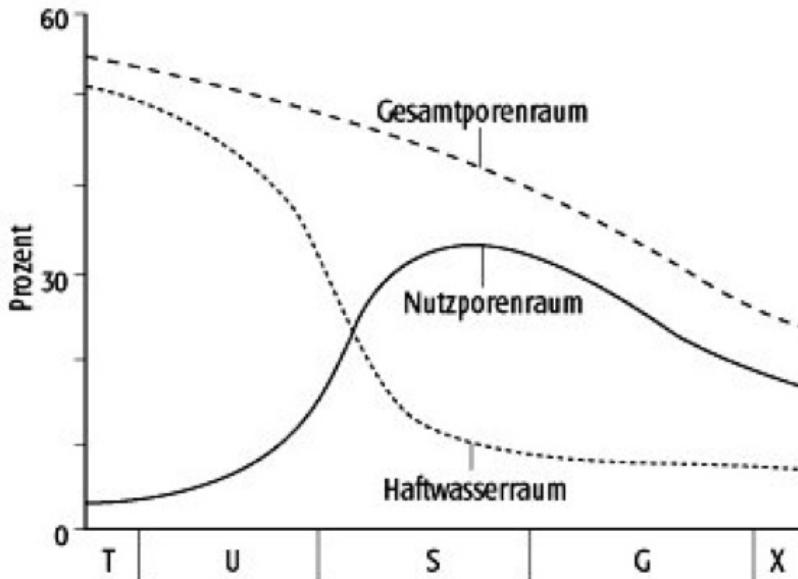


Bild 1-7: Porenvolumen unterschiedlicher Böden (Quelle: Spektrum, 2022)

Die Musterplanungen wurden für gut und mittel durchlässigen Boden erstellt. Als gut durchlässig wird ein Boden bezeichnet, wenn mehr als 14 cm Wasser pro Stunde einsickern können ($k_f = 4,0 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$). Als mittel durchlässig wird ein Boden bezeichnet, wenn mehr als 1,3 cm Wasser pro Stunde einsickern können ($k_f = 3,5 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$).

1.4 Niederschlag

Der Niederschlag ist eine wesentliche Bemessungsgröße für Maßnahmen der blau-grünen Infrastruktur. Dabei sind vor dem Hintergrund des Klimawandels die zukünftigen Niederschlagshöhen als Bemessungsgrundlagen zu verwenden, da Anlagen der Infrastruktur auf 50 bis 100 Jahre ausgelegt (und abgeschrieben) werden.

Die Auswertung der Niederschlagshöhen in Hannover pro Jahr und jeweils im Sommer- und Winterhalbjahr zeigen eine deutliche Abnahme der Sommerniederschläge über die letzten 60 Jahre und etwa gleichbleibende Winterniederschläge. Dies deckt sich mit den Auswertungen der LBEG (2013). Für steigende Winter- und Jahresniederschläge, wie sie von Klimamodellen u.a. des LBEG berechnet werden finden sich für Hannover bisher keine Indizien.

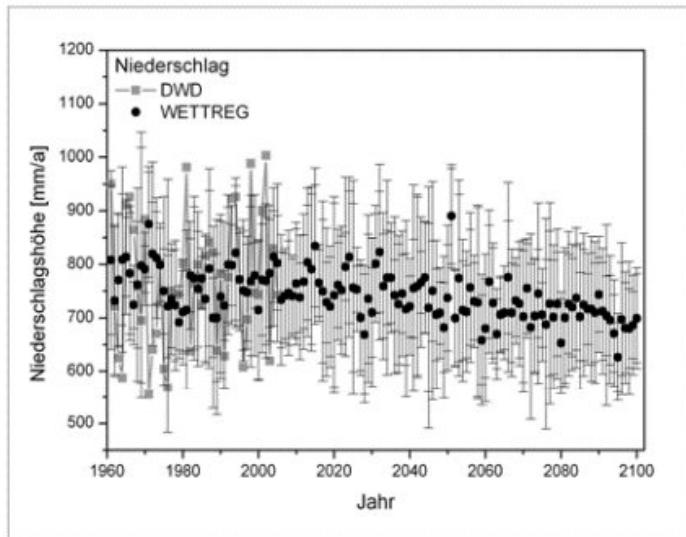


Bild 1-8: Klimaprognose WETTREG für Niedersachsen und DWD-Messungen (LBEG, 2013)

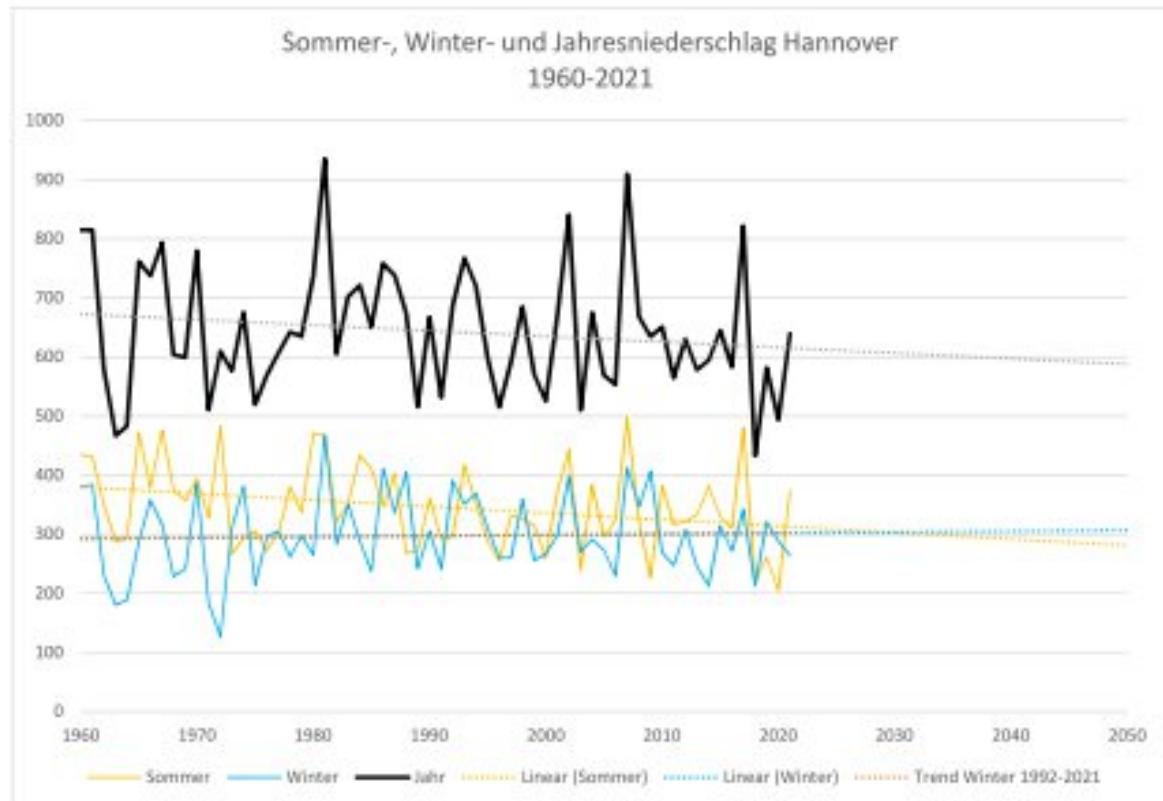


Bild 1-9: Niederschlagshöhen pro Jahr und jeweils im Sommer- und Winterhalbjahr (Quelle: aquaplaner)

Der Niederschlag ist in Hannover über das Jahr im Mittel mit 40 bis 65 mm pro Monat relativ gleich verteilt, wobei bei allen Monaten erhebliche Abweichungen vom Mittel zu beobachten sind.

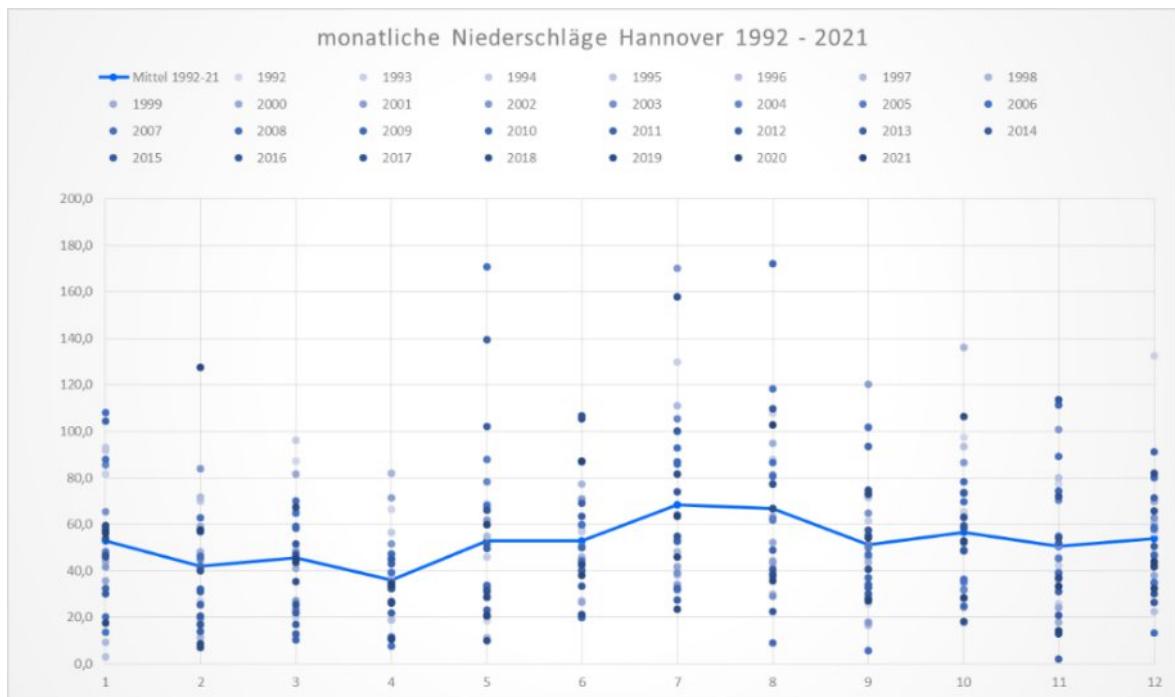


Bild 1-10: Monatliche Niederschlagshöhen in Hannover 1992-2021 (Quelle: aquaplaner)

Starkregen und Klimawandel

Die Anzahl der Tage mit mehr als 20 mm Niederschlag hat laut DWD (2021) in den letzten 60 Jahren nur geringfügig von 4,9 auf 5,1 Tage zugenommen.

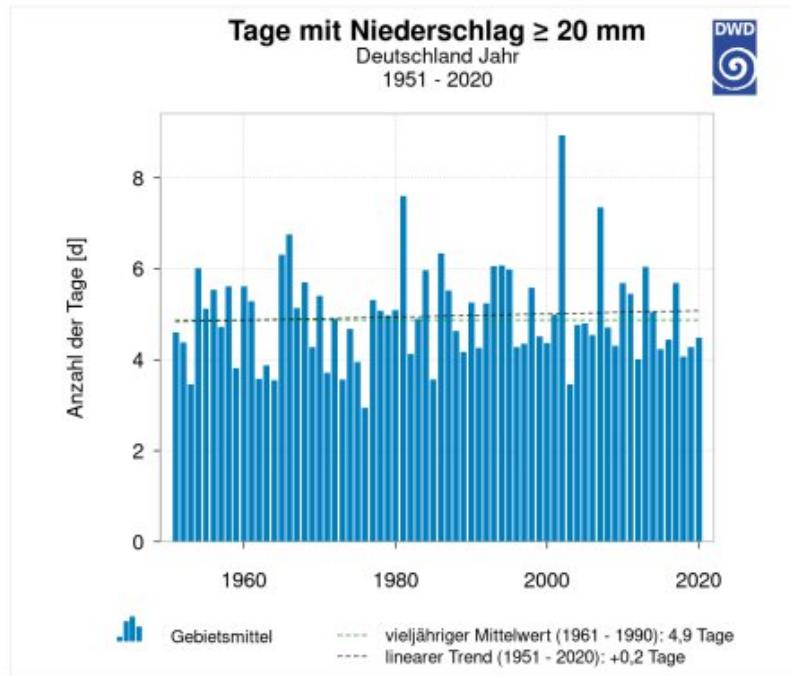


Bild 1-11: Tage pro Jahr mit mehr als 20 mm Niederschlag (Quellen: DWD, 2021)

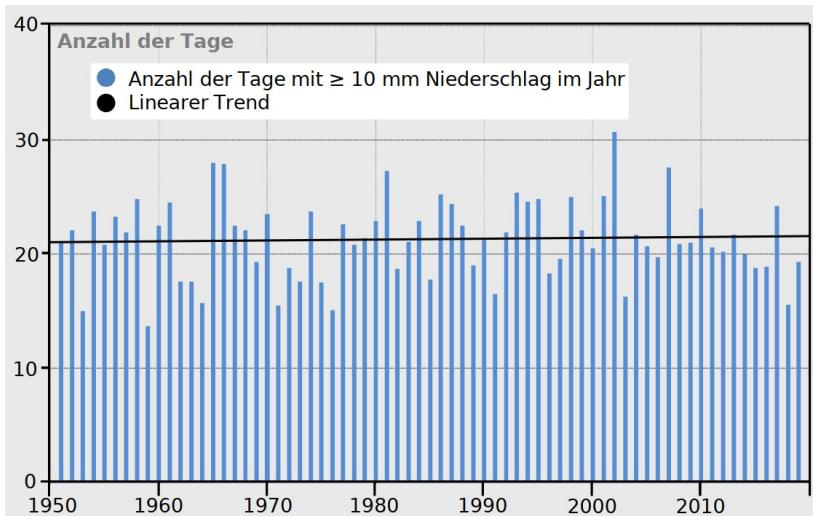


Bild 1-12: Tage pro Jahr mit mehr als 10 mm Niederschlag (Quellen: DWD, 2020)

Der Vergleich der Starkregenanalyse des DWD KOSTRA 2000 (Datengrundlage 1951-1980) und KOSTRA 2020 (Datengrundlage 1951-2020) zeigt eine mittlere Erhöhung der Bemessungswerte wasserwirtschaftlicher Anlagen von 15 %. Versickerungsmulden bei gut durchlässigem Boden für die alle fünf Jahre auftretende 60-minütige Regenbemessungsrelevant ist werden mit den neuen Daten 27 % größer ausgelegt. Versickerungsmulden bei mittel durchlässigem Boden für die alle fünf Jahre auftretende 360-minütige Regenbemessungsrelevant ist werden mit den neuen Daten 10 % größer ausgelegt.

Tabelle 1-3: Veränderung der Bemessungsregen Hannover (Quelle: aquaplaner, DWD KOSTRA, 2010)

5a-Regen [l/(s/ha)]	Minuten	5	10	15	20	30	45	60	90	120	180	240	360	540	720	1080	1440	2880	4320
Kostra 2000	1951-1980	377,7	219,6	160,3	128,4	94,0	69,0	55,5	42,0	34,5	26,1	21,4	16,3	12,3	10,1	7,0	5,5	3,0	2,3
Kostra 2010	1951-2010	266,8	200,0	163,6	139,7	109,6	84,3	69,4	50,4	40,2	29,3	23,4	17,0	12,4	9,9	7,2	5,7	3,4	2,5
Kostra 2020	1951-2020	330,0	220,0	168,9	139,2	105,0	78,5	63,9	47,6	38,5	28,4	23,0	17,0	12,6	10,1	7,5	6,0	3,6	2,6
Kostra 2000	Zuschläge	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%
Kostra 2010	Zuschläge	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%
Kostra 2020	Zuschläge	13%	17%	19%	20%	21%	21%	21%	20%	19%	18%	17%	16%	15%	15%	14%	13%	13%	13%
Kostra 2000	Bem.-Werte	415,5	241,6	176,3	141,2	103,4	75,9	61,1	46,2	38,0	28,7	23,5	17,9	13,5	11,1	7,7	6,1	3,3	2,5
Kostra 2010	Bem.-Werte	293,5	220,0	179,9	153,6	120,5	92,7	76,3	55,5	44,3	32,2	25,7	18,7	13,6	10,9	7,9	6,3	3,7	2,8
Kostra 2020	Bem.-Werte	372,9	257,4	201,0	167,0	127,1	95,0	77,3	57,1	45,8	33,5	26,9	19,7	14,5	11,6	8,6	6,8	4,1	2,9
Diff 2000-2010	Bem.-Werte	71%	91%	102%	109%	117%	122%	125%	120%	117%	112%	109%	104%	100%	98%	103%	104%	113%	109%
Diff 2010-2020	Bem.-Werte	127%	117%	112%	109%	105%	102%	101%	103%	104%	104%	105%	106%	107%	107%	108%	108%	109%	107%
Diff 2000-2020	Bem.-Werte	90%	107%	114%	118%	123%	125%	127%	124%	121%	117%	114%	110%	107%	105%	111%	112%	123%	116%

1.5 Bemessungsgrundlagen Niederschlagsentwässerung

Es werden die Koordinierten-Starkregen-Auswertungen des Deutschen Wetterdienstes (KOSTRA-DWD-2010R), ermittelt mit dem Messdatenmanagement-Tool der DWA (MDMS-DWA), verwendet. Nach Empfehlung des DWD ist bei Anwendung der in der Tabelle aufgeführten Starkniederschlagshöhen und -spenden zu beachten, dass wegen der großen zeitlichen Variabilität des Niederschlags und aufgrund der Tatsache, dass relativ lange, 60-jährige Messreihen des Niederschlags nur bedingt repräsentativ für die Zukunft sind, bei der Angabe von Starkniederschlagshöhen ein Toleranzbereich angesetzt werden muss. Außerdem führen unvermeidbare Ungenauigkeiten bei der Mess- und Auswertemethodik sowie die Grenzen des extremwertstatistischen Ansatzes dazu, dass die

Niederschlagshöhen bzw. Niederschlagsspenden mit einer gewissen Unsicherheit behaftet sind, die umso größer ist, je seltener der jeweilige Wert überschritten wird.

