

Regenwassermanagement

Garten der Bewegung

Bachelorarbeit

Fachbereich Landschaftswissenschaften und Geodesie



Hochschule Neubrandenburg
University of Applied Sciences

**Studiengang:
B.Eng. Landschaftsarchitektur**

Abgabe: 23.10.2019

urn:nbn:de:519-thesis

**Erstgutauchterin:
Prof. Angeli Büttner
Zweigutachter:
& Jens Rupprecht**

**Vorgelegt von:
Konrad Saß**

INHALTSVERZEICHNIS

1. Einleitung	5
2. Wasser und seine globale Bedeutung	7
2.1 Was ist Wasser überhaupt?	7
2.2 Was kann jeder persönlich zum effizienteren Wasserverbrauch beitragen?.....	8
2.3 Richtlinien und Vorgaben	11
2.4 Das Problem der Bodenversiegelung	15
3. Wasserwirtschaft in der Stadt	17
3.1 Konventionelle- und Naturnahe Regenwasserbewirtschaftung	17
3.2 Folgeerscheinungen der konventionellen	18
Regenwasserbewirtschaftung	18
3.3 “Die Selbstreinigungskraft der Natur”	19
4. Bestandsaufnahme	21
5. Entwurf	26
6. Ausführungen	30
6.1 Ausführungsvarianten	30
6.2 Technische Anlagen.....	32
6.3 Materialien und Rohstoffe	33
6.4 Kreisläufe	34
7. Kostenschätzung.....	34
8. Fazit	36
9. LITERATURVERZEICHNIS	38
9.1 Internetquellen.....	38
Abbildungsverzeichnis.....	39
Tabellenverzeichnis	39
Handschriftliche Korrekturen, Ergänzungen oder Anmerkungen	40
Anhang	41

1. EINLEITUNG

Mit dem weltweit steigenden Energiebedarf und Rohstoffabbau kann diese Arbeit ein Beispiel für den schonenden Umgang mit Ressourcen unter Verwendung von regenerativen Baustoffen darlegen, ein "Cradle to Cradle" Konzept, welches von komplizierten Systemelementen absieht. Der bewusste Umgang mit unseren Ressourcen bedeutet vor allem die Abkehr von künstlich geschaffenen Laufzeiten einiger Produkte, um Absatzmärkte zu bedienen. Außerdem geht es um den Energietransport bei diesen Systemen. Sehr gut eignen sich dazu dezentrale Anlagen, um die Energie an Ort und Stelle zu decken und somit die Transportwege kurz zu halten.

Die Anlagen, bestehend aus diesen simplen Systemelementen, sind in ihre einzelnen Bestandteile austauschbar und weitestgehend leicht herzustellen. Alle Systemelemente bauen aufeinander auf und/oder sind mit einander verknüpft. Keines der Elemente steht für sich alleine oder bedarf einer besonderen aufwändigen Ausführung bzw. bedient stark energieintensive Prozesse.

Dieses beschriebene Grundprinzip wird nun auf ein Regenwassermanagement Konzept angewandt. Es handelt sich um ein Grundstück der Fam. Schmidt (Name fiktiv) in Greifswald. Auf diesem Grundstück soll die theoretische Planung für ein Regenwasserhaushaltskonzept überlegt werden. Die zugrunde liegenden Daten über die Verbraucher im Haushalt sind real, aber aus datenschutzrechtlichen Gründen durch fiktive Namen ersetzt worden.

Das Thema der Regenwasserentwässerung ist viele Male zuvor behandelt worden, von unterschiedlichen Berufszweigen und deren verschiedenen Blickwinkel. Der Ansatz und die Schwerpunkte werden nun mit einer landschaftsarchitektonischen Herange-

hensweise betrachtet. Ein Schwerpunkt dieser Arbeit umfasst dabei die Bewegung innerhalb des "Gartens". Der Begriff "Garten" hat hierbei mehr symbolischen Charakter. Es wäre auch mit jeder vergleichbaren "Grünfläche" realisierbar. Das bedeutet einerseits die Bewegung des Wassers in der gesamten Anlage, aber auch die Dynamik, die durch das bewegte Wasser entsteht. Vom Zeitpunkt des auftreffenden Regenwassers auf dem Dach bis hin zur Kreislaufüberleitung bzw. -überführung durchfließt das Regenwasser immer wieder dasselbe System. Das belastet die Bausubstanz und bedingt oft einen pflegeintensiven Betrieb der Anlage. Wie kann man also nun mit dieser Dynamik besser umgehen und vielleicht im Idealfall diese zum eigenen Vorteil nutzen bzw. die intensiven Pflegemaßnahmen minimieren?

Die verschiedenen Disziplinen, die das Thema des Regenwassermanagement mit sich bringen und in ihrer Anwendung miteinander harmonieren müssen, stellen einen weiteren Schwerpunkt dar. Diese verschiedenen Disziplinen sollen daher umfassend betrachtet werden.

Um genau diese Harmonie zu erzeugen, ist es naheliegend, zunächst natürliche Vorgänge akribisch zu beobachten, diese zu verstehen, um sie dann naturnah zu kopieren und auf den Umgang mit Regenwasser anzuwenden.

Die eingesetzten Materialien (Rohstoffe) sind so gewählt, dass sie leicht reproduzierbar (im besten Fall aus sich selbst) oder austauschbar sind und in die jeweiligen Kreisläufe wieder eingebunden werden können. Demzufolge ist der "Nachhaltigkeitsgedanke" bereits impliziert.

Zudem geht es um die Finanzierung und damit verbundenen ökonomische Aspekte solcher Vorhaben. Machen sich umfangreiche Investitionen über die Jahre bezahlt? Welche Möglichkeiten der Finanzierung gibt es? Eine Kostenbilanzierung für verschiedene Varianten von Systemelementen soll hier den fiktiven Kunden die Möglichkeit geben, verschiedene Kombinationsvarianten auszuwählen, um dem eigenen Bedarfsanspruch und Budget individuell gerecht zu werden.

2. WASSER UND SEINE GLOBALE BEDEUTUNG

2.1 WAS IST WASSER ÜBERHAUPT?

Es gibt im Universum einen außergewöhnlichen Stoff, welcher in seiner Form nur durch eine Anomalie besteht. Die Rede ist von der chemischen Verbindung Wasserstoff und Sauerstoff zu H_2O . Zwei Gase, die für sich alleine bei Raumtemperatur gasförmig sind, aber in Verbindung in den flüssigen Aggregatzustand wechseln. Sie gehören zu den wertvollsten Verbindungen im Universum.

Dieses faszinierende Element taucht auf der Erde in drei wesentlichen Aggregatzuständen auf: in flüssiger und fester Form (Eis) oder gasförmig als Wasserdampf. Es wird als Lebenselixier bezeichnet. Für alle Organismen auf der Erde spielt Wasser eine wichtige Rolle.

Außerdem bietet es in den Gewässern der Erde Lebensraum für tausende Arten von Tieren und Pflanzen. Es ermöglicht zahlreiche Reaktionen in allen Zelltypen bzw. hilft es in den Zellen beim Stoffaustausch (z.B. Blut und Harn, aber auch gelöste Nährsalze). Es regelt die Temperatur und die Verteilung der Nahrungsflüssigkeit in den verschiedenen Organismen. [VGL. WISSEN DIGITAL (O.J.)] Es ist somit nicht nur ein guter Wärmeleiter sondern auch ein gutes Transportmittel.

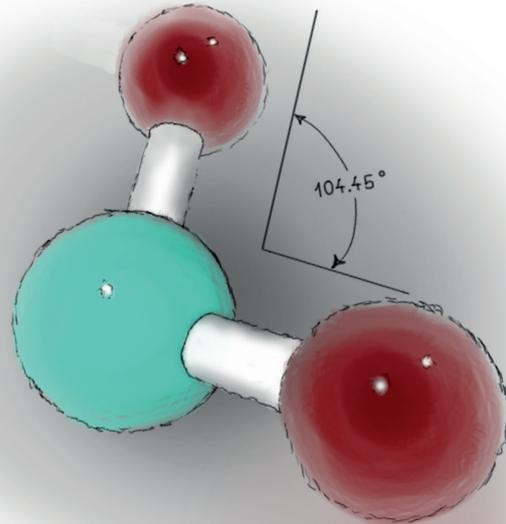


Abb. 02: Wassermolekül
Zeichnung: K.Saß

Der natürlich entstandene Sauerstoff in unserer Atmosphäre stammt aus Wasser. Durch Assimilationsprozesse von Pflanzen, auch bekannt als Photosynthese, wird in einer chemisch-elektrischen Reaktion Wasserstoff vom Sauerstoff getrennt und zur Herstellung von Glukose in den Blättern gebunden. Der Sauerstoff hingegen wird an die Umwelt abgegeben.

Es gibt unterschiedliche Typen von Wasser, die für uns Menschen relevant sind: das Oberflächen-, das Quel- und das Grundwasser. Weiterhin wird es als Trink-, Brauch-, Lösch- oder aber auch als Abwasser verwendet. Es wird auch auf Grund seiner Inhaltsstoffe als Mineralwasser, Salzwasser oder Süßwasser bezeichnet.

71 % der Erdoberfläche bestehen aus Wasser (überwiegend Salzwasser). Das ge-

samte Wasservorkommen der Erde beträgt circa 1.386.000.000 Milliarden Kubikmeter, wovon nur rund 0,6 % als Grundwasser vorhanden sind. [VGL. WASSERLEXIKON (O.J)]

Das zeigt, wie gering die Menge von Grundwasser ist, aus dem wir Menschen weitestgehend unser Trinkwasser beziehen. Leider sind die Zugänge zu Grundwasser auf der Erde nicht gleichmäßig verteilt. So kommt es vor, dass der Bedarf nicht überall gedeckt werden kann. Dadurch kommt es in bestimmten Regionen der Erde zu kriegerischen Auseinandersetzungen beim Kampf um Wasser (Tendenz steigend).

Der Kreislauf des Wassers ist ein Prozess ständiger Erneuerung: Wasserfälle, Wasserdampf, Wolken, Regen, Quellen, Flüsse, Meere, Ozeane, Gletscher. Dies ist ein permanenter Kreislauf. Die Wassermenge bleibt auf der Erde immer gleich. Alle Generationen von Lebewesen auf der Erde haben das gleiche Wasser gebraucht und das bereits seit Millionen von Jahren. Es ist das wertvollste Gut auf der Erde, da es die Grundlage für jegliches Leben bildet.

2.2 WAS KANN JEDER PERSÖNLICH ZUM EFFIZIENTEREN WASSERVERBRAUCH BEITRAGEN?

Etwa 121 Liter Wasser verbrauchen wir Deutschen pro Tag. [VGL. THE WATER FOOTPRINT NETWORK (O.J)] Diese Mengenangaben beziehen sich auf den Wasserverbrauch, welcher in den unterschiedlichsten Prozessen gebraucht wird. Dazu müssen zwei Begriffe erklärt werden: zum einen der Begriff „virtuelles Wasser“ sowie zweitens der „Wasserfußabdruck“.

WAS IST „VIRTUELLES WASSER“?

Virtuelles Wasser ist die Menge Wasser, die zur Herstellung eines Produkts oder für eine Dienstleistung verwendet wird. Es umfasst den Wasserverbrauch in der gesamten Produktionskette, also den An- oder Abbau der Rohstoffe, die Weiterverarbeitung und Beseitigung von Abfällen.

Wissenschaftler haben im globalen Durchschnitt den Bedarf an Wasser für bestimmte Produkte errechnet. Damit man eine Vorstellung davon bekommt, hier ein paar Beispiele aus der Praxis.

Für die Herstellung von einem Kilo Baumwollstoff benötigt man ca. 10.000 Liter Wasser. Für die Herstellung einer Jeans ca. 8.000 Liter und für ein T-Shirt rund 2.500 Liter. Selbst für die Herstellung einer Tafel Schokolade werden 1.700 Liter virtuelles Wasser verbraucht. [VGL. THE WATER FOOTPRINT NETWORK (O.J)]

Nun brauchen wir uns in Nordeuropa kaum Gedanken um Wasserknappheit machen, wohingegen in vielen Teilen der Welt (auch Südeuropa) sauberes Wasser eine knappe Ressource ist, und Experten zufolge verstärkt der Klimawandel diese Ungleichverteilung noch. Aber gerade in diesen Teilen der Welt werden viele Konsumgüter, wie oben

beschrieben, hergestellt. Und genau dieser Zustand sollte jedem einzelnen zu denken geben. [VGL. FLATLEY (2014)]

WAS BEDEUTET „WASSERFUSSABDRUCK“?

Unter dem Begriff Wasserfußabdruck versteht man die Wassermenge, die insgesamt von den Einwohnern eines Landes beansprucht wird. Er setzt sich zusammen aus dem internen und externen Wasserfußabdruck. Gleichzeitig gibt es noch Verknüpfungen bei der Wassernutzung für Import- und Exportleistungen (vgl. Abb. 03).

Wasserfußabdruck Deutschland

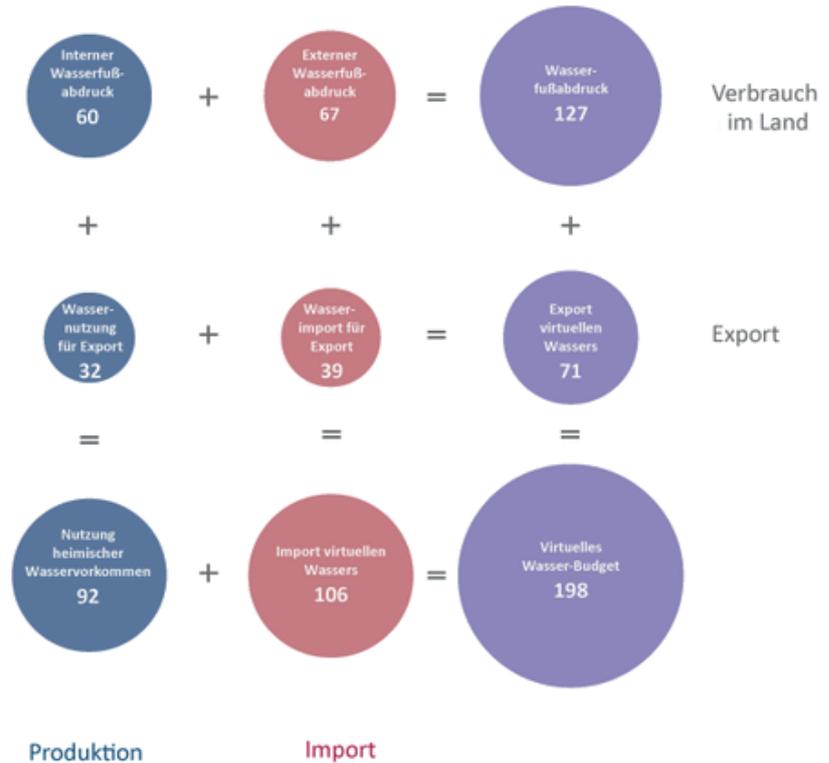


Abb. 03: Komponenten des Wasserfußabdrucks am Beispiel Deutschlands. Angaben in Mrd. m³ pro Jahr. Grafik nach www.waterfootprint.org

Der interne Wasserfußabdruck beschreibt die Nutzung der heimischen Wasservorkommen für die Produktion von landwirtschaftlichen und industriellen Gütern für den eigenen Konsum sowie die häusliche Verwendung von Wasser. Das sind in Deutschland z.B. rund 60 Mrd. m³ Wasser im Jahr. Hinzu kommt hier noch der externe Wasserfußabdruck. Das sind nochmal rund 67 Mrd. Liter Wasser. Also liegt der gesamte Wasserfußabdruck für Deutschland bei 127 Mrd. Liter Wasser. [VGL. FLATLEY (2014)]

Zum Vergleich:

Der globale Wasserfußabdruck, also die Summe aller nationalen Wasserfußabdrücke, beträgt 7.450 Mrd. m³ pro Jahr. Nahrungsmittel und andere landwirtschaftliche Produkte haben mit 86 % den höchsten Anteil am weltweiten Wasserfußabdruck.

Der externe Wasserfußabdruck beansprucht dagegen Wasserressourcen in anderen Ländern für Importartikel. [VGL. FLATLEY (2014)]

WORAUS SETZEN SICH DIE HEIMISCHEN WASSERVORKOMMEN ZUSAMMEN?

Die heimischen Wasservorkommen bestehen aus Regenwasser (auch grünes Wasser genannt), Oberflächen- und Grundwasser (blaues Wasser) und Frischwasser (graues Wasser).

So genanntes „grünes Wasser“ ist Regenwasser, welches nicht bis ins Grundwasser sickert, sondern im Boden oder an der Oberfläche verbleibt bzw. von Pflanzen aufgenommen wird und dann verdunstet. Vor allem die Landwirtschaft verbraucht viel grünes Wasser: Durch intensiv landwirtschaftlich genutzte Flächen versickert deutlich weniger Regenwasser, was im Extremfall zu sinkenden Grundwasserspiegeln und Wasserknappheit führt.

Blaues Wasser ist Oberflächenwasser (zum Beispiel Flüsse, Seen) und Grundwasser (Versickerung von Regenwasser).

Graues Wasser ist Frischwasser, das aufgewendet werden muss, um Wasser-verschmutzungen auszugleichen. Das heißt z.B. Wasser für die Wiederaufbereitung von verschmutztem Wasser (Kläranlagen). [VGL. FLATLEY (2014)]

WAS IST DER „PERSÖNLICHE WASSERFUSSABDRUCK“?

