



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la
communication DETEC
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle
comunicazioni DATEC

Bundesamt für Strassen
Office fédéral des routes
Ufficio federale delle Strade

Evacuation des eaux de chaussée par les bas-côtés

Entwässerung über das Bankett

Road runoff on road sides

M. Jobin SA, Ingénieurs EPF/SIA, Delémont
Michel Jobin, ing. dipl. EPFZ/SIA

Bürkel, Baumann, Schüler, Ingenieure + Planer AG, Winterthur
Peter Bürkel, dipl. Ing. ETH/SIA

**Mandat de recherche VSS 2004/203 sur demande de l'Association
Suisse des Professionnels de la route des transports (VSS)**



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la
communication DETEC
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle
comunicazioni DATEC

Bundesamt für Strassen
Office fédéral des routes
Ufficio federale delle Strade

Evacuation des eaux de chaussée sur l'accotement

Entwässerung über das Bankett

Road runoff on road sides

M. Jobin SA, Ingénieurs EPF/SIA, Delémont
Michel Jobin, Ing. dipl. EPFZ/SIA

Bürkel, Baumann, Schüler, Ingenieure + Planer AG, Winterthur
Peter Bürkel, dipl. Ing. ETH/SIA

**Mandat de recherche VSS 2004/203 sur demande de
l'Association Suisse des Professionnels de la route et
des transports (VSS)**

Avril 2010

RESUME

Dans le cadre de ce mandat de recherche, les problèmes posés par l'évacuation des eaux de chaussées ont été examinés de manière intensive. Cette étude devait de manière générale analyser l'application des Instructions 2002 de l'OFEFP intitulées « Protection des eaux lors de l'évacuation des eaux des voies de communication ». Il s'agissait notamment d'étudier le problème de l'écoulement et de l'infiltration des eaux de chaussée par les bas-côtés. Pour ce faire il a fallu rassembler les informations concernant les recherches récentes et en cours dans ce domaine, préciser la conception et les exigences à poser pour divers types de bas-côtés, accotements et aménagements latéraux ainsi que pour les talus par rapport à leur réalisation et aux possibilités d'infiltration. Les études menées ont conduit à l'élaboration de la norme SN 640 354 [3] « Evacuation des eaux de chaussée sur l'accotement » qui est en cours de publication.

Ce mandat de recherche a permis dans un premier temps de définir les bases importantes notamment :

- L'étude de l'effet du filtre selon la conception des bas-côtés par rapport aux métaux lourds, aux hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et sels de déverglaçage.
- De préciser la notion de vulnérabilité des eaux souterraines (notamment dans les zones karstiques).
- De traiter d'aspects spéciaux comme les problèmes de propriété du sol, de géométrie de la route, de topographie, des conditions géologiques et hydrologiques.
- De faire un rappel au sujet de la répartition des substances nocives déposées ainsi qu'une estimation et une justification du rendement de diverses « installations » de traitement (infiltration dans les bas-côtés, filtres en terre, installations techniques).
- De décrire en détail la procédure de choix de l'évacuation des eaux par les bas-côtés selon un diagramme de décision.

Dans un deuxième temps, les divers éléments importants concernant l'espace routier, la technique routière, l'hydraulique du filtre en terre et la réalisation des banquettes ont été auscultés.

Dans un troisième temps les problèmes d'exécution des bas-côtés et notamment des accotements et des talus ont été traités de manière pratique et complète notamment en ce qui concerne les caractéristiques et la mise en place de sols filtrants, la circulation de l'eau dans le sol (horizons A et B), la portance de la superstructure des accotements, le colmatage du sol filtrant, les systèmes de retenue de l'eau projetée, les étanchéités applicables aux accotements.

Enfin des points essentiels concernant l'entretien des bas-côtés (accotements, talus, etc.) ainsi que des indications au sujet de la flore et de la faune sur les talus sont signalés.

Les principaux résultats des études peuvent être résumés ainsi :

- Les accotements peuvent être réalisés avec des revêtements étanches ou avec une superstructure perméable.
- Les accotements avec revêtement étanche proposés sont pourvus d'une couche argileuse ou avec revêtement stabilisé au ciment dont l'étanchéité peut être restreinte.
- Une exécution avec une couche supérieure en argile est préconisée en priorité.
- Pour la réalisation de revêtements en argile, on utilisera des matériaux qui ont fait leurs preuves pour les revêtements. On n'utilisera en aucun cas un mélange de gravier, sable et argile.
- La réalisation du sol filtrant se fait avec des sols d'horizon A, complété dans certains cas par un horizon B. L'épaisseur de la couche supérieure est de 0.25 m ou dans des conditions spéciales de 0.30 m. Le choix des épaisseurs des couches avec l'horizon B nécessite une étude soignée des conditions locales et du sol.
- La teneur en humus optimale de l'horizon A est $\leq 4 \%$ et en argile de 10 à 30 % soit idéalement environ 25 % et moins de 50 % de limons et de silt.
- Le prélèvement, le transfert, la remise en place des sols d'horizon A doit être fait avec le plus grand soin. Des directives de la Confédération et de diverses associations donnent des indications à ce sujet.
- Les exigences pour l'horizon B sont aussi indiquées.
- Les étanchéités à poser dans le cas où celles-ci sont nécessaires (accotement perméable, etc.) doivent conduire l'eau vers le sol filtrant du talus.
- Les types d'étanchéité proposés sont les nattes en matière plastique, lè de bitume et les nattes bentonit.
- Le cas de la rénovation de routes existantes est décrit dans le rapport. Il convient de relever que les sols filtrants en place sont dans toute la mesure du possible à maintenir intacts car leur capacité d'absorption et leur durée de vie jusqu'à la rupture du filtre sont plus grandes qu'admis habituellement.

Enfin, il est à remarquer qu'une infiltration par les bas-côtés de la chaussée est très intéressante de point de vue écologique et économique. Cette solution dépasse même en terme d'efficacité les installations techniques coûteuses. Son application est possible dans un grand nombre et types de routes.

La version en français est donnée intégralement en deuxième partie de ce rapport.

ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen des Forschungsprojekts wurden die Aspekte der Entwässerung von Strassen detailliert untersucht. In diesem Zusammenhang wurde die Umsetzung der Wegleitung des BUWAL, Gewässerschutz bei der Entwässerung von Verkehrswegen, im Hinblick auf die Projektierung der Entwässerung über das Bankett analysiert. Dazu wurden Informationen zu allen massgebenden Bereichen recherchiert. Dies betrifft Fragen der Priorität von Massnahmen und aktuelle Entwässerungskonzepte. Im Weiteren beziehen sich die Recherchen auf bekannte Typen von Entwässerungen über das Bankett mit den Elementen Bankett am Strassenrand und mit Bodenfiltern auf den Böschungen. Ein wichtiges Ziel des Forschungsprojekts ist die Beschaffung von Grundlagen für die Norm SN 640 354 [3], Strassenentwässerung, Entwässerung über das Bankett.

In einem ersten Abschnitt wurden die folgenden Aspekte untersucht :

- Eine Untersuchung der Wirkung der bei der Entwässerung über das Bankett eingesetzten Filter im Hinblick auf die Rückhaltung von Schwermetallen und polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) sowie die Remobilisierung dieser Stoffe durch Salzlösungen der Strassenenteisung
- Eine Darstellung der Vulnerabilität des Grundwassers allgemein und insbesondere in Karstgebieten
- Die Behandlung von speziellen Aspekten bei der Entwässerung über das Bankett wie die Interessen der Eigentümer von anstossendem Kulturland, der Geometrie der Strasse, der Topografie, den örtlichen Gegebenheiten hinsichtlich der Geologie sowie der Hydrogeologie
- Eine Übersicht zur Rückhaltung von Schadstoffen aus dem Strassenabwasser beim Vergleich der verschiedenen Reinigungsanlagen wie die Entwässerung über das Bankett, Bodenfilter und technische Anlagen
- Ein Beschrieb des Vorgehens bei der Wahl der Entwässerung über das Bankett basierend auf einem Entscheidungsdiagramm

In einem zweiten Abschnitt des Projekts wurden die auf die Strassenentwässerung bezogenen Aspekte des Strassenraumes, der Strassenbautechnik, die hydraulischen Eigenschaften von Bodenfiltern sowie deren Ausführung untersucht.

Der dritte Abschnitt des Projekts umfasst die Aspekte der Ausführung der Entwässerung über das Bankett mit den Elementen Bankett und Böschung. Dabei handelt es sich um praxisorientierte Angaben über die Charakteristiken der Schichten von Bodenfiltern sowie der Realisierung, die Versickerung des Abwassers in den Schichten Horizont A und B, die Gefahr des Kolmatierens des Bodenfilters, die Tragfähigkeit des Banketts sowie die Massnahmen zur Ableitung des Wassers vom Bankett zum Filter mittels Abdichtungen. Im Weiteren wurden auch Spritzwasserrückhaltesysteme behandelt.

Die wichtigsten Resultate des Forschungsprojekts sind nachfolgend zusammengefasst :

- Die Bankette können mit einem dichten Belag oder einem durchlässigen Oberbau ausgeführt werden.
- Für Bankette mit einem dichten Belag wird eine Ausführung mit einer tonigen Deckschicht oder mit einer Schicht aus zementstabilisiertem Material, die jedoch nur beschränkt dicht ist, empfohlen
- Bei den durchlässigen Banketten stehen Ausführungen mit einem Kiesrasen, Kiesrasen mit Gitterrost sowie Oberbauten mit Rasengitterelementen zur Auswahl.
- Die Ausführung mit einer tonigen Deckschicht hat die höchste Priorität.

- Für die Ausführung der tonigen Deckschicht ist Material zu verwenden, dessen Eignung für Beläge nachgewiesen ist. In keinem Fall darf eine Mischung aus Kies, Sand und Ton verwendet werden.
- Die Ausführung der Bodenfilter erfolgt mit Boden Horizont A und B. Die Dicke der ersteren Schicht beträgt 0,25 m oder bei speziellen Verhältnissen 0,30 m. Die Wahl der Dicke von Schichten mit Boden Horizont B bedingt eine sorgfältige Beurteilung der örtlichen Verhältnisse und des Bodens.

Der Boden Horizont A hat einen Humusgehalt $\geq 4\%$ aufzuweisen und einen Anteil Ton zwischen 10% und 30% sowie idealerweise von 25%. Der Siltgehalt sollte 50% nicht übersteigen

Der Abtrag, der Transport und der Auftrag von Bodenmaterial Horizont A hat mit äusserster Sorgfalt zu erfolgen. In verschiedenen Dokumenten des Bundes und von Verbänden finden sich Anleitungen zu dessen Behandlung.

