



KUPFER
Initiative PRO METALLDACH
ZINK

in Zusammenarbeit mit dem



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND VERKEHR

Umweltgerechte Regenwasserversickerung von kupfer- und zink- gedeckten Dachflächen

aktualisierte Fassung 2010

Handlungsempfehlungen und Lösungsvorschläge
für Behörden, Gemeinden, Planer und Bauherren



Umweltgerechte Regenwasserversickerung von kupfer- und zinkgedeckten Dachflächen

1. Naturverträgliche Regenwasserbewirtschaftung

Die Ansätze der naturverträglichen Regenwasserbewirtschaftung haben das Ziel, den natürlichen, örtlichen Wasserkreislauf möglichst wenig zu beeinflussen. Hierzu ist es erforderlich, das anfallende Niederschlagswasser dem direkten Abfluss zu entziehen. Der Grundgedanke besteht darin, Abflüsse am Entstehungsort oder in der näheren Umgebung zu vermeiden, zu verringern oder zu verzögern. Dabei darf die Qualität des Grundwassers und der oberirdischen Gewässer nicht nachteilig beeinträchtigt werden. Die Elemente der naturverträglichen Regenwasserbewirtschaftung wie reduzierte Versiegelung von Flächen, Re-

genwassernutzung, Verdunstung, Versickerung, Retention und ortsnahe Einleitung in oberirdische Gewässer dürfen sich nicht nur auf Neuplanungen beschränken, sondern sollen verstärkt auch in der bestehenden Bebauung umgesetzt werden.

2. Rechtliche Rahmenbedingungen

Nach § 55 Abs. 2 Wasserhaushaltsgesetz (WHG) soll Niederschlagswasser ortsnah versickert, verrieselt oder direkt oder über eine Kanalisation ohne Vermischung mit Schmutzwasser in ein Gewässer eingeleitet werden, soweit dem weder wasserrechtliche noch sonstige öffentlich-rechtliche Vorschriften noch wasserwirtschaftliche Belange entgegenstehen. Dies entspricht im Wesentlichen

den Regelungen des § 45 b Abs. 3 Wassergesetz für Baden-Württemberg (WG).

Einzelheiten für ein erlaubnisfreies Vorgehen sind in Baden-Württemberg in der Verordnung über die dezentrale Beseitigung von Niederschlagswasser vom 22. März 1999 geregelt, die auch nach Inkrafttreten des neuen Wasserhaushaltsgesetzes zum 1. März 2010 weiter gilt. Danach ist u. a. die Versickerung oder ortsnahe Einleitung in Bäche und Flüsse erlaubnisfrei möglich, wenn die dezentrale Beseitigung des Niederschlagswassers in örtlichen bauplanungs- oder bauordnungsrechtlichen Vorschriften entsprechend festgelegt ist.

Niederschlagswasser von Dachflächen aus Kupfer und Zink können weiterhin entsprechend der kommunalen Entwässerungssatzung in die Kanalisation eingeleitet werden.

Erlaubnispflichtig ist u. a. die dezentrale Beseitigung von Niederschlagswasser von natürlich oxidierenden (bewitterten), unbeschichteten kupfer- und zinkgedeckten Dächern. Die zuständigen Wasserbehörden der Stadt- und Landkreise haben dann die Pflicht zu prüfen, ob die geplante Entwässerungsform für solche Abflüsse umweltgerecht möglich ist.

Wasserrechtliche Rahmenbedingungen in Baden-Württemberg



Eine Möglichkeit ist, solche Abflüsse in einer bewachsenen und entsprechend aufgebauten Mulde schadlos zu versickern.

In Wohngebieten und vergleichbaren Gewerbegebieten ist die Versickerung von Abflüssen von Dächern mit üblichen Flächenanteilen aus Kupfer und Zink, wie z.B. Gauben, Eingangsüberdachungen, Erker, Dachrinnen, etc., nicht als erlaubnispflichtig eingestuft.