Der persönliche Wasserfußabdruck beinhaltet den privaten Wasserverbrauch (Waschen, Kochen usw.) sowie das virtuelle Wasser, das in den Konsumgütern steckt, welche gekauft werden. Zur besseren Vergleichbarkeit kann der Wasserfußabdruck auf die Zahl der Einwohner des Landes umgerechnet werden. Man erhält so den durchschnittlichen persönlichen Wasserfußabdruck im jeweiligen Land. Der Wasserfußabdruck einer Person in Deutschland liegt derzeit bei durchschnittlich rund 4.200 Liter pro Kopf und Tag, wobei der Anteil importierten virtuellen Wassers im internationalen Vergleich relativ hoch ist.

Zum Vergleich: der weltweite Pro-Kopf-Verbrauch liegt bei ca. 3.400 Litern, also deutlich niedriger als bei uns. [VGL. VDG E.V. (2014)]

Doch unser Fußabdruck reicht noch weiter, da das entsorgte Abwasser in der Regel zur Trinkwassergewinnung (wenn auch nur zum Teil) wieder aufbereitet wird, hat sich in den letzten Jahrzehnten ein gravierendes Problem aufgezeigt. Neben Mikroplastikpartikeln aus kosmetischen Produkten und achtlos entsorgtem Gefahrgut befinden sich auch unzählige andere Medikamentenrückstände wie Hormone, Antibiotika und vieles mehr in unserem Wasserkreislauf.

Wie sie da hingekommen sind? Einige wurden vermutlich nicht ordnungsmäßig entsorgt, aber darin liegen nicht die Hauptursachen für die Verunreinigung. Viel gravierender sind die Mengen, die durch Körperausscheidungen über das Abwassernetz in

die Kläranlagen gelangen und da nur schwer wieder aus den Kreisläufen entnommen werden können. Von den Kläranlagen gelangen Teile auch in unsere Flüsse bzw. Meere und damit wiederum in unsere Nahrungskette.

Wo diese Rückstände allerdings nicht hingelangen, da sie bei der Wasserverdunstung nicht in die Wolken mit aufsteigen können, ist das Regenwasser. Es ist also naheliegend, dieses Gut effektiver zu nutzen. Die Ansätze der heutigen Zeit im Bereich der Regenwassernutzung beziehen sich auf den privaten Wasserhaushalt. Es ist das Ziel, Dusch-, Toiletten- und Waschmaschinenwasser durch Regenwasser zu ersetzen. [VGL. MAHABADI, M. (2012)/ SEITE 186]

Somit könnte man kleinere Wasserkreisläufe etablieren, um die Ressource Wasser schonender einzusetzen. Unter dem Kapitel 5 werden Varianten zu möglichen Verbesserung des Umgangs mit Regenwasser beispielhaft beschrieben. Es zeigt ausserdem die jährliche Einsparung durch eine effektive Regenwassernutzung.

2.3 RICHTLINIEN UND VORGABEN

Die „Richtlinie für die Planung, Ausführung und Pflege von Dachbegrünungen“ wird von der Forschungsgesellschaft für Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL e.V.) herausgegeben. Zusammen mit der „Empfehlung zur Versickerung und Wasserrückhaltung“ (ein weiteres Regelwerk von vielen der FLL e.V.) liefern diese beiden Werke einen wichtigen Leitfaden bei der Erstellung dieser Arbeit und sollen zudem die Einhaltung von Standards gewährleisten.

So heißt es in den Kapitel 3 der Richtlinie:

„Extensivbegrünungen sind naturnah gestaltete Vegetationsformen, die sich weitgehend selbst erhalten und weiterentwickeln.

Es werden Pflanzen mit besonderen Anpassungen an die extremen Standortbedingungen und hohe Regenerationsfähigkeit verwendet. Die Pflanzen sollten dem mitteleuropäischen Florenraum entstammen beziehungsweise eingebürgert sein.

[...] die weitgehend geschlossenen flächigen Vegetationsbestände werden aus Moosen, Sukkulenten, Kräutern und Gräsern gebildet und können durch Zwiebeln und Knollenpflanzen ergänzt werden. Die Vegetation unterliegt der natürlichen Bestandsumbildung, wobei sich auch andere Pflanzenarten ansiedeln können. Soll eine bestimmte Vegetation erhalten werden, zum Beispiel ein vorgegebenes Vegetationsbild mit regelmäßiger flächendeckender Blüte von Kräutern und Sukkulenten, kann eine geringe aber gezielte und regelmäßige Nährstoffversorgung erforderlich sein.

Extensive Begrünungen sind in der Regel mit geringem Aufwand herstellbar und zu unterhalten. In Abhängigkeit vom Begrünungsziel, den regionalen klimatischen Bedin-

gungen und der Bauweise können Pflegemaßnahmen erforderlich werden.“ [FLL E.V. (2008)/ HEFT SEITE 12]

Die Vegetationsformen von extensiven Begrünungen können zur Charakterisierung folgender Hauptvegetationen unterschieden werden: [VGL. FLL E.V. (2008)/ HEFT SEITE 13]

*„-Moos-, Sedum-, Begrünungen,
-Sedum-, Moos-, Kraut-, Begrünungen,
-Sedum-, Kraut-, Gras-, Begrünungen,
-oder einer Gras-, Kraut-, Begrünungen.“ [FLL E.V. (2008)/ HEFT SEITE 13]*

„Bei der Beurteilung und Einstufung der Vegetationsformen sind auch die Vegetationsaspekte in der allgemeinen Vegetationsruhe zu berücksichtigen. Einzelne Pflanzengruppen, insbesondere Moose, können dabei zeitweise und partiell Bestand bildend sein.“ [FLL E.V. (2008)/ HEFT SEITE 13]

Um eine geeignete Standortbedingung für die Vegetation bzw. der entsprechenden Pflanzengruppe zu ermitteln, sollten zunächst diesen Bedingungen wie folgt unterschieden werden: [VGL. FLL E.V. (2008)/ HEFT SEITE 13]

*„-klimatische und witterungsbedingte-,
-bauwerkspezifische- und
-pflanzenspezifische Faktoren.“ [FLL E.V. (2008)/ HEFT SEITE 13]*

Bei den bauwerkspezifischen Faktoren sind zu berücksichtigen: [VGL. FLL E.V. (2008)/ HEFT SEITE 14]

*„-die Sonnen-, Schatten- und Wechsellichtbereiche;
-das Ablenken von Niederschlägen durch das Bauwerk;
-die Wirkung von Abluftimmission;
-die Wind- und Strömungsverhältnisse;
-die Exposition der Dachflächen;
-die Belastungen durch reflektierende Fassaden und Bauteile;
-die zusätzliche Wasserbelastung aus angrenzenden Bauteilen;
-das Gefälle bzw. die Neigung der Dachflächen und deren Längenausdehnung;
-die Lastannahmen und die daraus resultierende Dicke des Schichtaufbaues;
-zusätzliche technische Aufbauten z.B. Klimageräte, Sendeanlagen, Solaranlagen;
-Pfützenbildung auf der Dachfläche.“ [FLL E.V. (2008)/ HEFT SEITE 14]*

Bei den pflanzenspezifischen Faktoren ist zu berücksichtigen: [VGL. FLL E.V. (2008)/ HEFT SEITE 14]

*„Der Einfluss von Windeinwirkungen und Intensität der Sonneneinstrahlung auf den Wasserhaushalt;
die Ansprüche von Pflanzen der Trockenstandorte an den Lufthaushalt im Schichtaufbau;
die Empfindlichkeit auch dieser Vegetationsformen gegen chemisch belastete Abluft, Warm- und Kaltluftimmissionen;
die Umbildung zu Vegetationsformen wechselfeuchter oder dauerfeuchter Standorte bei Schattenlagen oder in vernässten Bereichen, z.B. bei Dachgefälle unter 2 %;
die Konkurrenzschwäche verschiedener Sorten und Arten gegenüber einwandernden Arten aus der Umgebungsflora;
die zeitweise oder dauerhafte Bestandsumbildung durch Moosarten aus jahreszeitlichen Gründen oder der Konkurrenzschwäche angesiedelter Kräuter, Gräser oder Sukkulenten; und die Möglichkeit verstärkt auftretenden Fremdbewuchses durch einwandernde Arten der Umgebungsflora. Dies bezieht sich auf Gehölze, zum Beispiel Pappeln, Weiden, Birken, wie auch Kräuter und Gräserarten. Dies ist bei Maßnahmen für die Pflege und Unterhaltung schon während der Planung zu beachten; “ [FLL E.V. (2008)/ HEFT SEITE 14-15]*

In der „Empfehlung zur Versickerung und Wasserrückhaltung“ heißt es in den Kapitel n 4 und 5 weiterhin:

Zur allgemeinen Definition vom Niederschlagswasser und dem Bemessungsregen: [VGL. FLL E.V. (2005)/ HEFT SEITE 9]

„aus der Atmosphäre ausgeschiedenes Wasser in flüssigem oder festem Zustand, dass eine Vielzahl von organischen und anorganischen Stoffen enthalten kann.

Der Bemessungsregen ist als objektbezogenes und regionalspezifisches Regenereignis festzulegen und nach Dauer und Häufigkeit zu definieren.

Im Regelfall werden Regenspenden bis max. 300 l / (s x ha) [das entspricht 108 l pro Stunde und pro m²] angesetzt bzw. Regenereignisse von 10 Minuten Dauer, die alle fünf Jahre einmal erreicht oder überschritten werden.“ [FLL E.V. (2005)/ HEFT SEITE 9]

„Oberflächenwasser

Auf der Oberfläche anfallendes, stehendes oder abfließendes Wasser (Direktabfluss). Es kann von der Oberfläche ablösbare Stoffe aufnehmen.

Sickerwasser

In den Boden eingedrungenes Wasser, dass der Schwerkraft folgt. Seine Beweglichkeit und Bewegungsrichtung hängt von der Struktur und Porosität des Bodens ab.

Schichtwasser

Örtlich begrenzt, überwiegend nur zeitweise auftretendes, über einer wasserundurchlässigen Schicht in der ungesättigten Bodenzone, oberhalb des Grundwasserspiegels aufsteigendes Wasser. Auftreten und Menge des Schichtwassers hängt von den Niederschlagsverhältnissen und dem zugehörigen Einzugsgebiet ab.

Grundwasser

Unterirdisches Wasser, dass die Hohlräume im Boden zusammenhängend ausfüllt und dessen Bewegungen nahezu ausschließlich der Schwerkraft unterliegt.

Kapillarwasser

Wasser, das gegen die Schwerkraft durch die Saugspannung des Bodens aufsteigt oder festgehalten wird. Aufstieg und Bindung hängen von der Porosität des Bodens oder der Baustoffe ab.

Abwasser

Durch häuslichen, gewerblichen, industriellen oder anderen Gebrauch verschmutztes Wasser sowie Niederschlagswasser (Oberflächenwasser), das gesammelt und dem Vorfluter zugeleitet wird.

Vorfluter

Natürliche oder künstliche Abflussmöglichkeiten, die das abfließende Oberflächen- oder Sickerwasser aufnehmen, z. B.:

- Grundwasser;*
- Still-oder Fließgewässer;*
- Gräben (nur zeitweise wasserführende Abflussanlagen);*
- Entwässerungsleitungen und -kanäle.“ [FLL E.V. (2005)/ HEFT SEITE 10]*

Um die Anforderungen an die wasserdurchlässigen Flächen zu bestimmen, verweisen die Autoren der „FLL“ auf das „Arbeitsblatt DWA-A 138 Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser. Technical report, DWA.“ [FLL E.V. (2005)/ HEFT SEITE 13]

„Der Abstand des Grundwassers von der Versickersohle wird i. d. R. entsprechend DWA - A138, unter Berücksichtigung der Bodenart und der stofflichen Belastung des

zu versickernden Niederschlagswassers, festgelegt. Periodisch auftretendes Schichtwasser ist besonders zu berücksichtigen.

Zur Gewährleistung einer schnellen Weiterleitung des Schichtwassers sollte auch gut durchlässige Böden einen Sickerraum von mindestens 1 m Dicke aufweisen.“ [FLL E.V.

(2005)/ HEFT SEITE 13]

Weiterführend zu den Empfehlungen der FLL, wird folgendes beschrieben:

Zu unterirdischen Rückhalteanlagen: [VGL. FLL E.V. (2005)/ HEFT SEITE 31]

„Unterirdische Rückhalteanlagen sind Bauwerke, in denen Wasser gespeichert und verzögert an den Vorfluter abgegeben wird und oder als Brauchwasser genutzt werden kann.“ [FLL E.V. (2005)/ HEFT SEITE 31]

„Zisternen

Die Zisterne ist ein Speicherbecken. Das gespeicherte Wasser wird über Drosselung in den Vorfluter entleert oder als Brauchwasser verwendet.

Zisternen sind, wenn sie nicht vor dem Befahren geschützt werden können, mit befahrbaren Decken auszustatten. Sie sind mit verschließbaren Öffnungen und einem Ausstieg sowie mit Entlüftungsanlagen zu versehen. Die Leitern müssen bis zum Boden reichen.“ [FLL E.V. (2005)/ HEFT SEITE 31]

Zu dem verweisen die Autoren beim Bau einer Zisterne auf die „ATV - DVWK M 176“.

[VGL. FLL E.V. (2005)/ HEFT SEITE 31]

2.4 DAS PROBLEM DER BODENVERSIEGELUNG

Die Verdunstung von Niederschlag- und Oberflächenwasser ist auf versiegelten Flächen besonderes hoch. Dagegen sind die Versickerungsprozesse insbesondere in den Stadt- und Industrielandschaften stark eingeschränkt. Infolge von Nachverdunstung im Siedlungsraum und Inanspruchnahme naturnaher Flächen für Neuansiedlungen im Freiraum nimmt die Bodenversiegelung ständig zu. In nur 5 Jahren (1988-1992) wurden in den alten Bundesländern täglich etwa 20 ha überwiegend landwirtschaftlich genutzte Flächen in Siedlung und Verkehrsflächen umgewandelt. Von den umgewandelten Flächen wurden rund 50 % der Bodenoberflächen überbaut, verdichtet und mit undurchlässigen oder durch teilweise durchlässigen Materialien bedeckt. Die Austauschvorgänge zwischen Boden und Atmosphäre sind dadurch eingeschränkt bis völlig unterbunden. Der Autor Müller beschreibt, dass die negativen Auswirkungen der zunehmenden Bodenversiegelung auf dem Boden, den Bodenwasserhaushalt, den

Grundwasserstand und das Stadtklima durch die Regenwasserbewirtschaftung mit der kanalisierten Ableitung noch verstärkt wird. [VGL. HERBER, B. (1998)/ HEFT SEITE 1-2]

Müller knüpft an seine Problemdarstellung die These an, dass bei einer Beibehaltung der sogenannten „konventionellen Regenwasserbewirtschaftung“ mit zunehmender Oberflächenabflüssen infolge von Bodenversiegelung beträchtliche Investitionen und Baumaßnahmen für eine Kanalnetz- und Kläranlagenerweiterungen oder für Nachrüstungen in Form von Regenüberlauf- und Regenspeicherbecken nötig sind. Müller macht weiter darauf aufmerksam, dass durch die genannten bautechnischen Maßnahmen und Lösungen die beschriebenen Nachteile im natürlichen Wasserkreislauf und als Speicherfunktion nicht behoben werden. Die Abhängigkeit von den Wasserreservoirien des Umlandes ist damit auch nicht gelöst. Auch die Entnahme aus einem Wasserschutzgebiet ist nicht unproblematisch oder unendlich. Um den Fokus wieder auf das Thema zu richten, werden im nächsten Kapitel die Möglichkeiten der Regenwasserbewirtschaftung genauer betrachtet. [VGL. HERBER, B. (1998)/ HEFT SEITE 2]

3. WASSERWIRTSCHAFT IN DER STADT

3.1 KONVENTIONELLE- UND NATURNAHE REGENWASSERBEWIRTSCHAFTUNG

„Konventionelle Regenwasserbewirtschaftung

die kanalisierte unterirdische Abwasserentsorgung im städtischen Straßenraum hat eine sehr lange Tradition. Auch die gegenwärtig vorherrschenden Wasserversorgungs- und Abwasserentsorgungssysteme, eingeschlossen die Regenwasserentsorgung, basieren auf diesem Prinzip und treten in der Stadt kaum in Erscheinung. Lediglich Schleusen, Schachtabdeckungen, gelegentliche Aufgrabungen für Reparaturen an der Wasserkanalkanalisation sowie über stauende Wassereinfläufe machen auf die Existenz der unterirdischen Ver- und Entsorgungsnetze mit ihren Problemen aufmerksam. [...]