SUMMARY

Road Runoff : Infiltration over the Road Shoulder

During this research project aspects of drainage of severed sections of road runoff were studied in detail. The federal guideline for water protection from road runoff entitled "Gewässerschutz bei der Entwässerung von Verkehrswegen" published by the Federal Office for the Environment FOEN was analysed specifically regarding the design of infiltration over the road shoulder. Information was gathered, e.g. information about priority of measures and modern drainage concepts. Furthermore, expert knowledge on common layouts of infiltration over the road shoulder, and on soil filters with infiltration into the ground, e.g. into the road slope was collected. This research set the basis for the Swiss Standard SN 640 354, Strassenentwässerung, Entwässerung über das Bankett.

In the first part the following aspects were investigated:

- Research on filter efficiency for heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) removal was conducted, as well as research on remobilising of these substances caused by de-icing salts.
- Groundwater vulnerability was described in general and particularly in karst areas.
- Interests of owners of cultivated land and specific aspects of road geometry, topography, geology, and hydrology were evaluated.
- Various drainage concepts, such as infiltration over the road shoulder, infiltration into the ground (soil filter), and technical facilities, were compared regarding pollutant retention efficiency.
- The evaluation procedure to choose the layout of infiltration over the road shoulder is shown based on a decision tree.

The second part showed various aspects of road design regarding road drainage, and also hydraulic characteristic and construction of soil filters.

The third part described the design and construction details of infiltration over the shoulder with the elements shoulder, and road slope. Thereby, characteristics of soil filter layers, design of filters, process of rainwater infiltration into the soil horizons A and B, soil filter clogging, shoulder stability, and sealing measures to convey water from the shoulder to the filter were listed according to practical experience. Furthermore, splash water retention systems were evaluated.

The most important conclusions are as follows:

- The road shoulder can be constructed with an impervious or pervious pavement.
- For road shoulders with impervious pavement it is recommend to using clayey surface course, or a layer of material stabilised with cement, which is only partially impervious.
- Pervious road shoulders can be constructed with gravel turf, gravel turf with grid, and grid pavers.
- The highest priority should be on using clayey surface course.
- It has to be proven that the material used for the construction of clayey surface course is suitable. A mix of gravel, sand, and clay must not be used under any circumstances.
- Soil horizon A (topsoil) and B (subsoil) are used to build a soil filter. The soil horizon A should be 0.25 m thick, or under special circumstances up to 0.30 m. The thickness of the soil horizon B depends on local situation and soil characteristics, and has to be carefully

considered.

The humus proportion of soil horizon A must be at least 4%, the clay proportion should be between 10% and 30%, ideally 25%, and the silt proportion should be maximum 50%.

All material of soil horizon A must be removed, transported, and recultivated as carefully as possible. Various federal documents and guidelines from authorities and associations describe the proper handling of topsoil.

IINHALTVERZEICHNIS

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 1. | Einführung | 11 |
| 1.1 | Ziel und Angaben des Forschungsauftrags..... | 11 |
| 1.2 | Auftrag..... | 11 |
| 2. | Grundsätze und Aspekte..... | 12 |
| 2.1 | Grundlagen zur Wahl von Entwässerungssystemen | 12 |
| 2.2 | Reinigungswirkung | 12 |
| 2.2.1 | Filterwirkung | 12 |
| 2.2.2 | Taumittel..... | 14 |
| 2.3 | Beurteilung des Einsatzes | 14 |
| 2.3.1 | Normalfall | 14 |
| 2.3.2 | Einsatz im Karstgebiet | 15 |
| 2.3.3 | Entwässerungssysteme mit Durchlässen..... | 15 |
| 2.4 | Spezielle Aspekte der Entwässerung..... | 16 |
| 2.4.1 | Eigentumsverhältnisse im Perimeter der Strasse..... | 16 |
| 2.4.2 | Geometrie der Strasse..... | 16 |
| 2.4.3 | Entwässerung in Grünstreifen zwischen Fahrbahnen. | 16 |
| 2.4.4 | Topografie | 17 |
| 2.4.5 | Geologische Verhältnisse | 17 |
| 2.5 | Effizienz..... | 18 |
| 2.5.1 | Angaben in der Wegleitung Gewässerschutz bei der Entwässerung von Verkehrswegen..... | 18 |
| 2.5.2 | Gesamtverteilung der Deposition von Schadstoffen als Folge des Verkehrs..... | 18 |
| 2.5.3 | Beurteilung der Deposition von Schadstoffen im Abfluss und in der Spritzwasserverfrachtung | 20 |
| 2.5.4 | Beurteilung der Effizienz | 21 |
| 2.6 | Vorgehen bei der Wahl der Beseitigungsart gemäss der Wegleitung Gewässerschutz bei der Entwässerung von Verkehrswegen..... | 22 |
| 2.6.1 | Vorgehen gemäss dem Diagramm zur Verfahrenswahl | 22 |
| 2.6.2 | Prüfung der Verhältnismässigkeit | 22 |
| 2.6.3 | Entscheidungsdiagramm zur Entwässerung über das Bankett | 23 |
| 3. | Elemente des Strassenraumes | 24 |
| 3.1 | Übersicht zum geometrischen Normalprofil..... | 24 |
| 3.2 | Zusätzliche lichte Breite als Element des Lichtraumprofils der Strasse..... | 25 |
| 3.3 | Bankette | 26 |
| 3.4 | Böschungen..... | 26 |
| 3.4.1 | Topografie | 26 |
| 3.4.2 | Schutz angrenzender Parzellen | 28 |
| 3.5 | Schutz von Liegenschaften von Unterliegern | 28 |
| 4. | Strassenbautechnische Anforderungen | 29 |
| 4.1 | Tragfähigkeit des Oberbaus..... | 29 |
| 4.2 | Strapazierfähigkeit des Banketts..... | 29 |
| 4.3 | Foundation von Leitschranken | 30 |
| 5. | Hydraulische Leistung und Retention der Bodenfilter..... | 31 |
| 5.1 | Wassertransport im Boden | 31 |
| 5.2 | Kolmatieren | 31 |
| 5.3 | Praktische Erfahrungen | 31 |

| | | |
|------------|--|-----------|
| 6. | Erhaltung von Bodenmaterial und Naturschutz | 32 |
| 6.1 | Bodenschutz..... | 32 |
| 6.2 | Unterhalt der Böschungen | 32 |
| 6.3 | Flora und Fauna auf Böschungen..... | 33 |
| 7. | Bemessung von Sickerflächen | 34 |
| 7.1 | Grundsätze | 34 |
| 7.2 | Massgebende Regenintensität..... | 34 |
| 8. | Rückhalten von Spritzwasser | 35 |
| 8.1 | Wirkung von Spritzwasser-Rückhaltesystemen | 35 |
| 8.2 | Einsatz von Systemen | 35 |
| 8.3 | Kombination Spritzwasser-Rückhaltesysteme und Fahrzeug-Rückhaltesysteme..... | 35 |
| 8.3.1 | Leitschranken | 35 |
| 8.3.2 | Leitmauern | 36 |
| 8.3.3 | Borde..... | 36 |
| 8.4 | Wände | 38 |
| 8.5 | Wälle | 38 |
| 8.6 | Hecken | 39 |
| 8.7 | Kombination mit Lärmschirmen..... | 39 |
| 9. | Charakteristiken der Bankette | 40 |
| 9.1 | Übersicht | 40 |
| 9.2 | Dichtes Bankett - Bankett mit toniger Deckschicht..... | 41 |
| 9.3 | Beschränkt dichte Bankette | 42 |
| 9.4 | Wasserdurchlässige Bankette | 42 |
| 9.4.1 | Erfahrungen..... | 42 |
| 9.4.2 | Bankette mit Kiesrasen..... | 42 |
| 9.4.3 | Oberbau mit Kiesrasen mit Gitterrosten | 43 |
| 9.4.4 | Rasengitterelemente..... | 43 |
| 9.5 | Normalausführung | 43 |
| 9.6 | Bankette und Randstreifen im Normalprofil..... | 44 |
| 10. | Oberbau Bankett..... | 46 |
| 10.1 | Bankett mit toniger Deckschicht..... | 46 |
| 10.2 | Bankett mit zementstabilisierter Deckschicht | 46 |
| 10.3 | Bankett mit Kiesrasen..... | 46 |
| 10.4 | Bankett mit Deckschicht aus Rasengitterelementen | 46 |
| 11. | Bodenfilter..... | 47 |
| 11.1 | Aufbau..... | 47 |
| 11.2 | Massgebende Grundlagen..... | 47 |
| 11.2.1 | Leitfaden Umwelt Nr. 10, Bodenschutz beim Bauen | 47 |
| 11.2.2 | FSK-Rekultivierungsrichtlinie | 47 |
| 11.2.3 | Normen SN 640 561 bis 640 563, Erdbau, Boden | 48 |
| 11.3 | Dicke der Schichten..... | 48 |
| 11.3.1 | Oberboden | 48 |
| 11.3.2 | Unterboden..... | 48 |
| 11.4 | Charakteristiken von Oberbodenschichten | 48 |
| 11.4.1 | Grundlagen..... | 48 |
| 11.4.2 | Anforderungen an den aufzutragenden Oberboden..... | 49 |
| 11.5 | Charakteristiken von Unterbodenschichten..... | 51 |
| 11.5.1 | Grundlagen..... | 51 |

| | | |
|------------|---|-----------|
| 11.5.2 | Anforderungen an den aufzutragenden Unterboden | 51 |
| 12. | Ableitung des Abflusses in den Bodenfilter | 53 |
| 12.1 | Übersicht Massnahmen | 53 |
| 12.1.1 | Ableitung bei bindigen Böden | 53 |
| 12.1.2 | Ableitung bei nichtbindigen Böden..... | 53 |
| 12.2 | Abdichtungen..... | 53 |
| 12.2.1 | Anordnung der Abdichtungen | 53 |
| 12.2.2 | Wahl der Abdichtung | 54 |
| 12.2.3 | Schutz gegen mechanische Einwirkungen..... | 54 |
| 13. | Schutz bestehender Filterschichten bei der Erneuerung von Strassen | 55 |
| 14. | Literaturverzeichnis..... | 56 |

1. Einführung

1.1 Ziel und Angaben des Forschungsauftrags

Das Ziel des Forschungsauftrages sind Erkenntnisse mit Bezug zur Problematik der Entwässerung von Strassenabwasser über das Bankett. Zur Zielerreichung waren die aktuellen Informationen über die bisherigen Erfahrungen im Schnittbereich Strassenentwässerung und Bankette zu beschaffen und zu analysieren. Im Weiteren waren auch neue Ideen zu entwickeln und dabei die Beziehung Kosten/ Nutzen zu beachten. Ein massgebendes Element des Forschungsauftrages war es auch, die Grundlagen zur Projektierung der Entwässerung über das Bankett inkl. der Bemessung zu schaffen. Dabei wurden die folgenden Bauteile behandelt:

- Die verschiedenen Typen von Banketten, Seiten- und Trennstreifen
- Die Böschungen zusammen mit den Bodenfiltern

Der Forschungsauftrag umfasst auch den Beschrieb der aktuellen Gegebenheiten und die Verarbeitung der Erkenntnisse aus den folgenden Grundlagen:

- Umsetzung der Wegleitung Gewässerschutz bei der Entwässerung von Verkehrswegen des BUWAL.
- Konstruktionsbezogene technische Grundlagen zur Realisierung von Entwässerungen über das Bankett unter Berücksichtigung unterschiedlicher Banketttypen, Böschungen, Gräben und Rigolen.