3.3. Bauleitplanung

Die Einleitung in ein oberirdisches Gewässer und die Versickerung sind dann erlaubnisfrei möglich, wenn die erforderlichen Maßnahmen zur dezentralen Regenwasserbeseitigung in bauplanungsrechtlichen oder bauordnungsrechtlichen Vorschriften enthalten sind.

Eine breitflächige Versickerung über die bewachsene Bodenschicht ist immer anzustreben.

Durch die dabei stattfindenden Filter- und Sorptionsvorgänge erfolgt ein effektiver Grundwasserschutz. Die lokale Grundwasserneubildung wird erhöht und

führen. Damit kann mit der Zeit auch die Reinigungsfunktion der Bodenschicht beeinträchtigt werden.

Beim Umbau oder Umnutzung der Versickerungsanlage müssen die Schwermetallkonzentrationen bei der Verwertung des Bodenmaterials berücksichtigt werden. Dazu ist es erforderlich, bei hochbelasteten Anlagen Bodenuntersuchungen auf das verwendete Metall und den pH-Wert durchführen zu lassen. Die Details im Einzelfall (z. B. Art und Häufigkeit der Bodenuntersuchungen, Austausch oder Rückbau) werden im Rahmen der wasserrechtlichen Erlaubnis festgelegt.

5.5. Die Abschwemmrate

Werden natürlich oxidierende Metalle der Bewitterung ausgesetzt, bilden diese eine Schutzschicht, die den metallischen Kern schützt. Diese Schutzschicht ist der Grund für die Langlebigkeit von Kupfer und Zink in der Außenhaut von Gebäuden. Möchte man den Prozess der Patinabildung nicht abwarten, kann eine vorbewitterte Metalldeckung verwendet werden, die bereits die gewünschte grüne (Kupfer) oder graue (Zink) Färbung aufweist.

Die Abschwemmrate ist die entscheidende Größe für den Eintrag in die Umwelt. Durch Witterungseinflüsse kann ein Teil dieser Schutzschicht aufgelöst und von der Oberfläche abgeschwemmt werden. Diese freigesetzten Metallverbindungen bezeichnet man als Metallabschwemmung.

Kupfer und Zink sind ubiquitär, d.h. überall in unserer Umwelt vorhanden. Dabei handelt es sich selten um reines Metall. Vielmehr liegen Zink und Kupfer in der Regel in gebundener Form von Mineralien und Erzen vor. Gelöste Metalle



Diesem fällt die Aufgabe zu, die Anforderungen für die naturverträgliche Regenwasserbewirtschaftung zu definieren. Um einen nachhaltigen Schutz von Boden, Grundwasser und Oberflächengewässern zu erreichen, müssen entsprechende Festsetzungen im Bebauungsplan (B-Plan) erfolgen.

Abwasseranlagen und oberirdische Gewässer werden entlastet. Bei der Regenwasserversickerung wird der Boden als Teil einer Abwasseranlage zur Filterung und Schadstoffrückhaltung genutzt. Die gewünschte Wirkung führt auch zur Anreicherung von Metallen in den obersten Bodenschichten und kann im Sinne des Bodenschutzrechtes zu einer „schädlichen Bodenveränderung“

4.4. Versickerung erwünscht

Wenn die örtlichen Gegebenheiten es zulassen und keine Gefährdung des Grundwassers zu befürchten ist, kann das gesamte abfließende Niederschlagswasser versickert werden. Man unterscheidet zwischen dezentralen, semizentralen und zentralen Versickerungsanlagen. Erfolgt die Versickerung auf dem Grundstück, auf dem das Niederschlagswasser anfällt, handelt es sich um eine dezentrale Anlage. Werden Abflüsse von mehreren Grundstücken bzw. Einzugsgebieten zusammengefasst und einer gemeinsamen Versickerungsanlage zugeführt, spricht man von semizentralen oder zentralen Anlagen.