Die vorhandenen Abwassersysteme werden hinsichtlich der Aufnahme des Regenwassers den Misch- und Trennsystemen zugeordnet. Im Mischverfahren wird das gering verschmutzte Niederschlagswasser gemeinsam mit dem Schmutzwasser in einem Kanal zur Kanalanlage abgeleitet. Da dieses System nur einen Kanal benötigt, sind die Bau- und Betriebskosten geringer als im zweikanaligen Trennsystem. Dagegen bildet die getrennte Ableitung von Schmutz- und Niederschlagswasser die Möglichkeit, den Schmutzwasserkanal und die Kläranlage den geringeren Anteilen entsprechend zu dimensionieren. Im Abwassermischsystem ist der stoßweise auftretende Regenwasseranteil für die Bemessung bestimmend.“ [HERBER, B. (1998)/ HEFT SEITE 4-5]

Naturnahe Regenwasserbewirtschaftung

Zusammen mit der erörterten Problemdarstellung aus Kapitel 2.4 und folgenden im Kapitel 3.2, wird in diesem Absatz versucht, die naturnahe Regenwasserbewirtschaftung als Ressource und Grundlage dieser Arbeit mit den Eigenschaften verschiedener Bodenbindungen und angepassten Versickerungssysteme den natürlichen Gegebenheiten nachzubilden. [VGL. HERBER, B. (1998)/ HEFT SEITE 6]

Es wird angestrebt, das von den Abflussflächen das gesammelte Regenwasser vor Ort möglichst in unmittelbarer Nähe der abflusswirksamen Flächen den angrenzenden Freiflächen zuzuführen. Wo das nicht realisierbar ist, kann das Regenwasser gespeichert und zeitlich verzögert vom Spitzenabfluss in ein nahes Fließgewässer oder (wenn nicht anders möglich) in die vorhandene Kanalisation eingeleitet werden. [VGL. HERBER, B. (1998)/ HEFT SEITE 6]

Durch die Installation der versickernden, speichernden und den Abfluss drosselnden Elementen wird nach Meinung des Autors, unabhängig von den bestehenden Bodenverhältnissen, eine naturnahe Regenwasserbewirtschaftung erreicht. [VGL. HERBER, B. (1998)/ HEFT SEITE 7]

Die naturnahe Regenwasserbewirtschaftung darf keine kapazitiven Nachteile gegenüber der kommerziellen Regenwasserbewirtschaftung aufweisen, insbesondere dürfen keine hygienischen Risiken für den Boden oder das Grundwasser entstehen. Deshalb soll das von den Abflussflächen gesammelte und abgeleitete Regenwasser bei der Versickerung eine natürlich gewachsene Bodenschicht mit Grasnarbe von mindestens 30 cm passieren. In dieser Bodenschicht werden die Verschmutzungen (Luft, Verkehr) organisch und mechanisch vorgefiltert. [VGL. HERBER, B. (1998)/ HEFT SEITE 6]

3.2 FOLGEERSCHEINUNGEN DER KONVENTIONELLEN REGENWASSERBEWIRTSCHAFTUNG

Im 19. Jahrhundert stiegen mit der Industrialisierung und der zunehmenden Konzentration der Menschen, im Zusammenhang mit der unzureichenden Abfall- und Abwasserentsorgung, hygienische Probleme in den Städten. Dies wurde zunächst in England und kurz danach auch in Deutschland erkannt. Es folgten die Planung und der Ausbau einer städtischen Wasserversorgung und Abwasserentsorgung. Nach den Prinzipien des einheitlichen Brauchwassersystems und der Schwemmkanalisation ist diese gewaltige technische und zivilisatorische Leistung noch heute überwiegend Grundlage der Wasserwirtschaft, einschließlich der Regenwasserableitungen. Dies ist allerdings mit einem hohen Wasserverbrauch verbunden. [VGL. HERBER, B. (1998)/ HEFT SEITE 4]

Die ständige Zunahme der abflusswirksamen Flächen durch die Siedlungsentwicklung und die Ableitung der gesamten Oberflächenabflüsse in den kanalisierten Abwassersystemen führen unter anderem zur Reduzierung der Grundwasserneubildung. Das heißt: Der Grundwasserspiegel und die Grundwasserqualität sinken.

Weiterhin erzeugen Starkregenereignisse hohe Abflussspitzen mit Überstauung in der Abwasserkanalisation und bringen direkte Schmutzwassereinträge durch Notabflüsse aus überlasteten Kläranlagen in die Fließgewässer. Dies bewirkt Hochabflüsse in den Vorflutern bzw. Fließgewässern (Ein grafische Darstellung hierzu befindet sich auf der Seite 20). [VGL. HERBER, B. (1998)/ HEFT SEITE 5-6]

3.3 "DIE SELBSTREINIGUNGSKRAFT DER NATUR"

Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass wieder mehr Regenwasser in den Städten versickern muss, damit die Grundwasserspeisung weiter besteht und der Regenwasserkreislauf nicht ins Stocken gerät. Das gelingt mit ausreichender Kompensation zu den versiegelten Flächen in der Stadt, versiegelte- und unversiegelte Flächen müssen in einem ausgewogenen Verhältnis zueinander stehen. Außerdem darf der prozentuale Anteil an wärmeanziehenden Bereichen nicht zu hoch sein. Ansonsten wird die Verdunstung gefördert, und die Böden in diesen Bereichen trocknen schneller aus. Das wiederum minimiert die Wasserleitfähigkeit der Oberflächen und hat zur Folge, dass bei eintretenden Starkregenereignissen die Gefahr von aufstauenden Wassermassen potenziert wird.

Zur qualitativen und quantitativen Verbesserung der konventionellen Regenwasserentwässerung sollten Regenrückhaltebecken zur Speicherung in die Abwasseranlage vor allem in den verdichteten Stadtbereichen eingebaut werden. Der Autor macht an dieser Stelle darauf aufmerksam, dass häufig nur sehr aufwändige unterirdische Speicherbauten realisiert werden können. Eine weitere Problematik, die mit der traditionellen Verknüpfung von Abfall- und Wasserentsorgung besteht, ist die Abfallentsorgung über die Abwassersysteme. Hierbei ist die allgemeine unterirdische Wasserwirtschaft in der Stadt ein Grund für das geringe Problembewusstsein für die unzureichende Wertschätzung des Wassers (s.a. BMBF- Verbundprojekt „Wasserkreislauf und urban-ökologische Entwicklung“) [VGL. HERBER, B. (1998)/ HEFT SEITE 6]

Hier erkennt der Autor, dass die technischen Elemente für den geforderten Wasserkreislauf- und der Vernetzungsorientierung hier eine erlebbare Gestaltung in Form der naturnahen Regenwasserbewirtschaftung nötig ist. Dies könnte eine Verhaltensänderung der Menschen gegenüber dem kostbaren Gut Wasser bewirken. [VGL. HERBER, B. (1998)/ HEFT SEITE 6]

Eine ökologisch orientierte Stadtentwicklung darf sich nicht nur auf Verbesserungen in neugeplanten Stadtgebieten beschränken, sondern muss auch die ökologische Umgestaltung vorhandener Gebiete einbeziehen. [VGL. HERBER, B. (1998)/ HEFT SEITE 9]

Müller sagt weiterhin, dass die Realisierungschancen der naturnahen Regenwasserbewirtschaftung im Bestand steigt, wenn die Veränderungen der Regenwasserbehandlung in Verbindung mit wasserwirtschaftlichen Umgestaltungsmaßnahmen durch öffentliche Förderprogramme oder andere finanzielle Anreize unterstützt werden. Dies gilt für den öffentlichen-, aber besonders auch für den privaten Sektor. In dem nun folgenden Teil wird versucht, gezielt zu planen, um einerseits der Umgang mit dem Re-

genwasser möglichst naturnahe zu gestalten und auf der anderen Seite genau diesen Anreiz für Privathaushalte zu schaffen. [VGL. HERBER, B. (1998)/ HEFT SEITE 9]

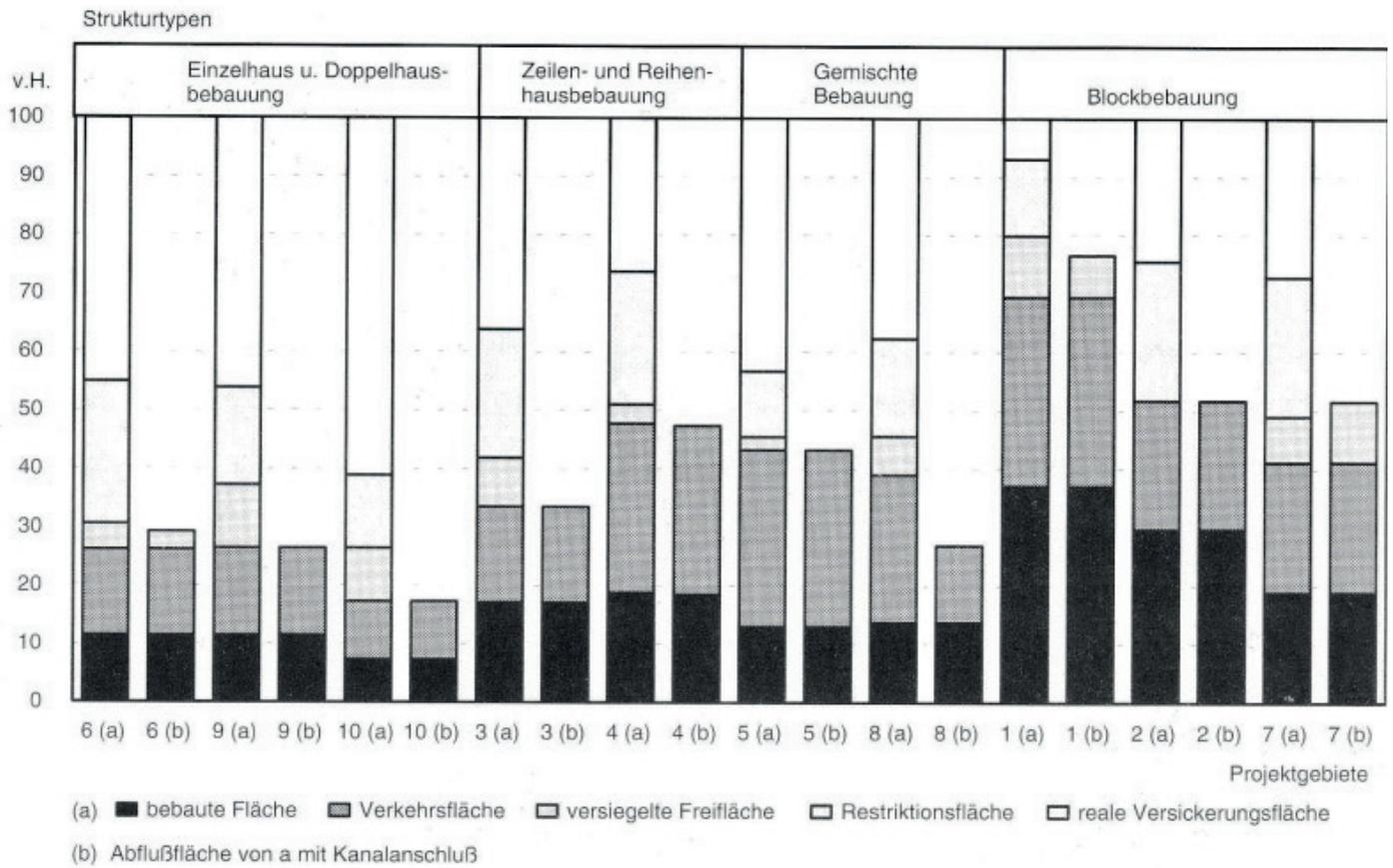


Abb. 04: Abfluß- und versickerungswirksame Flächen. [vgl. Herber, B. (1998)/ Heft Seite 48]

4. BESTANDSAUFNAHME



Das Planungsobjekt ist ein Mehrfamilienhaus mit verschiedenen Gebäudestrukturen und Grünfläche. Es steht in einer Häuserreihe und wird unterbrochen durch die Hofzufahrt an der Ostseite. Auf der Nordseite grenzen ein Fußweg (ca. 2 m vom Haus entfernt) und anschließend eine Straße (ca. 6 m vom Haus entfernt) an. Auf dem nach Süden schmal verlaufenden Grundstück befinden sich ein Anbau, Hoffläche, Garagen, ein Carport und Garten. Der Garten verfügt über eine offene und eine überdachte Terrasse, Wirtschaftsbereiche sowie über eine Teichanlage. An der Südseite grenzt eine Wiese an das Grundstück an. Das Grundstück teilt sich in versiegelte und unversiegelte Bereiche.

Abb. 05: Übersichtsplan vom Planungsgrundstück.
Zeichnung: K.Saß

Die beiden hier folgenden Abbildungen zeigen den momentanen Regenwasserlauf von den angeschlossenen Dächern bis zur Retentionfläche. Der gestrichelte Abschnitt vom Wasserweg verläuft unterirdisch.

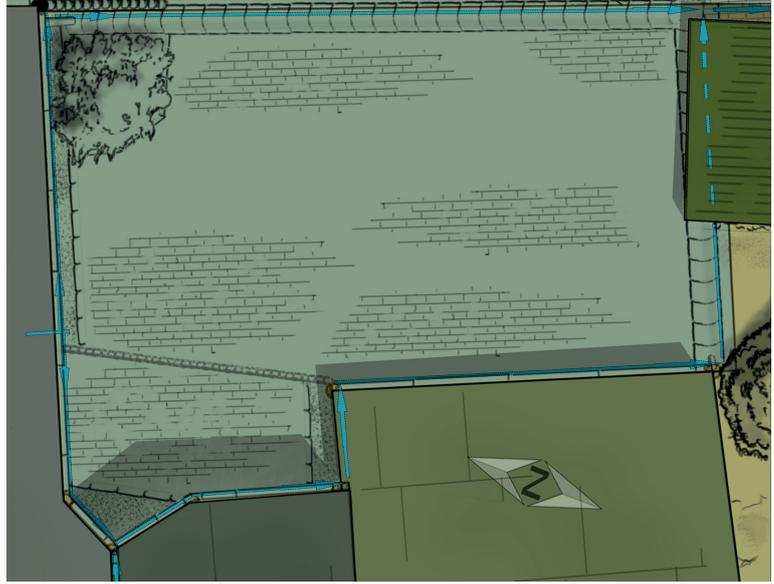


Abb. 06 : Verlauf des Regenwassers vom Dächern mit Abflussrichtung.
Zeichnung: K.Saß

Für die Berechnungsgrundlage relevante Dachflächen:

Versiegelter Bereich:

- Hausdach (Vorderseite) 40 m² / Dachschräge / Neigungswinkel 56.5°
- Hausdach (Rückseite) 97 m² / Flachdach / Neigungswinkel 8,3°
- Dach (Anbau) 15 m² / Pultdach / Neigungswinkel 10.5°
- Garagendach 33 m² / Pultdach / Neigungswinkel 4°
- Carportdach 15.9 m² / Pultdach / Neigungswinkel 1.5°
- Pavillondach 9.9 m² / Pyramidendach / Neigungswinkel 21°

Versiegelter Bereich - gepflasterte Flächen:

- Hoffläche 50.75 m²
- Carportstellplatz 15 m²
- Entwässerungsrinne (Gesamt) 17,33 m²
- Pavillonterrasse 15 m²
- Große Terrasse 21 m²

Unversiegelte Flächen:

- bepflanzte Flächen 359.5 m²
- bewirtschaftete Flächen 16 m²
- Teichfläche (gefüllt) 10.56 m²

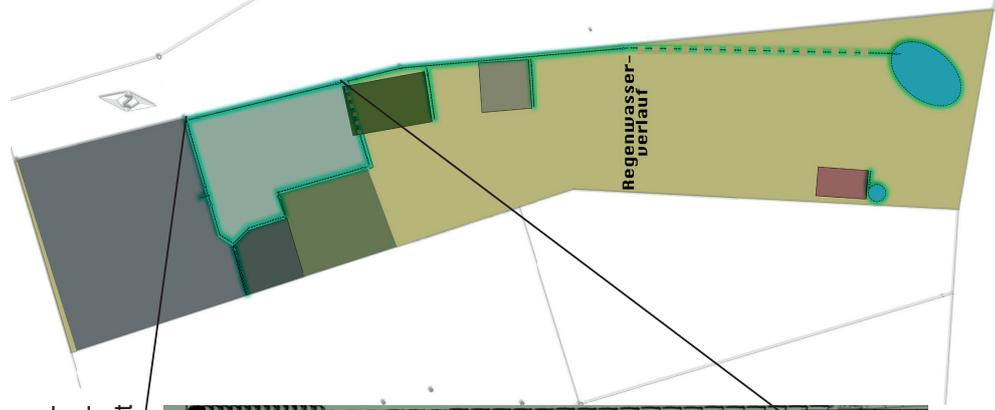


Abb. 07: Verlauf des Regenwassers in die Teichanlage.
Zeichnung: K.Saß

AUFSCHLUSS NR. 1

Horizont	Mächtigkeit
S _u ' _h	40 cm
S _u ' _h ' (Ziegelschutt)	50 cm
S _u ' _t ' (Ziegelreste)	40 cm
U _s ' _t '	55 cm
S _u ' _t '	15 cm
Probentiefe	200 cm

AUFSCHLUSS NR. 2

Horizont	Mächtigkeit
S _u ' _h	30 cm
S _u ' _h ' (Ziegelreste)	70 cm
S _u ' _t '	20 cm
S _u ' _t '	40 cm
S _u ' _t '	40 cm
Probentiefe	200 cm

AUFSCHLUSS NR. 3

Horizont	Mächtigkeit
S _u ' _h	40 cm
S _u ' _h ' (Ziegelreste)	55 cm
U _s ' _t ' _h ' (Ziegelreste)	20 cm
S _u ' _t '	85 cm
Probentiefe	200 cm

AUFSCHLUSS NR. 4

Horizont	Mächtigkeit
mS _g 'S'	30 cm
S _u ' _t ' _h ' (Ziegelreste)	40 cm
S _u ' _t ' _h	80 cm
U _s ' _t ' (Kalk)	50 cm
Probentiefe	200 cm

Die Ansprache des Bodens wurde nach der Bodenkundliche Kartieranleitung KA5 im Gelände durchgeführt. Dazu wurden sechs Aufschlüsse an verschiedenen Punkten auf dem Grundstück erstellt (siehe Übersichtskarte unten).

