

Erfahrungsbericht: Kombinierte Entwässerungsanlage ohne Kontrollschächte

Die Anlage, die Dränung, Versickerung sowie Randwegbereich beinhaltet und 2003 erstmals bei der Regiobahn Mettmann eingebaut wurde, erfüllt alle Anforderungen.



Abb. 1: Ergebnisse einer unzureichenden Entwässerung der Bahnstrecke

Foto: K. Lieberenz

Joachim Korn
Imran Sevis

Warum ist die Entwässerung von Bahntrassen so wichtig?

Die Ableitung des Oberflächen- und Sickerwassers und die Trockenhaltung des Erdplanums sind wichtige Voraussetzungen für eine dauerhafte Standsicherheit der Bahnstrecke. Entwässerungsanlagen des Bahnkörpers haben die Aufgabe, schädliche Wasseranreicherungen im Unterbau/Untergrund zu verhindern, um die Tragfähigkeit des Planums und die Standsicherheit der Erdbauwerke zu jeder Jahreszeit gewährleisten zu können [1].

Unzureichende Entwässerung kann zu Schlammstellenbildungen und somit zu

- Tragfähigkeitseinschränkungen des Planums,
- Verformungen des Gleisaufagers und
- Verschmutzung des Gleisschotter führen.

Damit sind Gleislageveränderungen mit erhöhtem Instandhaltungsaufwand (Stopf-

arbeiten, Durcharbeitung) und ggf. Verfügbarkeitseinschränkungen der Strecke (Langsamfahrstellen) verbunden.

Ziele bei der Entwicklung der kombinierten Entwässerungsanlage

Die Zielsetzung gem. Ril 836 der DB AG bei der Entwässerung von Bahntrassen beinhaltet die technische Machbarkeit der Entwässerungsanlagen. Dagegen stellen die EU-Wasserrahmenrichtlinie und das Landeswassergesetz (LWG) die Ökologie und das Wohl der Allgemeinheit in den Vordergrund. Das weitere und auch nicht unwichtige Ziel ist die Wirtschaftlichkeit, welche bisher nicht eindeutig erfasst wurde.

Die neuen Ziele wurden unter Beteiligung eines praxisorientierten Teams präzisiert. Die neu zu planende Entwässerungsanlage sollte folgende Ziele erfüllen:

- Fassung der schädlichen Wasseranreicherung im Bereich des Bahnkörpers (Standsicherheit),
- hohe Verfügbarkeit und geringer Instandhaltungsaufwand (Leistungsfähigkeit),

- Versickerung des Wassers möglichst im Nahbereich der Entwässerungsanlage (Ökologie),
- Gewährleistung einer verzögerten und gedrosselten Ableitung (optimaler Betrieb),
- die neue Anlage soll mehrere Funktionen platzsparend erfüllen (platzsparend) und
- last but not least steht die wirtschaftliche Lösung gegenüber der konventionellen Entwässerungsanlage (Wirtschaftlichkeit).

Beschreibung der neuen Entwässerungsanlage

Das kombinierte Entwässerungssystem besteht aus:

- Versickerungs- bzw. Ableitungsgraben aus Filtermaterial (Betonkies, B32 DIN 1045)
- haufwerksporigen Betonhalbschalen mit begehbaren Abdeckplatten als Randweg und
- Bahngraben.

Das Entwässerungssystem funktioniert nach dem Exfiltrations- und Infiltrationsprinzip¹.

Das Sickerwasser aus den Bahnbereichen fließt zunächst in die Filterschicht, sickert ein und wird im Versickerungsgraben abgeleitet. Das Wasser versickert aus dem Versickerungsgraben streckenbezogen zum Teil in den versickerungsfähigen Untergrund. Das Überschusswasser dringt nach Aufsteigen des Wasserspiegels im Versickerungsgraben durch die haufwerksporige Betonhalbschale nach oben. In der Halbschale wird das Wasser solange störungsfrei abgeleitet, bis es in den durchlässigen Zonen auf der Strecke vollständig versickert oder, nach einer Teilversickerung, am Endstrang ankommt.