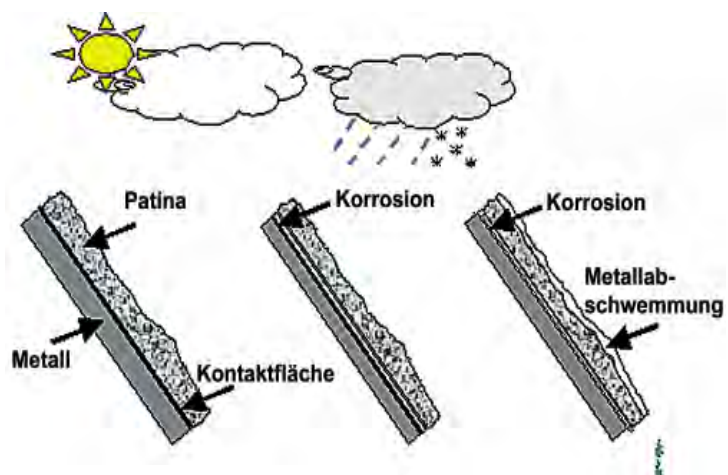


Abb.1 Patina und Abschwemmung

sind von Natur aus in den meisten Gewässern in geringen Konzentrationen mit regional sehr stark schwankenden Konzentrationen als essenzielle Elemente vorhanden.

6. Kupfer und Zink sind essenzielle Stoffe

Sie werden z.B. in der Landwirtschaft gezielt zur Pflanzendüngung eingesetzt oder müssen von außen mit der Nahrung zugeführt werden, da sie in den Organismen selbst nicht gebildet werden können.

Beim Menschen, wie in allen lebenden Organismen, müssen sie in bestimmten Konzentrationen vorhanden sein, um die Steuerung des Stoffwechsels zu gewährleisten. Die lebensnotwendigen Metalle Kupfer und Zink werden nicht immer in gleich bleibender Menge angeboten. Das unterschiedliche Angebot wird bei den Organismen in einem Regelsystem ausgeglichen. Dadurch entsteht ein artspezifisches Gleichgewicht, die Homöostase. Diese steuert die Aufnahme, Speicherung und Ausscheidung und stellt sicher, dass in einem Organismus ein bestimmter Pegel nicht überschritten wird. Aufgrund dieser Reaktion findet bei essentiellen Metallen keine Bioakkumulation, also keine Anreicherung dieser Stoffe in der Nahrungskette statt. In höheren Konzentrationen kann jedoch eine toxische Wirkung eintreten. Auch beeinträchtigt eine übermäßige Anreicherung im Boden das Bodenleben und die Bodenfruchtbarkeit.

7.7. Aktuelle Untersuchungen

Aktuellen Untersuchungen und Messergebnisse über Metallabschwemmungen zeigen insbesondere folgende Erkenntnisse deutlich auf:

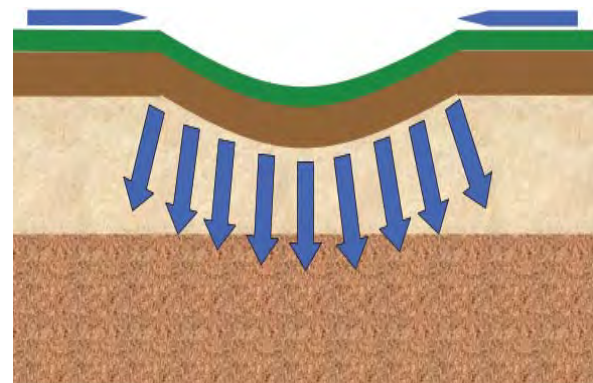
- Die Metall-Abschwemmungen von Dächern sind in den letzten Jahrzehnten dank stark reduzierter Schwefeldioxid-Konzentrationen in der Atmosphäre massiv gesunken.
- Eine Verlagerung von Kupfer und Zink aus dem Boden in das Grundwasser wird aufgrund der Bindung an Tonminerale, Eisenoxide und organische Substanz wirksam unterbunden. Daher dienen bewachsene Böden als Filter und werden dabei als technische Einrichtungen eingestuft.
- Dachflächen haben nur einen sehr geringen Anteil an den Gesamteinträgen von Kupfer und Zink in die Umwelt. Nach einer aktuellen Untersuchung des Umweltbundesamtes sind lediglich 2 % auf Dachflächen aus Kupfer und Zink zurückzuführen. Der in den Boden gelangende Anteil ist mit weniger als einem halben Prozent noch geringer. In einem Forschungsvorhaben an der königlich technischen Hochschule (KTH), Abteilung für Korrosionswissenschaften in Stockholm, hat Prof. Wallinder das Verhalten von Kupfer und Zink in Böden untersucht und festgestellt, dass natürliche Böden ein hohes Rückhaltevermögen haben und beide Metalle sich nur in den obersten Bodenschichten anreichern.