Nach der Begutachtung ergab sich folgendes Bild:

Die Humusaufgabe fällt gering aus, vermutlich durch intensive Bewirtschaftung bzw. Pflege. Der Mutterboden (bis zu einer Stärke von ca. 25 cm) zeigt einen gut sichtbaren Anteil organischen Materials (deutlich bis stark deutlich). Dieser liegt im Bereich Para-Braunerde bis Braunerde. Es folgt eine ca. 1m mächtige Aufschüttung, welche sich vermutlich über die gesamte Gartenfläche erstreckt, da sie mit leicht schwankender Mächtigkeit (90-120 cm) bei allen 6 Aufschlüssen

AUFSCHLUSS NR. 5

Horizont	Mächtigkeit
S _u ' _h	30 cm
S _u ' _h ' (Ziegelreste)	100 cm
S _u ' _t ' _h ' (Kalk/schwach)	40 cm
U _s ' _t ' (Kalk)	30 cm
Probentiefe	200 cm

AUFSCHLUSS NR. 6

Horizont	Mächtigkeit
S _u ' _h	30 cm
S _u ' _h ' (Ziegelreste)	100 cm
S _u ' _t ' _h ' (Kalk/schwach)	40 cm
U _s ' _t ' (Kalk)	30 cm
Probentiefe	200 cm

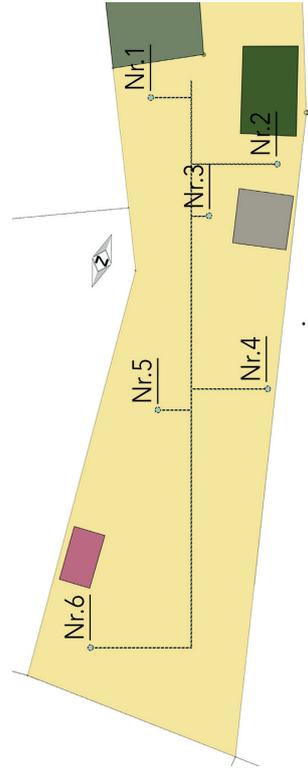
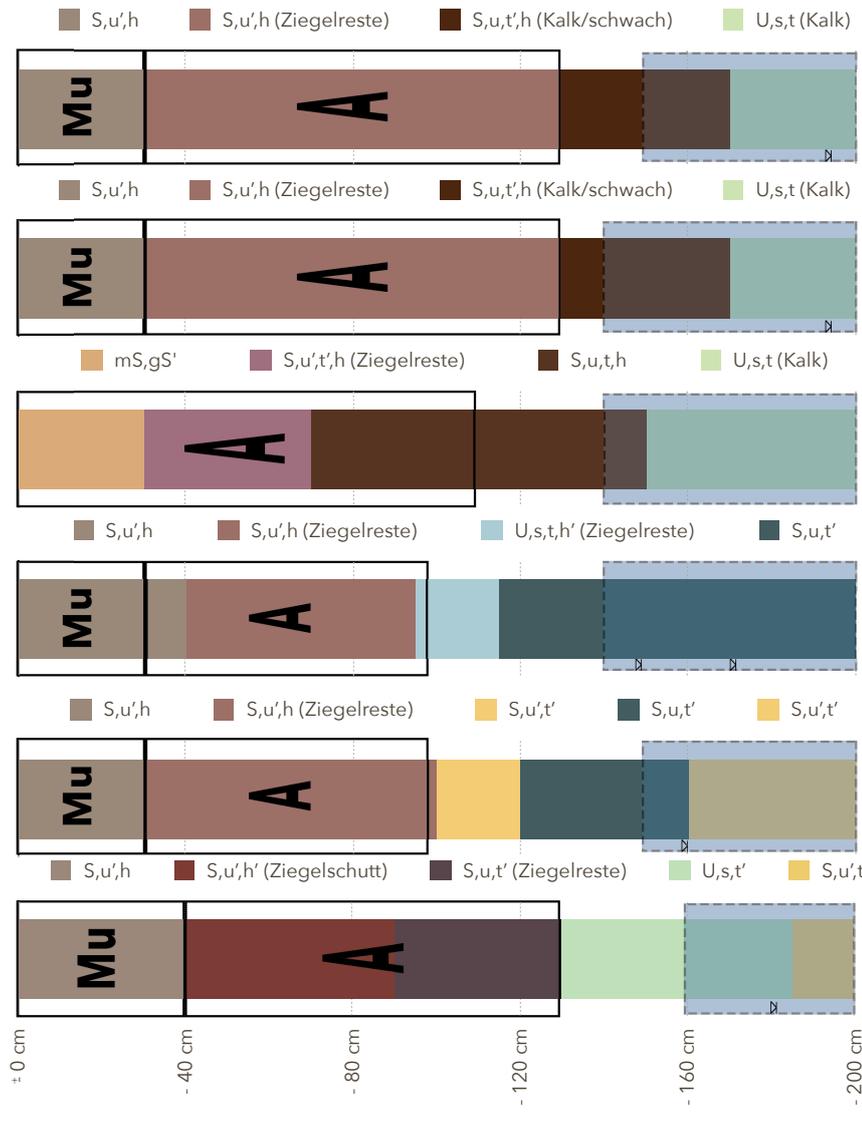
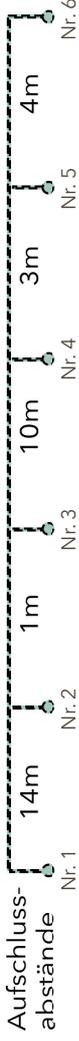


Abb. 08: Übersichtskarte der Aufschlussesabstände. Schnitt durch den Gartenbereich des Grundstückes. Zeichnung: K.Saß



Mu Mutterboden
A Aufschüttung
Σ Staunesse
Σ Kapillarwasser

Abb. 09: Bodenprofile grafisch dargestellt mit Aufschlussesnummern und den unterschiedlichen Mächtigkeiten. Grafik: K.Saß

sen vorkommt. In dieser tauchen in verschiedenen Höhen immer wieder Ziegelreste auf. Auch hier lassen sich humose Anteile gut erkennen, auch eine Fingerprobe deutete darauf hin. Mit dem darunter liegenden natürlich gewachsenen Boden beginnt ein Bereich (dieser besteht bis Ende der Messung bei 2 m Tiefe), der von Bändern unterschiedlicher Zusammensetzung durchzogen ist. Diese Bänder setzen sich zu unterschiedlichen Teilen aus Sand, Lehm (Schluff, Ton, Spuren von organischen Materialien) und Glimmer zusammen. Teile der Bänder sind wasserführend und weisen Schichtwasser in unterschiedlichen Höhen auf. In der Grafik (rechts) wird ein gemittelter Querschnitt durch die Aufschlüsse dargestellt.

GEBÄUDE

Nach einer Gebäudesanierung (1998) entstanden eine 5-Raumwohnung, zwei 4-Raumwohnungen und zwei 2-Raumwohnungen. Alle fünf Wohneinheiten haben unterschiedliche Verbrauchsmengen (siehe dazu Tab. 01-02 auf Seite 24). Im Kellerraum besteht für die Bewohner des Hauses die Möglichkeit, jeweils eine Waschmaschine anzuschließen. Jeder Wasserzulauf ist mit einer Wasseruhr versehen, so dass die Verbrauchsmengen zu den jeweiligen Betriebskostenabrechnungen addiert werden können.

REGENWASSERWIRTSCHAFT BESTAND

Das Hauptgebäude ist mit zwei verschiedenen Dachtypen gedeckt. Die Dachschräge zur Straßenseite (Ziegeldach) hat eine Fläche von ca. 40 m² und wird auf den Gehweg vor dem Haus durch ein Fallrohr entwässert. Dieses Niederschlagswasser wird in die Kanalisation der Stadt Greifswald eingeleitet. Die Umstellung von Misch- zu Zweikanalsystem, um getrennt voneinander Regen- und Abwasser abzuleiten, ist in der Straße des Planungsobjektes noch nicht vollzogen. Das Flachdach mit einer Größe von 97 m² wird über einen angelegten Teich im Gartenbereich entwässert. Über zwei Fallrohre wird das Regenwasser vom obersten Dach in eine Rinne geleitet. Von dort fließt das Wasser in einen Laubabscheider, ist anschließend verrohrt und fließt dann in die Teichanlage. Durch die gepflasterte Rinne versickert bereits ein Teil des Regenwassers (auf einer Länge von ca. 19 m). Im Fall stark

Durchschnittliches Profil aus allen 6 Aufschüssen

K_r-Werte:

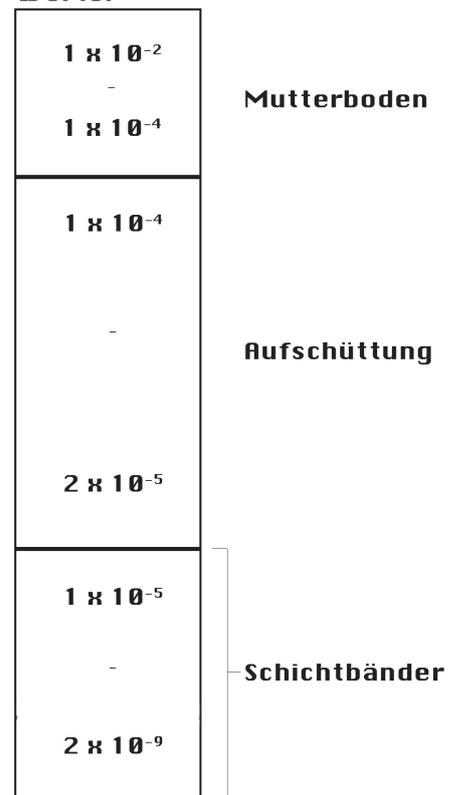


Abb. 10: Die K_f-Werte im Durchschnitt. Grafik: K.Saß

anfallender Wassermengen wird das Wasser verzögert an den Teich abgegeben, und es kommt zu einem Rückstau in der Rinne. Ist der höchst mögliche Pegelstand im Teich erreicht, fließt das Wasser über ein Drainagerohr ab. Dieses verteilt das überschüssige Wasser unterirdisch im hinteren Gartenbereich und der angrenzenden Wiesenfläche.

Waschmaschinenwasser

Familie	∅ Verb.	Jahr:	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Müller	12.445m³		13.1m³	12.35m³	11.7m³	14.1m³	12.1m³	11.8m³	13.3m³	12m³	12m³	12m³
Stein	2.65m³		2.5m³	2.9m³	2.8m³	3.35m³	3.6m³	2.5m³	2.75m³	2.1m³	2m³	2m³
Steiger	2.04m³		0m³	0m³	0m³	4.3m³	2.9m³	3.3m³	2.5m³	0.5m³	2.6m³	4.3m³
Strege	13.42m³		14.6m³	14.6m³	15.2m³	13.9m³	14.6m³	13m³	12.5m³	12.8m³	13m³	10m³
Schmidt	12.435m³		11.5m³	13.6m³	11.1m³	10.2m³	11.45m³	16.5m³	12m³	11m³	10m³	17m³
Gesamt			41.7m³	43.45m³	40.8m³	45.85m³	44.65m³	47.1m³	43.05m³	38.4m³	39.6m³	45.3m³

Tab. 01: Die einzelne Verbraucher im Haus mit dem jeweiligen verbrauchten Waschmaschinen Wasser über den Zeitraum der letzten 10 Jahre
Grafik: K.Saß

In den Tabellen wird der Wasserverbrauch von den Bewohnern (Namen fiktiv) des Hauses aufgeführt und es stellt die Berechnungsgrundlage für die weitere Planung da. Die Tabellen zeigen einmal den gesamten Wasserverbrauch der einzelnen Wohneinheiten über 10 Jahre und außerdem anteilig das verbrauchte Waschmaschinenwasser.

Gesamtverbrauch

Familie	∅ Verb.	Jahr:	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Müller	106.2m³		107m³	106m³	109.7m³	111m³	100.3m³	105.6m³	114.4m³	104m³	105m³	99m³
Stein	25.75m³		27m³	23.3m³	24m³	24.4m³	25.8m³	26.5m³	29.4m³	25.5m³	25.9m³	25.7m³
Steiger	39.45m³		56.8m³	70.4m³	42m³	29.4m³	23.5m³	37m³	36m³	18.6m³	24.4m³	56.4m³
Strege	102.36m³		105.9m³	115.6m³	115.7m³	107.5m³	122.5m³	110m³	111.5m³	91.5m³	90m³	53.4m³
Schmidt	51.82m³		44.7m³	54m³	49.5m³	50.5m³	51.5m³	52.6m³	59.6m³	47.6m³	52m³	56.2m³
Gesamt			341.4m³	369.3m³	340.9m³	322.8m³	323.6m³	331.7m³	350.9m³	287.2m³	297.3m³	290.7m³

Tab. 02: Die einzelne Verbraucher im Haus mit dem jeweiligen gesamt verbrauchten Wasser der letzten 10 Jahre
Grafik: K.Saß



5. ENTWURF

Eine gründliche Analyse des momentanen Umgangs mit dem anfallenden Regenwasser ergab, dass eine noch effizientere Nutzung des Regenwassers möglich ist. Dabei müssen sogenannte Schwerpunktaufgaben beachtet werden.

Hierzu schrieb Müller in seiner Abhandlung „Naturnahe Regenwasserbewirtschaftung in Siedlungsgebieten“ folgende Zielstellungen:

„Die wasserwirtschaftlichen Grundlagen sowie die Bemessung und Absicherung der Leistungsfähigkeit der Anlage,

Die Finanzierbarkeit beziehungsweise die Art und die Höhe der anfallenden Kosten sowie den ökonomischen Vergleich zur konventionellen Regenwasserbewirtschaftung,

Die soziologischen Untersuchungen zu Bewohner-, Besitzer- und Planerakzeptanz und

Die juristische Prüfung der bestehenden rechtlichen Bestimmungen und die erforderlich werdenden gesetzlichen Veränderungen bei der Einführung des neuen Bewirtschaftungssystems.“ [HERBER, B. (1998)/ HEFT SEITE 2-3]

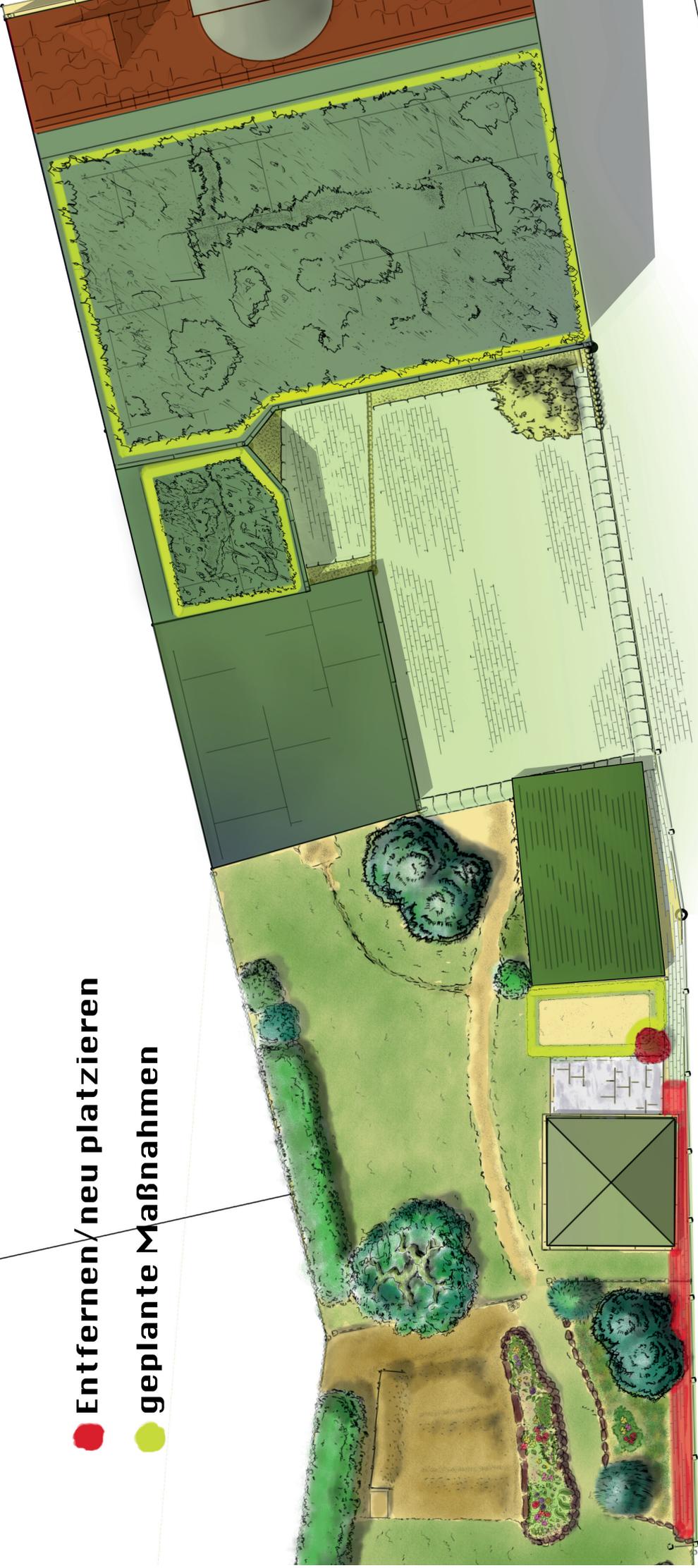
Die Prämisse bei der Planung lag hauptsächlich bei einen möglichst schonenden Umbau bzw. Eingriff in die vorhandenen Strukturen.