Wenn die angegebenen Werte für Planungszwecke herangezogen werden, sollte entsprechend der Empfehlung des DWD für R N (D;T) bzw. h N (D;T) in Abhängigkeit vom Wiederkehrintervall

- bei $1 \text{ a} \leq T \leq 5 \text{ a}$ ein Toleranzbetrag von $\pm 10 \text{ %}$,
- bei $5 \text{ a} < T \leq 50 \text{ a}$ ein Toleranzbetrag von $\pm 15 \text{ %}$,
- bei $50 \text{ a} < T \leq 100 \text{ a}$ ein Toleranzbetrag von $\pm 20 \text{ %}$

Berücksichtigung finden.

Der Zuschlagsfaktor f_z beugt einer möglichen Unterbemessung im Einfachen Verfahren gegenüber eines Nachweises mit Langzeitsimulation vor. Je nach Risikomaß gemäß Arbeitsblatt DWA-A 117 werden Zuschlagsfaktoren zwischen 1,1 und 1,2 empfohlen. Insbesondere bei kleinen spezifischen Versickerungs-/Abflussleistungen bezogen auf A_{Bem} ($q S \leq 5 \text{ l/(s·ha)}$ entsprechend $k_f < 5 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$) wird ein Zuschlagsfaktor $f_z = 1,2$ erforderlich.

Zur Bemessung der Anlagen der Musterplanungen werden die Kostra-Werte für den 1 und 5-jährlichen Regen um 21% erhöht ($1,1 \times 1,1$) und die Werte des 30-jährlichen Regens um 26% ($1,15 \times 1,1$), wie in der folgenden Tabelle 1-3 dokumentiert.

Tabelle 1-4: Bemessungsregen Hannover (Quelle: DWD KOSTRA, 2010)

n	5min	10min	15min	20min	30min	45min	60min	90min	2h	3h	4h	6h	9h	12h	18h	1d	2d	3d
1	188	146	120	101	77	57	45	33	27	20	16	12	9	7	5	4	3	2
5	327	239	193	163	126	96	78	57	46	34	27	20	15	12	9	7	4	3
30	504	358	287	243	189	145	120	87	70	51	41	30	22	18	13	10	6	4

Der maßgebende Bemessungsregen bei gut durchlässigem Boden ist ein 45-minütiger Regen von 27 mm, der statistisch alle 5 Jahre auftritt und eine Intensität von 96 l/(s·ha) aufweist (notwendiges Rückhaltevolumen $2,0 \text{ m}^3/100 \text{ m}^2$). Der maßgebende Bemessungsregen bei mittel durchlässigem Boden ist ein 6 stündiger Regen von 48 mm, der statistisch alle 5 Jahre auftritt und eine Intensität von 20 l/(s·ha) aufweist (notwendiges Rückhaltevolumen $3,9 \text{ m}^3/100 \text{ m}^2$).

Die folgende Abbildung zeigt, dass Versickerungsanlagen, die nur ein Drittel des Bemessungsvolumens aufweisen, in Bezug auf die Jahresniederschlagsmenge nur 15 % des Regenwassers in die Kanalisation abführen. Weiterhin ist abzulesen, dass bei Auslegung der Versickerungsanlagen auf den Schutz vor Überflutung durch 30 jährliche Regenereignisse nahezu doppelt so groß sind als bei Auslegung auf den Bemessungsregen.

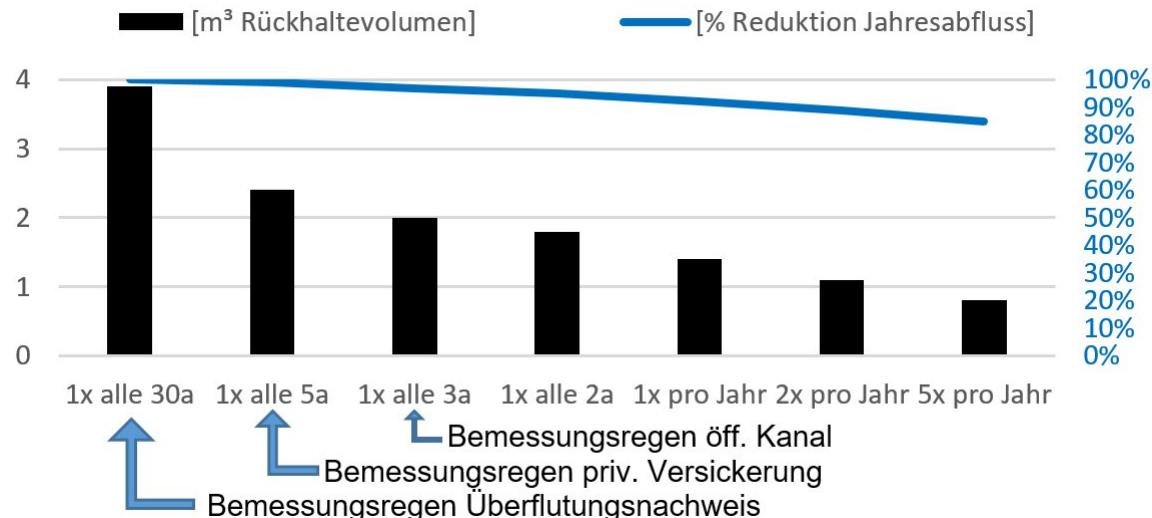


Bild 1-13: Beispielhafte Darstellung des Anteils des nicht in die Kanalisation abgeleiteten Jahresniederschlags in Abhängigkeit des Rückhaltevolumens von Versickerungsanlagen

Überflutungsnachweis

Für Versickerungsanlagen zur Grundstücksentwässerung innerörtlicher Grundstücke muss ein Überflutungsnachweis nach DIN 1986-100 erbracht werden, wenn der Rechenwert A_{Bem} größer als 800 m^2 ist. Für den Überflutungsnachweis ist die zurückzuhaltende Regenmenge zu berechnen und deren schadloser Verbleib auf dem Grundstück nachzuweisen. Die zurückzuhaltende Regenwassermenge $V_{Rück}$ wird in der Regel für eine Bemessungshäufigkeit von $n = 0,033/a$ ($T = 30 \text{ a}$) für Versickerungsanlagen gemäß Gleichung (10) der DWA A138, bzw. nach Formel 22 der DIN 1986-100 berechnet:

$$V_{Rück} = ((A_u \cdot r_{D,T}) / 10.000) \cdot D \cdot f_z \cdot 0,06 - (D \cdot f_z \cdot Q_{dr} \cdot 0,06)$$

Es ist nachzuweisen, dass bei einem Starkregenereignis ausreichend Flächen zur schadlosen Überflutung auf dem Grundstück zur Verfügung stehen. Vor der Berechnung muss überprüft werden, ob die gesamte Grundstücksfläche als eine Fläche angesetzt werden kann, oder ob durch verschiedene Kanalanschlüsse und unterschiedliche Höhenverhältnisse eine Unterteilung in Einzugsgebiete erforderlich wird. Für den Überflutungsnachweis sind alle Flächen zu berücksichtigen, die einen Abfluss zum Grundleitungsnetz haben. Sie sind volumänglich anzusetzen, also nicht durch den Abflussbeiwert C zu reduzieren. Der Überflutungsnachweis ist für jeden Kanalanschluss der einzelnen Wirtschaftseinheiten zu führen.

Besteht die befestigte Fläche eines Grundstücks überwiegend (d. h. $> 70 \%$) aus Dachflächen, ist der Überflutungsnachweis mit dem 5-min-Regenereignis in 100 Jahren zu führen. Dieses gilt auch für Grundstücke mit Innenhöfen, die nicht schadlos überflutet werden können, da sonst aufgrund der Architektur und Befestigung der Innenhöfe Regenwasser in das Gebäude eindringen kann. Hier ist statt $r_{(D,30)}$ dann $r_{(D,100)}$ zu setzen (Kommentar DIN 1986-100, S.376).

1.6 Verdunstung

Der jährliche Niederschlag in Hannover betrug im Mittel der Jahre 1961-1990 645 mm/a mit 362 mm/a im Sommer und 282 mm/a im Winter. Die Verdunstung wird mit 554 mm/a mit 451 mm/a im Sommer und 104 mm/a im Winter angegeben.

Die folgende Abbildung zeigt den mittleren Niederschlag und die ungefähre Verdunstung von mit Gras bewachsenen Flächen im mm/Monat. Der Wasserüberschuss, bzw. Wasserdefizit (Niederschlag minus Verdunstung) ist in grau dargestellt.

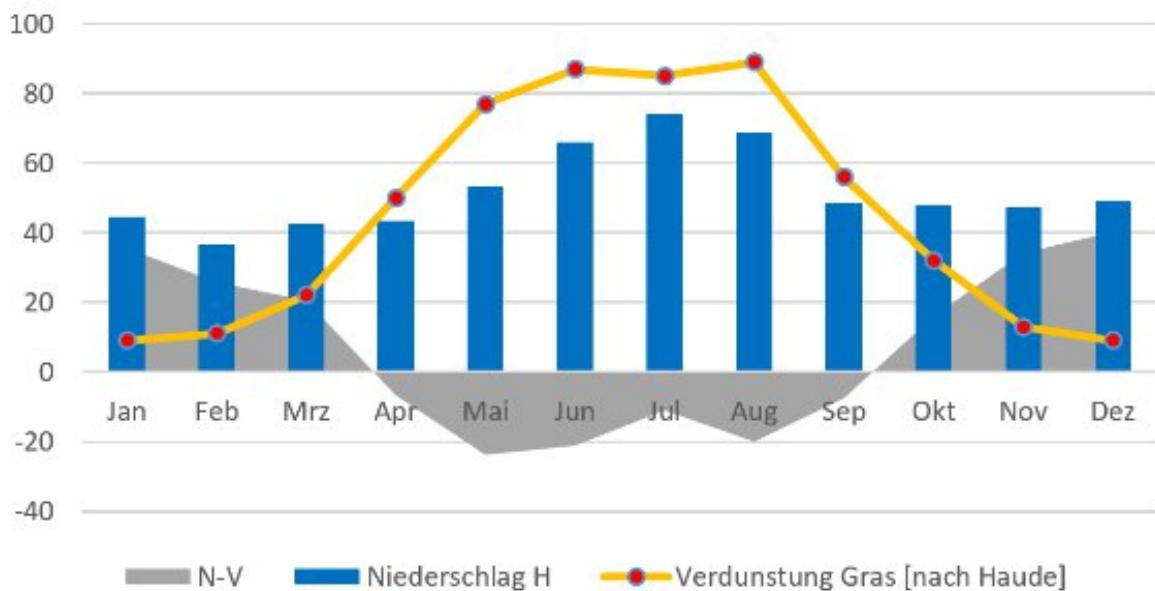


Bild 1-14: Mittlere monatliche Niederschläge in Hannover, Verdunstung und Defizit in mm/Monat

Die tatsächliche Verdunstung ist häufig geringer als die berechneten Werte, da nicht ausreichend Wasser zur Verfügung steht.

Die tatsächliche Verdunstung im deutschen Mittel (789 mm gemessener Niederschlag) wird von BfG (2003) für verschiedene Landnutzungen und Böden wie in der folgenden Abbildung dargestellt angegeben.

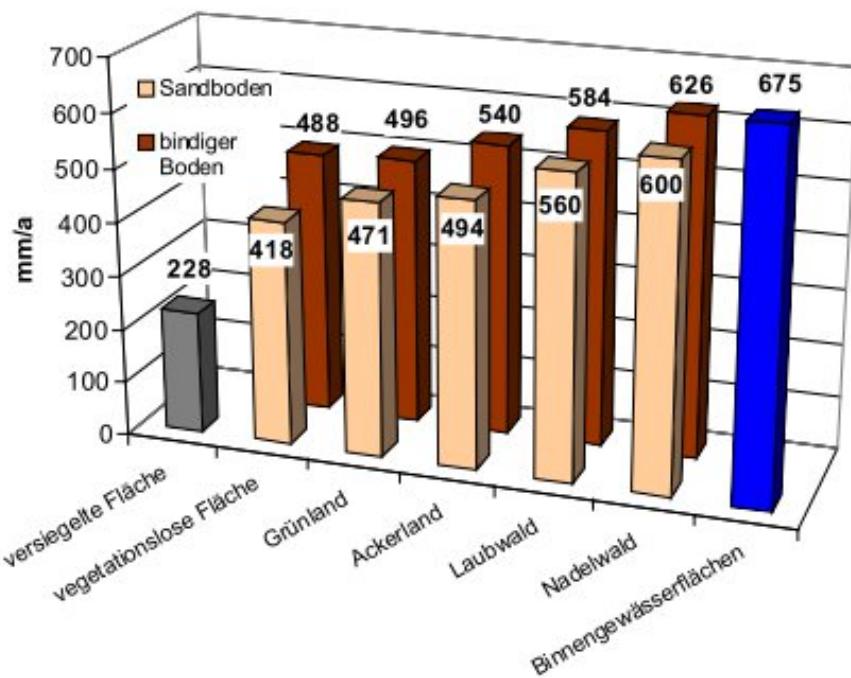


Bild 1-15: Tatsächliche Verdunstungshöhen für verschiedene Landnutzungen (BfG, 2003)

Mittlere Werte wurden daraus vereinfachend aus Mittelwert aus Sand- und Lehmboden auf die mittlere korrigierte Niederschlagshöhe von 859 mm im deutschen Mittel bezogen und daraus vereinfachend der prozentuale Verdunstungsanteil abgeleitet.

Tabelle 1-5: Tatsächliche Verdunstungshöhen für verschiedene Landnutzungen (eigene Auswertung auf Grundlage BfG (2003))

	Mittel %	Mittel mm/a	Sandboden mm/a	Lehmboeden mm/a
N Deutschland	100%	859		
versiegelt	27%	228	228	228
vegetationslos	53%	453	418	488
Grünland	56%	484	471	496
Ackerland	60%	517	494	540
Laubwald	67%	572	560	584
Nadelwald	71%	613	600	626
Binnengewässer	79%	675	675	675

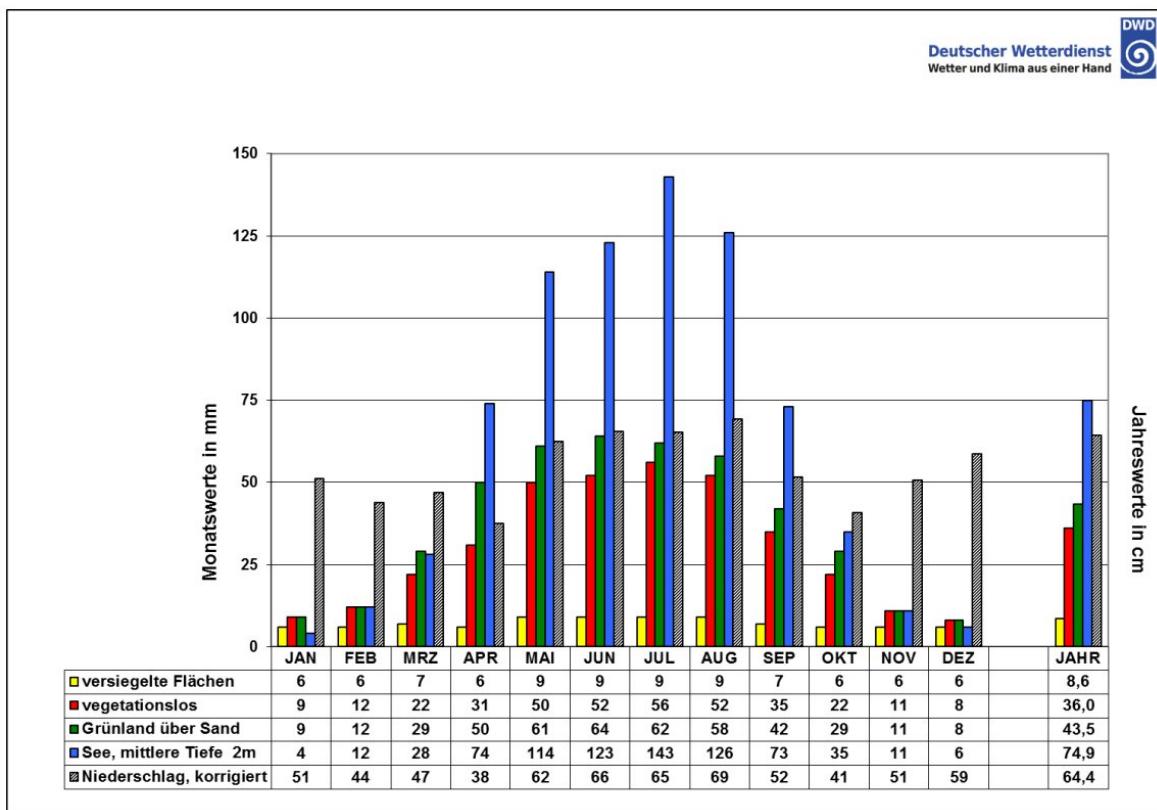


Bild 1-16: Mittlere Monats- und Jahreswerte der Verdunstungshöhe ausgewählter Flächennutzungen und der korrigierten Niederschlagshöhe für Musterort (1893-2014) (Quelle: DWD, 2015)

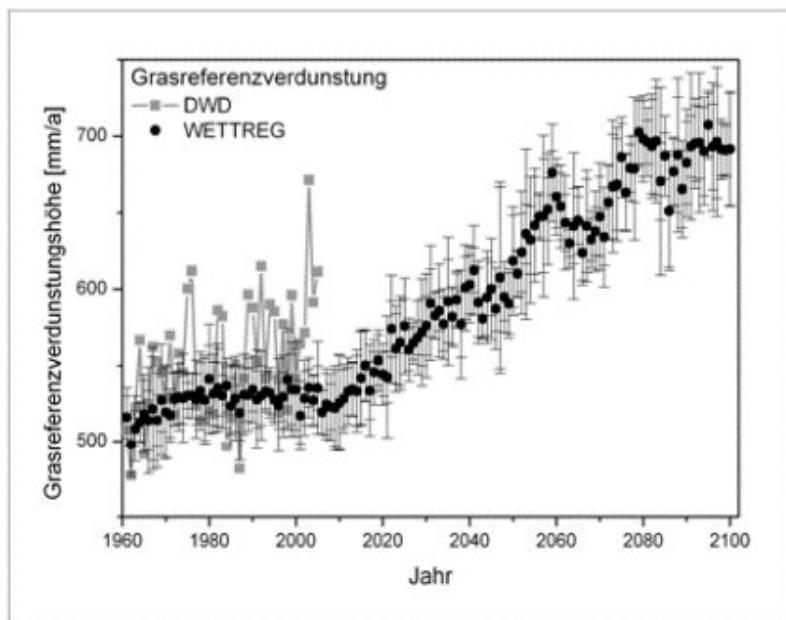


Bild 1-17: Grasreferenzverdunstung nach DWD-Messwerten und WETTREG-Simulationsrechnung in mm pro Jahr (Quelle: LBEG, 2013)

Um die zukünftige tatsächliche und potentielle Verdunstung und den Niederschlag in Hannover im Jahr 2050 abzuschätzen werden die vorhandenen Angaben analysiert und

plausibel ergänzt. Dabei wird der Trend abnehmender Sommerniederschläge und moderat steigender Winterniederschläge bis 2050 linear interpoliert. Dabei wird für die Periode bis 2050 ein Jahresniederschlag von 615 mm und ein Sommerniederschlag von 300 mm für die weiteren Abschätzungen der Wasserbilanz zugrunde gelegt.