Das verbleibende Sickerwasser wird (wenn vorhanden) im Endstrang über die Sickerwassersammelleitung aufgenommen und in den Endschacht eingeleitet. Vom Endschacht wird das Restsickerwasser in den Vorfluter gedrosselt eingeleitet. Somit wird die Versickerungsfähigkeit der zu entwäs-

¹) Exfiltration: Wasserableitung aus dem Untergrund
Infiltration: Wassereinführung in den Untergrund

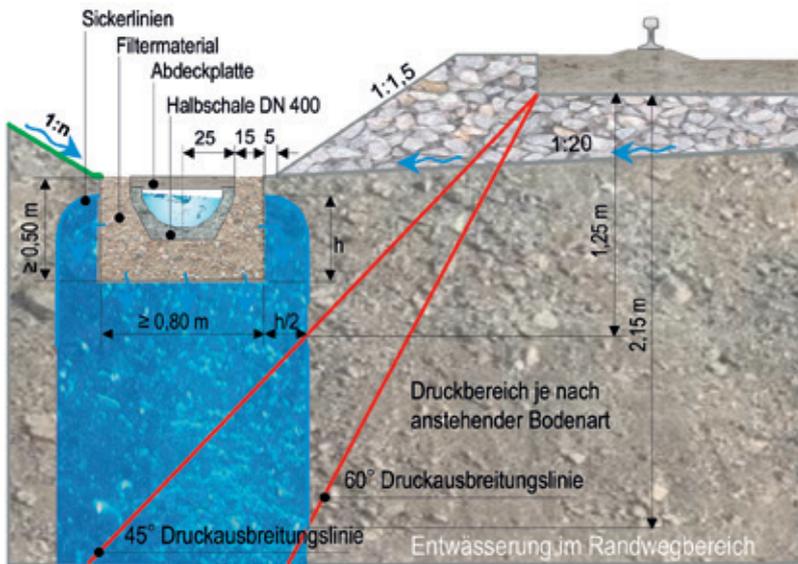
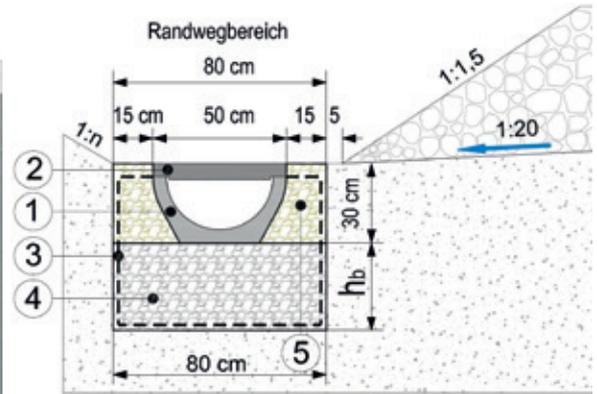


Abb. 2a: Kombinierte Entwässerungsanlage bei versickerungsfähigem Untergrund



- 1 Abdeckplatte aus Beton (50/50 cm)
- 2 Haufwerksporige Betonhalbschale DN 400
- 3 Filtervlies (je nach Bedarf)
- 4 Unterbettung, Filtermaterial
- 5 Seitliche Verfüllung, Filtermaterial