Es wurden hier unterschiedliche Varianten entworfen, jede einzelne Variante folgt für sich dem anfangs beschriebenen Grundprinzip (siehe Seite 05). So kann von Variante zu Variante beliebig kombiniert oder auch erweitert werden. Jeder Umbau für sich ist hier nun einzeln aufgeführt und beschrieben.

Änderung im Bestand

● Entfernen/neu platzieren

● geplante Maßnahmen



ZISTERNE MIT ZU- & ÜBERLAUF

Mit dieser Variante soll Regenwasser gesammelt werden, um es wiederum als Waschmaschinen nutzen zu können. Da die Waschmaschinen der Hausbewohner sich ohnehin bereits im Trockenraum des Gebäudes befinden, kann man die Versorgung mit Regenwasser relativ simpel umsetzen, indem man eine Zisterne installiert und diese an eine Filtermulde anschließt. Das Regenwasser läuft zunächst durch die Sickerschichten, wird dort mechanisch gereinigt und in der Zisterne gesammelt. Ein Hauswasserwerk wird dann die Versorgung der Maschinen mit Regenwasser übernehmen.

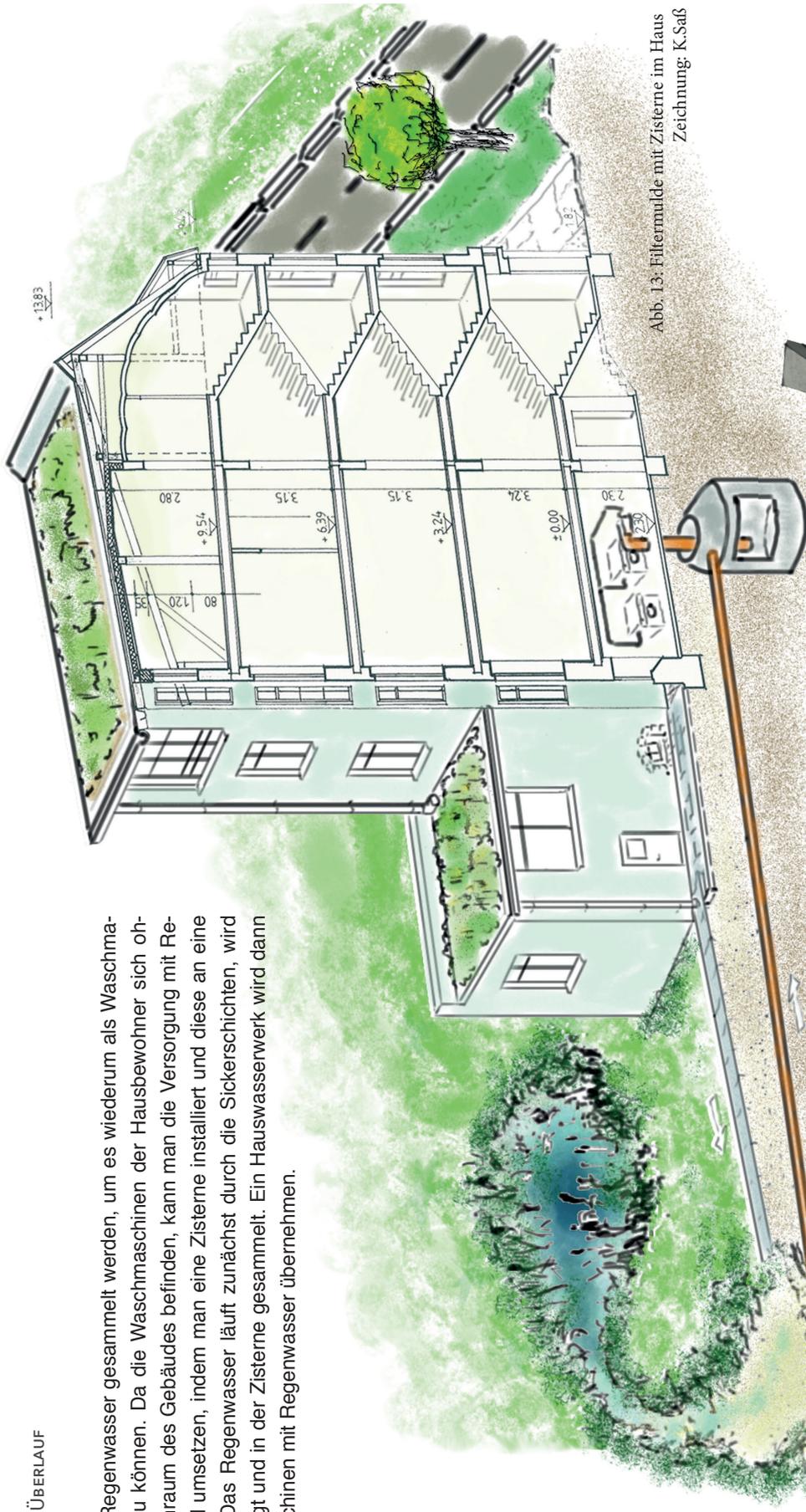


Abb. 13: Filtermulde mit Zisterne im Haus
Zeichnung: K.Saß

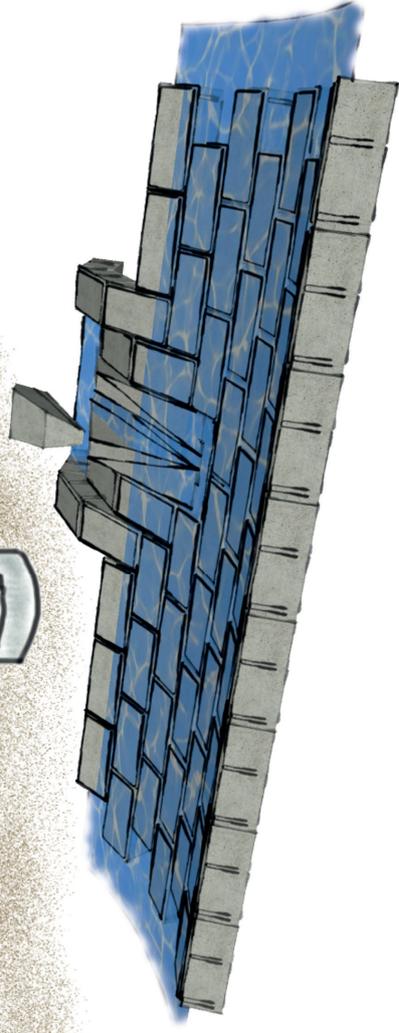


Abb. 14: Rinneabzweig
Zeichnung: K.Saß

EXTENSIVER BEGRÜNUNGS-AUFBAU

Um bei Starkregen ein Drosselwirkung vom abfließenden Regenwasser zu bewirken, müssen Retentionsräume geschaffen werden. Dazu wird auf dem Flachdach des Hauses und auf dem Pultdach vom Anbau eine Dachbegrünung angelegt. Sie dient der Verbesserung des Mikroklimas, der Retention, und trägt zur Artenvielfalt bei (siehe Abbildung Seite 29)

FILTERMULDE MIT RINNENABZWEIG

Es gibt zwei Varianten der Filtermulde bzw. Sickermulde. Eine sammelt das Wasser in einer Mulde und leitet es dann in den Boden ab. Der Aufbau dieser Variante ist zu allen Seiten offen. Das Wasser kann ungehindert versickern.

Die zweite Variante ist für die Speisung der Zisterne gedacht. Diese ist im Gegensatz zur ersten Variante mit Teichfolie ausgekleidet, sodass hier das Regenwasser nicht versickert, sondern gesammelt und in die Zisterne geleitet wird. Diese Art bezeichnet man als Filtermulde.

Um der Sickermulde bzw. Filtermulde Regenwasser zuzuführen, wird hierzu ein Abzweig von der bestehenden Rinne geschaffen (eine Grafik hierzu befindet sich auf der Seite 28).

VERKÜRZTE RINNE MIT ANGESCHLOSSENER FILTERMULDE

Um den Pflegeeinsatz bzw. die Wartungsarbeiten an der Rinne zu minimieren, wird diese verkürzt und an eine Filtermulde zur Einleitung in die Teichanlage angeschlossen. Das mitgespülte Schwemmmaterial sammelt sich nun in der Filtermulde, und kann hier leichter beseitigt werden. Der stillgelegte Rinnenteil wird zur Flutfläche umfunktioniert.

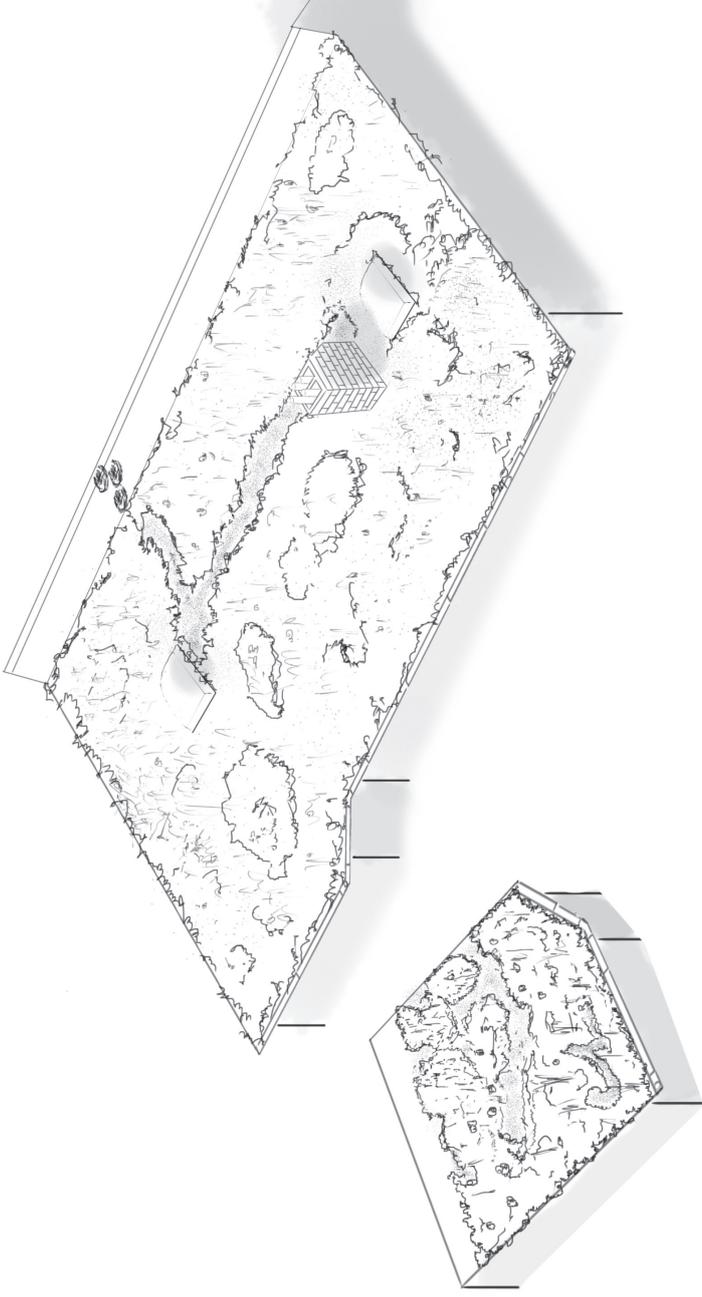


Abb. 15: Extensive Dachbegrünung auf dem Hausdach und dem Dach vom Anbau.
Zeichnung: K.Saf

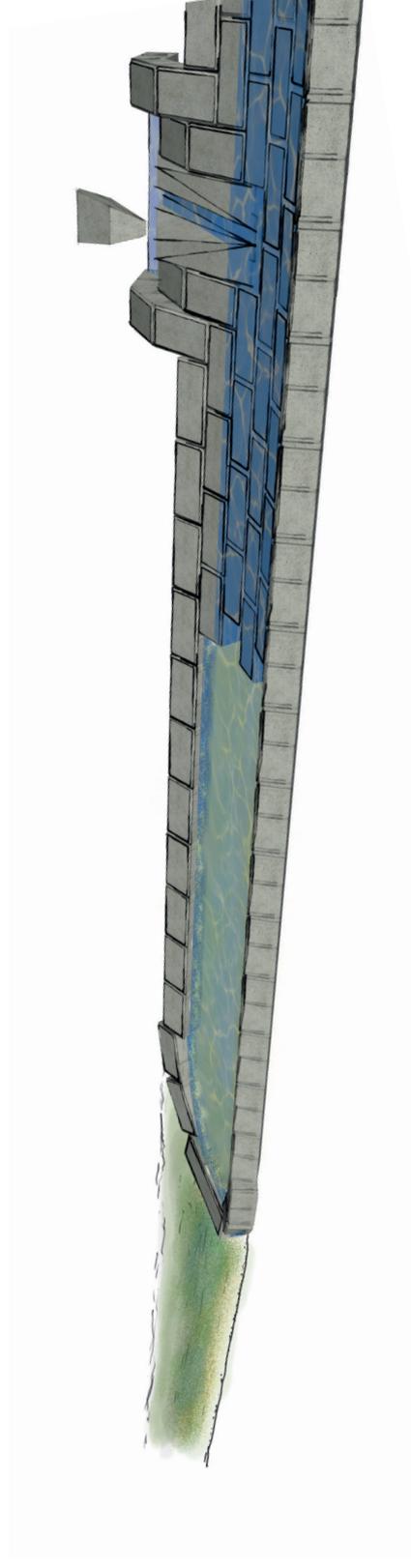


Abb. 16: Die verkürzte Rinne mit Filtermulde
Zeichnung: K.Saf

6. AUSFÜHRUNGEN

6.1 AUSFÜHRUNGSVARIANTEN

EXTENSIVE DACHBEGRÜNUNG

Nach Einschätzung der vorhandenen Gegebenheiten, fiel die Wahl auf eine extensive Dachbegrünung. Dies begründet sich durch die statischen Voraussetzungen. Außerdem ist es mit geringem Aufwand herstellbar und leicht zu pflegen. In jedem Falle ist jedoch die Berechnung eines Statikers nötig.

Ungeschützte Dächer, wie in diesem Falle, sind extremen Bedingungen ausgesetzt und stellen hohe Ansprüche an die Vegetation und dem Substrat auf dem Dach. Auf Grund dieser Voraussetzungen lässt sich eine Kombination aus Gräsern, Kräutern und Sedumgewächsen als Gesellschaft gut etablieren. [VGL. FLL E.V. (2008)/ HEFT SEITE 13]

Die entsprechende Substratauswahl ist abhängig von der eingesetzten Pflanzengesellschaft, seiner Wasserspeicherkapazität und der Lastauflage. Hierzu bieten Hersteller eine Vielzahl von verschiedenen Kombinationsmöglichkeiten. Der durchwurzelbare Raum, sollte zwischen 4 und 20 cm liegen. [VGL. FLL E.V. (2008)/ HEFT SEITE 43]

Die Vegetation und der Substrataufbau haben zwei wesentliche Effekte für das Gebäude. Sonnen- bzw. Wärmestrahlung wird durch den Bewuchs bereits beim Auftreffen teilweise reflektiert. Voraussetzung ist eine geschlossene Vegetationdecke. Die Substratauflage bietet zusätzliche Isolierung. Das bezieht sich auf Wärme- und Kälteeinwirkung. Demnach kühlt es im Sommer und isoliert zusätzlich im Winter.

Bei einer extensiven Dachbegrünung ist das Verhältnis zwischen Wasserspeicherkapazität und dem Eigengewicht von großer Bedeutung.

Somit sind die Substrate so gewählt, welche möglichst viel Porenraum bieten. Es gibt 3 wesentliche Typen von Porenräumen im Substrat. Die grobporigen (\varnothing größer als $50 \mu\text{m}$) dienen der Durchlüftung, der Wasserverteilung, der Pufferung und der Wasserabfuhr aus dem System. Die mittleren Poren (\varnothing größer als $10 \mu\text{m}$ bis $0,2 \mu\text{m}$) sind zur Wasserspeicherung und -weiterleitung. Wurzeln beziehen hier ihren größten Bedarf an Wasser. Die feinen Poren (\varnothing kleiner als $0,2 \mu\text{m}$) fixieren das Wasser sehr stark durch Kapillarkräfte. Es stützt das Bodengefüge und bildet bodenmechanisch einen Verbund. Wasser kann hier nicht mehr über die Wurzel aufgenommen werden.