1.2 Auftrag

Der Einsatz der Entwässerung über das Bankett im Rahmen der Wahl der Beseitigungsart für Strassenabwasser war wie oben angegeben kein spezieller Gegenstand des Forschungsauftrages.

Die Wegleitung des BUWAL 2002 verlangt an allen Strassenabschnitten, wo es möglich und zulässig ist, eine Entwässerung über das Bankett, in einen Graben oder eine Mulde. Gegenwärtig in Bearbeitung befindliche Forschungsaufträge ermöglichen eine Übernahme von zuverlässigen Angaben zur Infiltration von Strassenabwasser und zur Reinigung bei Entwässerungen über das Bankett. In der vorliegenden Forschungsarbeit geht es um die projektierungsbezogene Behandlung der Typen von Entwässerungen über das Bankett im Hinblick auf neuartige Ausführungen wie beispielsweise die Ableitung des Strassenabwassers in den Bodenfilter, durchlässige Bankette und deren Tragfähigkeit hinsichtlich der Verkehrslasten. Die Studie bezieht sich nicht nur auf die Entwässerung über das Bankett, sondern auch auf die Versickerung in bewachsene Gräben und Mulden-Rigolen sowie andere Systeme. Sie liefert aber auch technische und konstruktive Angaben. Diese beziehen sich sowohl auf den Unterhalt als auch auf Massnahmen, die den Schutz der Gewässer vor Freisetzungen wassergefährdender Flüssigkeiten als Folge von Unfällen betreffen. Die Recherchen dienen als massgebende Grundlage zur Bearbeitung der Norm SN 640 354 [3], Strassenentwässerung, Entwässerung über das Bankett.

2. Grundsätze und Aspekte

2.1 Grundlagen zur Wahl von Entwässerungssystemen

Angaben zur Wahl des Entwässerungssystems finden sich in der Wegleitung des Bundesamtes für Umwelt [1]. In dieser ist festgelegt, in welchen Fällen eine Entwässerung über das Bankett zulässig ist. Dies betrifft einerseits die Zulässigkeit einer Versickerung und andererseits die Fälle, bei denen eine Reinigung in einer Behandlungsanlage notwendig ist. Als Behandlungsanlage gelten Mulden-Rigolen-Systeme, Horizontal durchflossene Sickerkörper sowie Retentionsfilterbecken - alles Anlagen mit einer Ableitung zur Versickerung oder in ein oberirdisches Gewässer. Die Regelung in der Wegleitung beschränkt mindestens teilweise den Einsatz der Entwässerung über das Bankett.

2.2 Reinigungswirkung

2.2.1 Filterwirkung

Die Reinigungswirkung von Entwässerungen über das Bankett ist im Bericht zum Forschungsprojekt, Bankette bestehender Strassen [2], beschrieben. Sie ist generell gut, jedoch situationsbezogen unterschiedlich. Die Wirkung der Entwässerung über das bestehende Bankett mit Bezug zur Reinigung des abfliessenden Abwassers auf der Versuchsstrecke mit einem täglichen Verkehr (DTV) von 17'000 Fahrzeugen ist nachfolgend zusammenfassend beschrieben:

- Trotz der langen Betriebsdauer der Strasse von 50 Jahren hat kein Durchbruch des Filters stattgefunden.
- Konzentrationen von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) finden sich bis auf eine Tiefe von 0,50 m. Sie sind in einer Tiefe von 0,05 - 0,30 m am grössten (Bild 1).
- Für Schwermetalle kann davon ausgegangen werden, dass die Sorptionskapazität erst nach weiteren Jahren bis Jahrzehnten erschöpft sein dürfte (Bilder 2 und 3). Im Fall von PAK ist eine Abschätzung schwieriger, da PAK weniger spezifisch absorbiert werden.
- Das Bankett ist trotz der teilweise beträchtlichen Vorbelastung auch heute noch in der Lage, Schwermetalle sowie PAK wirkungsvoll zurückzuhalten.

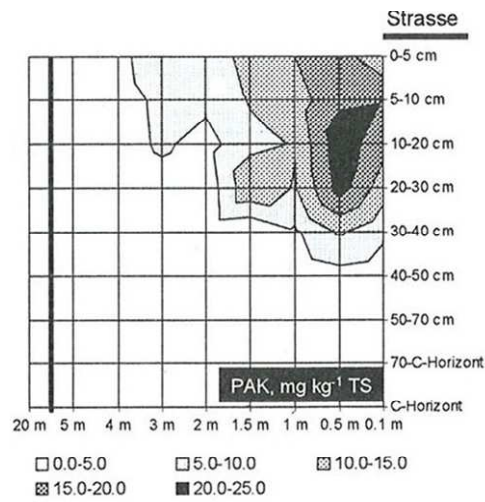


Bild 1: Konzentrationsverteilung von PAK im Seitenstreifen gemäss [2]

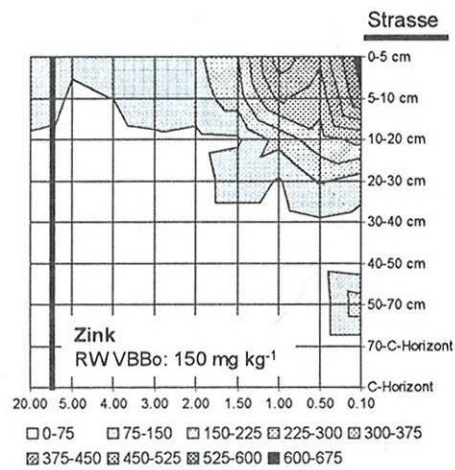


Bild 2: Konzentrationsverteilung von Zink gemäss [2]

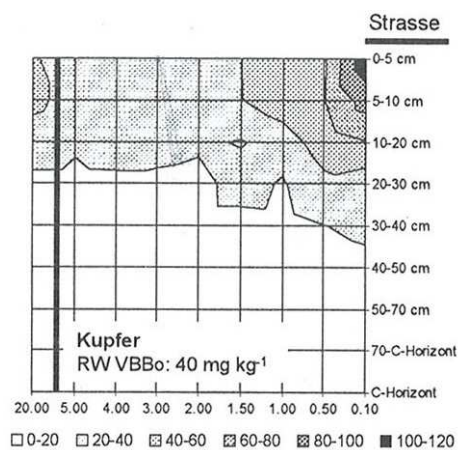


Bild 3: Konzentrationsverteilung von Kupfer gemäss [2]

Basierend auf der Untersuchung kann festgestellt werden, dass Bankette generell einen grösseren Wirkungsgrad als Abwasserreinigungsanlage aufweisen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass nicht nur das von der Strasse zufließende Wasser, sondern auch die Spritzwasserverfrachtung behandelt wird. Dies erhöht die Wirkung wesentlich.

2.2.2 Taumittel

Auf Strassen stehen als Taumittel Lösungen von verschiedenen Salzarten sowie Streusalzmischungen zur Verfügung. Diese bestehen aus NaCl, CaCl₂ und MgCl₂. In den letzten Jahren konnte als Folge der Weiterentwicklung der Streugeräte sowie der Messung und Auswertung von winterdienstbezogenen Daten der Einsatz von Taumitteln wesentlich herabgesetzt werden.

Dagegen bedingt der Winterdienst auf Strassen und Brücken mit Schichten aus porösem Asphalt gegenüber konventionellen Deckschichten eine mehrfache Menge von Taumitteln. Die Salze von Taumitteln werden in keiner Reinigungsanlage und damit auch nicht im Filter der Entwässerung über das Bankett zurückgehalten. Schwermetalle können beim Durchfluss von Salzlösungen bei verschiedenen Filtersystemen rückgelöst werden.

2.3 Beurteilung des Einsatzes

2.3.1 Normalfall

Bestehende Entwässerung über das Bankett

Eine bestehende Entwässerung über das Bankett sollte in keinem Fall aufgehoben werden. In Anbetracht des geringen Risikos von Freisetzungen wassergefährdender Flüssigkeit ist die Entwässerung in Seitenstreifen ausser in seltenen Fällen mit einer grossen Häufigkeit von Transporten wassergefährdender Flüssigkeiten auch bei Hochleistungsstrassen zulässig. Im Einzelfall ist die Notwendigkeit basierend auf einer Berechnung des Risikos zu beurteilen.

Erneuerung von Strassen mit bestehender Entwässerung über das Bankett

Bei der Erneuerung von Strassen sind die Bankette zu erhalten und vor Einwirkungen bei den Bauarbeiten zu schützen. Dazu finden sich weitere Angaben in diesem Bericht.

Neue Strassen mit einer Entwässerung über das Bankett

Die Bodenfilter bei neuen Entwässerungen über das Bankett haben hinsichtlich der Reinigung des Abwassers häufig einen geringeren Wirkungsgrad als bei bestehenden. Dies ist auf die Störung des Gefüges beim Abtrag, beim Transport und beim Aufbau des Bodenmaterials zurückzuführen. Der auf die Reinigung des Zuflusses ausgerichtete Wirkungsgrad der Entwässerung über das Bankett ist jedoch kaum geringer als derjenige bei den Behandlungsanlagen gemäss der Wegleitung [1]. Die Reinigungswirkung ist jedenfalls grösser als bei der Behandlungsanlage "horizontal durchflossener Sickerkörper", der in der Wegleitung dargestellt ist.

2.3.2 Einsatz im Karstgebiet

Vulnerabilität des Grundwassers

Die Wegleitung des BUWAL [1] liefert die folgende Angabe zur Vulnerabilität des Grundwassers (Zitat):

Der Boden über Karstaquiferen ist meist nur gering mächtig ausgebildet. Bestehen keine ausgedehnten schützenden Deckschichten, so ist die Vulnerabilität der Grundwasservorkommen in Karsten daher generell mittel bis hoch. Besonders hoch ist die Vulnerabilität bei Karstphänomenen, die eine direkte Verbindung zwischen der Oberfläche und dem Aquifer darstellen (z.B. aktive Dolinen).