Abb. 2b: Kombinierte Entwässerungsanlage

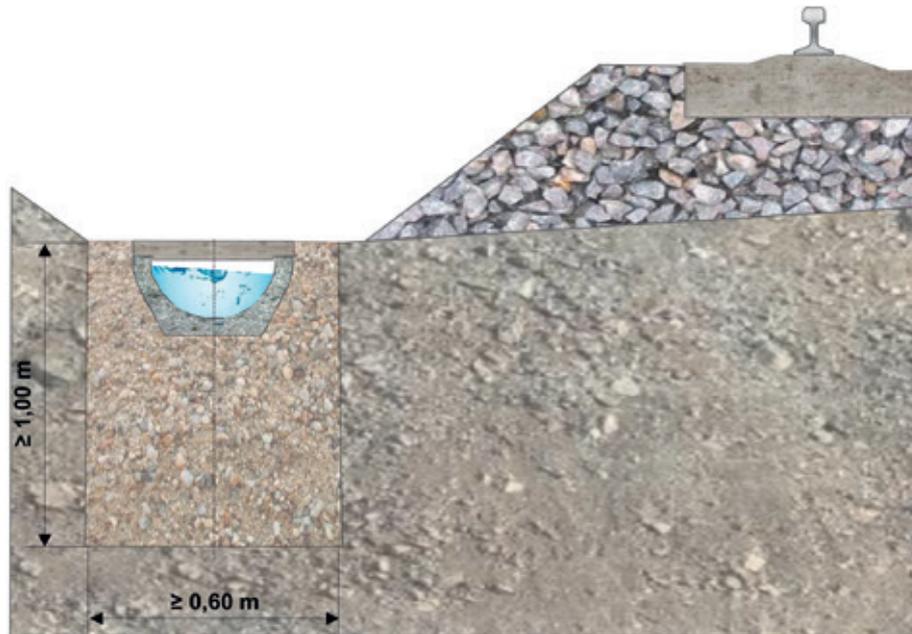


Abb. 3: Kombinierte Entwässerungsanlage, Variante 1, Regelkonzept, $b/h = 60 \text{ cm}/100 \text{ cm}$

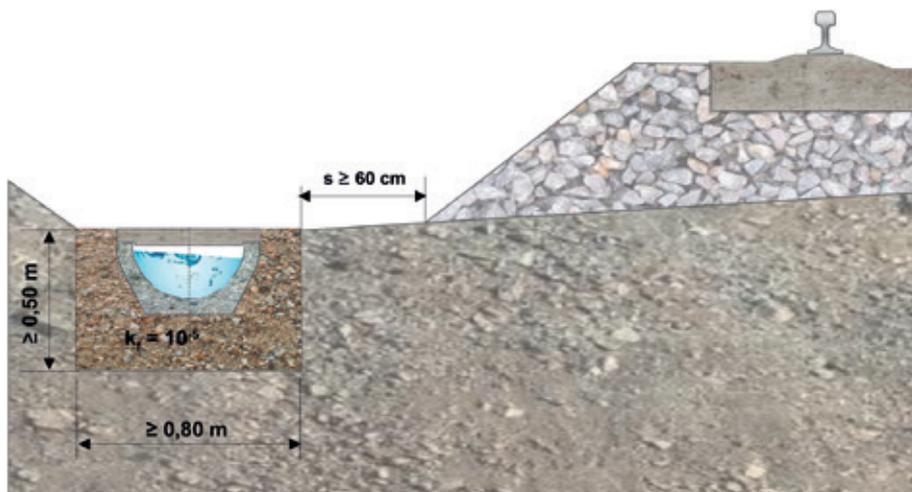


Abb. 4: Kombinierte Entwässerungsanlage mit Mindestabmessungen gem. TM 2010-085 I.NVT 4 (K), Variante 2, $b/h = 80 \text{ cm}/50 \text{ cm}$, $k_f = 10^{-5} \text{ m/s}$, $s = 60 \text{ cm}$

sernden Bahnstrecke maximal ausgenutzt. Das Oberflächenwasser wird somit dort, wo es anfällt, in den Untergrund eingeleitet.

In den vergangenen zehn Jahren wurden verschiedene Varianten der neuen Entwässerungsanlagen entwickelt und in der Praxis getestet.

Variante 1:

Regelkonzept mit Mindestabmessungen eines Entwässerungsgrabens aus Filterkies von $b/h = 60 \text{ cm}/100 \text{ cm}$ (gemäß Ril 836.4602-3-(3) Bild 10 [U1])

Variante 2:

Kombinierte Entwässerungsanlage mit reduzierten Mindestabmessungen gem. TM 2010-085 I.NVT 4 (K), $b/h = 80 \text{ cm}/50 \text{ cm}$, Filterkies mit $k_f = 10^{-5} \text{ m/s}$ und $s = 60 \text{ cm}$ (Betonkies B32, DIN 1045)

Unter Beachtung der bestimmten Randbedingungen kann die o. g. Mindesthöhe des Entwässerungsgrabens bis auf $h = 50 \text{ cm}$ reduziert werden. In diesem Fall beträgt die Mindestgrabenbreite 80 cm .