ZULAUFSTEIN

Es handelt sich hierbei um eine Spezialanfertigung, welche nach den ausgewiesenen Abmaßen (Detailzeichnung befindet sich auf der Seite 30) angefertigt werden muss (keine DIN). Der Stein ist so bemessen, dass er mit genormten Pflastersteinen (8 auf 10) verbaut werden kann. Zur Herstellung wäre eine Schalung erforderlich, in der der

In dieser Arbeit gibt es zwei verschiedene Ausführungen.

- Sickermulde mit Versickerung ins Erdreich
- Filtermulde zur mechanischen Reinigung und Abfluss in die Zisterne

ZISTERNE MIT FILTERMULDE

Der Betrieb einer Zisterne ist nur in Kombination mit einer Filtermulde möglich. Sie reinigt das Regenwasser mechanisch vor und verfügt über eine Einstauhöhe von ca. 30 cm. Der Schichtaufbau setzt sich, wie eingangs bereits erklärt, zusammen und beträgt hier eine Stärke von ca. 40 - 50 cm. Auch diese Filtermulde ist mit Teichfolie ausgekleidet und sammelt das Sickerwasser, welches dann über ein Rohr in die Zisterne gelangt. Die Filtermulde befindet sich im Entwurf an der Südseite des Carports (siehe Änderung im Bestand auf der Seite 27). Die Zisterne hingegen befindet sich im Trockenraum des Hauses. Um diese beiden Anlagen mit einander zu verbinden, bedarf es einer Schachtaushebung. In diesen Schacht werden ein Zulauf und ein Überlauf (KG Rohre DN 110) mit Gefälle verlegt. Der Zulauf verläuft mit Gefälle von der Filtermulde hin zum oberen Teil der Zisterne. Auf gleicher Höhe des Zulaufes, führt der Überlauf wieder von der Zisterne weg, mit Gefälle in Richtung Filtermulde. Das Rohr für den Überlauf liegt unter dem Rohr vom Zulauf, sodass es zuerst eingebaut werden muss. Da die Rohre durch die Außenwand des Hauses bzw. durch das Fundament verlaufen, muss hierzu ein Durchbruch geschaffen werden. Da das Rohr vom Überlauf auf einer Tiefe von ca. 150 cm unter der Filtermulde endet, ist am Ende des Überlaufs eine Rigole mit angeschlossen. Diese darf keine direkte Verbindung zu der darüber gelegenen Filtermulde haben und sollte eine Stärke von ca. 100 cm aufweisen. Dies ergab sich aus der Berechnung zur Versickerungsanlage. Da diese Rigole bereits im Bereich der Schichtwasserzonen liegt, sollten die Seiten auch mit Teichfolie ausgekleidet werden um von außen einströmendes Wasser in die Rigole zu verhindern. Nach unten ist sie geöffnet und leitet so das überflüssige Wasser vom Überlauf ab. Diese Rigole wird mit groben Kies, eingeschlagen in Filterfließ, hergestellt. Die Zisterne besteht aus handelsübliche Ringbeton- Fertigteilen und hat ein Fassungsvermögen von 4000l.

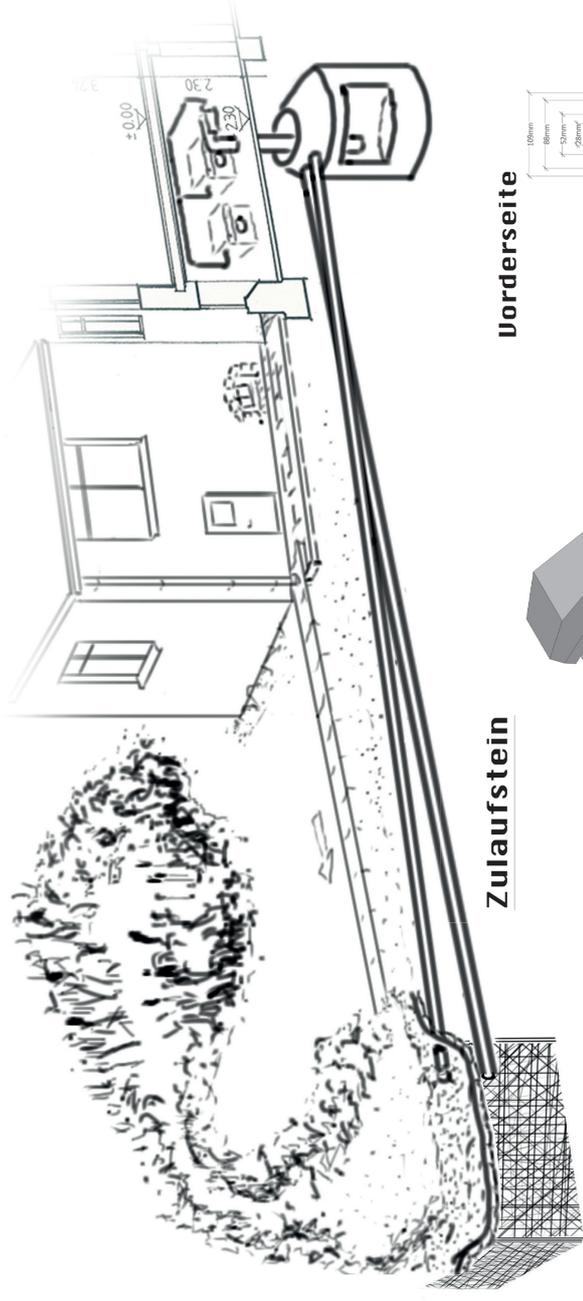
6.2 TECHNISCHE ANLAGEN

Um das gespeicherte Regenwasser aus der Zisterne zu den Waschmaschinen zu Pumpen, ist die Installation eines Hauswasserwerk und entsprechender Zuleitung nötig.

Diese Anlage arbeitet nahezu automatisch und mit einem geringen Wartungsaufwand. Um einen reibungslosen Betrieb zu gewährleisten, ist ein selbsttätiger Mechanismus

für das Umschalten von Regenwasser auf Trinkwasser, bei längerer Trockenheit, erforderlich. Dieser bedient bevorzugt die Druckleitung vom Hauswasserwerk kommend. Schaltet sich das Hauswasserwerk auf Grund von Wassermangel in der Zisterne ab, soll nun der Mechanismus die Zuleitung auf Trinkwasser umschalten. Nun übernimmt diese Leitung die Versorgung der Waschmaschinen. Ist der Pegelstand in der Zisterne wieder ausreichend, schaltet der Mechanismus wieder auf die Leitung vom Hauswasserwerk.

Um eine Genehmigung seitens der Stadtwerke zur Regenwassernutzung für den Waschmaschinenbetrieb zu bekommen, muss ein Abwasserzählwerk eingebaut werden. Die Bemessung und Berechnung des eingeleiteten Schmutzwassers ergab sich bisher aus der Ablesung des Hauptwasserzähler in der Trinkwasserleitung.



Zulaufstein

Vorderseite

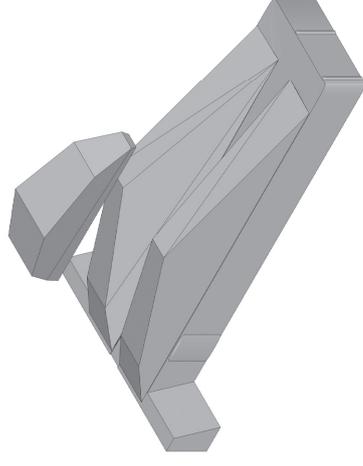
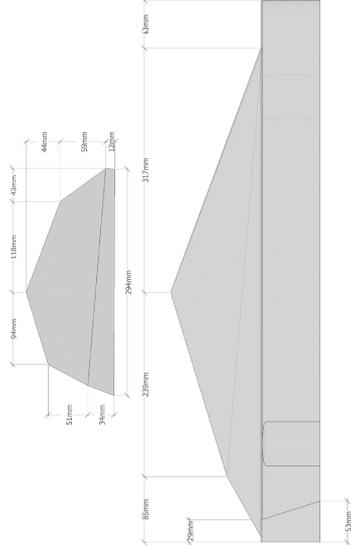


Abb. 20: Filtermulde mit Zu- und Überlauf der Zisterne.
Zeichnung: K.Saß

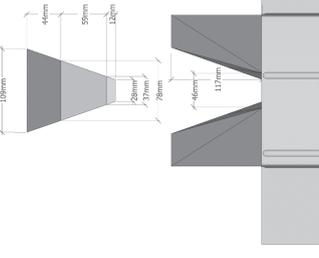
6.3 MATERIALIEN UND ROHSTOFFE

Um eine geeignete Auswahl zutreffen, kommt es besonders auf die Verträglichkeit gegenüber der Umwelt an. Ausspülungen, UV-Strahlung und weitere Witterungseinflüsse strapazieren die verbauten Materialien permanent und es werden dabei feinste Partikel in die Umwelt abgegeben. Der molekulare Verfall lässt sich nur bedingt durch verschiedene Konservierungsprozesse bremsen. Mit dem konventionellen Materialeinsatz und den damit verbundenen Konservierungsschutz, spülen sich molekulare Partikel in die Böden bzw. Umgebung und belasten diese somit über die Jahre. Dieser Vorgang soll sich nun zunutze gemacht werden. Wenn nun, zum Beispiel, Steinwolle diesen Witterungseinflüssen auf dem Dach ausgesetzt wird, gelangen die ausgespülten molekularen Partikel, in diesem Fall verschiedene Mineralien, mit Hilfe von Sickerwasser in den Boden. Diese Mineralien belasten aber den Boden nicht, sondern tragen viel mehr zur Qualitätsverbesserung des Bodens bei.

Seitenansicht



Rückseite



Um die derzeitigen Standards einzuhalten, ist der Einsatz von nicht nachwachsenden Rohstoffen unabdingbar. Daher sollte die Lebensdauer dieser Materialien möglichst hoch und der Wartungsbedarf möglichst gering sein. Eine Wiederverwertung in Form von "up cycling" ist in jedem Fall mit diesen Materialien möglich. In diesem Projekt könnte die Wiederverwertung in folgender Weise geschehen. Durch den Aushub und den Rückbau der Rinnen, fallen gebrauchte Baumaterialien an. Diese können beispielsweise bei den Sicker- bzw. Filtermulden wieder verbaut werden.

6.4 KREISLÄUFE

Sobald Regenwasser auf die Dachbegrünung fällt, wird das Wasser zunächst eingestaut und verzögert wieder abgegeben. Dabei fließt es durch verschiedene Substrattypen und wird dabei mechanisch gereinigt. Über Leitungen und Rinnen gelangt das Wasser zu den Regenerationsflächen bzw. in die Zisterne. Bei Starkregenereignissen sind die Transportwege so konzipiert, dass sie bei Überlastung mit einem Überlaufbereich verbunden sind.

7. KOSTENSCHÄTZUNG

Zur Kostenschätzung wurden die Einzelnen Positionen zur Ausführung mit Bepreisung angegeben (gem. DIN 276).

Kostenschätzung/-berechnung

Kostenschätzung 28.07.2019
Kostenberechnung gem. DIN 276

KG 300 Baukonstruktionen & KG 500 Außenanlagen

Pos. Art	Nr.	Leistung	Menge	[Einh.]	EP	GP	ges.	Eingenleistung
KG. 360		Dächer						
KG. 363		Dachbelege						
	30.01	System LEICHTDACH	95.00	m ²	44.00 €	4,180.00 €		
	30.02	Dachbegrünung/ Unterbau (herrichten)	95.00	m ²	11.00 €	1,045.00 €		
	30.03	Dachbegrünung/ Pflanzung (herrichten)	80.00	m ²	8.00 €	640.00 €		
	30.04	Moos- und Sedumgewächse	80.00	m ²	3.00 €	240.00 €		
		Dachbelege ges.					6,105.00 €	
KG. 390		Sonstige Baukosten						
KG. 392		Baugerüst						
	30.05	Baugerüst miete für 4 Wochen	100.00	m ²	10.00 €	1,000.00 €		
		Baugerüst ges.					1,000.00 €	
KG. 510		Geländeflächen						
KG. 511		Herstellung						
	50.01	Grobplanum	8.00	m ²	5.00 €	40.00 €		
	50.02	Restmaterial Boden abfahren	6.00	m ³	15.00 €	90.00 €		90.00 €
	50.03	Mulde ausarbeiten	4.00	m ²	18.00 €	72.00 €		
		Herstellung ges.					202.00 €	
KG. 530		Befestigte Flächen						
KG. 533		Hof						
	50.04	Pflaster Aus-/ Einbau	15.00	m ²	20.00 €	300.00 €		300.00 €
		Hof ges.					300.00 €	
KG. 550		Technische Anlagen						
KG. 552		Wasseranlagen						
	50.05	Einlaufkasten	1.00	St.	150.00 €	150.00 €		
	50.06	Betonfertigteil- Zisterne 4000 l	1.00	St.	850.00 €	850.00 €		
	50.07	Hauswasserwerk mit Druckausgleichsbehälter	1.00	St.	230.81 €	230.81 €		
	50.08	3/4" PE-Rohrleitung	11.00	m	0.96 €	10.56 €		
	50.09	Muffen, Bögen, T-Stücke, Rückschlagventil und Absperrhähne	1.00	St.	100.00 €	100.00 €		
	50.10	Füllmengen Sensorik	1.00	St.	30.00 €	30.00 €		
	50.11	KG Rohr DN 110 incl. Aushub	22.00	m	22.90 €	503.80 €		
	50.12	Zugschieber für KG Rohr DN 110 mm	1.00	St.	33.36 €	33.36 €		
	50.13	Abwasserzählwerk	1.00	St.	0.00 €	0.00 €		
		Drainagerohr (ø 10 cm) incl. Aushub	20.00	m	21.78 €	435.50 €		
		Rigolenaushub	7.00	m ³	25.00 €	175.00 €		
		Rigolenkästen	3.00	St.	80.00 €	240.00 €		
		Rigolenfüllung (Kies)	6.00	m ³	13.00 €	78.00 €		
		Filtervlies	31.25	m ²	3.00 €	93.75 €		
		Teichfolie	46.00	m ²	4.20 €	193.20 €		
		Zulaufstein/ Rigolensystem	1.00	St.	120.00 €	120.00 €		
		Wasseranlagen ges.					3,243.98 €	

Pos. Art	Nr.	Leistung	Menge	[Einh.]	EP	GP	ges.	Eigenleistung
KG. 560		Einbauten in Außenanlagen						
KG. 561		Allgemeine Einbauten						
		Zisterneinbau und -anschluss	3.50	h	25.00 €	87.50 €		
		Rigoleneinbau und -anschluss	1.00	h	25.00 €	25.00 €		
		Allgemeine Einbauten ges.					112.50 €	
KG. 590		Sonstige Maßnahmen für Außenanlagen						
		Hauswanddurchbruch (Bohrung ø 11 cm)	1.00	St.	30.00 €	30.00 €		
		Bauschutt entsorgen	0.25	m ³	45.00 €	11.25 €		11.25 €
		Sonstige Maßnahmen ges.					41.25 €	
		Baukosten Netto					10,963.48 €	
		Eigenleistungen ges.						401.25 €
		Baukosten Netto abzgl. Eigenleistungen					10,562.23 €	
		19% MWST					2,006.82 €	
		Baukosten Brutto					12,569.05 €	

Tab. 05: Kostenschätzung der anfallenden Positionen
Grafik: K.Saß

8. FAZIT

Der richtiger Umgang mit Wasser, speziell Regenwasser, lässt sich nur schwer pauschalisieren. Es gibt reichlich praxistaugliche Maßnahmen um die Ressource Wasser effizient einzusparen zu können bzw. sie zu nutzen. Die Schwierigkeit besteht aber darin, trotz indirekten Nutzen für ein Selbst, das Bewusstsein für diese Thematik zu wecken.

Denn die bestehenden Methoden greifen nur bedingt. Beispielsweise das Instrument der Ausgleichsmaßnahmen um Flächen zu entsiegeln. Denn eigentlich wird bei einer Versiegelung theoretisch gleicher Maßen an einer anderen Stelle entsiegelt. Nur zeigt sich in den Statistiken und in der Praxis ein gegenteiliges Bild, der grad der Versiegelung nimmt tendenziell zu. Denn es ist nicht direkt mit einander verknüpft. Durch das "Ökokonto" wird diese Verbindung entkoppelt und es können auch so genannte alternativen Maßnahmen zur Kompensation beitragen.

Das nächste Problem das sich andeutet: Durch eine zu geringe Trinkwasserabnahme von den Einzelnen Haushalten, verkeimen die Versorgungsleitungen der Kommunen. Da die Umwälzung des Wassers in den Wasserleitungssystemen zu gering ist und somit Bakterien, besonders in den warmen Monaten, ein hohes Bildungspotenzial aufweisen. Das wird eine intensive und eine kostspielige Wartung des Versorgungsnetzes nach sich ziehen. Ist vielleicht auch hier eine Dezentralisierung die Lösung des Problems? Das lässt sich nur schwer abschätzen.

Was man aber mit Sicherheit sagen kann, dass Wassermangel in nicht allzu ferner Zukunft noch ein große Rolle für uns spielen wird, auch hier in Deutschland. Denn das hat Herber auch schon 1998 abschätzen können. Ohne sich dessen Bewusst zu werden, wird es wohl in Zukunft nicht mehr möglich sein.