8. Kupfer und Zink sind ökologische Baustoffe

In der umfassenden Bewertung des gesamten Lebenszyklus – Rohstoffgewinnung, Verarbeitung, Nutzung und Recycling – können Kupfer und Zink als besonders nachhaltige und umweltfreundliche Baustoffe bezeichnet werden. Baumetalle aus Kupfer und Zink sind unbegrenzt recycelbar und werden zu über 90% wieder aufbereitet!

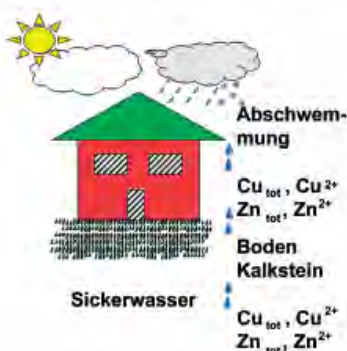
Mit den Werkstoffen Kupfer und Zink wird seit Jahrhunderten hervorragende Architektur gestaltet.

Nicht zuletzt durch ihre lange Lebenserwartung und vorzügliche Gestaltbarkeit werden sie von Architekten und Bauherren geschätzt und sind unverzichtbar. Die positiven Materialeigenschaften und der hohe Korrosionswiderstand einer sich natürlich bildenden Patina sorgen dafür, dass fachmännisch verarbeitetes Kupfer und Zink seine Vorteile über eine Nutzungsdauer von Generationen bewahrt.



Versickerung des Niederschlagswassers in einer Sickermulde

Kupfer- und Zinkabschwemmung - 7,5 Jahres Feldstudie



Marktübliche Werkstoffe

- Jährliche Abschwemmraten
- Metallkonzentrationen im Abschwemmwasser
- Metallbindungsverhalten
- Bioverfügbarkeit gegenüber Bakterien
- Umwelttoxizität bei Algen

Kupfer- und Zinkabschwemmung - Laborstudie

- Wirklichkeitsnahe Nachbildung von Regenereignissen
- Regenparameterabhängigkeit
- Momentane Abschwemmungen während des Regens
- Modellvorhersagen der Abschwemmraten

Umwelteinwirkungen der Kupfer- und Zinkabschwemmung - Laborstudie

- Rückhaltevermögen
- Änderungen der Metallbindung und der Verfügbarkeit
- Metallkonzentrationen im Sickerwasser
- zukünftige Mobilisierung

Abb.2



9. Muldenversickerung

Die Versickerung über eine Mulde ist baulich die einfachste und kostengünstigste Variante und bietet viele Gestaltungsmöglichkeiten. Sie ist insbesondere in ländlichen Gebieten mit ausreichendem Platz problemlos zu gestalten. Das Niederschlagswasser wird von den befestigten Flächen in flache, begrünte Bodenvertiefungen abgeleitet und kurzzeitig zwischengespeichert, bevor es in den Untergrund versickert. Richtig geplante und ausgeführte Mulden sind keine feuchten Pfützen, sondern ausgesprochene Trockenstandorte, in denen das Wasser bei starken Regenereignissen nur kurzfristig sichtbar ist. Bei geringen Niederschlägen ist in der Regel kein Wasser in der Mulde sichtbar. Mulden können auf Grund der geringen Tiefe und der Bepflanzung problemlos in Privatgärten und Grünanlagen integriert werden.