Eine Randbedingung ist die Einhaltung des Mindestabstandes von $s = 60 \text{ cm}$ (gem. TM 2010-085 I.NVT 4 (K)) von der gleisseitigen Sickergrabenkante bis zum Schotterfuß. Dieser Mindestabstand von $s = 60 \text{ cm}$ von der gleisseitigen Sickergrabenkante bis zum Schotterfuß wurde auf der theoretischen Grundlage mit dem Nachweis der gleichen Sicherheit des Drän-Versickerungssystems der Fa. Porosität mit reduzierten Mindestabmessungen im Vergleich zum Drän-Versickerungssystem gemäß Ril 836.4602-3-(3), Bild 10 ermittelt.

Variante 3:

Kombinierte Entwässerungsanlage mit reduzierten Mindestabmessungen, $b/h =$

80/50 cm, Filterkies mit $k_f = 10^{-4}$ m/s und $s = 5$ cm (Betonkies B32, DIN 1045)

In der Regel besteht bei den meisten Strecken keine ausreichende Seitenstreifenbreite für die Entwässerungsanlage. Daher ist die Einhaltung des Mindestabstandes von $s = 60$ cm nicht überall gegeben.

Bei der Regiobahn GmbH in Mettmann konnte der Mindestabstand von $s = 60$ cm von der gleisseitigen Sickergrabenkante bis zum Schotterfuß aus Platzgründen nicht überall eingehalten werden. Der Sickergraben wurde daher in den meisten Strecken unmittelbar am Schotterfuß ($s = 5,00$ cm) hergestellt.

Um die gleiche Sicherheit des Drän-Versickerungssystems der kombinierten Entwässerungsanlage mit reduzierten Mindesthöhen im Vergleich zum Drän-Versickerungssystem gemäß Ril 836.4602-3-(3), Bild 10, gewährleisten zu können, wurde der Sickergraben in den Bereichen der engen Seitenstreifen mit einem Filtermaterial mit $k_f = 10^{-4}$ m/s und $s = 5$ cm hergestellt (s. Variante 3). In den restlichen Seitenstreifen, bei welchen ein ausreichender Platz vorhanden ist, wurde ein Filtermaterial mit $k_f = 10^{-5}$ m/s gewählt (s. Variante 2).

Die Versickerung in der Halbschale und die Bildung der Stromlinien im Versickerungsfall wurden bisher in Anlehnung an die Schachtversickerung und als Alternative in Anlehnung an die Rigolenversickerung gem. ATV-DVWK-Regelwerk 2/2001/3/ beschrieben. Der Durchlässigkeitsbeiwert² k_f des Filtermaterials von dem Versickerungssystem wurde nicht berücksichtigt.

Dabei ist die Ausdehnung der Stromlinien eine Funktion des Durchlässigkeitsbeiwertes des Filtermaterials $z = f(k_f)$. Je durchlässiger das Filtermaterial ist, umso steiler ist die Ausdehnung der Stromlinien. Demzufolge sind die Stromlinien im Versickerungsfall, betrachtet in einem Querschnitt des Bahngrabens, bei einem Filtermaterial mit $k_f = 10^{-5}$ m/s breiter als bei einem Filtermaterial mit $k_f = 10^{-4}$ m/s.

Erfahrungen aus zehn Jahren

Die Funktionsfähigkeit der kombinierten Entwässerungsanlage in Mettmann wurde im Rahmen der Betriebskontrolle kontinuierlich untersucht. Dabei wurden im Hinblick auf die Funktionsfähigkeit und auf die Wirksamkeit der neuen Entwässerungsanlage die visuelle Inspektion und die Kontrolle durch Sondierungen durchgeführt.

²) Durchlässigkeitsbeiwert: Die Zuordnung alleine über die Kornabstufung lässt nicht gleichzeitig auf den Durchlässigkeitsbeiwert schließen. Hier ist eine differenzierte Betrachtung erforderlich. Man muss sich die Kornzusammensetzung, insbesondere Umfang der Feinanteile, Ungleichförmigkeit und ggf. auch den Verdichtungszustand und etwaige Anisotropien detailliert betrachten. Zur Orientierung wurde der Durchlässigkeitsbeiwert in Abhängigkeit von der Korngrößenverteilung von Lockergesteinen unten dargestellt.