Ergänzend ist festzustellen, dass der Aufbau der natürlichen Böden selbst auf kurzen Strassenabschnitten wegen des Verlaufs der Felsoberfläche grosse Unterschiede aufweist.

Bestehende Entwässerung über das Bankett

Die Strassen im Karstgebiet weisen häufig einen täglichen Verkehr mit einem DTV < 3'000 - 5'000 auf. Damit ist die Klassierung der Belastung "gering" bis "mittel". In den Bereichen üB und A_U ist damit eine Entwässerung über das Bankett nur bei ausserordentlich günstigen Verhältnissen möglich. Schwieriger ist die Entwässerung über das Bankett in Grundwasserschutzzonen zu beurteilen. Unter Berücksichtigung der Spritzwasserverfrachtung kann jedoch eine Entwässerung über das Bankett auch in Grundwasserschutzzonen allgemein angemessen sein.

Neue Strassen mit einer Entwässerung über das Bankett

In Anbetracht der Spritzwasserverfrachtung ist im Fall einer neuen Strasse mit einem Bodenfilter mit einem optimalen Aufbau die Entwässerung über das Bankett die optimalste Gewässerschutzmassnahme. Dies gilt auch für Grundwasserschutzzonen.

2.3.3 Entwässerungssysteme mit Durchlässen

Speziell bei Güterstrassen wird in häufigeren Situationen das Strassenabwasser bergseits der Strasse gesammelt und abschnittsweise durch Durchlässe abgeleitet. Dieses System existiert in seltenen Fällen auch für Haupt- und Verbindungsstrassen. Die lokale und damit konzentrierte Versickerung an den Durchlässen in die Böschung kann hinsichtlich einer schadstoffbezogenen Überbelastung kritisch sein. In Anbetracht der geringen Häufigkeit dieser Situation sowie der allgemein geringen Belastung des Wassers durch den Verkehr wird der Fall Strasse mit Durchlässen in der Norm SN 640 354 [3] nicht behandelt.

2.4 Spezielle Aspekte der Entwässerung

2.4.1 Eigentumsverhältnisse im Perimeter der Strasse

Die Entwässerung über das Bankett hat primär seine Bedeutung an Strassen ausserhalb des Siedlungsgebietes. Eigentümer der an die Strasse anstossenden Flächen bei Hochleistungsstrassen sind die Strasseneigentümer (Bild 5). Demgegenüber gehören die Sickerstreifen bei den übrigen Strassen Privaten und allgemein Landwirten. Obwohl deren Grundstücke schon heute, jedenfalls aber in Zukunft kontaminiert werden, gehen dem Vorhaben, neue Entwässerungen über das Bankett zu realisieren, vielfach schwierige Verhandlungen voraus.

2.4.2 Geometrie der Strasse

Strassen, die heute über Abläufe in ein Leitungssystem entwässert werden, weisen vielfach ein Quergefälle auf, das eine Entwässerung über das Bankett verhindert. Im Vordergrund stehen dabei Strassen mit einer Entwässerung zum bergseitigen Strassenrand.

2.4.3 Entwässerung in Grünstreifen zwischen Fahrbahnen.

Grünstreifen eignen sich grundsätzlich gut für eine Versickerung. Dabei geht es meistens um Hauptverkehrsstrassen mit einem bewachsenen Trennstreifen zwischen der Fahrbahn für den Motorfahrzeugverkehr und dem Radweg. Bei dieser heute häufigen Konstellation bei bestehenden Strassen wird allgemein weder die eine noch die andere Fahrbahn zum Grünstreifen entwässert. Eine Umstellung des Normal- bzw. Querprofils ist in den meisten Fällen aufwändig oder in Kurven unzulässig. Eine Anpassung bedingt im Übrigen auch eine Erneuerung des Grünstreifens, der hinsichtlich seines Aufbaus in einigen Fällen nicht als Filter nutzbar ist. Bei künftigen Radwegprojekten sollte die Nutzung des Grünstreifens als Versickerungsfläche in jedem Fall geprüft werden.

Bei bestehenden Strassen mit einem Quergefälle hangwärts kann das Strassenabwasser hangseits über das Bankett entwässert werden. Dabei ist das versickerte Wasser allgemein von einer Drainageleitung aufzunehmen und in angemessenen Abständen in die abfallende Böschung abzuleiten.



Bild 4: Entwässerung in Autobahnmittelstreifen



Bild 5: Entwässerung einer Hochleistungsstrasse in bewachsenen Graben

2.4.4 Topografie

Für die Entwässerung über das Bankett sind grundsätzlich hohe Böschungen am besten geeignet. Die Praxis zeigt, dass auch bereits im ebenen Gelände und einer geringen Höhendifferenz zwischen der Strasse und dem bewachsenen Randstreifen eine Entwässerung über das Bankett möglich ist. Dies ist auf das grosse Porenvolumen von Oberboden zurückzuführen, das bei Regenereignissen mit einem grossen Volumen einen Abfluss auch in weitgehend horizontaler Richtung ermöglicht. Eine Entwässerung über das Bankett ist vielfach selbst bei Strassen in einem Einschnitt möglich, wenn der Seitenstreifen als bewachsene Spitzrinne ausgeführt wird. Eine Drainage unter der Spitzrinne kann auch mit der Oberbauentwässerung kombiniert werden.

2.4.5 Geologische Verhältnisse

Die geologischen Verhältnisse sind zusammen mit dem Aufbau der natürlichen Böden die Grundlagen zur Beurteilung der Vulnerabilität des Grundwassers bei der Versickerung. Die hydrologischen Verhältnisse stehen vor allem in einer Beziehung zur Dicke der Deckschicht gemäss der Wegleitung des BUWAL [1]. Die geologischen Verhältnisse bei der Entwässerung über das Bankett sind, wie die Praxis zeigt, allgemein von eher geringer Bedeutung. Dies gilt speziell für fallende Böschungen mit einer erheblichen Höhe. Die Ausbreitungswege speziell bei Regenereignissen mit einem grossen Volumen sind allgemein schwer analysierbar.

2.5 Effizienz

2.5.1 Angaben in der Wegleitung Gewässerschutz bei der Entwässerung von Verkehrswegen

Unter dem Titel Versickerung ohne Behandlungsanlage wird gemäss der Wegleitung des BUWAL [1] der Einsatz von Versickerungen über das Bankett wie folgt empfohlen (Zitat):

Die Versickerung über die Schulter entlang der Verkehrsanlage ist wenn immer möglich anzustreben. Sie befriedigt in der Regel optimal die Anforderungen sowohl des quantitativen als auch des qualitativen Gewässerschutzes.

Es ist sicherzustellen, dass die Versickerung des massgebenden Regens tatsächlich in dem dafür bestimmten Belastungsstreifen erfolgt.

Im Allgemeinen ist der Platzbedarf für die Versickerung in Gräben oder Mulden entlang des Verkehrsweges geringer. Jedoch ist der Vernässungsgefahr besonderes Augenmerk zu widmen.

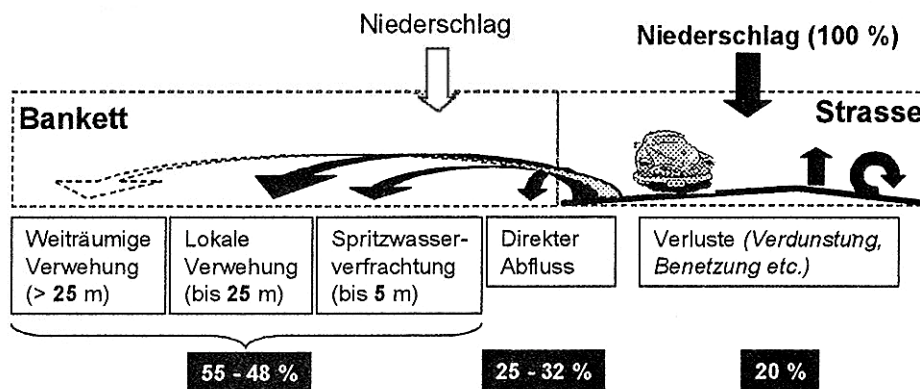


Bild 6: Wasserbilanz mit der Spritzwasserverfrachtung und der Versickerung als Anteile des Niederschlags aus [2].

Unter Berücksichtigung des Zitats sollte die Entwässerung über das Bankett in die Behandlungsanlagen eingereicht werden. Es ist dabei auch zu berücksichtigen, dass die Reinigungswirkung mit Bezug zum Abfluss von der Strassen vermutlich grösser ist als bei der Behandlungsanlage "Horizontal durchflossener Sickerkörper" gemäss der Wegleitung des BUWAL [1]. Dieser Anlagentyp weist einen eher kurzen Sickerweg in der belebten Bodenfilterschicht auf.

2.5.2 Gesamtverteilung der Deposition von Schadstoffen als Folge des Verkehrs

Die folgenden Angaben beziehen sich auf Strassen ausserhalb des Siedlungsgebietes. Sie haben einen Bezug nicht nur zum Gewässer-, sondern auch zum Bodenschutz. Spezielle und günstigere Verhältnisse für den Gewässer- und den Bodenschutz finden sich bei Strassen mit Lärmschutzwänden, verbunden mit einer Reinigung des Strassenabwassers. Eine Übersicht über die Verteilung der Schadstoffdeposition findet sich in der Tabelle 1. Die Basis bilden Angaben in der Forschungsarbeit Burgdorf [2]. Nachfolgend findet sich das massgebende Zitat aus dem Bericht:

Bevor in die detaillierte Diskussion der einzelnen Stoffströme eingestiegen wird, sollen die Grössenordnungen der Stoffströme grob geschätzt werden:

- Niederschläge fallen nur während etwa 10% der Zeit. Entsprechend entfallen die Emissionen des Verkehrs während 90% der Zeit auf Trockenwetter. Bei Trockenwetter ist somit die lokale und diffuse Verfrachtung der Schadstoffe massgebend.
- Schwermetalle sind zu einem grossen Teil an Partikel sorbiert. Diese lagern sich bei Trockenwetter teilweise auf der Fahrbahn ab, werden bei genügend starken Regenereignissen mobilisiert und gelangen in das Strassenwasser. Somit ist bei Regenwetter in erster Näherung die Verfrachtung der Schadstoffe mit dem Abfluss und dem Spritzwasser massgebend.
- Die untere Grenze des Anteils der Schadstoffe, die ins Spritzwasser und in den Abfluss gelangen, beträgt somit in etwa 10% der Gesamtfracht. Die obere Grenze ist massgeblich davon abhängig, wie gut Partikel bei Trockenwetter auf der Fahrbahn gespeichert werden. Wird ein Drittel der emittierten Fracht bei Trockenwetter auf der Strasse zurückgehalten, würde die obere Grenze somit 40% betragen.