Die bewachsene Bodenschicht einer Mulde gewährleistet eine dauerhaft sehr gute biologische Reinigung des Niederschlagswassers, wobei auch ungelöste Stoffe zurückgehalten werden. Zudem handelt es sich bei der Muldenversickerung um ein Versickerungsverfahren mit geringer Flächenbelastung. Deshalb eignet sich diese Versickerungsform mit einem entsprechenden Aufbau insbesondere auch für Kupfer- und Zinkdächer. Dies wurde durch wissenschaftliche Untersuchungen belegt.



10. Sickermulde für Kupfer- und Zinkdachflächen

In Baden-Württemberg wird die Versickerung von Abflüssen von kupfer- und zinkgedeckten Dächern über die entsprechend aufgebaute Sickermulde als geeignete Behandlungsmaßnahme vom Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr befürwortet, benötigt aber eine wasserrechtliche Erlaubnis.

Dazu wurden entsprechende Vorgaben und Ausschreibungstexte zur Sickermulde für Kupfer- und Zinkdachflächen durch die Initiative Pro Metaldach Kupfer und Zink gemeinsam mit dem Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr, Baden-Württemberg entwickelt und bei Pilotprojekten in der Praxis erprobt.

Gut geeignet sind Böden mit geringem Grobsand und Schluffanteil. Der Boden soll einen hohen Anteil an organischer Substanz und Tonmaterialien aufweisen, der pH-Wert sollte zwischen 7 und 8 liegen.

Die Größe der Mulde richtet sich nach der zu entwässernden Fläche, der Sickerfähigkeit des Bodens und den örtlichen Niederschlagsgegebenheiten. Als Faustformel sollte ca. 10% der zu entwässernden Flächen als Muldenfläche zur Verfügung stehen. Das Niederschlagswasser wird in einer Geländemulde zwischengespeichert und verzögert über eine ca. 30 cm belebte Bodenzone (bewachsener Mutterboden) und eine ca. 20 cm karbonathaltige Sandschicht in den Untergrund abgeleitet.

Vorteile der Sickermulde

- auch ungelöste Stoffe werden in der Mulde zurückgehalten,
- gute Speicher- bzw. Retentionswirkung,
- geringer Herstellungsaufwand,
- großer Einsatzbereich,
- hohe Lebensdauer,
- geringer Wartungsaufwand.

In einem Pilotprojekt in Amtzell bei Ravensburg wird das Dachabflusswasser eines Daches mit ca. 800 m² Titanzinkfläche über zwei Fallrohre einer Regenwasserversickerungsmulde als technische Anlage zugeführt. Die Versickerungsmulde entspricht im Aufbau den Vorgaben, die die Initiative Pro Metaldach Kupfer und Zink gemeinsam mit dem Umweltministeriums Baden-Württemberg entwickelt hat.

Sie wurde im Juni 2006 nach Analyse einer Nullprobe in Betrieb genommen. Weitere Proben wurden nach über einem Jahr entnommen und untersucht. Da derzeit keine Beurteilungskriterien für Regenwasserversickerungsmulden als technische Anlagen vorliegen, wurden die Prüfergebnisse nach den strengen Anforderungen der Bundesbodenschutzverordnung (BBodSchV) beurteilt.

Nach der Auswertung aller Analyseergebnisse wurde vom Prüfinstitut zusammenfassend festgestellt, dass für



die Zinkgehalte in der technischen Anlage zur Regenwasserversickerung sogar die Vorgaben der Vorsorge- und Prüfwerte nach Bundes-Bodenschutzverordnung zum jetzigen Zeitpunkt sicher eingehalten werden.