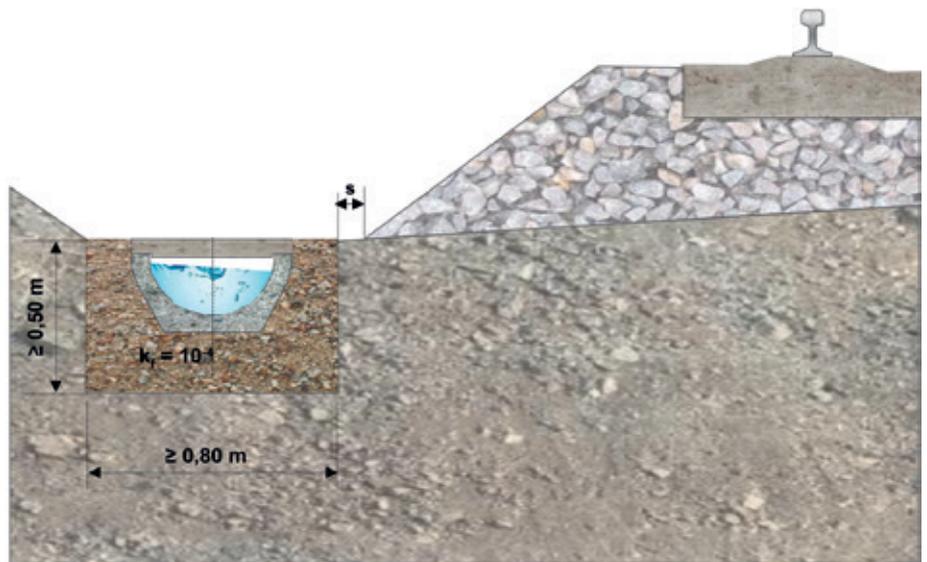


Abb. 5: Kombinierte Entwässerungsanlage mit reduzierten Mindestabmessungen, Variante 3, $b/h = 80/50$ cm, $k_f = 10^{-4}$ m/s, $s = 5$ cm

Standisicherheit

Die Fassung der schädlichen Wasseranreicherung im Bereich des Bahnkörpers durch die kombinierte Entwässerungsanlage wurde mittels Sondierungen kontrolliert. Dabei wurde festgestellt, dass die Variante 3 ($b/h = 80/50$ cm, $k_f = 10^{-4}$ m/s, $s = 0$ cm) genauso wirksam ist wie die Variante 2 ($b/h = 80/50$ cm, $k_f = 10^{-5}$ m/s, $s = 60$ cm). Dieses Ergebnis ist damit zu begründen, dass die Durchlässigkeit des Filtermaterials von $k_f = 10^{-4}$ m/s bei der Variante 3 eine große Rolle spielt, obwohl der Mindestabstand von der gleisseitigen Sickergrabenkante bis zum Schotterfuß 5,00 cm beträgt. Es wurde festgestellt, dass

nach ca. zehn Jahren Betrieb die Standisicherheit des Bahnkörpers gegeben ist. Die Erfahrungen aus den vergangenen zehn Jahren zeigen, dass die Variante 3 auch bei beengten Platzverhältnissen anwendbar ist.

Leistungsfähigkeit

Die Begehungen der Regiobahnstrecke wurden vorzugsweise nach den Regenerignissen durchgeführt. Eine schädliche Wasseranreicherung im Bereich des Bahnkörpers wurde nicht festgestellt. Die vor Ort festgestellte Leistungsfähigkeit der Halbschalen konnte die Ergebnisse der für die Auslegung der



Abb. 6: Herstellung des Sickergrabens am Schotterfuß, Variante 3



Abb. 7: Erosionen im Anschnitt. Die Funktion der Entwässerung bleibt voll erhalten.

Anlage durchgeführten hydraulischen Berechnungen bestätigen.

Im Streckenabschnitt km 13,700 bis km 14,200 der Regiobahn GmbH Mettmann befinden sich die Streckengleise in einem Einschnitt, an einem Hanganschnitt und auf einem Damm. Die geologischen Gründungsverhältnisse sind dort so, dass immer wieder in unregelmäßigen Abständen leichte Felsklüftungen unter dem Erdplanum und neben der Streckenführung vorliegen. Durch diese Erdformation kann anfallendes und gefasstes Oberflächen-

wasser nach einigen Metern Längsführung immer wieder im Erd- bzw. Felsbereich versickern. Der Verlauf des Sickerwassers lässt sich derzeit im Erdbereich nicht weiterverfolgen. Da die Porosit-Halbschale die einzigartige Eigenschaft besitzt, Wasser in die Halbschale eintreten bzw. austreten zu lassen, arbeitet dieses System naturgetreu wie ein herkömmlich funktionierender Bahnseitengraben.