Im Zitat wird darauf hingewiesen, dass es sich um eine Grob beurteilung der Depositionsverteilung handelt. Dies gilt gleichermassen auch für die numerischen Angaben in der Tabelle 1.

| Verteilung Schadstoffdeposition | | Anlageart und Wirkungsgrad | | |
|---------------------------------|-----|---|--------------------------------------|--|
| | | Technische Anlage 0,95 ²⁾ | Bodenfilter 0,90 ^{1) 2)} | Entwässerung über das Bankett 0,80 ²⁾ |
| Wischgut | 10% | | | |
| Abfluss am Strassenrand | 15% | 0,14 | 0,13 | 0,12 |
| Spritzwasser- verfrachtung | 15% | | | 0,12 |
| Verwehung | 60% | | | |
| Total Wirkungs- grad | | 0,14 | 0,13 | 0,24 |

Legende: ¹⁾ Bodenfilter mit Vorbehandlung
²⁾ Wirkungsgrad der Anlage

Tabelle 1: Wirkungsgrade bei der Verteilung der Schadstoffe der Gesamtfracht basierend auf Angaben im Forschungsbericht [2]

Die folgenden Aussagen haben jedoch unabhängig von der grossen Ungenauigkeit ihre Bedeutung:

- Der Anteil der Schadstoffe im Abfluss an der Gesamtdeposition ist gering.
- Der Anteil der Schmutzfracht im Spritzwasser ist etwa identisch mit dem des Abflusses.
- Massgebend bei einer Gesamtbeurteilung ist die Kontaminierung der Böden als Folge der Verwehung und der Spritzwasserverfrachtung.
- Die Wirkungsgrade von Schutzmassnahmen sind generell gering.
- Eine erhebliche Effizienz von Gewässer- und Bodenschutzmassnahmen entsteht, wenn ergänzend Einrichtungen zum Rückhalten der Verwehung und Spritzwasserverfrachtung angeordnet werden.
- Nachhaltig negative Auswirkungen auf das Grundwasser hat die Verwehung und das Spritzwasser auch in den Grundwasserschutz-zonen.

2.5.3 Beurteilung der Deposition von Schadstoffen im Abfluss und in der Spritzwasserverfrachtung

Die Angaben zur Basis und zur Genauigkeit der folgenden Angaben gemäss der vorangehenden Ziffer 2.5.2 gelten auch für die Beurteilung der Schadstoffe im Abfluss und in der Spritzwasserverfrachtung. Als Basis dient ebenfalls die Forschungsarbeit Burgdorf [2].

| Verteilung der behandelten Deposition | | Anlageart und Wirkungsgrad | | |
|---------------------------------------|-----|---|--------------------------------------|--|
| | | Technische Anlage 0,95 ²⁾ | Bodenfilter 0,90 ^{1) 2)} | Entwässerung über das Bankett 0,80 ²⁾ |
| Abfluss am Strassenrand | 50% | 0,48 | 0,45 | 0,40 |
| Spritzwasserverfrachtung | 50% | | | 0,40 |
| Total Wirkungsgrad | | 0,48 | 0,45 | 0,80 |

Legende: ¹⁾ Bodenfilter mit Vorbehandlung
²⁾ Wirkungsgrad der Anlage

Tabelle 2: Wirkungsgrade bei der Verteilung der Schadstoffe im Bezug zum Abfluss basierend auf Angaben im Forschungsbericht [2]

Im Folgenden sind die massgebenden Aspekte kommentiert:

- Basierend auf einer groben Schätzung kann angenommen werden, dass die Schadstoffverfrachtung im Abfluss und in der Spritzwasserverfrachtung etwa gleich sind.
- Auch bei einer Beschränkung der Betrachtung des Abflusses und des Spritzwassers ist der Wirkungsgrad von technischen Anlagen wie von Anlagen mit Bodenfilter eher gering und damit auch die Effizienz.
- Die Wirkung der Entwässerung über das Bankett ist gegenüber den technischen Anlagen und Anlagen mit Bodenfilter fast doppelt so gross, sofern an den Letzteren kein Spritzwasser-Rückhaltesystem angeordnet wird.
- Im Fall von Schutzzonen sind bei einer Sammlung und Ableitung des Abflusses und einem grösseren Verkehr möglichst Spritzwasser-Rückhaltesysteme anzuordnen oder eine Entwässerung über das Bankett vorzusehen.

2.5.4 Beurteilung der Effizienz

Die Entwässerung von Strassen über das Bankett ist im Vergleich zu alternativen Gewässerschutzmassnahmen nicht in allen Fällen, jedoch häufig effizienter. Im Folgenden sind die positiven Aspekte aufgeführt:

- Bestehende Bankette und Böschungen mit bewachsenem Ober- und Unterboden sind bezüglich ihrer Filterwirkung den Behandlungsanlagen mit Bodenfilter in vielen Fällen überlegen.
- Die Nutzung bestehender Bankette und Böschungen als Reinigungsanlage ist generell kostengünstig.
- Der Aufwand für die Grünpflege an Böschungen aus Rohbodenmaterial (Horizont C) ist klein. Im Fall von Böschungen mit Ober- und Unterboden ist der Unterhaltsaufwand jedoch ein mehrfacher. Er ist jedoch sehr viel kleiner als bei einer Behandlungsanlage, die im Übrigen auch ein Leitungssystem umfasst.
- Kostengünstig ist die Entwässerung auch über das Bankett in einem Grünstreifen zwischen einem Radweg und der Fahrbahn für den motorisierten Verkehr.

Die folgenden Aspekte sind im Zusammenhang mit der Entwässerung über das Bankett generell ungünstig:

- Umfassende Anpassungen des Quergefälles von Strassen im Zusammenhang mit einem Abfluss des Abwassers zum Bankett können sehr aufwändig sein.
- Der Aufbau von Bodenfilter speziell an steilen Böschungen und in Fällen mit Oberboden und einer Unterbodenschicht ist finanziell aufwändig.
- In den Grundwasserschutzzonen und -arealen ist eine Versickerung und damit eine Entwässerung über das Bankett nicht zulässig. In Strassen mit einem ausserordentlich geringen Verkehr kann diese Regelung aus ökologischer Sicht wenig sinnvoll sein. Es ist dabei zu berücksichtigen, dass die Spritzwasserverfrachtung sowie die lokale und die weiträumige Verwehung eine schwerwiegendere Emission darstellen als die Entwässerung über das Bankett. Im Bankett zurückgehaltene Schadstoffe können im gegebenen Zeitpunkt entsorgt werden. Die in der Verwehung und im Wesentlichen auch im Spritzwasser enthaltenen Schadstoffe können kaum mehr zurückgeholt werden.

2.6 Vorgehen bei der Wahl der Beseitigungsart gemäss der Wegleitung Gewässerschutz bei der Entwässerung von Verkehrswegen

2.6.1 Vorgehen gemäss dem Diagramm zur Verfahrenswahl

Die Wegleitung des BUWAL [1] behandelt unter Ziffer 3.2.2 das Vorgehen bei der Verfahrenswahl. Gemäss dieser Ziffer hat die Entwässerung über das Bankett die höchste Priorität. Der Abschnitt wird im Folgenden zitiert:

Vorrangig zu prüfen ist, ob das Verkehrswegeabwasser flächenförmig über den bewachsenen Boden des Belastungsstreifens entlang eines Verkehrsweges versickert werden kann. Kommt diese dezentrale Versickerung aus räumlich-topografischen oder hydrogeologischen Gründen nicht in Frage, soll geprüft werden, ob über eine zentrale Anlage (z.B. Versickerungsmulde oder -becken) versickert werden kann.

In den folgenden Kapiteln der Wegleitung [1] wird jedoch auf die Entwässerung über das Bankett nicht mehr eingegangen. Sie ist gemäss der Wegleitung keine Behandlungsanlage.

Das massgebende Charakteristikum einer Behandlungsanlage ist somit nicht deren Effektivität, sondern das Vorhandensein einer Ableitung zu einer Versickerungsstelle oder zur Einleitung in ein oberirdisches Gewässer. Diese gewährleistet auch die Messung der Schadstoffkonzentrationen am Auslauf der Anlage.

Das Vorgehen führt gemäss dem Entscheidungsdiagramm unter Ziffer 3.2.2 der Wegleitung [1] vorbehältlich der ebenfalls festgehaltenen Prüfung der Verhältnismässigkeit bei einem Variantenvergleich in keinem Fall zu einer Entwässerung über das Bankett.

2.6.2 Prüfung der Verhältnismässigkeit

Angaben zur Prüfung der Verhältnismässigkeit der Abwasserbeseitigung finden sich unter Ziffer 3.5 der Wegleitung. Der massgebende Absatz wird nachfolgend zitiert:

Bei begründeten Zweifeln an der Verhältnismässigkeit einer machbaren und zulässigen Erstvariante sind weitere Alternativen gemäss dem Entscheidungsdiagramm in der Abbildung 2 zu prüfen und die verschiedenen Varianten zu vergleichen. Ein Instrument für die Beurteilung stellt die Kosten/Nutzen-Analyse dar. Bei dieser Methode wird der Nutzen einer Abwasserbeseitigungsart den Kosten gegenübergestellt.

In Anbetracht des Umstandes, dass keine geldbezogenen Angaben zum Nutzen von Gewässerschutzmassnahmen verfügbar sind, ist eine Beurteilung der Verhältnismässigkeit mittels einer Kosten-Nutzen-Analyse nicht möglich. Eine Untersuchung der Verhältnismässigkeit bei einer Entscheidung für oder gegen eine Entwässerung über das Bankett besteht in grosser Unterschied bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung darin, ob eine bestehende Entwässerung über das Bankett weiter genutzt werden kann oder ob ein neues Bankett mit einem Bodenfilter erstellt werden muss. Bei einem bestehenden Bankett stehen bei einer Kosten-Nutzen-Analyse weitgehend Nullkosten den Kosten für eine Behandlungsanlage gegenüber. In Anbetracht der grösseren Wirkung der Entwässerung über das Bankett wegen der Behandlung des Spritzwassers wird in den meisten Fällen die Entscheidung zu Gunsten der Entwässerung über das Bankett gefällt werden müssen.

Probleme ergeben sich bereits bei der Beurteilung der Wirkung einer Behandlungsanlage. Wie bereits erwähnt, ist auch der Nutzen der Reinigung von Strassenabwasser nicht monetarisierbar. Generell ist auch bei neuen Strassen die Entwässerung über das Bankett in den meisten Fällen sowohl ökonomisch als auch ökologisch günstiger.