Diese Untersuchungen zeigen, dass entsprechend aufgebaute Versickerungsmulden ein hohes Rückhaltevermögen für Metalle wie Kupfer und Zink besitzen können.

Schon im örtlichen Bebauungsplan können entsprechende Vorgaben für Sickermulden in Verbindung mit kupfer- und zinkgedeckten Dachflächen festgelegt werden. Ein entscheidender Beitrag zur naturnahen Regenwasserbewirtschaftung wird dadurch geleistet.



Die Initiative PRO METALLDACH Kupfer und Zink

KUPFER
Initiative PRO METALLDACH
ZINK

Zu den Aufgaben der Initiative gehören die Information über die aktuellen Untersuchungsergebnisse und die ökologischen Anforderungen an Metalldächer, der wissenschaftliche Austausch mit den zuständigen Behörden, die Kooperation mit den Regelwerks-Gremien sowie die Beratung bei aktuell anstehenden Entscheidungen vor Ort. Gestartet wurde das Projekt im Jahre 2002 unter dem Dach der Wirtschaftsvereinigung Metalle in enger Abstimmung mit den Verbänden des Handwerks in den Bundesländern Baden-Württemberg und Bayern.

Ausblick

Derzeit entwickelt die Industrie neue technische Lösungen für unterirdische Versickerungs- und Filteranlagen für Dachabläufe, um Alternativen mit geringem Platzbedarf, z. B. im Stadtgebiet, anbieten zu können. Erste Anlagen haben eine Bauartzulassung nach dem Bayerischen Wasserrecht erhalten. Auch die Möglichkeiten zur Regenwassernutzung werden befürwortet. Gleichzeitig werden bestehende Versickerungsanlagen dahingehend untersucht, in welcher Form die Kupfer- und Zinkabschwemmungen im Boden gebunden werden und ob eine Verlagerung ins Grundwasser zu beobachten ist.

Aktuelle große Forschungsvorhaben auf europäischer Ebene untersuchen die Bioverfügbarkeit von Kupfer und Zink in Gewässern, im Sediment und im Boden. Die Ergebnisse werden derzeit bei den entsprechenden Gremien auf Bundes- und Landesebene präsentiert und diskutiert.

Informationen

Diverse Broschüren und Fachberichte zu der aktuellen Lage, zu den zitierten Untersuchungen, die Vorgaben und der Ausschreibungstext zur Sickermulde werden Interessenten gerne zur Verfügung gestellt oder stehen als Download unter

www.umweltforum-kupfer-zink.de

zur Verfügung.

Muster-Ausschreibungstext: Sickermulde für Kupfer- und Zinkdachflächen

Vorbemerkungen:

Für die oberirdische Versickerung des abfließenden Niederschlagswassers von unbeschichteten Metaldachflächen (z.B. aus Kupfer oder Zink) kommen die Mulden- und die Beckenversickerung in Frage. Die Bemessung kann nach dem Arbeitsblatt DWA A 138 und der Broschüre „Naturverträgliche Regenwasserbewirtschaftung“ des Landes Baden-Württemberg erfolgen.

Die Art und die Größe richtet sich nach der zu entwässernden Fläche und der Sickerfähigkeit des Bodens. Als Faustformel sollte 10% der versiegelten Fläche als Versickerungsfläche zur Verfügung stehen.

Für die Muldenversickerung gilt: $5 < A_u : A_s < 15$,

für die Beckenversickerung gilt: $15 < A_u : A_s < 50$.

Pos.1

Bewuchs im Baufeld entfernen. Mulden-Pflanzfläche von Unrat, Laub und sonstigen Stoffen reinigen. Material aufnehmen und entsorgen. Das Material geht in das Eigentum des AN über.

Pos. 2

Eventuell vorhandene Grassoden mind. in einer Stärke von 10 cm aufnehmen und fachgerecht seitlich lagern

Pos. 3

Mulde profilgerecht ausheben. Mutterboden abtragen und seitlich lagern, Bodenaushub an der tiefsten Stelle bis 80 cm unter Geländeoberkante. Aushubmaterial geht in das Eigentum des AN über und ist zu entsorgen.