Zusätzlich zu den Eigenschaften eines natürlichen Grabens kommt hinzu, dass das eintretende Wasser über die 15,0 cm starke

Filterschicht in der Fließgeschwindigkeit gebremst wird und somit keine Ausschwemmung des umliegenden Bodens erfolgt.

Die Kontrollierbarkeit und die Instandhaltung der kombinierten Entwässerungsanlage sind an jeder Stelle gewährleistet; Instandhaltungsarbeiten sind erheblich einfacher und dadurch kostengünstiger. Sollte das längs geführte Wasser unter oder neben der Entwässerungstrecke eine Möglichkeit finden, versickern zu können, tritt dieses nach dem Gesetz der Gravitation aus der Halbschale (poröse Schalenwanderung) aus und versickert. Dieses Phänomen konnten wir an dem Entwässerungssystem mehrfach beobachten. Bei einer derzeitigen Liegezeit (ca. neun Jahre) der Porosit-Halbschalen neben der Bahnstrecke sind kaum Ablagerungen von Schweb- und Feinstoffen im Sohlbereich der Halbschalen zu erkennen.

Abb. 7 zeigt, dass durch das Abdecken der Halbschalen bei Erosionen im Anschnitt die Funktion der Entwässerung voll erhalten bleibt. Die Beseitigung der Erosion kann zu einem späteren Zeitpunkt, z. B. bei einer späteren Streckensperrung für Bauarbeiten, erfolgen, ohne weiter die Funktionen der Entwässerung zu stören.

Ökologie

Eine Versickerung des Wassers erfolgte in den vergangenen zehn Jahren nahezu vollständig im Nahbereich der Entwässerungsanlage. Dadurch konnte die Belastung der Vorfluter vermieden werden.

Optimaler Betrieb

Durch die optimale Konstruktion der kombinierten Entwässerungsanlage, auch nach einem Platzregen, ist eine verzögerte und gedrosselte Ableitung des gesammelten Wassers gewährleistet.

Die Abdeckung gewährleistet an jeder Stelle eine einfache Kontrolle und Reinigung des Entwässerungssystems. Bei einem Jahrhundert-Regen in Mettmann (GJ 2010) wurde von einem höher gelegenen Acker Lössboden in den Bahneinschnitt und auf sowie in die Seitenentwässerung gespült. Die hier in Mitleidenschaft gezogenen Halbschalen konnten schnellstens gesäubert werden. Der Wassereintritt wird durch die teilweise gering eintretende Kolmation (Zusetzung der Poren) nicht erschwert.

Multifunktion

Die kombinierte Entwässerungsanlage ohne Kontrollschächte, die Dränung, Versickerung und Randwegbereich als ein System beinhaltet, nutzt die Versickerungsfähigkeit der zu entwässernden Bahnstrecke maximal aus. Die neue Entwässerungsanlage mit der Variante 3 ist neben der Multifunktionalität platzsparend.



Abb. 8: Die Abdeckung gewährleistet an jeder Stelle eine einfache Kontrolle und Reinigung des Entwässerungssystems.

Wirtschaftlichkeit

Die Erfahrungen der vergangenen zehn Jahre zeigen, dass die kombinierte Entwässerungsanlage ohne Kontrollschächte sowohl bei der Herstellung als auch beim Betrieb gegenüber der konventionellen Entwässerungsanlage wirtschaftlich ist. Es wurde weiterhin festgestellt, dass die Bahngräben und Bahnmulden durch die neue Entwässerungsanlage weitgehend frei von Verkräutung und Ablagerungen sind. In den vergangenen zehn Jahren konnte ein dauerhafter, bewuchsfreier Randweg gewährleistet werden.

Bauausführung

Seit dem ersten Einbau der Porosit-Halbschalen im Jahre 2003 bei der Regiobahn GmbH in Mettmann haben sich verschiedene Einbautechniken bei den jeweiligen Tiefbaufirmen herauskristallisiert.