2.6.3 Entscheidungsdiagramm zur Entwässerung über das Bankett

Es ist vorgesehen, in die Norm SN 640 354 [3] das Entscheidungsdiagramm gemäss dem Bild 7 aufzunehmen. Der Ablauf beginnt mit der übergeordneten Entscheidung basierend auf der Wegleitung [1], ob eine Reinigung des Strassenabwassers notwendig ist oder nicht. Im ersten Fall liefert das Entscheidungsdiagramm im Rahmen der Prüfung der Verhältnismässigkeit anhand eines Variantenvergleichs eine Grundlage zur Wahl einer Entwässerung über das Bankett. Im zweiten Fall, bei dem keine Behandlung, jedoch eine Retention notwendig ist, steht das Vorgehensdiagramm unter Ziffer 3.2 der Wegleitung [1] zur Wahl und zur Beurteilung einer Entwässerung über das Bankett zur Verfügung. Mit der Entwässerung über das Bankett entfällt auch die Notwendigkeit einer Retentionsanlage. Auch in diesem Fall ist der Nutzen der Reinigung der Spritzwasserverfrachtung zur berücksichtigen.

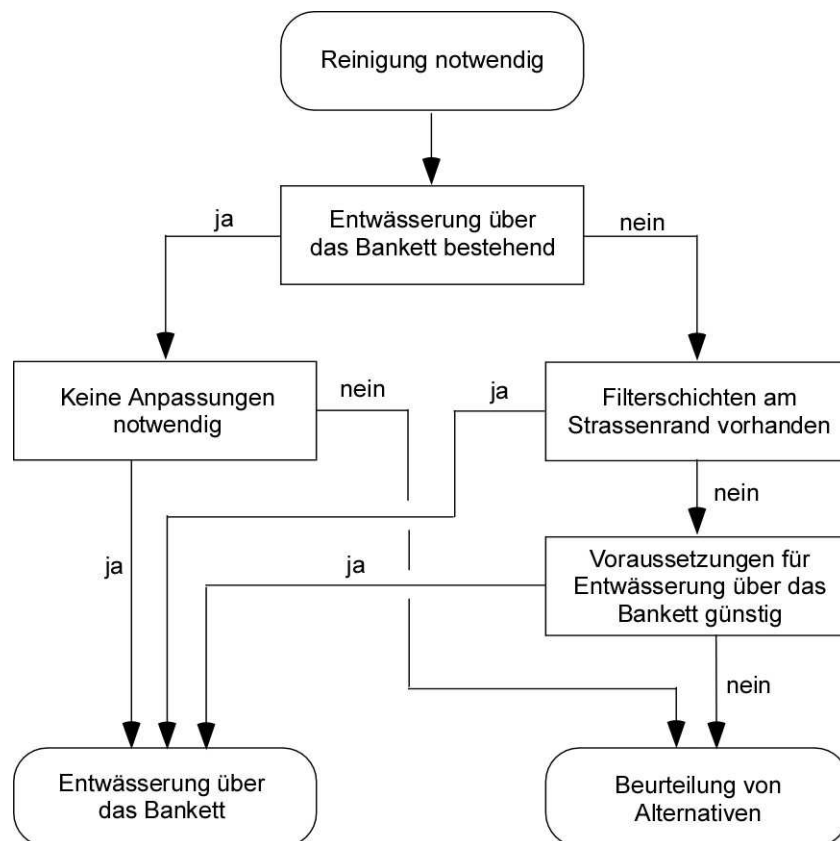


Bild 7: Entscheidungsdiagramm zu Entwässerung über das Bankett

3. Elemente des Strassenraumes

3.1 Übersicht zum geometrischen Normalprofil

Die Elemente des Strassenraums im Bereich Bankett und Bodenfilter sind im Bild 9 dargestellt. Sie weisen Überschneidungen auf, welche bei der Projektierung der Entwässerung über das Bankett zu beachten sind.

Das geometrische Normalprofil ist eine virtuelle Abgrenzung der Elemente des Strassenraumes und ist damit physisch an und auf der Strasse nicht erkennbar. Eine Darstellung des bankettbezogenen Normalprofils zusammen mit den projektierungsrelevanten Abmessungen und den Grundlagen zur Projektbearbeitung findet sich in der Norm SN 640 200, Geometrisches Normalprofil [4], und ff. Bei vielen bestehenden Strassen sind keine Informationen zum geometrischen Normalprofil verfügbar. Plangrundlagen enthalten allgemein ausführungsorientierte Informationen und Angaben zu den baulichen Elementen. Bei der Projektierung einer Entwässerung über das Bankett für eine neue Strasse oder bei einer Erneuerung muss jedoch häufig das Lichtraumprofil der massgebenden Verkehrsteilnehmer und das Lichtraumprofil der Strasse festgelegt werden.

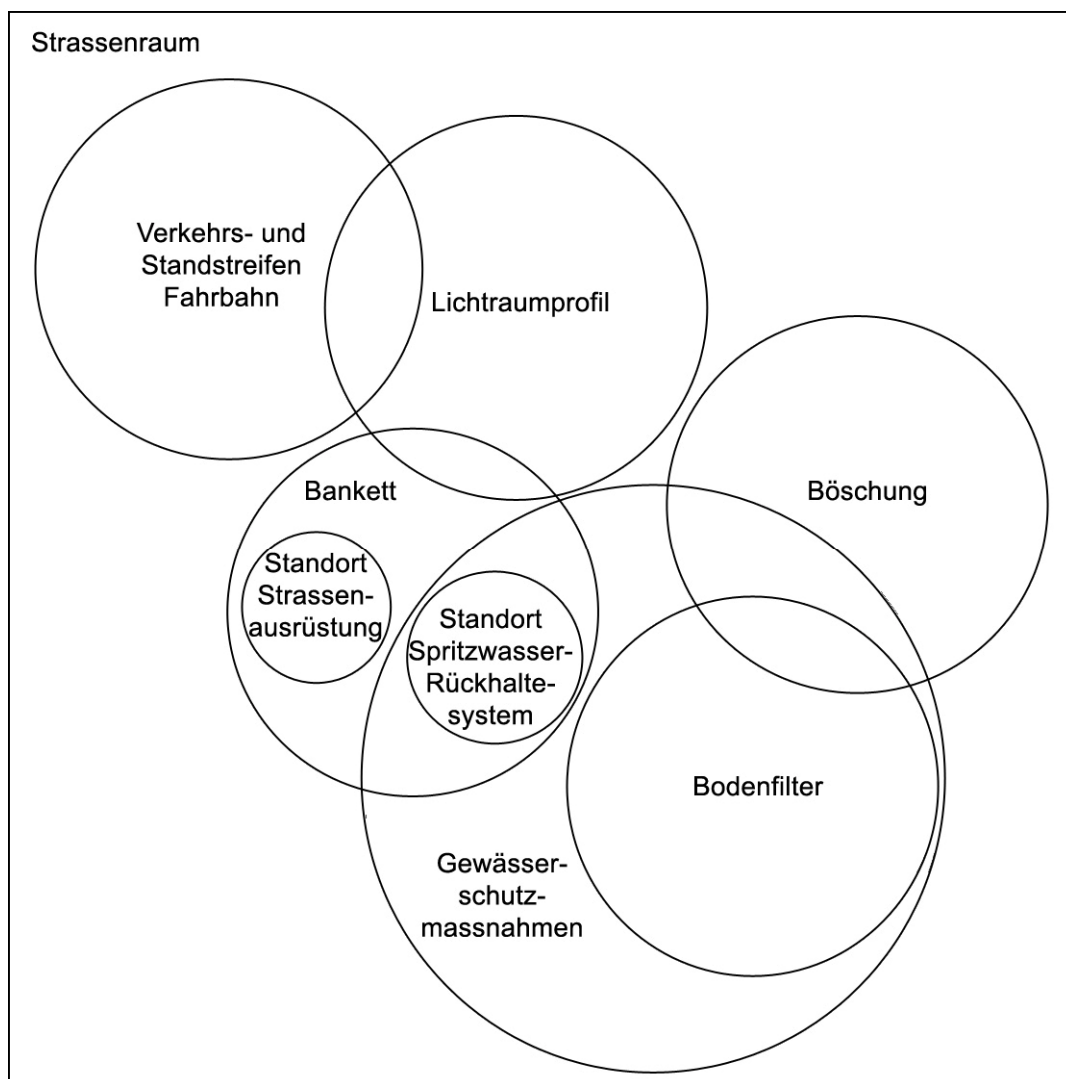


Bild 8: Beziehungen der Elemente des Strassenraumes

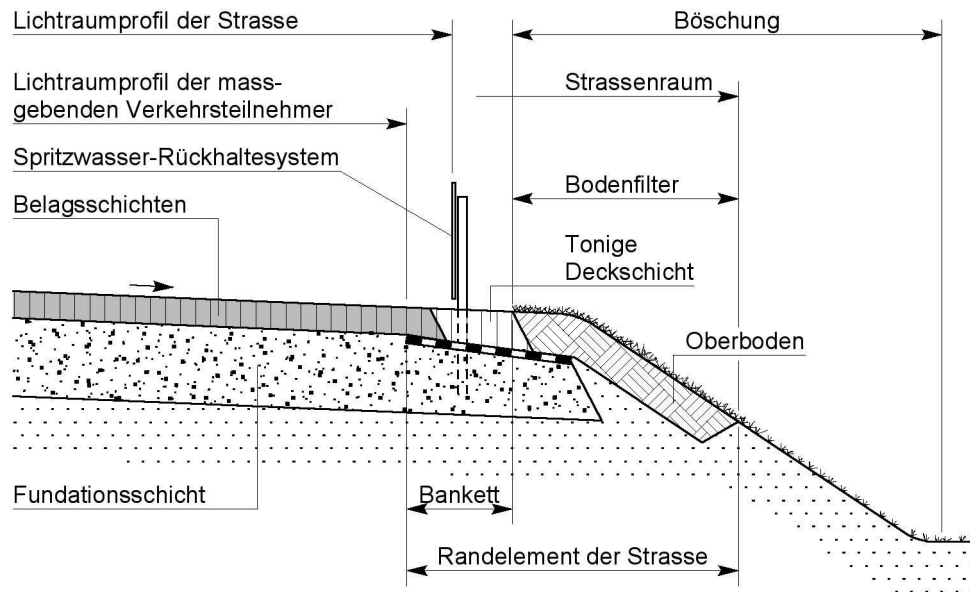


Bild 9: Elemente des Strassenraumes

3.2 **Zusätzliche lichte Breite als Element des Lichtraumprofils der Strasse**

Das Lichtraumprofil der Strasse umfasst neben den Verkehrsstreifen eine zusätzliche lichte Breite. Diese steht in einer Beziehung zur Verkehrssicherheit sowie zum Betrieb und Unterhalt der Strasse.