Tabelle 1-6: Niederschlag und Verdunstung in Hannover (Quellen: wetterkontor, LBEG 2022, eigene Auswertung)

	Niederschlag			potentielle Verdunstung			Defizit
	Sommer	Winter	Jahr	Sommer	Winter	Jahr	
Mittel 1960-1991	358	288	646	451	104	554	93
Mittel 1960-2021	344	295	638	489	113	602	145
Mittel 1992-2021	329	302	630	527	122	649	198
Prognose 22-2051 linear	300	315	615	616	143	760	316
Prognose 2021-50 (LBEG, 2019)	345	315	658	558	134	692	213

Zur Abschätzung der zukünftigen tatsächlichen monatlichen Verdunstung wird eine Erhöhung der Jahresverdunstungshöhe von 337 auf 355 mm (bezogen auf den gemessenen Niederschlag HAD, 2003) angenommen.

Tabelle 1-7: Niederschlag, Verdunstung und Abfluss in Hannover (eigene Auswertung, HAD, 2003)

	Prognose 2020-2051		1960-1990 (HAD, 2003)	
	[mm]	[%]	[mm]	[%]
Niederschlag, korrigiert	725	100%	711	100%
Niederschlag, nicht gemessen (zus. Verdunstung)	110	15%	65	9%
Verdunstung ges.	460	63%	402	57%
Niederschlag, gemessen	615	100%	646	100%
Verdunstung	350	57%	337	52%
Abfluss, direkt	145	24%	159	25%
Versickerung / Grundwasserneubildung	120	20%	150	23%
Abfluss inkl. Grundwasser	265	43%	309	48%

Tabelle 1-8: Niederschlag und Verdunstung in Hannover (eigene Auswertung)

	Sommer															
		Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr	Sommer	Winter
Niederschlag Hannover 1960-1991	51	36	48	47	60	74	62	62	54	42	52	60	646	358	288	wetterkontor.de
1 Niederschlag Hannover 1992-2021	53	42	45	36	53	53	68	67	51	57	51	54	630	329	302	wetterkontor.de
2 Niederschlag Hannover Prognose 2050	55	46	48	37	49	53	56	56	48	55	54	57	615	300	315	Schätzung
3 Verdunstung Grünland Hannover Prognose 2050	10	15	30	35	43	55	45	40	25	27	15	10	350	243	107	Schätzung
4 Verdunstung Grünland Hannover 1960-1991	9	12	28	34	40	44	42	39	28	25	11	8	320	227	93	Schätzung aus HAD 2003
5 Verdunstung Grünland über Sand	9	12	28	50	60	66	64	58	41	29	11	8	436	339	97	DWD 2015
6 pot.Verdunstung Gras Prognose 2020-2050	13	15	31	63	97	109	107	112	70	45	18	13	692	558	134	DWD 2015, korr.nach LBEG 2022
7 Verdunstung Wasserfläche (penman)	13	19	44	75	114	129	128	110	71	38	19	12	772	627	145	DWD atlas verdunstung 30a bs
8 zusätzliche Verdunstung Mulden	3	3	3	29	57	65	65	73	42	20	7	5	372	331	41	berechnet Zeile 6 - Zeile 3
9 zusätzliche Verdunstung Wasserflächen	3	7	16	41	74	85	86	71	43	13	8	4	452	400	52	berechnet Zeile 7 - Zeile 3

Auf Grundlage der Abschätzungen aus den o.g. Daten wird abgeschätzt, dass Versickerungsmulden im Zeitraum bis 2050 etwa 350 mm zugeführtes Regenwasser zusätzlich verdunsten. Bei Teichen mit Ufersickerung wird das Potential zur zusätzlichen Verdunstung, bzw. der Wasserzuführungsbedarf bei etwa 450 mm liegt.

Bei einer Mulden- bzw. Teichfläche von 10% der angeschlossenen befestigten Fläche kann somit 6 %, bzw. 7% des auf die befestigten Flächen fallenden Niederschlags über Mulden, bzw. Teiche verdunsten. Bei mittel durchlässigem Boden und Versickerungsmulden mit 20 % Fläche können schätzungsweise 10 % des Niederschlags verdunsten. Die von Sieker (2022) mit STORM modellierten 14 % zusätzlicher Verdunstung können unter den Bedingungen in Hannover nicht erreicht werden. Für die Musterplanungen werden die Verdunstungswerte der folgenden Tabelle angesetzt.

Tabelle 1-9: Verdunstung in Hannover (eigene Auswertung)

	Verdunstung	
	[mm]	[%]
Hannover, natürlicher Zustand	350	57%
ext Gründach, extensiv	308	50%
ext Gründach, intensiv	461	75%
Dach	105	17%
Bewässerung Fassade/Grün	20	3%
zusätzliche Verdunstung Mulden	35	6%
zusätzliche Verdunstung Flächenversickerung	40	7%
zusätzliche Verdunstung Wasserflächen	45	7%
zusätzliche Verdunstung Mulden+Bew.	55	9%
zusätzliche Verdunstung Wasserflächen+Bew.	65	11%

1.7 Bewässerungsbedarf

Im innerstädtischen Bereich wird von 20 m² bewässerungsbedürftiger Grünfläche je 100 m² Dachfläche ausgegangen. Bei einer notwendigen Wassergabe von 3 mm pro Tag ergibt sich bei einem Bedarf von 60 Liter pro Tag. Bei einer 14-tägigen Trockenzeit mit einem Bewässerungsbedarf von 42 mm ergibt sich ein notwendiges Speichervolumen von 860 Litern. Bei einem durchschnittlichen Niederschlag von 630 mm/a in Hannover und 523 mm abfließendem Niederschlag (83 %) von 100 m² Dachfläche füllt sich ein Speicher von 860 Liter Volumen im Mittel rechnerisch innerhalb von etwa 6 Tagen.

Aufgrund der geringen einwohnerspezifischen Dachfläche von 7,1 m²/E und geringen bewässerungsbedürftigen Grünflächen von 1,24 m²/E im innerstädtischen Bereich wird während einer regenfreien Hitzeperiode Bewässerungswasser von 4 Liter je Einwohner und Tag benötigt. Dies entspricht etwa 4% des Trinkwasserbedarfs.

Bei einem Bewässerungsbedarf von 200 mm je Quadratmeter und Jahr werden je 10 Quadratmeter 2 Kubikmeter zusätzlich zur Verdunstung gebracht. Bezogen auf 100 m² abflusswirksame Fläche entspricht dies etwa 3 %.

2 Musterplanungen

2.1 Veranlassung

Im Rahmen der Arbeiten zur Umstellung von Mischsystemwässerung auf Trennsystemwässerung in Linden-Nord durch SEH war festzustellen, dass eine komplette Umstellung nicht möglich war. Aufgrund der geschlossenen Blockbebauung wäre der Umschluss der Anschlussleitungen die zum Innenhof entwässernden Dachflächen bzw. der Innenhof selbst entwässerte nur mit einem erheblichen Aufwand und Kosten für den privaten Grundstückseigentümer zu realisieren gewesen. Es wurde entschieden, auf diesen Umschluß zu verzichten.

Im Rahmen des TransMiT-Projektes wurde angeregt zu untersuchen, wie mit Maßnahmen der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung und BGI der Regenwassereintrag in die öffentliche Schmutzwasserkanalisation reduziert werden kann.

Als Reallabor sollen dabei zunächst Wohnblöcke von Wohnungsbaugenossenschaften betrachtet werden, da bei Innenhöfen in der Verantwortung nur eines Eigentümers die Umsetzung mit geringerem Aufwand erfolgen kann, als bei Wohnblocks mit zahlreichen Eigentümern. Generell sind die Ergebnisse aber übertragbar und können für weitere Zielgruppen, wie z. B. Wohneigentümergemeinschaften mit geringem Aufwand angepasst werden.

2.2 Ziele

Der Eintrag von Niederschlagswasser von privaten Flächen in die Schmutzwasserkanalisation im Stadtteil Linden-Nord soll vermindert werden. Dies würde das Schmutzwasserpumpwerk entlasten und zum besseren Betrieb der Kläranlage führen. Da die Ermittlung der Fehlanschlüsse in den Innenhöfen der Blockbebauung in Linden-Nord und der kanalisierte Anschluss an die in den letzten Jahrzehnten gebaute öffentliche Regenwasserkanalisation zumeist nicht mit vertretbarem Aufwand realisiert werden kann sollen Möglichkeiten zur dezentralen Regenwasserbewirtschaftung gefunden werden.

Weiterhin bietet die dezentrale Bewirtschaftung des Regenwassers die Möglichkeit das Kleinklima in den Innenhöfen zu verbessern. Im Rahmen des Umbaus der Innenhöfe kann dabei auch die Aufenthaltsqualität verbessert werden.

2.3 Grundlagen

2.3.1 Abflusswirksame Flächen und Versiegelung

Linden-Nord ist der Stadtteil Hannovers mit der höchsten Einwohnerdichte von über 169 Einwohner je Hektar (59 m²/E). 38 m²/E (64 %) sind Siedlungsfläche, 18 m²/E (30 %) Verkehrsfläche und 4 m²/E (6%) Wasserfläche.

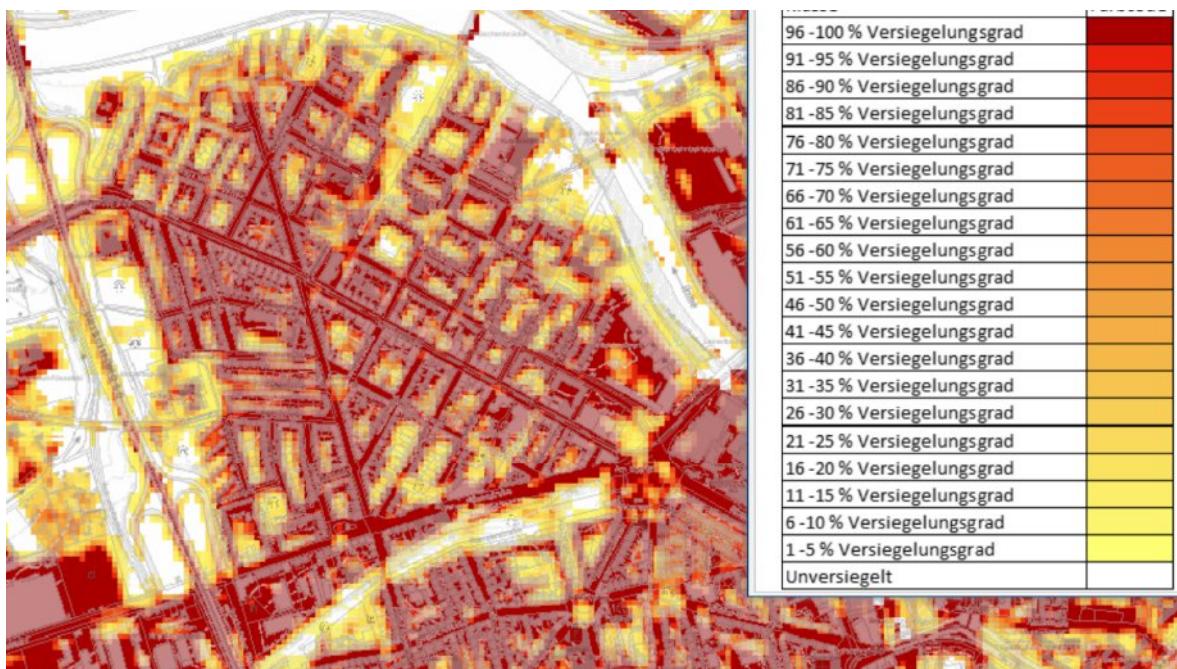


Bild 2-1: Versiegelungsgrad Linden-Nord (Quelle: nibis; <https://nibis.lbeg.de/cardomap3/?permalink=1UNCX10p>)

2.3.1.1 Typische Rahmenbedingungen der Blockbebauung in Linden- Nord

Ein typischer 5-geschoßiger Wohnblock in Linden-Nord hat etwa 70 m Länge und Breite (vgl. Tabelle 2-1). Etwa die Hälfte der gesamten Grundstücksfläche ist Dachfläche. Etwa 50 Prozent der Blockfläche entwässert in Richtung des Innenhofes. Während die Innenhöfe bei Wohnungsbaugesellschaften meist begrünt sind, befinden sich dort andernorts häufig Stellplätze, Garagen und flache Gebäude. In einem Block wohnen ca. 350 Personen, sodass von rechnerisch etwa 7 m² Dachfläche und bis zu 5 m² Grünfläche je Bewohner auszugehen ist.

Aufgrund der geringen kanalisierten Fläche je Einwohner von etwa 8 m² ist die Regenwassergebühr mit 6,40 € je Einwohner und Jahr gering (Regenwassergebühr Hannover 0,80 €/m²). Da die Regenwassergebühr im Rahmen der Nebenkosten auf die Mieter umgelegt wird besteht für die Eigentümer kein wirtschaftlicher Anreiz diese einzusparen. Bezogen auf die Wohnfläche ist der Betrag mit 0,02 € je Quadratmeter Wohnfläche und Monat sehr gering.



Bild 2-2: Übersicht (links) und Detail typischer Blockbebauung in Linden Nord (Quelle: google-maps)

Tabelle 2-1: Beispielhafte Abmessungen typischer Blockbebauung in Linden-Nord (Quelle: eigene Abschätzung aus Luftbildauswertung)

	Länge [m]	Breite [m]	Fläche [m ²]	Flächen-anteil	Fläche je Einwohner [m ² /E]
Gesamtfläche	70	70	4900	100 %	14,0
Dachfläche	52	12	2496	51 %	7,1
Wege	40	4	640	13 %	1,8
Grünfläche			1764	36 %	5,0
EZG Innenhof¹⁾	52	52	2704	100 %	7,7
Innendach	46	6	1104	41 %	3,2
Wege innen	39	2,5	390	14 %	1,1
Grünfläche innen	35	35	1210	45 %	3,5
Innenhof	40	40	1600	59 %	4,6

1) EZG – Einzugsgebiet

Ein typischer 5-geschossiger Wohnblock in Linden-Nord hat etwa 70 m Länge und Breite. Etwa die Hälfte der gesamten Grundstücksfläche ist Dachfläche. Etwa die Hälfte der Blockfläche entwässert in Richtung des Innenhofes. Während die Innenhöfe bei Wohnungsbaugesellschaften meist – wie unten dargestellt – begrünt sind, befinden sich dort andernorts häufig Stellplätze, Garagen und flache Gebäude. Je Block wohnen ca. 350 Menschen, sodass von rechnerisch etwa 7 m² Dachfläche und bis zu 5 m² Grünfläche je Bewohner auszugehen ist.

Die Gebäudetiefe beträgt etwa 12 m. Die Hälfte des Daches entwässert zum Innenhof. Etwa alle 15 m sind Fallrohre angeordnet, sodass je Fallrohr etwa 90 m² Dachfläche zuzüglich ca. 21 m² Wege entwässern. Somit ist mit den in der folgenden Tabelle

angesetzten Spitzenabflussbeiwerten je 15 m Gebäudelänge mit etwa 100 m² abflusswirksamer Fläche zu rechnen. Die Musterplanungen erfolgen daher beispielhaft für 100 m² abflusswirksame Fläche.

Tabelle 2-2: Beispielhafte Abmessungen typischer abflusswirksamer Flächen je Fallrohr

	Länge	Breite	Fläche	Spitzen- Abfluss- beiwert	Abfluss- wirksame Fläche
	[m]	[m]	[m ²]	[%]	[m ² /E]
Dachfläche	15	6,0	90	0,94	85
Weg	15	1,4	21	0,75	16
Abflusswirksame Fläche					100

Je Fallrohr stehen etwa 100 m² Grünfläche zur Verfügung von der je nach Versickerungsfähigkeit des Bodens 10 bis 20 m² entsprechend 10 bis 20 % für die Regenwasserbewirtschaftung durch Mulden benötigt werden.

Derzeitiger Zustand von Innenhöfen

Die meisten Innenhöfe weisen eine niedrige Aufenthaltsqualität auf. Neben einzelnen Bäumen, Sträuchern und Hecken besteht der Großteil der Grünflächen aus Rasen. Insbesondere vor dem Hintergrund des Klimawandels zunehmenden längeren Hitzeperioden ohne nennenswerte Niederschläge wird häufiger das vertrocknen flachwurzelnden Bewuchses zu beobachten sein. Insbesondere in innerstädtischen Gebieten mit 95 % Versiegelung der öffentlichen Verkehrsflächen könnten Innenhöfe grüne Oasen darstellen. Um bei abnehmenden Niederschlägen und zunehmender Verdunstung im Sommer den Pflanzen ausreichend Wasser zur Verfügung zu stellen bietet es sich an, den Dachabfluss den Grünflächen zuzuleiten um das sommerliche Defizit auszugleichen.

2.3.2 Bewässerungsbedarf

Im innerstädtischen Bereich wird von 20 m² bewässerungsbedürftiger Grünfläche je 100 m² Dachfläche ausgegangen. Bei einer notwendigen Wassergabe von 3 mm pro Tag ergibt sich bei einem Bedarf von 60 Liter pro Tag.