Verfahren 1:

- Die auf Paletten angelieferten Halbschalen werden zwischen den Gleisen gelagert,
- entlang des Einbaubereiches verteilt,
- manuell auf eine schiefe Ebene gebracht und auf dem fertigen Randweg abgelegt,
- mit dem Verlegegerät aufgehoben, zur Verlegestelle gefahren und auf das fertige Entwässerungsplanum abgesenkt.

Verfahren 2:

- Die Paletten mit den Halbschalen und Abdeckplatten werden auf dem fertigen Randweg gelagert,
- mit dem Verlegegerät zur Verlegestelle gefahren und dort auf das fertige Entwässerungsplanum abgesenkt.



Abb. 9: Einbau der Porosit-Halbschalen. Das filterstabile Korngemisch soll einerseits in seiner Eigenschaft Filteraufgaben erfüllen und andererseits einer einwandfreien Verlegung der Fertigteile dienen. Das Abziehen des Verlegeplanums für die Fertigteile kann genauestens hergestellt werden (Mittels einer angefertigten Lehre; gemessener Abstand und Höhe von SO bei Sohlgefälle = Gleisgradiente).

Verfahren 3:

- Die auf Paletten angelieferten Halbschalen werden zwischen den Gleisen gelagert,
- entlang des Einbaubereiches verteilt,
- mit einem Mini-Bagger angehoben und auf das fertige Entwässerungsplanum verlegt.

Die schnellste und kostengünstigste Bauart war dabei das Einheben der Fertigteile mit einem Bagger und einem mitgeführten Schienenwagen (am Zweibegebagger angehängt). Vorab wurde die

Sohle ausgehoben und mit einem filterstabilen Kies-/ Sandgemisch (Betonkies B32, DIN 1045) von min. 15,0 cm Stärke verfüllt.

Laboruntersuchungen

Folgende Prüfungen wurden im Labor durchgeführt:

- Bestimmung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwertes nach DIN 4262-3 sowie
- Biegezugprüfung

Die Ergebnisse zeigen, dass die Bruchlast der untersuchten Halbschalen und Abdeck-



Abb. 10: Nach Auflegen der Abdeckung erfolgt eine seitliche Verfüllung der Porosit-Halbschalen mit dem gleichen Kies-/Sandgemisch Betonkies (B32, DIN 1045) wie für die Sohle.



Abb. 11: Durch die Länge der Einzelfertigteile von $l = 50,0$ cm können in der Entwässerungstrasse stehende Hindernisse leicht umgangen werden.

platten deutlich höher als die geforderte Mindestanforderung von 10 KN liegt.

Gesamtbewertung der kombinierten Entwässerungsanlage

Zusammenfassend lässt sich feststellen:

- Die Entwässerungsanlage ist an jeder Stelle kontrollierbar.
- Kontrollschächte sind nicht erforderlich.
- Die maximale Versickerungskapazität der Strecke wird voll ausgenutzt.
- Die Anlage besitzt eine hohe Verfügbarkeit und erfordert geringen Instandhaltungsaufwand.
- Durch das Abdecken der Porosit-Halbschale mit begehbaren Abdeckplatten

wird einem Verschmutzen des Entwässerungssystems entgegengewirkt.

- Die begehbaren Deckel bilden zugleich einen idealen Randweg, der langfristig nicht gewartet und von Vegetation befreit werden muss. Bei Hangerosionen im Einschnittbereich bleibt die Entwässerung voll funktionsfähig.
- Eine Kontrolle und Reinigung der Sicker-, Sammel-, und Wasserüberleitungen sowie der Kontroll-(Prüf-) oder Übergabeschächte ist nicht erforderlich. Die Kontrolle und Reinigung kann an jeder Stelle durch Öffnen der Deckel durchgeführt werden.
- Bei einer Gegenüberstellung der Entwässerungssysteme – Tiefenentwässerung

und Randweg zum Versickerungsgraben mit Porosit-Halbschale (Randweg inbegriffen) – kann je nach Bodenbeschaffenheit und Planungsvariante mit einer Kostenminderung von mehr als 30% gerechnet werden [7].

- In den vergangenen zehn Jahren wurden bei der DB Netz AG und bei NE-Bahnen über 50 000 m Bahnstrecke mit kombinierten Entwässerungsanlagen ohne Kontrollschächte ausgestattet.