Die zusätzlichen lichten Breiten sind in zahlreichen Normen, insbesondere im Bereich der Strassenausrüstung festgelegt. Bei der Entwässerung über das Bankett hat das Lichtraumprofil der Strasse eine massgebende Bedeutung, da es die Anordnung von Fahrzeug-Rückhaltesystemen wie Leitschranken sowie von Spritzwasser-Rückhaltesystemen festlegt.

Im Fall der Spritzwasser-Rückhaltesysteme ist zu berücksichtigen, dass der Abstand zwischen dem Fahrstreifen des motorisierten Verkehrs und dem System den Wirkungsgrad eines Spritzwasser-Rückhaltesystems massgeblich beeinflusst. Ein als Spritzwasser-Rückhaltesystem eingesetzter Randabschluss kann direkt am Fahrstreifen des motorisierten Verkehrs angeordnet werden. Bei einer Höhe des Randabschlusses von $\leq 0,12$ m muss auch der Sicherheitszuschlag nicht berücksichtigt werden. Es ist davon auszugehen, dass bei der geplanten Revision der Normen SN 640 200 und ff. die Randabschlusshöhe wesentlich erhöht wird. Mit der neuen Regelung könnten an vielen Strassen Randabschlüsse nahe am Verkehr beispielsweise mit einer Anschlaghöhe von 0,25 oder 0,30 m angeordnet werden. Damit wird mindestens ein erheblicher Anteil des Spritzwassers zurückgehalten.

3.3 *Bankette*

Das Bankett besteht aus dem nur sporadisch befahrenen Streifen längs des Belagsrandes der Fahrbahn. Im Hinblick auf die Ableitung des Strassenabwassers zum Bodenfilter muss der Streifen wasserdicht sein.

Auf dem befahrbaren Streifen können Elemente der Strassenausrüstung platziert werden. Neben dem befahrbaren Streifen verläuft der Bodenfilter. Eine erhebliche Bedeutung haben allgemein Leitschranken. Probleme ergeben sich im Zusammenhang mit der Perforation von Abdichtungen durch Pfosten von Leitschranken.

Angaben zur Beurteilung von Banketttypen und zur Ausführung finden sich im Kapitel 8.



Bild 10: Strasse mit Bankett mit toniger Deckschicht

3.4 *Böschungen*

3.4.1 *Topografie*

Im Bild 11 ist eine Böschung mit der "Normalneigung" dargestellt. Bezüglich der Wirkung als Abwasserreinigungsanlage ist ein Gefälle günstig. Die Entwässerung über das Bankett kann jedoch auch bei geringeren Böschungsneigungen bis fast horizontalen Sickerstreifen bzw. bewachsenen Spitzrinnen oder Gräben als Reinigungsanlage wirken. Beispiele finden sich in den Bildern 11 bis 15.



Bild 11: Hauptverkehrsstrasse mit Entwässerung über die Böschung



Bild 12: Hauptverkehrsstrasse mit Entwässerung über Böschung in oberirdisches Gewässer



Bild 13: Hauptverkehrsstrasse mit Entwässerung in Sickerstreifen



Bild 14: Hochleistungsstrasse mit Entwässerung in Graben



Bild 15: Entwässerung in den Mittelstreifen einer Hochleistungsstrasse

3.4.2 Schutz angrenzender Parzellen

An Strassen angrenzende Parzellen ausserhalb des Siedlungsgebietes sind durch die Deposition von Strassenabwasser vielfach nachhaltig betroffen. Die Interessen der Anstösser sind hinsichtlich der Schutzmassnahmen allgemein identisch mit denjenigen seitens des Bodenschutzes. Der Eintrag von Schadstoffen wird jedoch kaum erkannt und auch nicht reklamiert. Demgegenüber wird zufließendes Wasser mit im Extremfall Staunässen als Folge sofort festgestellt. Die Praxis zeigt jedoch, dass an vielen Strassen mit einer Entwässerung über das Bankett diese nur seltenen Schäden verursacht oder Streitigkeiten mit Anstössern auslöst. Vergleichsweise häufig werden unterhalb von Böschungen wie im Bild 16 dargestellt Abläufe mit Notableitungen angeordnet, die jedoch kaum je Wasser aufnehmen.



Bild 16: Ablauf mit beschränkter oder ohne Wirkung unter Böschung

3.5 Schutz von Liegenschaften von Unterliegern

Strassen mit einer Entwässerung über das Bankett finden sich allgemein ausserhalb des Siedlungsgebietes. Dies bedeutet, dass primär landwirtschaftlich genutztes Land durch von Banketten und Böschungen abfließendes Wasser betroffen ist. In Anbetracht des grossen Porenvolumens von Waldböden ist die Entwässerung über das Bankett in Wäldern hinsichtlich der Versickerung allgemein unproblematisch. Im Fall der oben erwähnten Felder bestehen jedoch Probleme bei Böden in ebenem Gelände mit einem "lehmigen" Untergrund (Horizont C). In solchen eher seltenen Fällen sind am Böschungsfuss Gräben, Rigolen oder bewachsene Spitzrinnen mit einer Drainage vorzusehen.

4. Strassenbautechnische Anforderungen

4.1 Tragfähigkeit des Oberbaus

Bankette sind so auszuführen, dass die Tragfähigkeit gewährleistet ist. Der Übergang von der Fahrbahn zur Böschung oder zu einem Seitenstreifen ist generell ein Schwachpunkt der Strasse. Zwei Beispiele finden sich in den Bildern 17 und 18. Ein im Übrigen seltener Grundbruch von Banketten auf Dämmen erfolgt am ehesten als Folge der Einwirkungen von Verdichtungsgeräten sowie als Folge des Befahrens mit schweren Lastfahrzeugen bei Hauptverkehrsstrassen mit geringer Breite. Im Fall von Strassen mit normal breiten Fahrstreifen sind allgemein keine häufigen Schäden bekannt. Bankette werden allgemein nicht als Bodenfilter ausgeführt. In der Schweiz und in Deutschland werden in Sonderfällen Bankette im Hinblick auf die Tragfähigkeit mit Rasengitterelementen gemäss den Bildern 19 und 20 ausgeführt. Diese weisen eine erhebliche, jedoch nicht überprüfte Filterwirkung auf.



Bild 17: Bankett einer Hauptverkehrsstrasse



Bild 18: Typischer Schaden am Belagsrand



Bild 19: Mit Rasengittern verstärktes Bankett in der Schweiz



Bild 20: Häufig befahrener Randstreifen mit Rasengitterelementen in Deutschland

4.2 Strapazierfähigkeit des Banketts

Die Strapazierfähigkeit hat bei allen Deckschichten ausser solchen aus Asphaltbeton oder Beton eine grosse Bedeutung. Angaben zu diesem Problemkreis finden sich in der Norm SN 640 744, Verkehrsflächen mit ungebundenem Oberbau [19].

4.3 *Foundation von Leitschranken*

Pfosten von Leitschranken müssen im Ober- und Unterbau eingespannt sein. Dabei werden die Pfosten allgemein auf eine Tiefe von 1,10 m gerammt. Die Praxis zeigt, dass die Einspannung in vielen Fällen ungenügend ist und der Pfosten beim Anprall eines Fahrzeugs ohne Biegen über dem Bankett nach aussen gedrückt wird (Bild 21 und 22). Dabei wird das System mit dem daran befestigten Längselement umgekippt. Die Leitschranke ist in solchen Fällen weitgehend wirkungslos. In Bereichen mit Oberboden oder im Fall von bewachsenen aufgelockerten kiesigen Böden tritt dieser Effekt ebenfalls auf.



Bild 21: Leitschranke mit ungenügend steifer Einspannung in schmalem Bankett in der Schweiz



Bild 22: Leitschranke mit ungenügender Einspannung im Oberboden einer Böschung

5. Hydraulische Leistung und Retention der Bodenfilter

5.1 Wassertransport im Boden

Angaben zum Wassertransport in natürlichen Böden finden sich im Dokument Regenwasserentsorgung des Verbandes Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute VSA [21]. Der Wassertransport im Ober- und Unterboden ist generell ein vitaler. Dabei wird ein Anteil des Wassers in einem unterschiedlichen Ausmass im Porensystem zurückgehalten. Ein Anteil des vom Bankett zufließenden Wassers wird auf der Oberfläche oder über die Pflanzen verdunstet. Im Fall der Entwässerung über das Bankett sind diese Vorgänge von geringer Bedeutung. Der Porenraum nimmt ein Volumen von ca. 50% ein. Dabei stehen nur die grösseren Poren mit einem Durchmesser $> 50 \mu\text{m}$ für die Entwässerung mit einem Anteil von 10 bis 25% zur Verfügung. Bei der Entwässerung über das Bankett ist die Relation Filterfläche zur Strassenoberfläche allgemein grösser als bei Reinigungsanlagen mit einem Bodenfilter mit einer Vorbehandlung. Die Retention hat deshalb bei Banketten eine grössere Bedeutung als bei Reinigungsanlagen mit bewachsenem Bodenfilter.

5.2 Kolmatieren

Im Fall von Reinigungsanlagen mit einem Bodenfilter und einer Vorbehandlung verhindert die Letztere das Kolmatieren. Bei Anlagen mit Bodenfilter mit einer geringen Belastung durch Strassenabwasser kann auf eine Vorbehandlung verzichtet werden. Bei der Entwässerung über das Bankett entfällt die Vorbehandlung. Dank der im Boden vorhandenen Mikroorganismen und Pflanzen werden organische und mineralische Bestandteile in die Bodenstruktur eingebaut. Die hydraulische Leistung und das Retentionsvermögen werden damit gewährleistet. Ein Kolmatieren bewirkt primär die Beeinträchtigung der Belüftung des Bodens und damit die mikrobiellen Aktivitäten. Für das Kolmatieren sind primär von der Fahrbahn abgeschwemmte siltige und tonige Bodenteile verantwortlich.

5.3 Praktische Erfahrungen

In den europäischen Ländern werden ausserhalb der Siedlungsgebiete die Strassen mehrheitlich über die Bankette entwässert. Dabei handelt es sich beim Bodenfilter vielfach um irgendein angelegtes Bodenmaterial. Die Praxis zeigt, dass sich diese Böden bezüglich der Retention und der hydraulischen Leistung selbst bei mangelndem Unterboden sowie einem Untergrund aus bindigem Material auch nach einer längeren Standzeit günstig verhalten. Die Sickerwege sind vielfach schwer erkennbar.