Bei einer 14 tägigen Trockenzeit mit einem Bewässerungsbedarf von 42 mm ergibt sich ein notwendiges Speichervolumen von 860 Litern.

Bei einem durchschnittlichen Niederschlag von 630 mm/a in Hannover und 504 mm abfließendem Niederschlag (20%) von 100 m² Dachfläche füllt sich ein Speicher von 860 Liter Volumen im Mittel rechnerisch innerhalb von etwa 6 Tagen.

Aufgrund der geringen einwohnerspezifischen Dachfläche von 7,1 m²/E und geringen bewässerungsbedürftigen Grünflächen von 1,24 m²/E im innerstädtischen Bereich wird während einer regenfreien Hitzeperiode Bewässerungswasser von 4 Liter je Einwohner und Tag benötigt. Dies entspricht etwa 4% des Trinkwasserbedarfs.

2.4 Bestehende Musterplanungen der Stadtentwässerung Hannover

Die Stadtentwässerung Hannover informiert die BürgerInnen zur dezentralen Regenwasserbewirtschaftung unter anderem durch ein vierseitiges Dokument „Informationsblatt zur Regenwasserversickerung bei Wohnbebauung“ (SEH, 2019), in dem Möglichkeiten zur Abkopplung von der Regenwasserkanalisation durch Versickerungsanlagen aufgezeigt werden. Dabei werden Hinweise zur notwendigen Mulden-, bzw. Rigolengröße für gut, mittel und gering durchlässige Böden gegeben.

Muldentiefe	Freiflächenbedarf in % bezogen auf die Größe der zu entwässernden Fläche		
	Bodendurchlässigkeit		
	gut	mittel	gering
15 cm	10 %	19 %	24 %
5 cm	25 %	50 %	70 %

Füllmaterial	Rigolengröße je 100 m ² zu entwässernder Fläche		
	Bodendurchlässigkeit		
	gut	mittel	gering
Kies	4,5 m ³	8,6 m ³	10,7 m ³
Kunststoff-Füllkörper	2,0 m ³	4,1 m ³	4,8 m ³

Dabei wurde mit $6 \cdot 10^{-5}$ m/s für gute, $8 \cdot 10^{-6}$ m/s für mittlere und $3,5 \cdot 10^{-6}$ m/s für geringe Bodendurchlässigkeit gerechnet.

2.5 Ausgewählte Maßnahmenelemente der Musterplanungen

Als Musterplanungen werden ausgewählte Maßnahmenkombinationen zur Regenwasserbewirtschaftung bezeichnet. Dabei werden Maßnahmen zur Abflussreduktion (extensive oder intensive Dachbegrünung, wasserdurchlässige Befestigung) mit Versickerungsmaßnahmen (Mulden, Rigolen, Muldenrigolen) und/oder Speichermaßnahmen zur Bewässerung (Zisternen, Regentonnen) kombiniert. Die Maßnahmen werden vordimensioniert und die Wirkung hinsichtlich Verdunstung, Versickerung bzw. Reduktion der Ableitung in die Kanalisation quantifiziert. Die Auslegung erfolgt dabei jeweils für gut und mittel wasserdurchlässigen Boden.

Inhalt der Musterplanungen
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dimensionierung der Maßnahme ▪ Beschreibung des Nutzens ▪ Beschreibung und Darstellung der notwendigen Arbeitsschritte und des Aufwandes ▪ Beschreibung der benötigten Materialien ▪ Ausführungshinweise um Baumängel oder Fehlfunktion zu vermeiden

Tabelle 2-3: Kategorisierung der Einzelmaßnahmen

Maßnahmen zur Abflussreduktion	Versickerungsmaßnahmen	Speicher zur Bewässerung
Extensive Dachbegrünung (De)	Mulden (Vs-M)	Regentonnen (Sk)
Intensive Dachbegrünung (Di)	Kies-Rigolen (Vs-Rk) Kunststoff-Rigolen (Vs-Rp)	Zisternen (Sg)
Wasser durchlässige Befestigung	Mulden-Rigolen (Vs-MR)	Gedichtete Rigolen
	Teichufer-Versickerung (T)	Teiche (T)

Mittlerweile liegen zahllose Beschreibungen von Maßnahmen zur dezentralen Regenwasserbewirtschaftung vor. Eine praxisnahe Beschreibung der Maßnahmen bietet beispielsweise die Regenwasseragentur Berlin in ihrer Internetseite (BWB, 2022).

Eine sehr gute und umfassende Abschätzung der Wirksamkeit der einzelnen Maßnahmen bieten die Maßnahmensteckbriefe der Regenwasserbewirtschaftung, die im Rahmen des KURAS-Projektes erarbeitet wurden (KWB, 2017).

2.5.1 Extensive Dachbegrünung

Gründächer mit einer Aufbaustärke bis 10 cm und einer Dachneigung von weniger als 5 % reduzieren den Regenabfluss um ca. 50 %. Hierdurch reduziert sich der Flächenbedarf von Bewirtschaftungselementen für den Dachabfluss um etwa die Hälfte.

Zudem bieten Sie einen Lebensraum für Pflanzen und Kleintiere und wirken sich durch die erhöhte Verdunstung günstig auf das Kleinklima aus.

Substrate für extensive Dachbegrünungen besitzt ein Porenvolumen von häufig über 40 %, sodass bei 10 cm Aufbaustärke 40 mm Wasser in den Poren gespeichert werden können. 10 bis 20 mm davon werden längerfristig gespeichert und stehen dem Pflanzen zur Bewässerung zur Verfügung.

Bei Trockenperioden ist der Wasserspeicher aufgebraucht sodass nur Sukkulanten diese Phasen ohne Trockenschäden überstehen. Die kleinklimatische Wirksamkeit während längerer Hitzeperioden ist bei extensiver Dachbegrünung deshalb nur eingeschränkt gegeben.

Der Bau einer extensiven Dachbegrünung kostet etwa 25 € je Quadratmeter.

2.5.2 Intensive Dachbegrünung

Gründächer mit einer Aufbaustärke ab 30 cm und einer Dachneigung von weniger als 5 % reduzieren den Regenabfluss um ca. 75 %. Hierdurch reduziert sich der Flächenbedarf von Bewirtschaftungselementen für den Dachabfluss auf etwa ein Viertel.

Zudem bieten Sie einen Lebensraum für Pflanzen und Kleintiere und wirken sich durch die erhöhte Verdunstung günstig auf das Kleinklima aus.

Substrate für intensive Dachbegrünungen besitzt ein Porenvolumen von häufig über 40 %, sodass bei 30 cm Aufbaustärke 120 mm Wasser in den Poren gespeichert werden können. 30 bis 60 mm davon werden längerfristig gespeichert und stehen dem Pflanzen zur Bewässerung zur Verfügung.

Der Bau einer intensiven Dachbegrünung kostet etwa 50 € je Quadratmeter.

2.5.3 Fassadenbegrünung

Durch Begrünung der Hausfassade mit erdgebundenen Kletterpflanzen und deren Bewässerung mit Regenwasser kann das Kleinklima verbessert werden. Durch die Beschattung der Fassade und durch Verdunstungskälte kann die Erwärmung reduziert werden. Mit diesem architektonischen Gestaltungselement wird die Freiraumqualität erhöht und durch Etablierung zusätzlicher Grünflächen wird die biologische Vielfalt erhöht.

Der Bau einer erdgebundenen Fassadenbegrünung kostet etwa 30 € je Quadratmeter.

2.5.4 Wasserdurchlässige Befestigung

Fußwege, Zufahrten und Stellplätze können mit versickerungsfähigen Belägen hergestellt werden. Durch den Einsatz wasserdurchlässiger Befestigungen lässt sich der Regenabfluss um etwa 50 % reduzieren und somit der Flächenbedarf nachfolgender Entwässerungseinrichtungen halbieren.

Hinsichtlich der Verdunstung sind durchlässige Befestigungen, wie Porenplaster oder Splittfugen-Pflaster nur unwesentlich günstiger einzuschätzen als konventionelle Befestigungen.

Hinsichtlich des Grundwasserschutzes sind diese durchlässigen Befestigungen im Vergleich zur Versickerung durch dezentrale Mulden nach DWA M 153 als ungünstiger einzustufen (Durchgangswert 0,8; nach 3 m Bodenpassage 0,35; Mulde: 0,2). Nur durchlässige Befestigungen mit Bodenanteilen und Bepflanzung, wie z.B. Schotterrasen oder Rasenwaben sind hinsichtlich Verdunstung und Grundwasserschutz günstiger einzuschätzen.

Einen Vorrang vor der alternativen dezentralen Versickerung wäre daher nicht generell der durchlässigen Befestigung sondern lediglich einzelnen Verfahren mit erhöhter Verdunstung einzuräumen.

2.5.5 Versickerungsmulden

Eine Mulde ist eine Vertiefung in einer Rasen- oder Pflanzfläche, in die das Regenwasser oberflächig eingeleitet wird. Die planmäßige Einstauhöhe sollte 30 cm nicht übersteigen. Generell werden solche Mulden so groß ausgelegt, dass nach etwa 15 Stunden sämtliches Wasser versickert ist. Bei geringen Niederschlägen ist in der Regel kein Wasser in der Mulde sichtbar. Somit können zum Beispiel Rasenflächen auch unmittelbar nach Regenereignissen ohne Einschränkung genutzt werden. Etwa 6 bis 10 % des den Mulden im Jahresmittel zugeführten Wassers (35 bis 60 mm je Quadratmeter abflusswirksame Fläche) verdunstet. Im Sommer liegt die potentielle Verdunstung höher als der Niederschlag. Daher verbessert der den Mulden zugeführte Regenabfluss die Wasserversorgung der Pflanzen in der Mulde und erhöht die Verdunstung um jährlich etwa 250 mm je Quadratmeter Mulde und verbessert damit das Kleinklima.

Versickerungsmulden sind mit 7 bis 10 € Baukosten je Quadratmeter angeschlossene Fläche kostengünstig zu erstellen und weisen Vorteile hinsichtlich Grundwasserschutz und Kontrollierbarkeit auf.

Der rechnerische Nachweis der Versickerungsfläche erfolgt bei halber Füllhöhe. Daher sind bei der Ausführung der Länge und Breite Böschungsbereiche zu berücksichtigen. Bei einer mit 2,0 m Breite nachgewiesenen Mulde beträgt die Breite der Böschungsoberkante 2,9 m und die Breite an der Sohle 1,1 m. (0,30 m tiefe Mulde mit Böschungsneigung 1:3).

Von Bauherren und Planern werden Versickerungsmulden oft kritisch gesehen, da die Mulden und insbesondere die oberflächennahe Zuleitung frühzeitig gestalterisch in die Freiflächenplanung integriert werden müssen.

Eingangsdaten für die Bemessung der Versickerung sind die abflusswirksame Fläche, die Muldenabmessungen, die Regenspenden für Hannover nach KOSTRA-DWD 2010 sowie die Wasserdurchlässigkeit des Untergrundes. Der Nachweis der Mulden für gut und mittel durchlässige Böden ist in den folgenden Tabellen dokumentiert.

Tabelle 2-4: Nachweis der Mulde für gut durchlässige Böden

A_{red}	Mulden-fläche A_s	$r_{T,n}$	T_n	k_f	V_m	V_{max}	Mulden-breite	Mulden-länge	Versik-kerung	Einstau-tiefe	Einstau-dauer
m^2	m^2	$l/(s*ha)$	min	m/s	m^3	m^3	m	m	l/s	m	h
100,00	10,0	327,2	5	3,2E-05	0,98	2,0	2,0	5,0	0,32	0,20	1,7
100,00	10,0	239,1	10	3,2E-05	1,39						
100,00	10,0	193,0	15	3,2E-05	1,62						
100,00	10,0	163,2	20	3,2E-05	1,77		Muldenfläche				
100,00	10,0	126,3	30	3,2E-05	1,93		10 m^2				
100,00	10,0	95,8	45	3,2E-05	1,98						
100,00	10,0	78,0	60	3,2E-05	1,94						
100,00	10,0	57,2	90	3,2E-05	1,67						
100,00	10,0	45,9	120	3,2E-05	1,33		$A_s/A_{red} =$	10,0%			
100,00	10,0	33,7	180	3,2E-05	0,54		gewählte Einstautiefe: 0,3 m				
100,00	10,0	27,0	240	3,2E-05	-0,33		vorhandenes Volumen: 3,0 m^3				
100,00	10,0	19,8	360	3,2E-05	-2,20						
100,00	10,0	14,5	540	3,2E-05	-5,19						
100,00	10,0	11,7	720	3,2E-05	-8,28						
100,00	10,0	8,6	1080	3,2E-05	-14,64						
100,00	10,0	6,9	1440	3,2E-05	-21,12						
100,00	10,0	4,1	2880	3,2E-05	-47,48						
100,00	10,0	3,0	4320	3,2E-05	-74,25						

Tabelle 2-5: Nachweis der Mulde für mittel durchlässige Böden

A_{red}	Mulden-fläche A_s	$r_{T,n}$	T_n	k_f	V_m	V_{max}	Mulden-breite	Mulden-länge	Versik-kerung	Einstau-tiefe	Einstau-dauer
m^2	m^2	$l/(s*ha)$	min	m/s	m^3	m^3	m	m	l/s	m	h
100,00	20,0	327,2	5	2,8E-06	1,16	3,9	4,0	5,0	0,056	0,20	19,5
100,00	20,0	239,1	10	2,8E-06	1,69						
100,00	20,0	193,0	15	2,8E-06	2,03						
100,00	20,0	163,2	20	2,8E-06	2,28		Muldenfläche				
100,00	20,0	126,3	30	2,8E-06	2,63		20 m^2				
100,00	20,0	95,8	45	2,8E-06	2,95						
100,00	20,0	78,0	60	2,8E-06	3,17						
100,00	20,0	57,2	90	2,8E-06	3,41						
100,00	20,0	45,9	120	2,8E-06	3,56		$A_s/A_{red} =$	20,0%			
100,00	20,0	33,7	180	2,8E-06	3,76		gewählte Einstautiefe: 0,3 m				
100,00	20,0	27,0	240	2,8E-06	3,86		vorhandenes Volumen: 6,0 m^3				
100,00	20,0	19,8	360	2,8E-06	3,93						
100,00	20,0	14,5	540	2,8E-06	3,84						
100,00	20,0	11,7	720	2,8E-06	3,63						
100,00	20,0	8,6	1080	2,8E-06	3,02						
100,00	20,0	6,9	1440	2,8E-06	2,29						
100,00	20,0	4,1	2880	2,8E-06	-1,15						
100,00	20,0	3,0	4320	2,8E-06	-5,03						

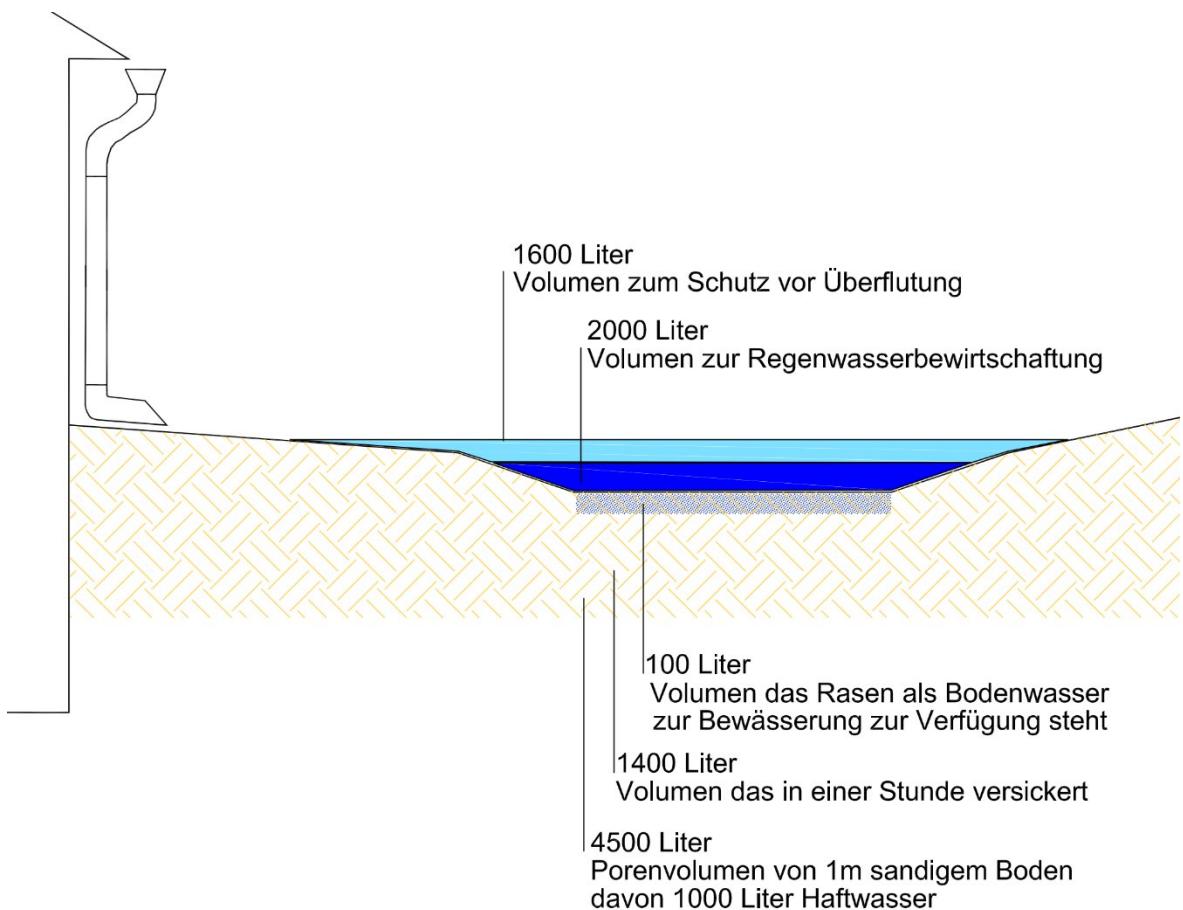


Bild 2-3: Vorhandene Volumen im Bereich einer Mulde; Quelle: aquaplaner

2.5.6 Kies-Rigolen

Bei der Rigolenversickerung wird Regenwasser in einen unterirdischen Speicher geleitet und sickert von dort in den Boden. Der Speicher besteht aus Kies oder Schotter in dem das Wasser bei starken Regenfällen zwischengespeichert wird. Es wird ein geschlitztes Kunststoffrohr zur Wasserverteilung im Kies verlegt. Wird eine Rigole ähnlich wie ein Graben lang gestreckt und mit Kies oder Schotter hergestellt, bezeichnet man sie als Rohr-Rigolenversickerung. Rigolen werden seitlich und auf der Oberfläche mit einem Filtervlies abgedeckt, um zu verhindern, dass Boden von außen eingespült wird. Zur Reinigung des Wassers muss vor der Rigole ein einfacher Laubfang oder Filter eingesetzt werden, damit wenig Schmutz in die Rigole gelangt und diese langfristig verstopft. Durch die Rigole ergibt sich fast keine Einschränkung der Nutzung des Grundstückes. Lediglich Bäume und große Sträucher dürfen nicht auf diese Versickerungseinrichtung gepflanzt werden. Anlagen zur Rigolenversickerung können auch unter Gehwege und Parkplätze gelegt werden.