Pos. 4

Sand, Körnung 0/2 (sh. Sieblinie), karbonathaltig (CaCO_3 - Gehalt $> 15\%$), im Muldenbereich andecken. Im Böschungsbereich mit Neigung 1:2 andecken. Andeckung: 20 cm. Verdichtung: mit Glattmantelwalze trittfest abwalzen.

Pos. 5

Den seitlich gelagerten Oberboden im Mulden-Bereich profilgerecht andecken, Andeckung: 30 cm. Bodengruppe 4 nach DIN 18915, T1: ph-Wert > 7 , Tongehalt $> 5\%$, Humusgehalt $> 2\%$. Bodendurchlässigkeit zwischen $k_f \leq 1 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ und $k_f \geq 5 \times 10^{-6} \text{ m/s}$. Wenn der anstehende Boden diese Kriterien nicht erfüllt, muss er abtransportiert und entsprechendes Material antransportiert werden. Verdichtung: mit Glattmantelwalze trittfest abwalzen

Pos. 6

Oberboden im Böschungsbereich andecken. Böschungsneigung 1:2. Andeckung 30 cm. Bodengruppe 4 nach DIN 18915 T1: ph-Wert > 7 , Tongehalt $> 5\%$, Humusgehalt $> 2\%$. Bodendurchlässigkeit zwischen $k_f \leq 1 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ und $k_f \geq 5 \times 10^{-6} \text{ m/s}$. Verdichtung: mit Glattmantelwalze trittfest abwalzen

Pos.7

An gleichen des Substrates an Überläufe. Höhendifferenz zur Fließrinne: bis 30 cm

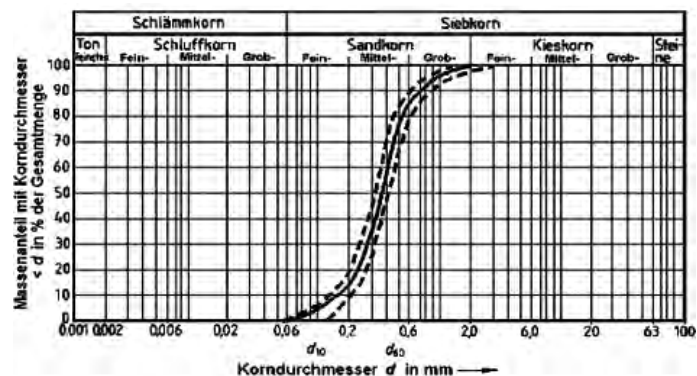
Pos. 8

Ansaat von 30 g Rasensamen/qm, andecken und glatt walzen. Alternativ: Wiederverwendung der abgehobenen Grassoden.

Pos. 9

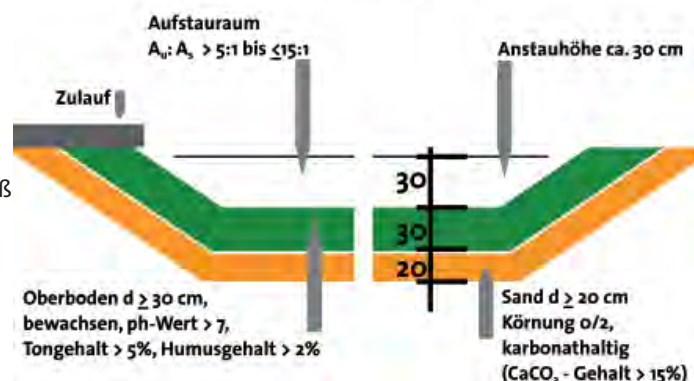
Herstellung eines Zulaufs, z.B.: Pflasterrinne für die oberflächige Zuleitung: m - Länge; drei-Steinbreit, Tiefe 2-3 cm, Gefälle 0,5 %. Verlegung in Magerbeton
Einbau eines Fallrohrbogens 67° in das Fallrohr.