Damit wurden alle gesetzten Entwässerungsziele erreicht oder gar übertroffen.

LITERATUR

- [1] Regelwerk Ril 836 Deutsche Bahn AG
- [2] ATV-A 105: „Wahl des Entwässerungssystems“
- [3] ATV-M 101: „Planung von Entwässerungsanlagen – Neubau-, Sanierungs- und Erneuerungsmaßnahmen“
- [4] DIN EN 752: „Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden“
- [5] Press, H.; Schröder, R.: Hydromechanik im Wasserbau, Verlag Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin
- [6] Fiedler, J; Scherz, W.: Bahnwesen Planung, Bau und Betrieb von Eisenbahnen, S-, U-, Stadt- und Straßenbahnen, Werner Verlag, 6. Auflage
- [7] Korn, J., Fischer, J., Sevis, I.: Kombinierte Entwässerungsanlage ohne Kontrollschächte Dränung, Versickerung und Randwegbereich als ein System, EI - DER EISENBAHNINGENIEUR (55) 09/2004
- [8] Prinz, H.: Abriss der Ingenieurgeologie, Ferdinand Enke Verlag Stuttgart 1991



Abb. 12: Bestimmung der Bruchlast von Halbschalen und Abdeckplatten



Dipl.-Ing. Joachim Korn

Geschäftsführer/Eisenbahnbetriebsleiter, Regiobahn GmbH, Mettmann
joachim.korn@regio-bahn.de



Dipl.-Ing. Imran Sevis

Abteilungsleiter Wasserbau und Siedlungswasserwirtschaft, Fichtner Water & Transportation GmbH, Essen
imran.sevis@fwt.fichtner.de

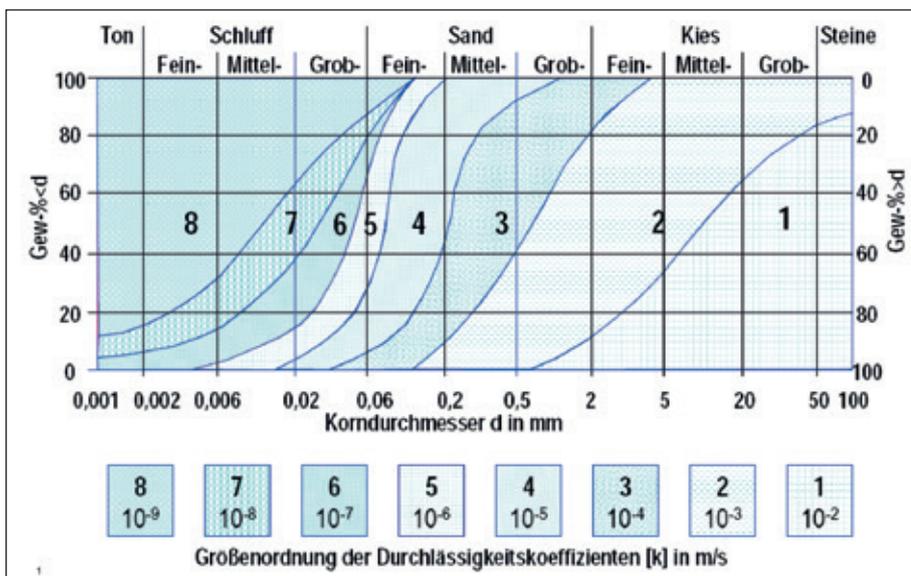


Abb. 13: Abhängigkeit des Durchlässigkeitsbeiwertes von der Korngrößenverteilung von Lockergesteinen (Aus Krapp 1983) [8].

Summary

Combined drainage system without inspection shaft

Drainage of the track formation is a complex problem which calls for targeted and practice-oriented solutions to be worked out by teams with practical thinking. Intelligent and innovative solutions are needed to achieve optimal results in environmental, technical and economic terms. After developing the idea of a drainage system using a water-permeable half-shell in the area of railway ditches, a new drainage concept as an economical alternative to conventional deep drainage arose in 2003. The concept "Combined drainage without inspection shaft" which includes drainage, seepage and walkway area as a single system has been installed for the first time at Regiobahn Mettmann and fulfills to a large extent all requirements to a drainage system.