Das den Rigolen zugeführte Wasser versickert vollständig.

Die Baukosten je Quadratmeter angeschlossene Fläche betragen etwa 30 €.

2.5.7 Kunststoff-Rigolen

Das Regenwasser wird in einen unterirdischen Speicher aus durchlässigen Kunststoffelementen geleitet und sickert von dort in den Boden. Rigolen werden seitlich und auf der Oberfläche mit einem Filtervlies abgedeckt, um zu verhindern, dass Boden von außen eingespült wird. Zur Reinigung des Wassers muss vor der Rigole ein einfacher Laubfang oder Filter eingesetzt werden, damit kein Schmutz in die Rigole gelangt und diese langfristig verstopft. Durch die Rigole ergibt sich fast keine Einschränkung der Nutzung des Grundstückes. Lediglich Bäume und große Sträucher dürfen nicht auf diese Versickerungseinrichtung gepflanzt werden. Anlagen zur Rigolenversickerung können auch unter Gehwege und Parkplätze gelegt werden.

Das den Rigolen zugeführte Wasser versickert vollständig.

Die Baukosten je Quadratmeter angeschlossene Fläche betragen etwa 35 €.

2.5.8 –Mulden-Rigolen

Speicherräume zur Mulden-Rigolen sind Versickerungsmulden, die – in der Regel – auf ein einjährliches Regenereignis ausgelegt sind, mit einer darunter liegenden auf das fünfjährige Ereignis ausgelegten Rigole.

Mulden-Rigolen werden – aufgrund der erhöhten Kosten im Vergleich zu Mulden – meist nur bei gering durchlässigem Untergrund oder bei beengten Platzverhältnissen eingesetzt.

Im Bereich der Mulden ist dabei zwischen Muldensohle und Rigole gut durchlässiger Boden mit einer Mächtigkeit von 0,3 m – 0,5 m einzubauen. Die Mulden erhalten dabei einen Überlauf in die Rigole, um auch das Regenwasser intensiver Starkregen zurückhalten zu können.

Bei mittel durchlässigem Boden kann der Boden unter dem Mutterboden der Mulde durch Sand ausgetauscht werden.

Etwa 6 % des den Mulden-Rigolen im Jahresmittel zugeführten Wassers (35 mm je Quadratmeter abflusswirksame Fläche) verdunstet. Im Sommer liegt die potentielle Verdunstung höher als der Niederschlag. Daher verbessert der den Mulden zugeführte Regenabfluss die Wasserversorgung der Pflanzen in der Mulde und erhöht die Verdunstung um jährlich etwa 350 mm je Quadratmeter Mulde.

Die Baukosten je Quadratmeter angeschlossene Fläche betragen 17 bis 20 €.

Tabelle 2-6: Nachweis der Mulde-Rigole für mittel durchlässige Böden

Muldenvolumen		Häufigkeit n=0,2; 1 in 5 Jahre									
A_{red} m ²	Mulden- fläche A_s m ²	$r_{T,n}$ l/(s*ha)	T_n min	k_f m/s	V_m m ³	V_{max} m ³	Mulden- breite m	Mulden- länge m	Versik- kerung l/s	Einstau- tiefe m	Einstau- dauer h
100,00	10,0	327,2	5	3,2E-05	0,98	2,0	2,0	5,0	0,320	0,20	1,7
100,00	10,0	239,1	10	3,2E-05	1,39						
100,00	10,0	193,0	15	3,2E-05	1,62						
100,00	10,0	163,2	20	3,2E-05	1,77						
100,00	10,0	126,3	30	3,2E-05	1,93						
100,00	10,0	95,8	45	3,2E-05	1,98						
100,00	10,0	78,0	60	3,2E-05	1,94						
100,00	10,0	57,2	90	3,2E-05	1,67						
100,00	10,0	45,9	120	3,2E-05	1,33						
100,00	10,0	33,7	180	3,2E-05	0,54						
100,00	10,0	27,0	240	3,2E-05	-0,33						
100,00	10,0	19,8	360	3,2E-05	-2,20						
100,00	10,0	14,5	540	3,2E-05	-5,19						
100,00	10,0	11,7	720	3,2E-05	-8,28						
100,00	10,0	8,6	1080	3,2E-05	-14,64						
100,00	10,0	6,9	1440	3,2E-05	-21,12						
100,00	10,0	4,1	2880	3,2E-05	-47,48						
100,00	10,0	3,0	4320	3,2E-05	-74,25						
Rigolenvolumen											
Rigolenvolumen		Häufigkeit 1 in 5 Jahre				Drosselabfluß:		0,0 l/s		k_f	2,8E-06
A_{red} m ²	A_s m ²	$r_{T,n}$ l/(s*ha)	T_n min	k_f m/s	V_m m ³	V_{max} m ³	Rigolen- breite m	Rigolen- länge m	Rigolen- höhe m	Poren- volumen	Rigolen- volumen m ³
100	-5,8	327,2	5	2,8E-06	-1,01		2,0	-2,9	0,50	0,35	-2,9
100	-3,2	239,1	10	2,8E-06	-0,56		2,0	-1,6	0,50	0,35	-1,6
100	-1,5	193,0	15	2,8E-06	-0,26		2,0	-0,7	0,50	0,35	-0,7
100	-0,2	163,2	20	2,8E-06	-0,04		2,0	-0,1	0,50	0,35	-0,1
100	1,5	126,3	30	2,8E-06	0,27		2,0	0,8	0,50	0,35	0,8
100	3,2	95,8	45	2,8E-06	0,56		2,0	1,6	0,50	0,35	1,6
100	4,3	78,0	60	2,8E-06	0,76		2,0	2,2	0,50	0,35	2,2
100	5,7	57,2	90	2,8E-06	0,99		2,0	2,8	0,50	0,35	2,8
100	6,6	45,9	120	2,8E-06	1,16		2,0	3,3	0,50	0,35	3,3
100	7,8	33,7	180	2,8E-06	1,37		2,0	3,9	0,50	0,35	3,9
100	8,6	27,0	240	2,8E-06	1,50		2,0	4,3	0,50	0,35	4,3
100	9,4	19,8	360	2,8E-06	1,64		2,0	4,7	0,50	0,35	4,7
100	9,8	14,5	540	2,8E-06	1,71		2,0	4,9	0,50	0,35	4,9
100	9,8	11,7	720	2,8E-06	1,71		2,0	4,9	0,50	0,35	4,9
100	9,3	8,6	1080	2,8E-06	1,64		2,0	4,7	0,50	0,35	4,7
100	8,8	6,9	1440	2,8E-06	1,54		2,0	4,4	0,50	0,35	4,4
100	7,1	4,1	2880	2,8E-06	1,24		2,0	3,6	0,50	0,35	3,6
100	6,0	3,0	4320	2,8E-06	1,04		2,0	3,0	0,50	0,35	3,0
Maxima (Bemessungswerte)						2	2,0	4,9	0,50	0,35	4,9

2.5.9 Flächenversickerung

Für eine Flächenversickerung wird das Regenwasser auf eine Freifläche (z. B. Rasenfläche) geleitet und versickert dort ohne Zwischenspeicherung. Voraussetzung dafür ist ein gut durchlässiger Boden und eine große zur Verfügung stehende Fläche. Der Flächenbedarf für eine Flächenversickerung liegt bei ca. 80 % der zu entwässernden Fläche.

Etwa 10 % des den Flächen im Jahresmittel zugeführten Wassers (ca. 40 mm je Quadratmeter abflusswirksame Fläche) verdunstet. Im Sommer liegt die potentielle Verdunstung höher als der Niederschlag. Daher verbessert der den Flächen zugeführte Regenabfluss die Wasserversorgung der Pflanzen und erhöht die Verdunstung und verbessert damit das Kleinklima.

Sofern die Grünflächen tief genug liegen fallen lediglich die Baukosten für die Trennung von Fallrohr und für die Zuleitung zu den Flächen von etwa 3 € je Quadratmeter angeschlossene Fläche an.

2.5.10 Regensammler

Regensammler werden in die Fallrohre eingebaut und leiten einen Teilstrom des Regenabflusses in Regentonnen. Für einen Regensammler mit einem Ableitungsschlauch mit 33 mm Durchmesser wird bei einer Dachfläche von 80 bis 100 m² ein Wirkungsgrad über 90 % angegeben (T50 1A profi-pumpe.de UG, Garantia Regendieb). Regensammler kosten meist weniger als 50 €.

Rechnet man mit 17 % Verdunstung ergeben sich von Dachflächen etwa 520 mm/a Abfluss von denen 90 % erfasst werden können sodass etwa 470 mm/a in Speicher geführt werden können. Geht man von einer Fließgeschwindigkeit im Ablaufrohr von 0,5 m/s aus werden damit Regen bis zu einer Intensität von 40 l/s ha erfasst. Dies entspricht etwa 21 % des 15-minütigen fünfjährlichen Bemessungsregens.

Bei gut durchlässigem Boden ($3,2 \cdot 10^{-5}$ m/s; 144 mm/h) versickern 0,4 l/s auf 12,5 m² von 100 m² Dachfläche. Somit kann die zulaufende und bei gefüllter Sammeltonne überlaufende Wassermenge auf 12,5 m² flächig ohne Überstau versickern.

Bei mittel durchlässigem Boden ($2,8 \cdot 10^{-6}$ m/s; 13 mm/h) versickern 0,4 l/s auf 142 m² von 100 m² Dachfläche. Entsprechend würden dann zur Flächenversickerung 142 m² Gartenfläche benötigt.

2.5.11 Regentonnen

Häufig werden 200 Liter PE-Standardfässer als Regentonnen verwendet, die gebraucht um die 20 € angeboten werden. In Baumärkten werden 200 Liter Regentonnen inkl. Ablaufhahn für ca. 30 € angeboten. Die Fässer haben einen Durchmesser von etwa 60 cm und sind meist 80 bis 90 cm hoch.

Die Zuleitung erfolgt meist seitlich vom Regensammler aus, wobei ein Loch in die Fasswandung gebohrt wird und der zuleitungsschlauch mit einem Flansch an das Fass angeschlossen wird. Die Entnahme erfolgt von oben durch Abschöpfen mit Gießkannen oder über einen unten an das Fass angeflanschten Ablaufhahn. Im Eigenbau ergeben sich Materialkosten von 25 bis 50 € für das Speichervolumen von 200 Liter. Speicher zur

Bewässerung werden häufig auf ca. 20 mm Wassergabe ausgelegt. Mit einer 200 l Regentonne können somit etwa 10 m² Fläche bewässert werden.

2.5.12 Zisternen

Unterirdische Speicher mit 2 m³ Volumen können als Kunststoffbehälter oder in Beton ausgeführt werden. Die Baukosten betragen 1000 bis 2000 €.

Speicher zur Bewässerung werden häufig auf ca. 20 mm Wassergabe ausgelegt. Mit einer Zisterne mit 2 m³ Speicherraum können somit etwa 100 m² Fläche bewässert werden.

2.5.13 Teiche mit Teichufer-Versickerung

Gartenteiche können zur Bewirtschaftung von Regenwasser genutzt werden, wenn sie so angelegt sind, dass der Wasserspiegel bei Starkregen 10 bis 30 cm höher liegen kann. Das überstauende Wasser versickert nach und nach über die Uferzone in das umgebende Erdreich.

Etwa 7 % des den Teichen im Jahresmittel zugeführten Wassers (45 mm je Quadratmeter abflusswirksame Fläche) verdunstet. Im Sommer liegt die potentielle Verdunstung höher als der Niederschlag. Daher erhöht sich die Verdunstung um jährlich etwa 450 mm je Quadratmeter Wasserfläche und verbessert damit das Kleinklima.

Die Baukosten betragen ab 20 € je Quadratmeter angeschlossene Fläche.

2.5.14 Oberflächennahe Zuleitung

Um Regenwasser kostengünstig zu Versickerungsmulden zu leiten und um den Verdunstungsanteil, zu erhöhen ist es essentiell den Dachablauf oberflächennahe abzuleiten. Insbesondere bei nicht abgedichteten Kellerwänden ist es notwendig das Regenwasser vom Gebäude weg zu leiten, um Feuchteschäden durch versickerndes Regenwasser zu vermeiden. Die Ableitung kann hierbei durch Pflasterrinnen oder zum Beispiel zur Wegequeerung durch Kastenrinnen erfolgen.



Bild 2-4: Oberirdische Zuleitung vom Fallrohr zu Versickerungsanlagen (Quelle: HMULV, 2007)

Falls kein ausreichendes Geländegefälle vom Fallrohr zur Versickerung gegeben ist können auch Rinnen zur Zuleitung gewählt werden, wie sie in den folgenden Abbildungen dargestellt sind.



Bild 2-5: Oberirdische Zuleitung vom Fallrohr zu einem Teich mit Ufersickerung (Quelle: aquaplaner)



Bild 2-6: Oberirdische Zuleitung vom Fallrohr zu einem Teich mit Ufersickerung (Quelle: aquaplaner, ISAH)

2.5.15 Zusammenfassung

Eine Begrünung der Dächer der Innenhöfe in Linden-Nord kommt bei den Wohngebäuden aufgrund der Dachneigung von über 30° und des Baujahres zwischen 1900 und 1960 mit meist unbekannter statischer Belastbarkeit nicht in Frage. Lediglich für Nebengebäude im Innenhof können diese Maßnahmen in Betracht gezogen werden. Hierbei kann bei extensiver Dachbegrünung von einer Abflussminderung um 50% und bei intensiver Dachbegrünung von 75% ausgegangen werden. Wasserdurchlässige Befestigung führen zu ca. 50% Abflussreduzierung.

Versickerungsmulden sind die einfachste und kostengünstigste Versickerungsmaßnahme. Bei gut durchlässigem Boden können sie mit 10% der angeschlossenen Fläche und bei mittel durchlässigem Boden mit 20% der angeschlossenen Fläche realisiert werden. Durch Mulden kann ein Teil des Regenzulaufs von angeschlossenen Flächen zur Verdunstung gebracht werden, insbesondere nach längerer Trockenheit, wenn das im Boden von Grünflächen im Porenraum gespeicherte Wasser bereits verdunstet ist. Je größer die Fläche ist der Regenwasser zugeleitet wird, desto höher ist die von diesen Grünflächen zu erwartende zusätzliche Verdunstung.

Kiesrigolen, Kunststoffrigolen und Mulden-Rigolen sind im Vergleich zu Sickermulden teurer im Bau, können jedoch bei beengten Verhältnissen vorteilhaft eingesetzt werden.

Teiche, denen Regenwasser zugeleitet wird, können als Gestaltungselement in Innenhöfen eingesetzt werden. Im Rahmen der Planungen wird von 10 m² Wasserfläche je 100 m² angeschlossener Fläche ausgegangen (20 m² bei mittel durchlässigem Boden). Im Vergleich zu Grünflächen weisen sie – insbesondere mit Wasserpflanzen im Uferbereich – eine deutlich erhöhte Verdunstung auf und können einen Teil der Winterniederschläge jahreszeitlich speichern und im Sommer verdunsten. Durch eine Foliendichtung der Teiche auf Sandbettung kann durch Überlauf im Uferbereich eine Versickerung des Regenwassers erfolgen.

Durch in Fallrohre eingebaute Regensammler können die zahlreichen Niederschläge niedriger Intensität (z.B. nach Füllung von Regentonnen) in vorhandenen Grünflächen der Flächenversickerung zugeführt werden. Mit dieser sehr einfachen und kostengünstigen Maßnahme kann der bemessungsrelevante Spitzenabfluss auf 50% reduziert und der Jahresabfluss um 80% vermindert werden.

Speicher zur Bewässerung von Pflanzen können als Regentonne mit z.B. 200 Liter oder unterirdischer Zisterne mit 2 m³ oder auch als gedichtete Rigole realisiert werden.

Durch eine Fassadenbegrünung kann die Verdunstung deutlich höher ausfallen als durch Versickerungsmulden, da verhältnismäßig große zusätzliche Blattfläche an der Verdunstung teilnimmt. Hierbei wird aus Kostengründen nur die bodengebundene Begrünung betrachtet.

Urban Gardening kann im betrachteten Fall nur auf vergleichsweise kleinen Flächen mit entsprechend geringer wasserwirtschaftlicher Relevanz realisiert werden und wird deshalb im Rahmen der Musterplanungen nicht betrachtet.

Bei allen Versickerungs- und Speichermaßnahmen ist jeweils die Ausleitung aus dem Fallrohr und die Zuleitung zur Anlage zu berücksichtigen.

Hinsichtlich des Überflutungsschutzes wird davon ausgegangen, dass die Innenhofflächen ausreichend tief liegen, dass bei Überlastung der Anlagen durch Extremregen zusätzliches Regenwasser schadfrei einstauen kann, ohne z.B. Keller zu überfluten. Die Kosten für ggf. erforderliche Notüberläufe sind in den Musterplanungen nicht berücksichtigt.

2.6 Musterplanungen

Die im Rahmen dieses Projektes erarbeiteten Musterplanungen legen den Schwerpunkt auf Maßnahmen im Bestand von Mehrgeschosshäusern in Hannover. Die Zielgruppe dieser Musterplanungen sind Bauabteilungen von Wohnungsbaugenossenschaften.