9. LITERATURVERZEICHNIS

[CZYCHOWSKI, M., REINHARDT, M. (2014): WASSERHAUSHALTSGESETZ UNTER BERÜCKSICHTIGUNG DER LANDESWASSERGESETZE, 11. AUFLAGE, MÜNCHEN: C.H. BECK VERLAG]

[FLL E.V. (2008): RICHTLINIE FÜR DIE PLANUNG, AUSFÜHRUNG UND PFLEGE VON DACHBEGRÜNUNGEN -DACHBEGRÜNUNGSRICHTLINIE-, (HRSG.) FORSCHUNGSGESELLSCHAFT LANDSCHAFTSENTWICKLUNG LANDSCHAFTSBAU E.V., AUFLAGE: 1, BONN]

[FLL E.V. (2005): EMPFEHLUNGEN ZUR VERSICKERUNG UND WASSERRÜCKHALTUNG, (HRSG.) FORSCHUNGSGESELLSCHAFT LANDSCHAFTSENTWICKLUNG LANDSCHAFTSBAU E.V., AUFLAGE: 1, BONN]

[GEIGER, W.F., DREISEITL, H. (2001): NEUE WEGE FÜR DAS REGENWASSER: HANDBUCH ZUM RÜCKHALT UND ZUR VERSICKERUNG VON REGENWASSER IN BAUGEBIETEN, (HRSG.) EMSCHERGENOSSENSCHAFT, ESSEN, UND INTERNATIONALE BAUAUSSTELLUNG EMSCHER PARK GMBH, GELSENKIRCHEN, MÜNCHEN: OLDENBOURG VERLAG]

[HERBER, B. (1998): NATURNAHE REGENWASSERBEWIRTSCHAFTUNG IN SIEDLUNGSGEBIETEN., IÖR-SCHRIFTEN, (HRSG.) INSTITUT FÜR ÖKOLOGISCHE RAUMENTWICKLUNG E.V. DIREKTOR PROFESSOR DOKTOR BERNHARD MÜLLER, BAND: 25, DRESDEN: SÄCHSISCHES DRUCK UND VERLAGSHAUS GMBH]

[MAHABADI, M. (2012): REGENWASSERVERSICKERUNG, REGENWASSERNUTZUNG. PLANUNGSGRUNDSÄTZE UND BAUWEISE, (HRSG.) B.-H. LAY, M. MAHABADI, M. THIEME-HACK, FACHBIBLIOTHEK GRÜN, OSNABRÜCK: EUGEN ULMER VERLAG]

9.1 INTERNETQUELLEN

WASSERLEXIKON (O.J.): „WASSER“,
UNTER: [HTTP://WASSER-LEXIKON.DE/WASSER/](http://wasser-lexikon.de/wasser/), AUFGERUFEN AM 07.05.21019

WISSEN DIGITAL (O.J.): „WASSER“,
UNTER: [HTTPS://WWW.WISSEN-DIGITAL.DE/WASSER](https://www.wissen-digital.de/wasser/), AUFGERUFEN AM 09.05.2019

THE WATER FOOTPRINT NETWORK (O.J.): „NATIONAL WATER FOOTPRINT“,
UNTER: [HTTPS://WATERFOOTPRINT.ORG/EN/WATER-FOOTPRINT/NATIONAL-WATER-FOOTPRINT/](https://waterfootprint.org/en/water-footprint/national-water-footprint/), AUFGERUFEN AM 22.05.21019

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 01: Deckblatt chematische Wasserwirtschaft	3
Abb. 02: Wassermolekül	7
Abb. 03: Komponenten des Wasserfußabdrucks am Beispiel Deutschlands...	9
Abb. 04: Abfluß- und versickerungswirksame Flächen.	20
Abb. 05: Übersichtsplan vom Planungsgrundstück.	21
Abb. 06 : Verlauf des Regenwassers vom Dächern mit Abflussrichtung.	21
Abb. 07: Verlauf des Regenwassers in die Teichanlage.	21
Abb. 08: Übersichtskarte der Aufschlussabstände.	22
Abb. 09: Bodenprofile grafisch dargestellt mit Aufschusnummern...	22
Abb. 10: Die K_f Werte im Durchschnitt.	23
Abb. 11: Bestandsplan	24
Abb. 12: Änderungen im Bestandsplan	26
Abb. 13: Filtermulde mit Zisterne im Haus	28
Abb. 14: Rinneabzweig	28
Abb. 15: Extensive Dachbegrünung auf dem Hausdach und dem Dach ...	29
Abb. 16: Die verkürzte Rinne mit Filtermulde	29
Abb. 17: Sicker- bzw. Filtermulde (Perpektive)	29
Abb. 18: Sicker- bzw. Filtermulde (Draufsicht)	29
Abb. 19: Sicker- bzw. Filtermulde (Schnitt)	29
Abb. 20: Filtermulde mit Zu- und Überlauf der Zisterne.	33
Abb. 18: Detailzeichnung vom Zulaufstein	33

TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 01: Die einzelne Verbraucher im Haus mit ...Waschmaschinen...	24
Tab. 02: Die einzelne Verbraucher im Haus mit ... gesamt verbrauchten...	24
Tab. 03: Ermittlung des Speichervolumen der Mude und des Retentionsraumes	31
Tab. 04: Ermittlung der zu versickernden anfallenden Wassermenge	31
Tab. 05: Kostenschätzung der anfallenden Positionen	37

HANDSCHRIFTLICHE KORREKTUREN, ERGÄNZUNGEN ODER ANMERKUNGEN

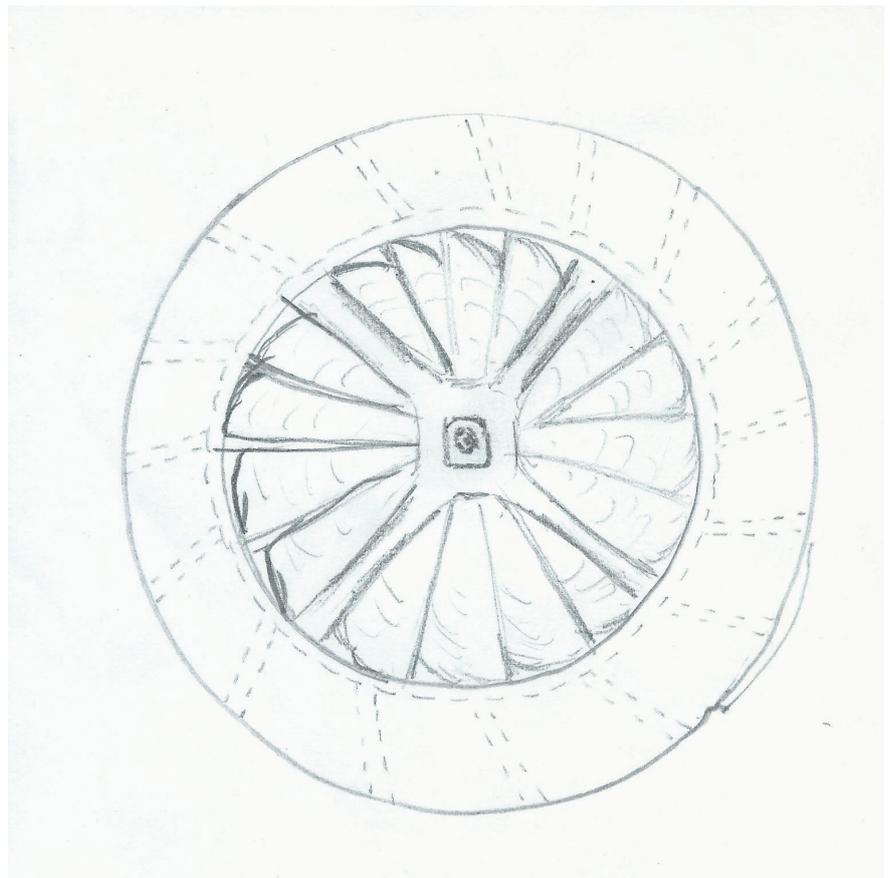
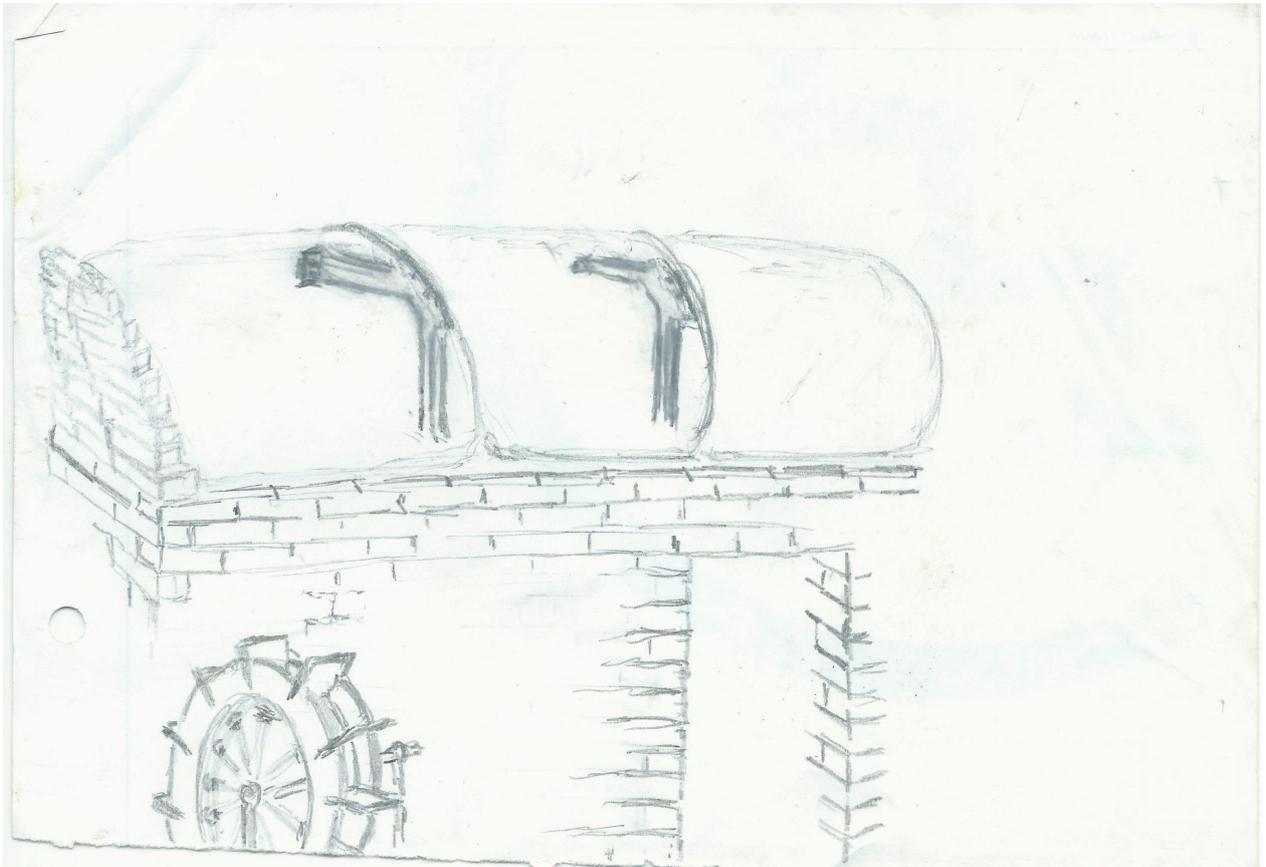
Die erstellten Tabellen zur Berechnung der Versickerungsanlage auf der Seite 31, wurden beim exportieren aus dem Programm nicht vollständig übertragen. Daher befindet sich im Anhang eine handschriftliche Korrektur dieser.

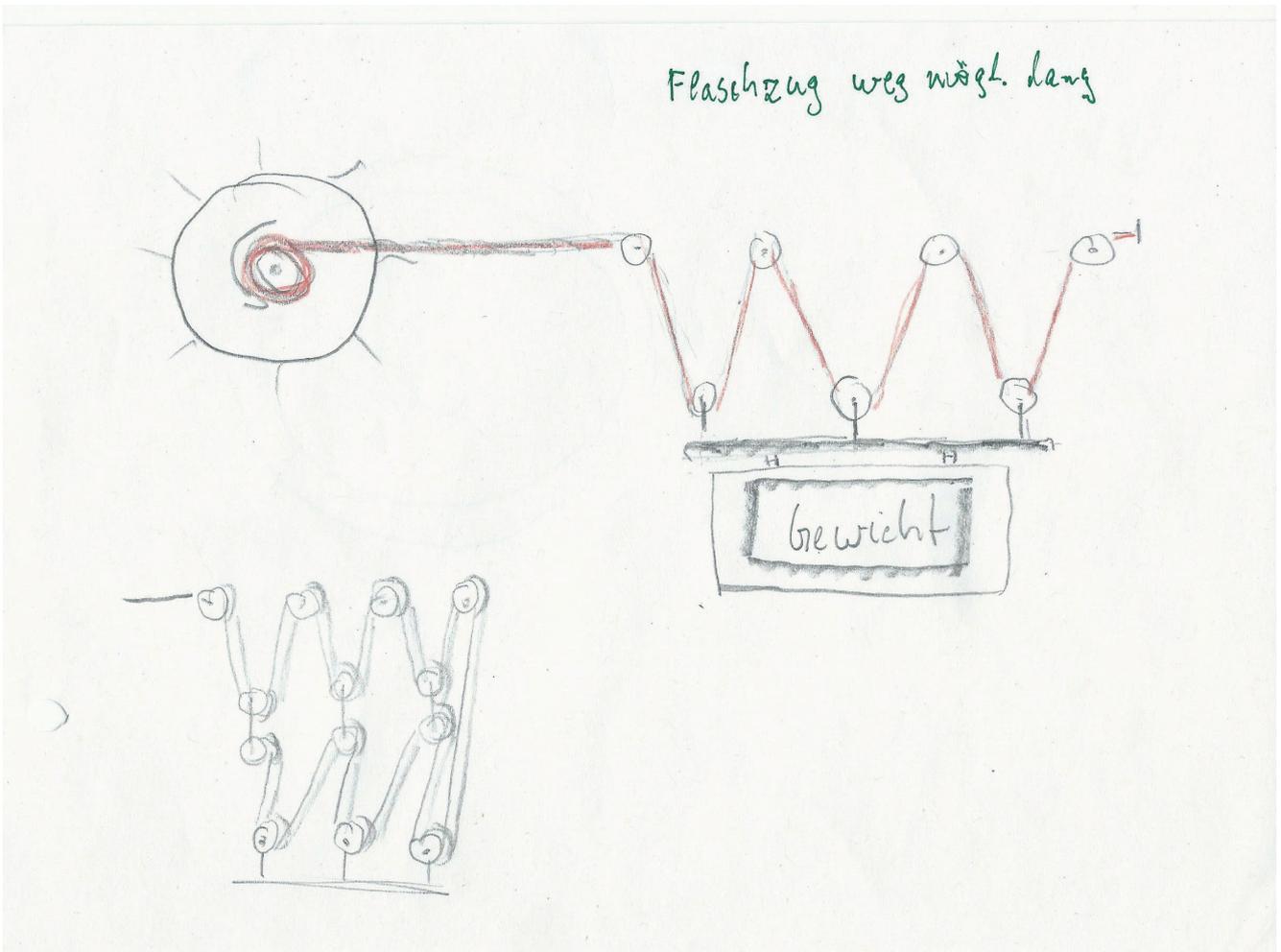
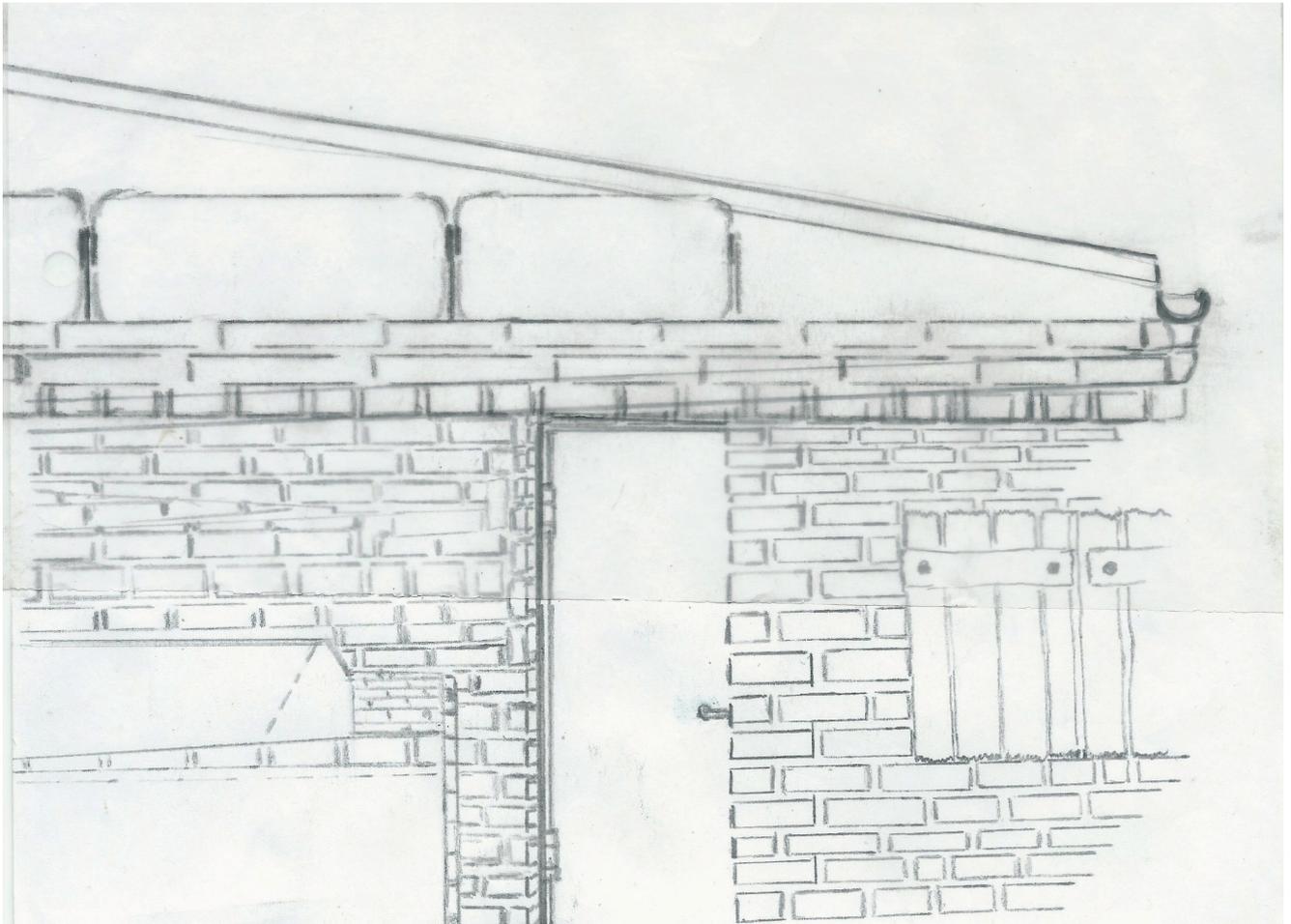
ANHANG