Sieblinie



Prinzipiskizze: Sickermulde für Kupfer- und Zinkdachflächen

Bodenpassage durch 30 cm bewachsener Oberboden
Bodendurchlässigkeit zwischen $k_f \leq 1 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$ und $k_f \geq 5 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$ sowie
zusätzlicher Filterschicht 20 cm karbonathaltiger Sand



Kontakte:



Peter Strobel
RoofTech Consulting GbR
Kirchstr. 38
71120 Grafenau
Tel. +49 (0)7033 464111
Fax +49 (0)7033 464112
Email: p.strobel@rooftech.de



Dipl.- Ing. Hanns-Christoph Zebe
Dr.Kiefhaber+Zebe Ingenieur Consult
GmbH
Schumannstr. 1
67655 Kaiserslautern
Tel: +49 (0)631 34 28 89 83
Fax: +49 (0)631 34 28 89 85
E-Mail: zebe@ki-ze.de

Literatur

- Heinz Hullmann (2003): Natürlich oxidierende Metalloberflächen – Umwelt- auswirkungen beim Einsatz von Kupfer und Zink in Gebäudehüllen. Fraunhofer IRB Verlag
- Hiller, D.; Winzig, G. & C. Dornauf (2001): Bodenchemische Untersuchungen von Versickerungsanlagen als Grundlage für eine nachhaltige Niederschlags- wasserbewirtschaftung im Sinne des Boden- und Grund-wasserschutzes. Abschlussbericht an das MUNLV NRW, Universität Essen.
- Leuenerberger-Minger A. U. , Faller M. & Richner P. (2002): Runoff of copper and zinc cause by atmospheric corrosion. Materials and Corrosion 53, WILEY-VCH Verlag GmbH, 157-164
- Lichtnecker H. & Hullmann, H. (2002): Biologische Wirkungen von Kupfer und Zink. Metall, 5/2002
- Bertling S., Odnevall Wallinder I., Leygraf C., Berggren D. Königlich Technischen Hochschule (KTH) . Abteilung für Korrosionswissenschaften, Stockholm (2002): Immobilization of copper in runoff water from roofing materials by limestone, soil and concrete. 15th Int.Corr. Congr., Paper 44, Granda, Spain 2002
- Bertling, S., Odnevall Wallinder, I., Leygraf, C., and Berggren, D. Königlich Technischen Hochschule (KTH) . Abteilung für Korrosionswissenschaften, Stockholm (2002): Environmental Effects of Zinc Runoff from Roofing Materi- als – A New Multidisciplinary Approach. Outdoor and Indoor Atmospheric Corrosion, ASTM STP 1421, H. E. Townsend, Ed., American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, 2002
- Özgen, A. ; Gantner, K. & W. Hegemann (2001): Schadstoffrückhalt im Regenwassersickerschacht. GWF Wasser, Abwasser 142, Nr. 7, S. 474-478
- Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 138, Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser, Januar 2002
- Umweltministerium Baden-Württemberg: Naturverträgliche Regenwasser- bewirtschaftung – Leitfaden, Stuttgart 1999
- Regierungspräsidium Karlsruhe, Bernd Haller: Naturverträgliche Regenwasser- bewirtschaftung – Hinweise für Gemeinden und Planer, 2003
- Kupfer- und Zinkabschwemmungen von Metaldächern", Odnevall Wallinder, I.;Bertling S.; Leygraf, C., WLB 1-2/2005

Bildnachweis

- Abb. 1 Bertling S., Odnevall Wallinder I., Leygraf C., Berggren D.
Abb. 2 Odnevall Wallinder, I.;Bertling S.; Leygraf, C.

www.umweltforum-kupfer-zink.de

Eine Initiative der Industrie in Zusammenarbeit
mit dem verarbeitenden Handwerk