Musterplanungen mit dem Schwerpunkt Einfamilienhäuser und der Zielgruppe Privateigentümer bietet die Emschergenossenschaft auf Ihrer Internetpräsenz <https://emscher-regen.de/index.php?id=12>. Auch der Praxisratgeber Entsiegen und Versickern in der Wohnbebauung des Hessischen Umweltministeriums (HMULV, 2007) bietet Schritt für Schritt-Praxisanleitung zur Umsetzung solcher Maßnahmen.

2.6.1 Ermittlung der Versickerungsfähigkeit des Bodens

- Mit einem Spaten eine 30 cm x 30 cm große, quadratische Grube ausheben bis zu der Tiefe in der versickert werden soll. Für eine Muldenversickerung also bis etwa 50 cm Tiefe.
- Um eine Verschlammung zu vermeiden, wird die Sohle der Grube mit einer 1 bis 2 cm dicken Feinkiesschicht bedeckt (oder mit abgestochenen Rasensoden).
- Am Grubenrand einen Stab einschlagen und einen Zollstock daran befestigen.
- Grube etwa eine Stunde Wässern (Da ein trockener Boden das Wasser schneller aufnimmt als ein bereits feuchter ist die Versickerungsleistung zu Anfang höher)
- Bei etwa 10 cm Wasserstand in der Grube 3 mal messen, wie viele Zentimeter der Wasserspiegel in 15 Minuten sinkt (ggf. Wasser nachfüllen)
- Ergebnis:
 - Gute Versickerungsfähigkeit bei mehr als 3,5 cm in 15 min -> mehr als 14 cm pro Stunde
 - Mittlere Versickerungsfähigkeit bei mehr als 0,3 cm in 15 min -> mehr als 1,3 cm pro Stunde

2.6.2 Hinweise zur Sicherheit

Wird ein Fallrohr vom öffentlichen Kanalnetz getrennt besteht die Gefahr, dass es zu Feuchteschäden an eigenen oder fremden Gebäuden kommt, wenn versickerndes Wasser nicht abgedichtete Kellerwände durchfeuchten kann. Um dies sicher ausschließen zu können müssen Versickerungsanlagen in ausreichendem Abstand (in der Regel ca. 3 m) zu nicht abgedichteten Gebäuden errichtet werden.

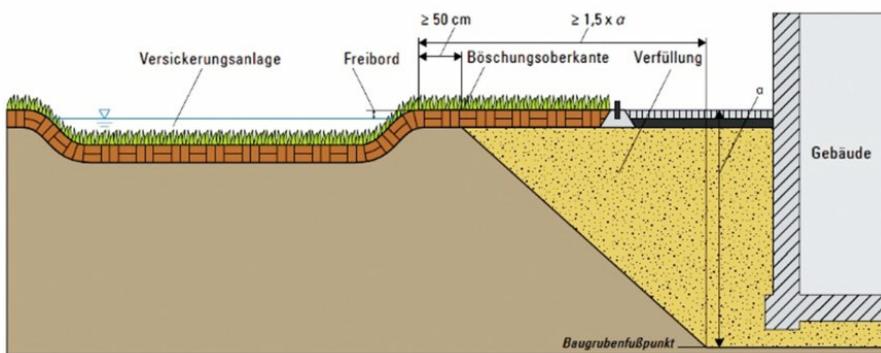


Bild 2-7: Notwendiger Abstand von Versickerungsanlagen zu Gebäuden ohne Abdichtung; Quelle: DWA A138 (2021)

Zudem muss ausgeschlossen werden, dass Regenwasser bei Extremereignissen in die Gebäude laufen kann.

Versickerungsanlagen auf Privatgrundstücken werden auf Regen bemessen, die statistisch einmal alle 5 Jahre auftreten. Stärkere Regen, die seltener Auftreten dürfen jedoch nicht zur Überflutung von Kellern führen. Das in diesen Fällen anfallende Wasservolumen muss im Außenbereich schadfrei auf Wegen, Stellplätzen oder Grünflächen gespeichert werden können.



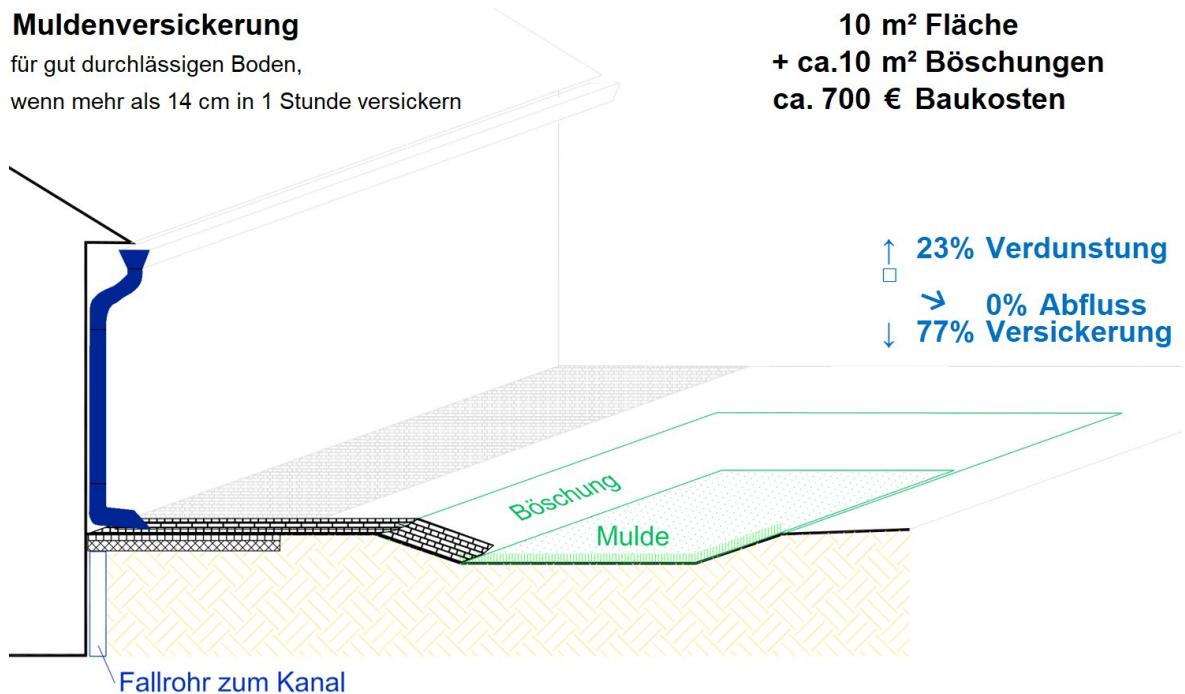
Beispiel schadfreien Rückhalts von Regenwasser bei Extremregen (Quelle: M.Kaiser)

2.6.3 Muldenversickerung bei gut versickerungsfähigem Boden

Muldenversickerung

für gut durchlässigen Boden,
wenn mehr als 14 cm in 1 Stunde versickern

10 m² Fläche
+ ca.10 m² Böschungen
ca. 700 € Baukosten



Mulde bauen mit 1:2-Böschung

400 €

Muldenfläche plus umlaufend 60cm Böschungsbereich abstecken
bei Rasen: Soden in gleichmässigen Stückchen abstechen, seitlich lagern
Erdaushub des Oberbodens (ca. 20cm), seitlich lagern
darunter mindestens 30cm Boden ausheben und ebene Sohle herstellen
Böschungsbereich so abgraben, dass eine gleichmässige Böschung entsteht, die gut gemäht werden kann
Oberboden und darauf Rasensoden wieder einbauen, sodass eine ebene Muldensohle entsteht

Fallrohrtrennung

100 €

Fallrohr 20cm über Gelände und 10cm unter Gelände durchtrennen
In die Kanalisation führendes Rohr mit Endkappe verschliessen
Krümmerstück an das Fallrohr anschliessen

Zuleitung

200 €

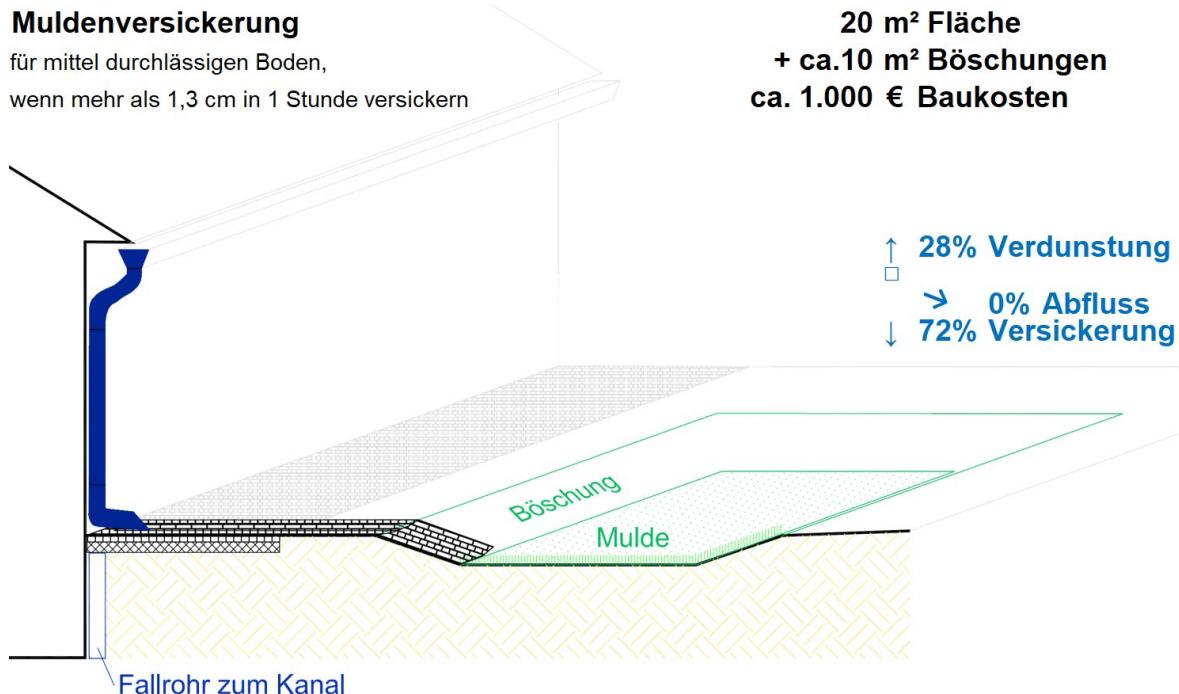
Regenableitung zur Mulde mit mehr als 3cm Gefälle je 3m herstellen
3m lange 30cm breite Pflasterrinne im Mörtelbett herstellen

2.6.4 Muldenversickerung bei mittel versickerungsfähigem Boden

Muldenversickerung

für mittel durchlässigen Boden,
wenn mehr als 1,3 cm in 1 Stunde versickern

20 m² Fläche
+ ca.10 m² Böschungen
ca. 1.000 € Baukosten



Mulde bauen mit 1:2-Böschung

700 €

Muldenfläche plus umlaufend 60cm Böschungsbereich abstecken
bei Rasen: Soden in gleichmässigen Stücken abstechen, seitlich lagern
Erdaushub des Oberbodens (ca. 20cm), seitlich lagern
darunter mindestens 30cm Boden ausheben und ebene Sohle herstellen
Böschungsbereich so abgraben, dass eine gleichmässige Böschung entsteht, die gut gemäht werden kann
Oberboden und darauf Rasensoden wieder einbauen, sodass eine ebene Muldensohle entsteht

Fallrohrtrennung

100 €

Fallrohr 20cm über Gelände und 10cm unter Gelände durchtrennen
In die Kanalisation führendes Rohr mit Endkappe verschliessen
Krümmerstück an das Fallrohr anschliessen

Zuleitung

200 €

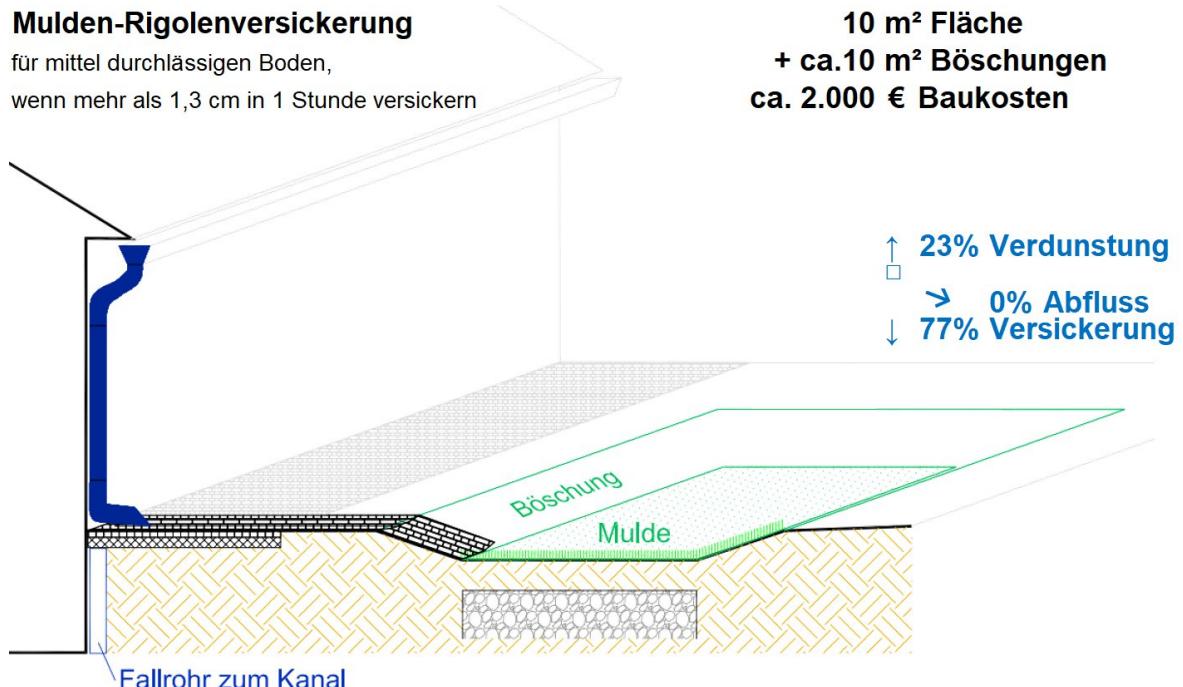
Regenableitung zur Mulde mit mehr als 3cm Gefälle je 3m herstellen
3m lange 30cm breite Pflasterrinne im Mörtelbett herstellen

2.6.5 Mulden-Rigolenversickerung bei mittel versickerungsfähigem Boden

Mulden-Rigolenversickerung

für mittel durchlässigen Boden,
wenn mehr als 1,3 cm in 1 Stunde versickern

10 m² Fläche
+ ca.10 m² Böschungen
ca. 2.000 € Baukosten



Mulde bauen mit 1:2-Böschung

1.700 €

Muldenfläche plus umlaufend 60cm Böschungsbereich abstecken
bei Rasen: Soden in gleichmässigen Stückchen abstechen, seitlich lagern
Erdaushub des Oberbodens (ca. 20cm), seitlich lagern
darunter mindestens 80cm Boden ausheben und ebene Sohle herstellen
Im Muldenbereich 0,5m Kies oder Schotter einbauen ("Rigole"; 5 m³)
seitlich und auf der Rigole Geotextil (150g/m²) einbauen, damit kein Boden in die Rigole gelangen kann
Böschungsbereich so abgraben, dass eine gleichmässige Böschung entsteht, die gut gemäht werden kann
Oberboden und darauf Rasensoden wieder einbauen, sodass eine ebene Muldensohle entsteht
(falls Oberboden nicht gut wasserdurchlässig ist, statt dessen 30cm sandigen Mutterboden einbauen)

Fallrohrtrennung

100 €

Fallrohr 20cm über Gelände und 10cm unter Gelände durchtrennen
In die Kanalisation führendes Rohr mit Endkappe verschliessen
Krümmerstück an das Fallrohr anschliessen

Zuleitung

200 €

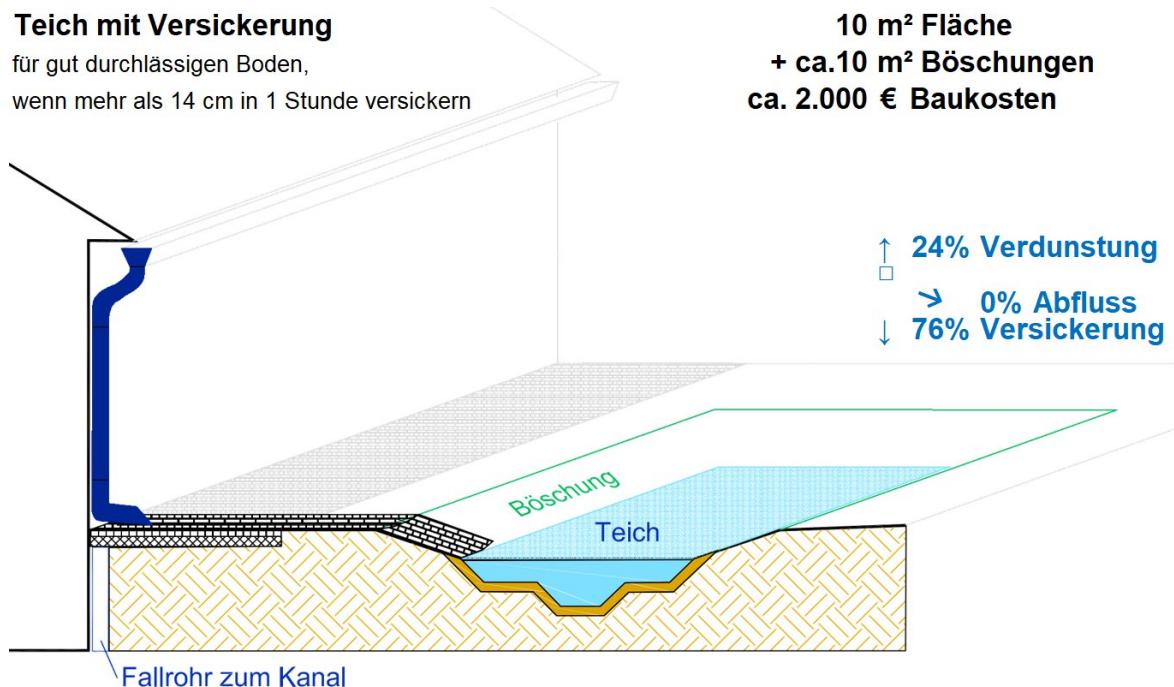
Regenableitung zur Mulde mit mehr als 3cm Gefälle je 3m herstellen
3m lange 30cm breite Pflasterrinne im Mörtelbett herstellen