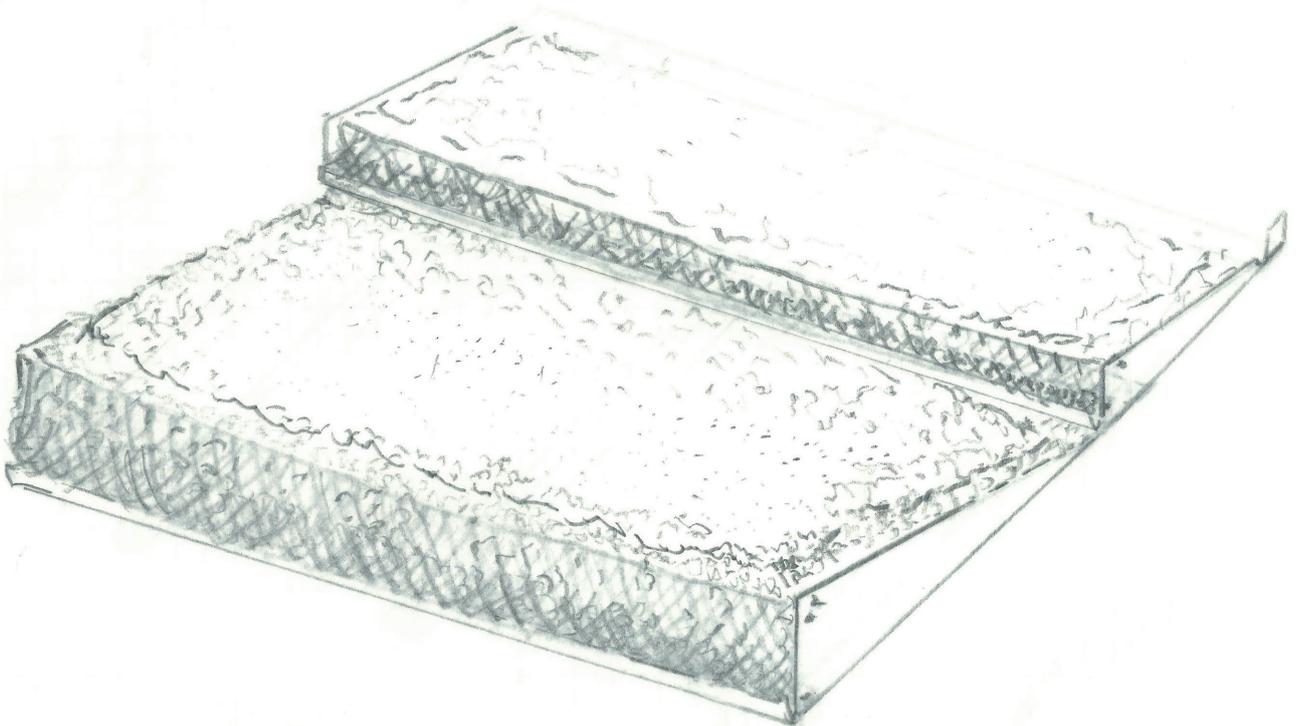
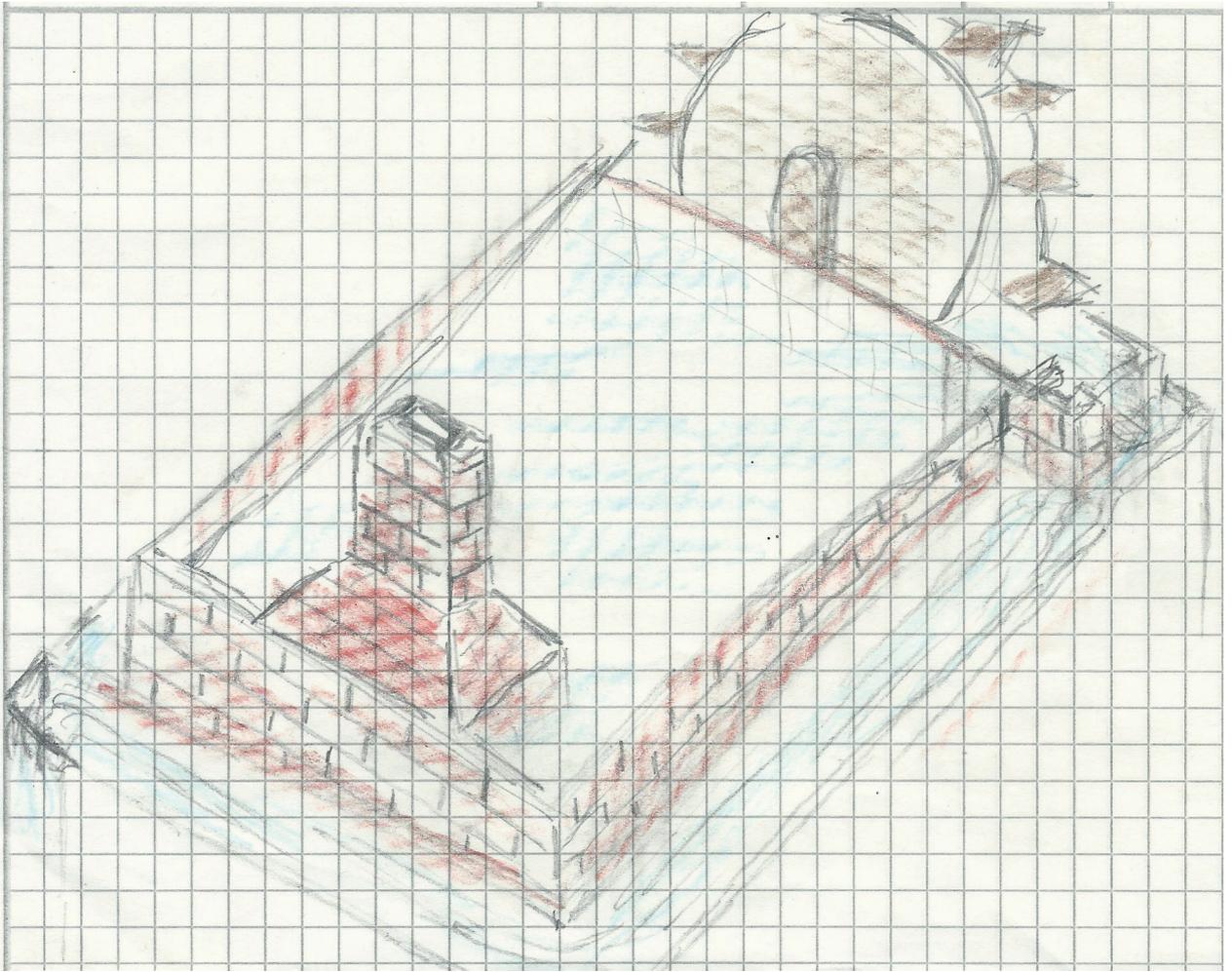
EIDESSTAATLICHE ERKLÄRUNG

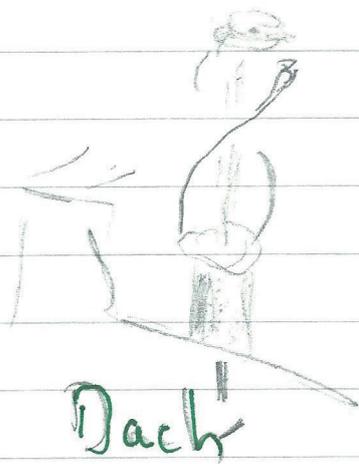
HIERMIT ERKLÄRE ICH, KONRAD SASS EIDESSTATTLICH, DASS DIE VORLIEGENDE ARBEIT SELBSTSTÄNDIG UND OHNE FREMDE HILFE VERFASST WURDE. ICH HABE ALLE DIREKTEN UND INDIREKTEN ZITATE DEUTLICH GEKENNZEICHNET UND DIE QUELLEN IM LITERATURVERZEICHNIS KORREKT ANGEGEBEN.

IDEENSAMMLUNG

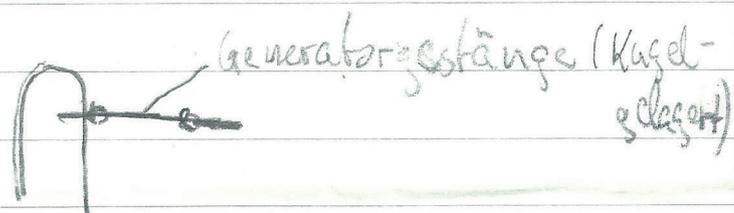
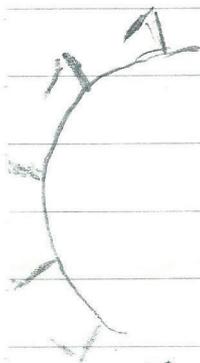
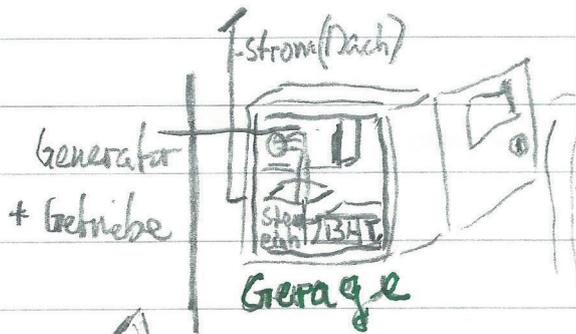




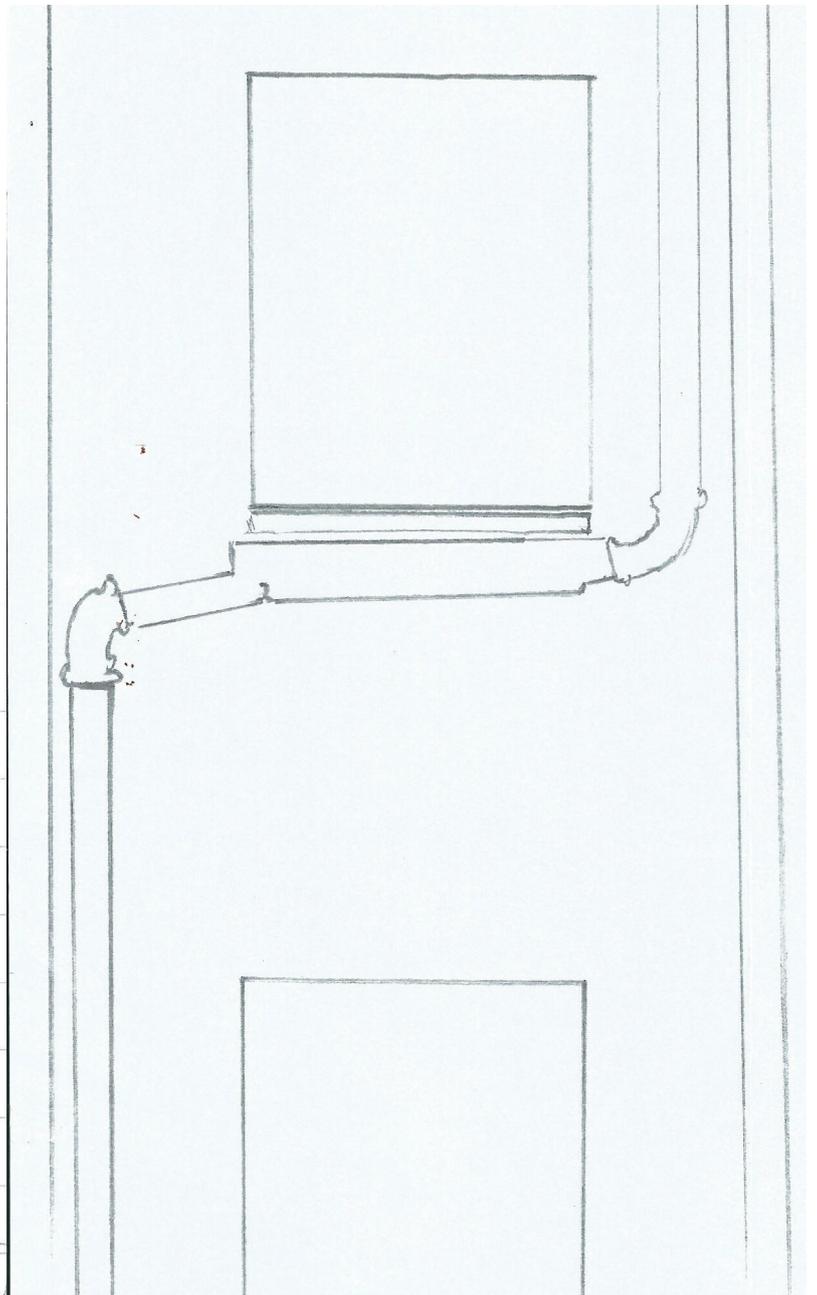




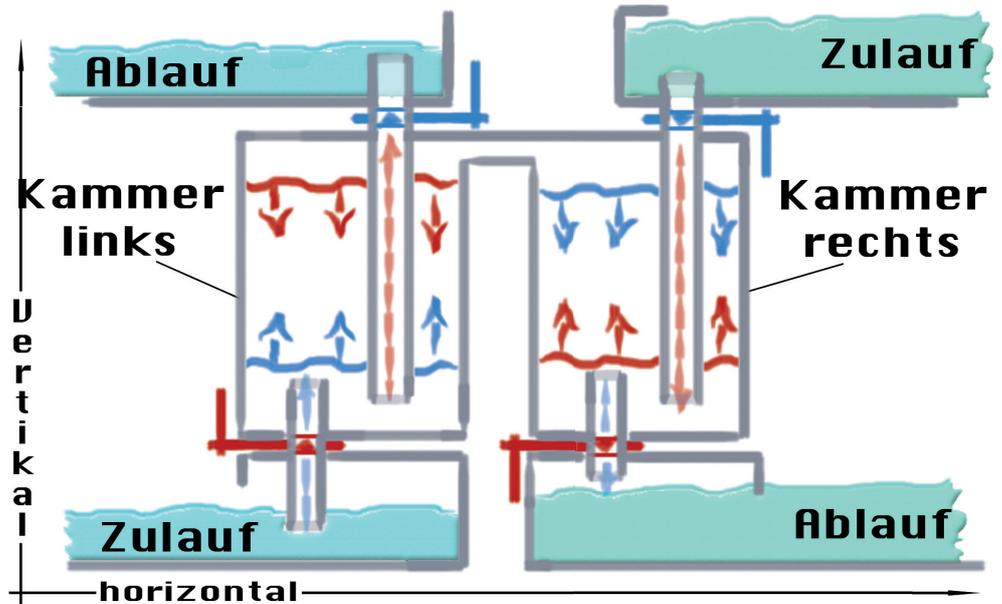
Dach



Zwischen Geragenwand
& Schaufelrad



Wasserbeförderungsanlagen



Das anfallende Regenwasser wird (rechte Kammer) eingeleitet. Der blauer Hahn steht offen und Rot ist geschlossen. Wasser steigt in der Kammer an und verdrängt so die Luft. Diese wird in der Kammer daneben (links) eingeleitet. Auch in der linken Kammer ist der blaue Hahn geöffnet und der Rote geschlossen. Die Luft verdrängt nun bereits in der Kammer stehendes Frischwasser nach oben. Nun werden die Hähne verkehrt herum geöffnet und geschlossen. Die rechte Kammer gibt das Regenwasser nach unten ab. Dabei entsteht ein Unterdruck in der Kammer. Verbunden mit der linken Kammer wird hier durch den Unterdruck Frischwasser von unten in die Kammer gezogen, so wieder gefüllt und der Kreislauf beginnt von neuem. Die rot und blau Farbe stehen für die 2 Arbeitstakte.