2.6.6 Teich mit Versickerung bei gut versickerungsfähigem Boden

Teich mit Versickerung

für gut durchlässigen Boden,
wenn mehr als 14 cm in 1 Stunde versickern

10 m² Fläche
+ ca.10 m² Böschungen
ca. 2.000 € Baukosten



Teich bauen mit 1:2-Böschung

1.700 €

Teichfläche plus umlaufend 60cm Böschungsbereich abstecken
Erdaushub des Oberbodens der Böschungen (ca. 20cm), seitlich lagern
Im Uferbereich 80cm in der Mitte des Teichs 100cm Boden ausheben
Im Bereich des Teichs und seitlich bis zum Stauziel 10cm Kies (2-8mm) aufbringen
Auf dem Kies Geotextil (150g/m²) und darauf PELD-Teichfolie verlegen
Auf der Folie im Uferbereich Kies und Wasserpflanzen einbauen
Im Böschungsbereich Oberboden und darauf Rasensoden wieder einbauen

Fallrohrtrennung

100 €

Fallrohr 20cm über Gelände und 10cm unter Gelände durchtrennen
In die Kanalisation führendes Rohr mit Endkappe verschliessen
Krümmerstück an das Fallrohr anschliessen

Zuleitung

200 €

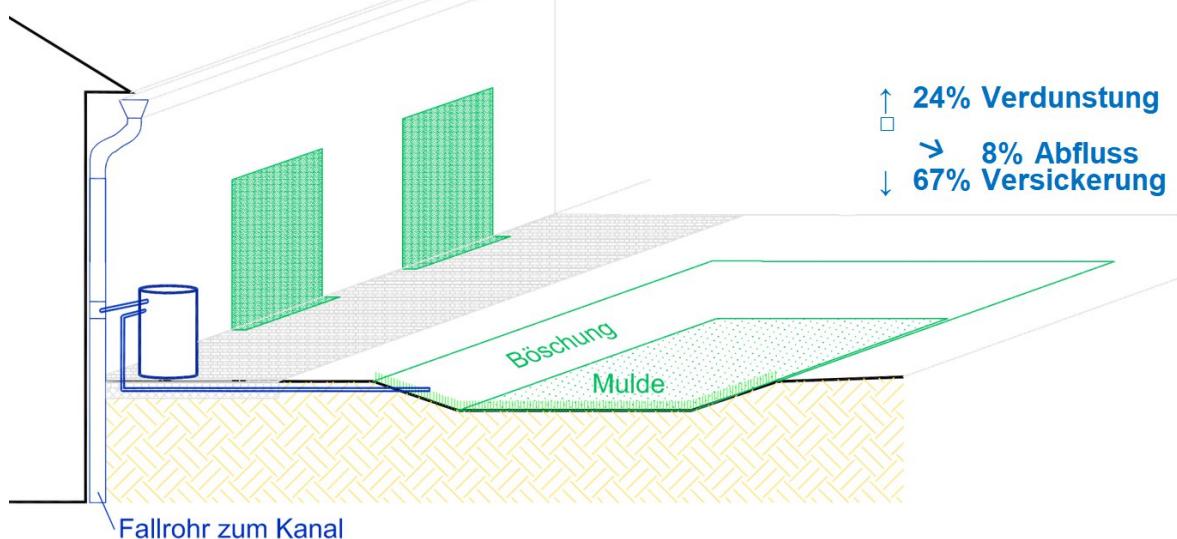
Regenableitung zur Mulde mit mehr als 3cm Gefälle je 3m herstellen
3m lange 30cm breite Pflasterrinne im Mörtelbett herstellen

2.6.7 Regensammler und Regentonne mit Muldenversickerung bei gut versickerungsfähigem Boden

Muldenversickerung von Regentonnenüberlauf

für gut durchlässigen Boden,
wenn mehr als 14 cm in 1 Stunde versickern

8 m² Fläche
+ ca. 8 m² Böschungen
ca. 750 € Baukosten



Mulde bauen mit 1:2-Böschung

350 €

Muldenfläche plus umlaufend 60cm Böschungsbereich abstecken
bei Rasen: Soden in gleichmässigen Stückchen abstecken, seitlich lagern
Erdaushub des Oberbodens (ca. 20cm), seitlich lagern
darunter mindestens 30cm Boden ausheben und ebene Sohle herstellen
Böschungsbereich so abgraben, dass eine gleichmässige Böschung entsteht, die gut gemäht werden kann
Oberboden und darauf Rasensoden wieder einbauen, sodass eine ebene Muldensohle entsteht

Fallrohrtrennung und 200 l Regentonne

300 €

Regensammler in Fallrohr einbauen,
sodass 32mm-Zuleitung 10cm unter dem Rand der Regentonne zugeführt wird
32mm-Überlaufrohr 15cm unter Tonnenrand anschliessen

Zuleitung

100 €

Pflaster aufnehmen, Überlaufrohr in der Bettung zur Mulde führen und darüber Pflaster wiederherstellen
Pflanzen der begrünten Fassade mit Giesskanne aus der Tonne schöpfen oder
Leitung mit Kugelhahn an Regentonne anschliessen und bis zur Begrünung führen und bei Bedarf wässern

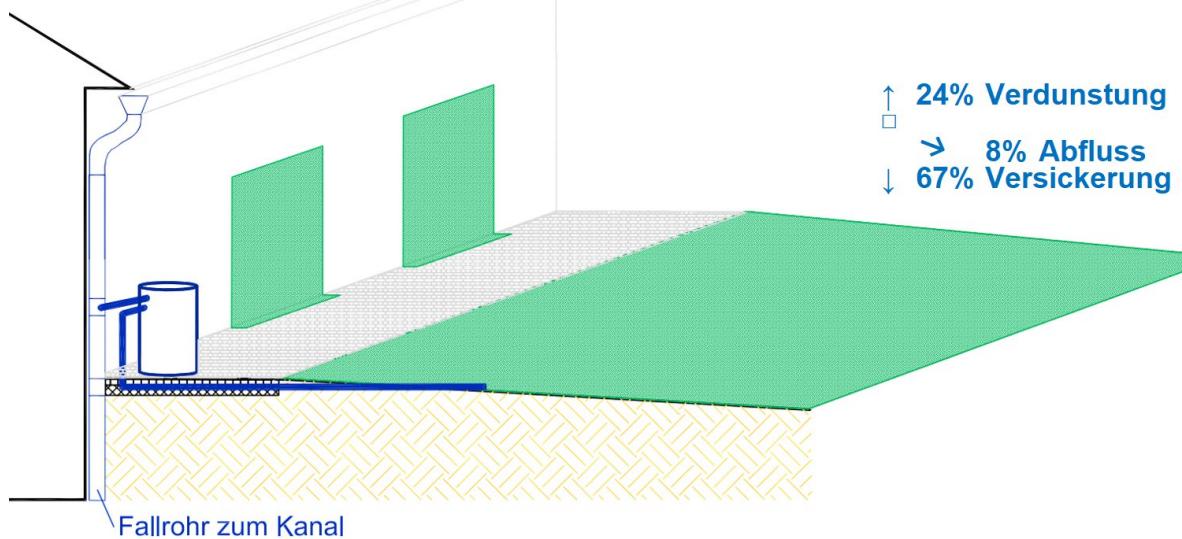
2.6.8 Regensammler und Regentonne mit Flächenversickerung bei gut versickerungsfähigem Boden

Flächenversickerung von Regentonnenüberlauf

für gut durchlässigen Boden,
wenn mehr als 14 cm in 1 Stunde versickern

13 m² Fläche

ca. 400 € Baukosten



Fallrohrtrennung und 200 l Regentonne

300 €

Regensammler in Fallrohr einbauen,
sodass 32mm-Zuleitung 10cm unter dem Rand der Regentonne zugeführt wird
32mm-Überlaufrohr 15cm unter Tonnenrand anschliessen

Zuleitung

100 €

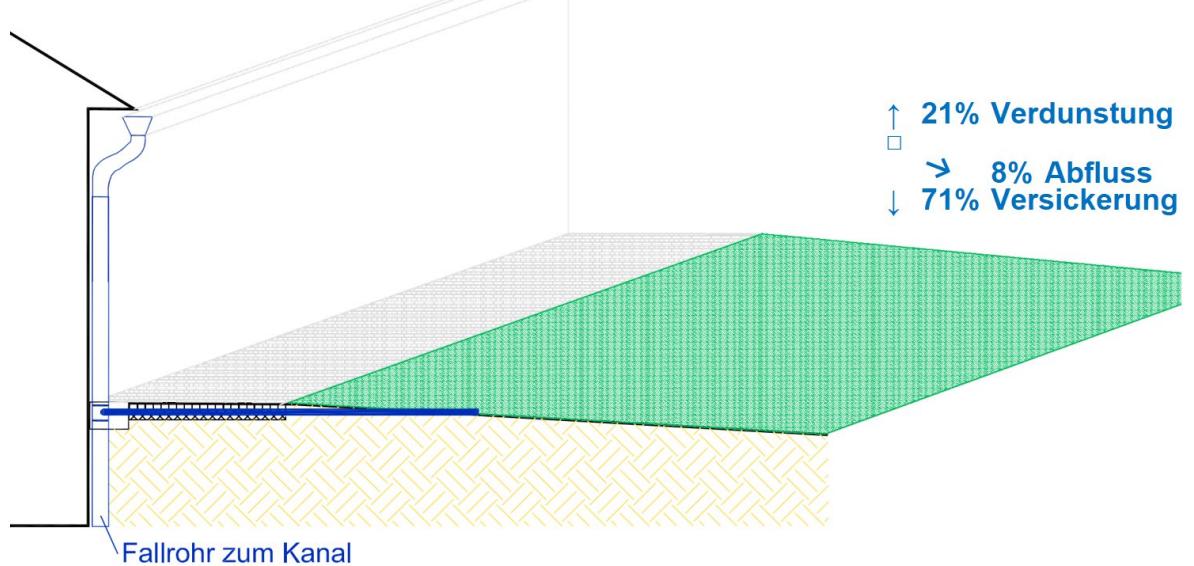
Pflaster aufnehmen, Überlaufrohr in der Bettung zur Mulde führen und darüber Pflaster wiederherstellen
Pflanzen der begrünten Fassade mit Giesskanne aus der Tonne schöpfen oder
Leitung mit Kugelhahn an Regentonne anschliessen und bis zur Begrünung führen und bei Bedarf wässern

2.6.9 Regensammler mit Flächenversickerung bei gut versickerungsfähigem Boden

Flächenversickerung aus Regensammler
für gut durchlässigen Boden,
wenn mehr als 14 cm in 1 Stunde versickern

13 m² Fläche

ca. 250 € Baukosten



Fallrohrtrennung

150 €

Regensammler in Fallrohr einbauen,
Revisionskasten um Regensammler mauern

Zuleitung

100 €

Pflaster aufnehmen, Überlaufrohr in der Bettung zur tiefer liegenden Grünfläche führen
Pflaster wiederherstellen

2.7 Kosten-Wirksamkeit der Musterplanungen

Tabelle 2-7: Kategorisierung der Einzelmaßnahmen

Maßnahmen zur Abflussreduktion	Versickerungsmaßnahmen	Speicher zur Bewässerung
Extensive Dachbegrünung (De)	Mulden (Vs-M)	Regentonnen (Sk)
Intensive Dachbegrünung (Di)	Kies-Rigolen (Vs-Rk) Kunststoff-Rigolen (Vs-Rp)	Zisternen (Sg)
Wasserdurchlässige Befestigung	Mulden-Rigolen (Vs-MR)	Gedichtete Rigolen
	Teichufer-Versickerung (T)	Teiche (T)

Die folgende Tabelle 2-8 zeigt ausgewählte Musterplanungen mit dem jeweils angesetzten Flächen und Volumenbedarf, den geschätzten Baukosten und den jeweiligen Verbleib des Regenwassers nach den Pfaden kanalisierte Einleitung, Verdunstung und Versickerung.

Die Bedeutung der Kürzel der zweiten Spalte sind in Tabelle 2-3 beschrieben. Im folgenden Kapitel 2.7.1.1 erfolgt eine Darstellung der Wirksamkeit der Maßnahmen hinsichtlich Verdunstung und Abkopplung von der Kanalisation jeweils in Abhängigkeit der spezifischen Baukosten.

Tabelle 2-8: Musterplanungen mit vordimensionierten Maßnahmenkombinationen und deren jeweiligen Wirkungen und Baukosten

Musterplanung	Musterplanung	extensive Dachbegrünung	intensive Dachbegrünung	Mulde	Rigole Kies	Rigole Kunststoff	Mulde Sand-Rigole	Teich+ versickerung	Speicher+ Fassadengrün	Fallrohr	Regensammler	Durchlässigkeit des Bodens	Baukosten je m ² befestigte Fläche	Kanalableitung	Verdunstung	Versickerung	
[Nr.]	Kürzel	[m ²]	[m ²]	[m ²]	[m ²]	[m ²]	[m ² /m ²]	[m ²]	[m ³ /m ²]	[-]	[-]	[-]	[€/m ²]	[%]	[%]	[%]	
0	K												0,00	83%	17%	0%	
1g	Vs-M			10									7,00	0%	23%	77%	
2g	Vs-Rk				10								20,00	0%	17%	83%	
3g	Vs-Rp					3,5							25,00	0%	17%	83%	
4g	Vs-MR						5/5						17,00	0%	20%	80%	
1m	Vs-M			20									10,00	0%	28%	72%	
2m	Vs-Rk				17								30,00	0%	17%	83%	
3m	Vs-Rp					6,3							35,00	0%	17%	83%	
4m	Vs-MR						10/10						20,00	0%	23%	77%	
5	De, K	100											25,00	50%	50%	0%	
6g	De, Vs-M	100		5									28,50	0%	53%	47%	
7g	De, Vs-Rk	100			5								35,00	0%	50%	50%	
8g	De, Vs-Rp	100				1,75							37,50	0%	50%	50%	
9g	De, Vs-MR	100					2,5/2,5						33,50	0%	51%	49%	
6m	De, Vs-M	100		10									30,00	0%	56%	44%	
7m	De, Vs-Rk	100			8,5								40,00	0%	50%	50%	
8m	De, Vs-Rp	100				3,15							42,50	0%	50%	50%	
9m	De, Vs-MR	100					5/5						35,00	0%	53%	47%	
10	Di, K	100											50,00	25%	75%	0%	
11g	Di, Vs-M	100	2,5										53,00	0%	76%	24%	
12g	Di, Vs-Rk	100		2,5									56,50	0%	75%	25%	
13g	Di, Vs-Rp	100			0,88								59,00	0%	75%	25%	
14g	Di, Vs-MR	100				1,2/1,2							55,50	0%	76%	24%	
11m	Di, Vs-M	100	5										53,50	0%	78%	22%	
12m	Di, Vs-Rk	100		4,25									59,00	0%	75%	25%	
13m	Di, Vs-Rp	100			1,58								61,50	0%	75%	25%	
14m	Di, Vs-MR	100				2,5/2,5							56,00	0%	76%	24%	
15g	Vs-T							10					20,00	0%	24%	76%	
15m	Vs-T							20					30,00	0%	32%	68%	
16	F-Sg							2/100					20,00	50%	50%	0%	
17g	F-Sg, Vs-M		10					2/100					27,00	0%	55%	45%	
17m	F-Sg		20					2/100					30,00	0%	59%	41%	
18g	Rs, Vs-M		8										X	7,50	8%	23%	69%
18m	Rs, Vs-M		16										X	9,00	8%	28%	63%
19g	Rs, Vs-F		13										X	4,00	8%	30%	62%
20	Rs, Sk-F							0,2/10	X				4,00	80%	20%	0%	
21g	Rs, Sk-F, Vs-M		8					0,2/10	X				7,50	8%	24%	67%	
21m	Rs, Vs-M			16				0,2/10	X				9,00	8%	30%	62%	

2.7.1.1 Kosten-Wirksamkeits-Vergleich der Musterplanungen

Das Ziel der vollständigen Minderung des Abflusses in die Kanalisation kann durch zahlreiche Musterplanungen realisiert werden. Je nach gewählter Variante betragen die Kosten dafür 7 € bis 62 € je Quadratmeter abflusswirksamer Fläche. Die kostengünstigsten Varianten sind Versickerungsmulden und Teiche mit Untergrundversickerung.

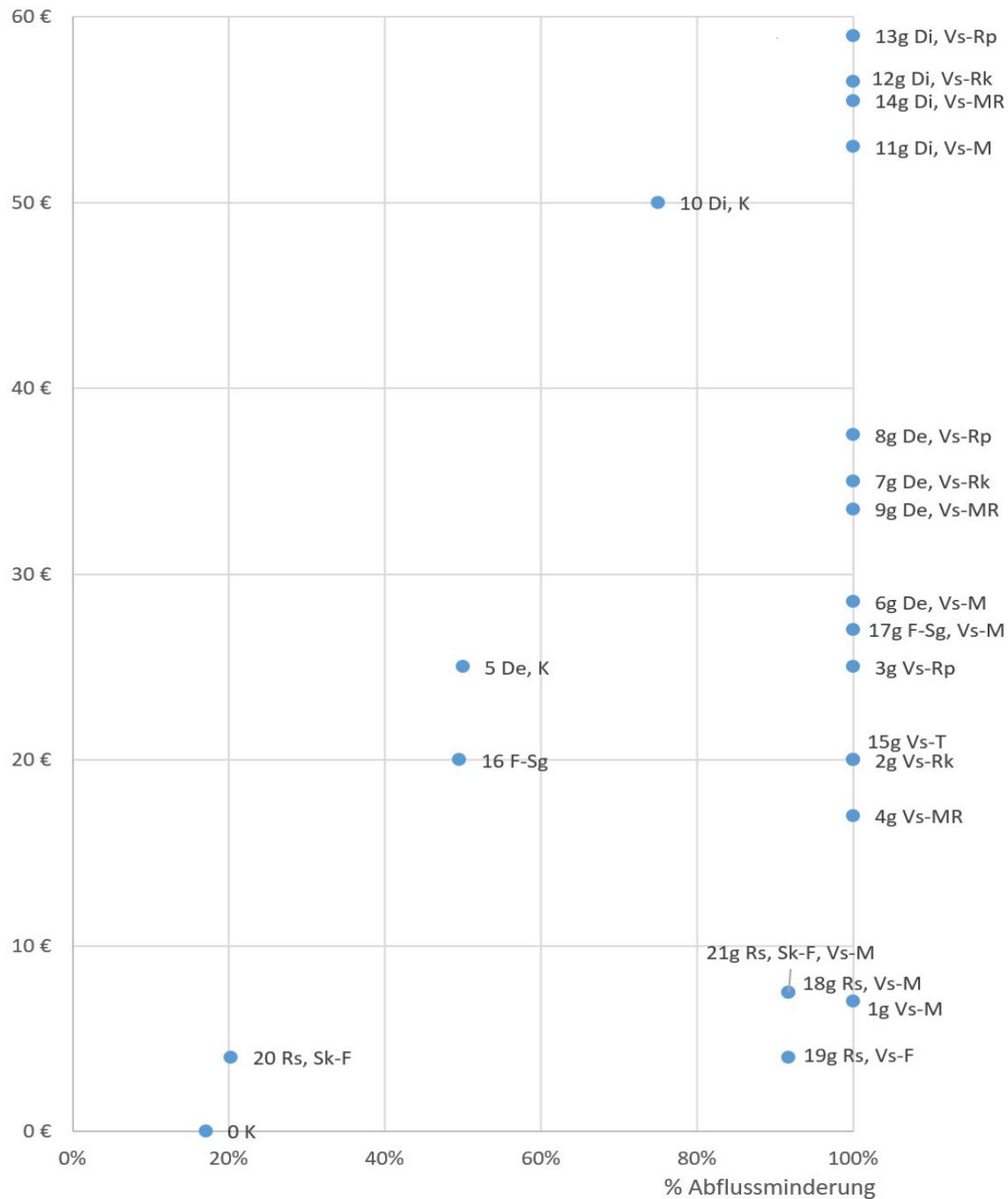


Bild 2-8: Abflussminderungswirkung in Prozent des Jahresniederschlags und Baukosten der einzelnen Musterplanungen in € je Quadratmeter abflusswirksame Fläche

Das Ziel der Erhöhung der Verdunstung auf über 65 Prozent des Jahresniederschlags, die dem natürlichen Zustand entsprechen würden kann nur mit Musterplanungen, die eine intensive Dachbegrünung beinhalten, realisiert werden. Je nach gewählter Variante betragen die Kosten dafür 50 € bis 62 € je Quadratmeter abflusswirksamer Fläche. Bei allen Musterplanungen ohne Dachbegrünung kann der Anteil verdunstenden Niederschlags nicht nennenswert erhöht werden. Auch von unbegrünten Dächern kommen über Benetzungsverluste etwa 17% des fallenden Niederschlags (Regen unter 0,6 bis 1 mm) zur Verdunstung. Eine zusätzliche Verdunstung wird den Maßnahmenkombinationen zugerechnet, wenn durch die vermehrte Wasserzuleitung von anderen Flächen durch verbesserte Wasserbereitstellung die Verdunstung der Grünflächen im Vergleich zum

vorherigen unbewässerten Zustand verbessert. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die geringen Wirkungen auf der bei den Musterplanungen angesetzten geringen Maßnahmenfläche von maximal 10 % der angeschlossenen Fläche begründet sind. Weiterhin erfolgt die Beurteilung hinsichtlich der Jahreswasserbilanz. Im Nahbereich der Maßnahmen und insbesondere in heißen Trockenphasen im Sommer wird das Kleinklima spürbar verbessert und die Aufenthaltsqualität durch üppigere und weniger vertrocknete Grünflanzen verbessert.

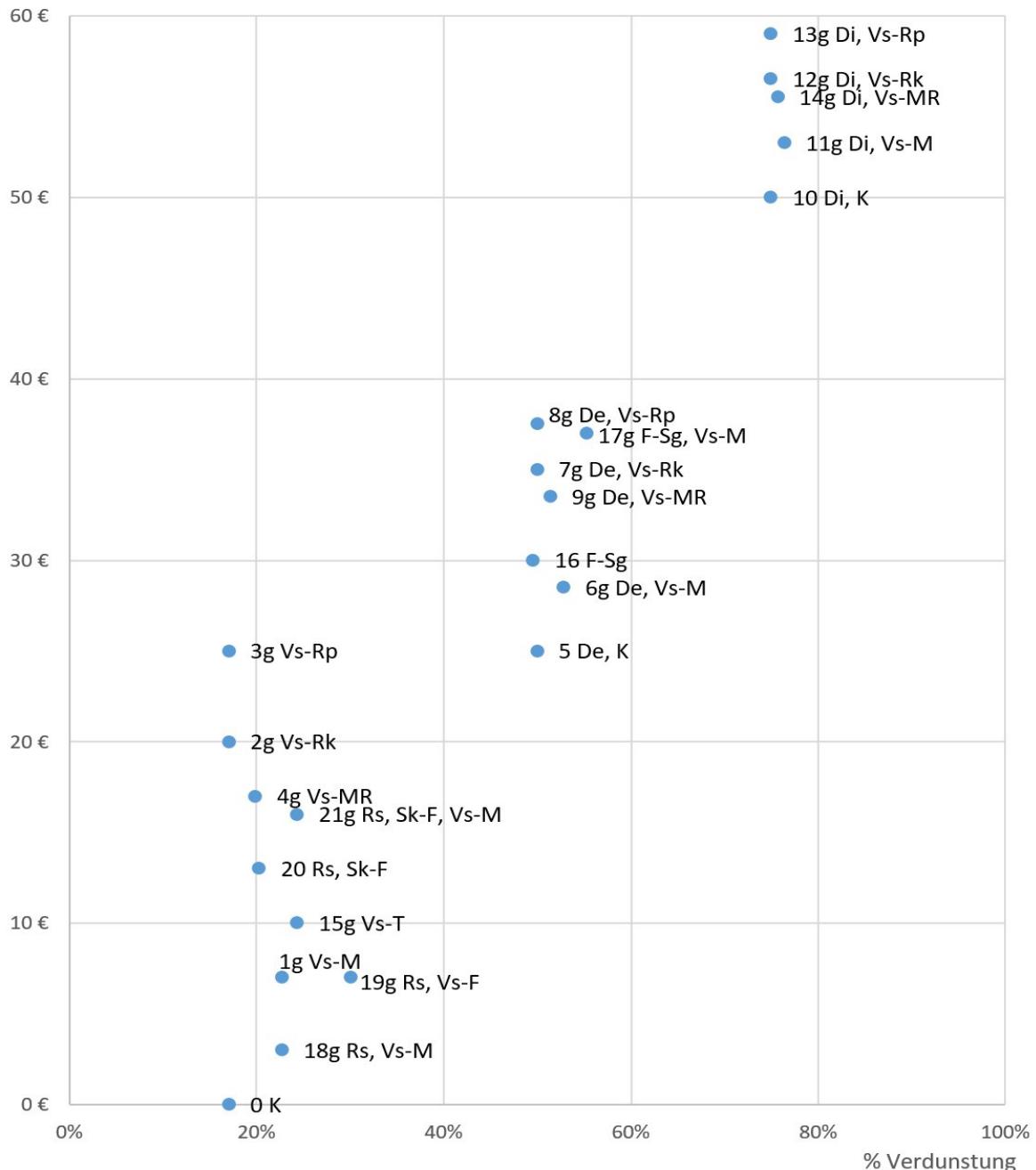


Bild 2-9: Verdunstung in Prozent des Jahresniederschlags und Baukosten der einzelnen Musterplanungen in € je Quadratmeter abflusswirksame Fläche

Musterplanungen mit Versickerung durch Mulden, Teiche oder vorhandene Grünflächen stellen die Varianten mit dem besten Kosten-Nutzen-Verhältnis dar.

Durch Zisternen kann zwar der Anteil des Niederschlags, der verdunstet, geringfügig erhöht werden, wobei jedoch vergleichsweise hohe Kosten anfallen. Aufgrund der innerstädtisch geringen einwohnerspezifischen Grünflächen (max. 5 m²/E) würde sich bei Bewässerung mit Trinkwasser der Wasserverbrauch nur minimal um etwa 4 % erhöhen.

Die Faustwerte für die Baukosten unter günstigen Randbedingungen bieten den an der Umsetzung von BGI Interessierten Anhaltswerte zur Einschätzung von Angeboten zur Umsetzung dieser Maßnahmen. Allerdings können sie in Abhängigkeit von spezifischen Rahmenbedingungen stark variieren. Beispielsweise wurde bei einer Wohnungsbaugesellschaft eine Versickerung mit Kunststoffrigolen mit Baukosten von über 125 € je Quadratmeter angeschlossener Fläche und damit mit den 5-fachen der erwartbaren Kosten realisiert. An anderer Stelle wurden Versickerungsrigolen auf so ungünstige Weise umgesetzt, dass deren Wartung jährlich teurer als die eingesparten Gebühren ist.

Mit übersichtlichen Informationen zu Kosten und Nutzen verschiedener Maßnahmen blaugrüner Infrastruktur liegt den Wohnungsbaugesellschaften eine Grundlage vor gegenüber ausführenden Firmen und Planern möglichst kostengünstige Alternativen wählen zu können.

2.8 Fazit Musterplanungen

Durch Vereinfachung der Vorgänge für Genehmigung und Gebührenreduktion und durch Bereitstellung von Musterplanungen (mit leicht verständlichen Hinweisen zur Bemessung und baulichen Ausführung) können die größten Hemmnisse zur Abkopplung von Regenwassereinleitungen überwunden werden.

Im innerstädtischen Bereich sind die Kosten für die Regenwassergebühr mit 0,2 € je Quadratmeter Wohnfläche und Monat gering. Unter günstigen Randbedingungen liegen die Jahreskosten für die Realisierung blau-grüner Infrastruktur auch im innerstädtischen Bestand in der gleichen Größenordnung wie die Regenwassergebühr, bzw. leicht darunter. Dass die Motivation zur Umsetzung durch zusätzliche Reduktionen an Gebühren oder durch Förderprogramme merklich gesteigert werden kann ist daher nicht zu erwarten.

Im Gegensatz zu bisherigen Veröffentlichungen von Musterplanungen der SEH und anderen Städten wurden auch Varianten entwickelt und dargestellt, die nicht die vollständige Abkopplung von der Kanalisation zum Ziel haben. Diese Maßnahmen führen damit nicht zur Reduzierung der Regenwassergebühr, erlauben aber auch bei kleinen zur Verfügung stehenden Flächen und sehr geringen Baukosten eine mehr als 90-prozentige Reduktion von Regenwassereintrag in die (Schmutzwasser-) Kanalisation und eine leichte Erhöhung der Verdunstung durch Bereitstellung von Bewässerungswasser.

Maßnahmen zur weitergehenden Erhöhung der Verdunstung haben siedlungswasserwirtschaftlich nur geringe Auswirkungen und können nur mit unverhältnismäßig höheren Baukosten realisiert werden. Unabhängig davon können diese Maßnahmen aber die Wohnumfeldqualität – insbesondere bei landschaftlich integrierter Planung – und auch die Biodiversität erhöhen. Mehrwert und Nutzen sind dabei hauptsächlich durch attraktivere Wohnsituationen zu erreichen und zu finanzieren.

2.9 Empfehlungen für Wohnungsbaugenossenschaften in Linden-Nord

Die Innenhöfe in Linden-Nord sollten stärker begrünt werden. Den Grünflächen sollte der Regenablauf der Dach- und Wegeflächen zugeleitet werden. Ein möglichst großer Anteil des Regenwassers sollte insbesondere im Sommer über Böden und Pflanzen verdunsten. Ein möglichst großer Anteil des Regenwassers sollte dezentral in Mulden oder tiefer liegenden Grünflächen versickern. Eine vollständige Abkopplung von der Kanalisation ist wünschenswert, häufig jedoch nur mit unverhältnismäßigen Mehrkosten zu erreichen.

Die Begrünung sollte mit einer möglichst großen Blattfläche realisiert werden. Begrünung, die zusätzlich beschattend wirkt, wie bei Bäumen und Laubengängen, erhöht die Kühlwirkung.

Befestigte Flächen sollten möglichst wasserdurchlässig und in hellen Materialien ausgeführt werden um die Erwärmung zu minimieren.

Fassaden und Flachdächer sollten begrünt werden.

Es sollte eine abwechslungsreiche Begrünung mit erhöhter Biodiversität gewählt werden. Flächen mit flach wurzelndem Grün, wie z.B. Rasen, die in Trockenperioden bewässert werden müssen sollten auf ein Minimum beschränkt werden.

Wo möglich sollten Teiche angelegt werden. Sie sind schön, verbessern das Kleinklima und ermöglichen eine hohe Biodiversität.

Menschen, die Begrünungen betrachten sind gesünder und glücklicher. Begrünung senkt in Hitzeperioden durch Beschattung und Verdunstung die Temperatur und erhöht die Lebensqualität. In Städten mit mehr Bäumen gibt es weniger Hitzetote.

Den Bewohnern sollte vorgeschlagen werden gemeinsame Grünpflegeaktionen durchzuführen und den Teilnehmenden geringere Nebenkosten für professionelle Grünpflege anzurechnen. Durch die gemeinsame Tätigkeit wird zudem die Hausgemeinschaft verbessert.

Durch verminderter Eintrag von Regenwasser über Fehlanschlüsse in den Innenhöfen in die Schmutzwasserkanalisation werden Pump- und Klärwerke und die Umwelt entlastet.

3 Literaturverzeichnis

BfG, 2003 BAGLUVA – Wasserhaushaltsverfahren zur Berechnung vieljähriger Mittelwerte der tatsächlichen Verdunstung und des Gesamtabflusses BfG-1342, BUNDESANSTALT FÜR GEWÄSSERKUNDE KOBLENZ, 2003
(https://www.bafg.de/DE/02_Aufgaben/01_Quantitativ/01_Abt_Ref/M2/BAGLUVA.pdf?__blob=publicationFile)

BLW, 2000 Praxisratgeber für den Grundstückseigentümer, Regenwasserversickerung – Gestaltung von Wegen und Plätzen, Bayrisches Landesamt für Wasserwirtschaft, Juni 2000

BWB, 2022 Berliner Wasserbetriebe, Berliner Regenwasseragentur, <https://regenwasseragentur.berlin/>

DIN 1986, 2016 Gebäude- und Grundstücksentwässerung, Planung und Ausführung – DIN 1986-100 und DIN EN 12056-4

DWA, 2005 DWA - Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. DWA-A 138 - Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser.

DWA, 2013 DWA – Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (2013): DWA-A 117 -Bemessung von Regenrückhalterräumen.

DWA, 2020 DWA - Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (2020): Entwurf Merkblatt DWA-M 102-4/BWK-M 3-4 - Grundsätze zur Bewirtschaftung

DWA, 2020a Entwurf Arbeitsblatt DWA-A 138-1 Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser – Teil 1: Planung, Bau, Betrieb

DWA, 2021 DWA Arbeitsblatt A 138 Gelbdruck: Bau und Bemessung von entwässerungstechnischen Anlagen zur Versickerung von nicht schädlich verunreinigtem Regenwasser

DWD, 2010 Koordinierte Starkniederschlags-Regionalisierungs-Auswertungen (KOSTRA), Deutscher Wetterdienst (DWD), 2010

DWD, 2015 Verdunstung, Hydrometeorologie, Berlin-Buch, Deutscher Wetterdienst, Stand: März 2015

DWD, 2020 Nationaler Kimareport, Deutscher Wetterdienst Potsdam, 4. korrigierte Auflage

DWD, 2021 Extremwetterkongress: Was wir heute über das Extremwetter in Deutschland wissen. Deutscher Wetterdienst, Offenbach am Main

EGLV, 2022 Praxisratgeber zur Regenwasserbewirtschaftung der Emscher Genossenschaft, emscher-regen.de/index.php?id=12

HAD, 2003 Hydrologischer Atlas Deutschland, geoportal.bafg.de

HMULV, 2007 Praxisratgeber Entsiegen und Versickern in der Wohnbebauung des Hessischen Umweltministeriums

KWB, 2017 Riechel, M., Remy, C., Matzinger, A., Schwarzmüller, H., Rouault, P., Schmidt, M., Offermann, M., Strehl, C., Nickel, D., Sieker, H., Pallasch, M., Köhler, M., Kaiser, D., Möller, C., Büter, B., Leßmann, D., von Tils, R., Säumel, I., Pille, L., Winkler, A., Bartel, H., Heise, S., Heinzmann, B., Joswig, K., Reichmann, B., Rehfeld-Klein, M. (2017): Maßnahmensteckbriefe der Regenwasserbewirtschaftung - Ergebnisse des Projektes KURAS. Berlin (http://kuras-projekt.de/fileadmin/Dokumenten_Verwaltung/pdf/Steckbriefe_komp_lett_web.pdf)

LBEG, 2012 Geoberichte 20 Klimawandel und Bodenwasserhaushalt, Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie Niedersachsen

LBEG, 2019 Mittlere klimatische Wasserbilanz der Jahre 2021-2050 (Projektion) (KP_KWBJ_2021) , Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie Niedersachsen, abgerufen in <https://nibis.lbeg.de/net3/public/ikxcmss/default.aspx?pgid=1044>

Lungman, T. et.al. 2023 Cooling cities through urban green infrastructure: a health impact assessment of European cities, The Lancet, Volume 401, ISSUE 10376, P577-589, February 18, 2023

NIBIS, 2022 Versiegelungsgrad Hannover; <https://nibis.lbeg.de/cardomap3/?permalink=1UNCXI0p>)

SEH, 2018 Informationsblatt zur Regenwasserversickerung bei Wohnbebauung, Stadtentwässerung Hannover

Sieker (2022) Verdunstung, Versickerung und Abflüsse im bebauten und unbebauten Zustand, www.sieker.de

Spektrum, 2022 spektrum.de/lexikon/geowissenschaften/porositaet/12601