6. Erhaltung von Bodenmaterial und Naturschutz

6.1 Bodenschutz

Zwischen dem Boden- und dem Gewässerschutz besteht in häufigen Fällen ein Interessenkonflikt. An Strassen ausserhalb des Siedlungsgebietes und bei fehlenden Lärmschutzwänden werden grossflächig Böden durch Strassenabwasser mit Schadstoffen belastet. Neben der Strasse besteht ein als Anlage bezeichneter Streifen, der als Element der Strasse gilt und deshalb auch belastet werden darf. Demgegenüber bestehen bezüglich der Rechtskonformität des Einsatzes von Ober- und Unterboden in Filterbecken offene Fragen. Grundsätzlich ist beim Vollzug des Gewässerschutzes bei Strassen unter Berücksichtigung der wirtschaftlichen Angemessenheit der Einsatz von Ober- und Unterboden auf ein Minimum zu beschränken. Oberboden wird im Zusammenhang mit der Erstellung von Bauten aller Art wie u.a. Strassen und Plätze häufig ohne eine weitere Verwendung abgetragen. Demgegenüber steht Unterboden nicht ohne Weiteres zur Verfügung. Die Folgerungen aus dieser Situation können wie folgt zusammengefasst werden.

- Die Studie Bankette bestehender Strassen [2] zeigt, dass die Kapazität der Schadstoffaufnahme am Strassenstreifen unerwartet gross und die Dauer bis zum Filterdurchbruch sehr viel länger ist, als allgemein angenommen wird.
- Aus Gründen des Bodenschutzes sind technische Strassenabwasser-Reinigungsanlagen die wirksamste Variante. Sie können jedoch das Problem der Kontamination des Seitenstreifens längs der Strasse als Folge der Spritzwasserverfrachtung nicht lösen
- Grundsätzlich ist die von der Spritzwasserverfrachtung betroffene Fläche bei Strassen mit einem grossen DTV durch Spritzwasser-Rückhaltesysteme zu vermindern.
- Sofern die Machbarkeit es zulässt, ist die Entwässerung über das Bankett der Reinigung des abfliessenden Abwassers in einem Filter- oder Retentionsfilterbecken vorzuziehen.

6.2 Unterhalt der Böschungen

In den letzten Jahrzehnten sind Böschungen von Strassen mit viel Verkehr wie insbesondere Hochleistungsstrassen ohne eine Oberbodenschicht ausgeführt worden. Damit wurden Kosten bei der Ausführung eingespart und vor allem der Aufwand für die Grünpflege sehr erheblich vermindert. Im Weiteren wurde auch das vergleichsweise häufige Abrutschen von Oberbodenschichten nach Regenereignissen mit einem grossen Wasservolumen eliminiert.

Die Pflege der Böschungen an Strassen ausserhalb des Siedlungsgebietes beansprucht einen erheblichen Anteil des Gesamtaufwandes für den betrieblichen Unterhalt. Demgegenüber ist bei einer Fassung des Strassenabwassers der Unterhalt für die Schlammsammler, das Leistungssystem und die Behandlungsanlage zu berücksichtigen. Kostenvergleiche ergeben für die verschiedenen Situationen sehr unterschiedliche Resultate. Jedenfalls ist unter Berücksichtigung des Aufwandes für den Unterhalt die Breite des Bodenfilters unter Beachtung der Angemessenheit festzulegen.

6.3 Flora und Fauna auf Böschungen

Die unterhaltsbezogene Ausführung der Böschung nur aus Rohboden (Horizont C), der keine oder nur wenige Nährstoffe enthält, fördert eine artenreiche Flora und die auf diese ausgerichtete vielfältige Fauna. Die nur sporadisch notwendige Grünpflege bewirkt zudem eine nur geringe Schädigung der Fauna durch Mähmaschinen und damit eine Verbesserung deren Lebensgrundlage. In der Folge haben sich die kantonalen Naturschutzfachstellen seit vielen Jahren mit einer nachhaltigen Wirkung für oberbodenlose Böschungen eingesetzt. Die Entwässerung über das Bankett mit bewachsenen Bodenschichten steht der nunmehr eingeführten Praxis mit oberbodenlosen Seitenstreifen entgegen.

Im Hinblick auf die Interessen des Schutzes der Flora und Fauna sind die Flächen der Bodenfilter im Rahmen der erforderlichen Reinigungsleistung möglichst kleinflächig zu planen.

7. Bemessung von Sickerflächen

7.1 Grundsätze

Im Gegensatz zu Bodenfiltern von Retentionsfilterbecken werden Entwässerungen über das Bankett nicht bemessen, da die zur Verfügung stehende Filterfläche allgemein gross ist. Die Breiten der Randstreifen mit einem Bodenfilter sind in der Norm SN 640 354 [3] angegeben. Sie liegen je nach dem durchschnittlichen Verkehr (DTV) zwischen 1,50 und 2,50 m. Die max. Breite liegt bei 2,50 m. Im Hinblick auf den betrieblichen Unterhalt, den Verbrauch von Oberboden sowie den Schutz von Fauna und Flora sind die Filter von Entwässerungen über das Bankett angemessen festzulegen.

Bei schmalen Sickerstreifen zwischen Fahrstreifen sind diese wie Bodenfilter von Reinigungsanlagen zu dimensionieren.

7.2 Massgebende Regenintensität

Die Wahrscheinlichkeit von Schäden als Folge von abfliessendem Strassenabwasser in Liegenschaften von Unterliegern ist generell gering. In Anbetracht des Retentionsvermögens von Böden sind Starkregen mit einer kurzen Regendauer für die Bemessung nicht von Bedeutung. Massgebend für die Bemessung sind allgemein Regenereignisse mit einer Dauer von wenigen Stunden. Es ist jedoch zu beachten, dass im Gegensatz zu Filtern von Retentionsfilterbecken die Filter von Entwässerungen über das Bankett zu einem erheblichen Anteil von Spritzwasser belastet werden.

8. Rückhalten von Spritzwasser

8.1 Wirkung von Spritzwasser-Rückhaltesystemen

Mit Spritzwasser-Rückhaltesystemen kann die Wirkung der Entwässerung über das Bankett mit einem vergleichsweise geringen finanziellen Aufwand verbessert werden. Mit dem Rückhalten von Spritzwasser wird der Belastungsstreifen besser genutzt.

Bei einem Quergefälle ist am höheren Strassenrand des Banketts das Spritzwasser-Rückhaltesystem so auszuführen, dass das zurückgehaltene Wasser zum tieferen Rand zur Entwässerung über das Bankett geleitet wird.

8.2 Einsatz von Systemen

Es ist festzustellen, dass in der Schweiz unabhängig vom örtlichen Ausmass der Spritzwasser-Verfrachtung sowie des Schädigungspotentials eines Grundwasservorkommens nur in sehr wenigen Fällen Spritzwasser-Rückhaltesysteme vorhanden sind. Um mit einer Reinigungsanlage einen erheblichen Wirkungsgrad zu erreichen, sollten, mindestens in Gewässerschutzzonen und -arealen Spritzwasser-Rückhaltesysteme angeordnet werden.

8.3 Kombination Spritzwasser-Rückhaltesysteme und Fahrzeug-Rückhaltesysteme

8.3.1 Leitschranken

Leitschranken mit einem zusätzlichen Profil über dem Boden haben hinsichtlich des Rückhaltens von Spritzwasser und der lokalen Verwehung einen erheblichen Wirkungsgrad. Leitmauern aus Beton haben eine sehr positive Wirkung. Im Vordergrund stehen Leitschranken mit einer Abdeckung unter der Planke oder unter dem Kastenprofil. Diese sind nur an wenigen Strassen zu finden. Dabei handelt es sich um Leitschranken mit einem Unterfahrschutz für Motorradfahrer (Bild 23). Diese Systeme sind jedoch nicht mit dem Ziel Gewässerschutz, sondern zum Schutz der Fussgänger und Radfahrer vor Spritzwasser angeordnet worden.

Kombinationen Spritzwasser-Rückhaltesystem und Schutzeinrichtung müssen im Hinblick auf ihre Wirkung als Fahrzeug-Rückhaltesystem geprüft werden.

Leitschranken gemäss der Richtlinie des Bundesamtes für Strassen weisen eine Höhe von 0,70 bis 1,15 m auf. Dabei ist bei einer möglichst nahen Anordnung neben der Fahrbahn an Strassen ohne Standstreifen eine erhebliche Rückhaltewirkung bezüglich des Spritzwassers zu erwarten.



Bild 23: Leitschranke mit Kastenprofil LS 150'180u modifiziert mit Unterfahr-schutz, verwendbar auch als Spritzwasser-Rückhalte-system

8.3.2 Leitmauern

Leitmauern aus Beton

Leitmauern aus Beton werden ausser auf Brücken von Autobahnen und Autostrassen in der Schweiz nur selten angeordnet. Sie sind deshalb als Spritzwasser-Rückhaltesystem bis anhin von geringer Bedeutung. Ein besonderer Vorteil der Leitmauern besteht darin, dass deren Höhe den örtlichen Bedingungen angepasst werden kann. Im Fall von vorgefertigten Betonelementen stehen jedenfalls heute keine als Schutzeinrichtung geprüften Systeme mit geringer Höhe zur Verfügung.

Leitmauern aus Stahl

Leitmauern aus Stahl mit einer erheblichen Höhe bestehen vielfach aus zwei Längselementen mit einem offenen Zwischenraum. Dieser bewirkt eine Verminderung der wasserbezogenen Rückhaltewirkung. Die Leitmauern aus Stahl sind deshalb ohne eine Modifikation als Kombinationssystem ungeeignet. Die Entwicklung eines kostengünstigen Systems mit einer im Hinblick auf den Landschaftsschutz angemessenen Höhe ist jedoch möglich.

8.3.3 Borde

Einsatz von Borden

Im Gegensatz zu Frankreich sind in der Schweiz als Fahrzeug-Rückhaltesystem eingesetzte Borde kaum vorhanden. Zwei Beispiele finden sich im Bild 24 und 25.

Leitborde weisen allgemein eine Anschlaghöhe von 0,25 bis 0,30 m auf. Bei einer Anordnung nahe am Fahrstreifen ist hinsichtlich des Spritzwassers eine Wirkung zu erwarten.

In der Norm SN 640 562 [23], Passive Sicherheit im Strassenraum, Massnahmen in Siedlungsgebieten, werden hohe Borde als Fahrzeug-Rückhaltesystem behandelt. Im Geschwindigkeitsbereich bis 60 km/h weisen Borde mit einer Höhe von 0,25 bis 0,30 m eine erhebliche Fahrzeug-Rückhaltewirkung auf. Auf Hauptverkehrsstrassen mit einer Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h ist ebenfalls eine erhebliche, jedoch schwer schätzbare Rückhaltewirkung zu erwarten.

Auf Hochleistungsstrassen mit Standstreifen kann bei Borden mit einer Höhe $\leq 0,30$ m nicht mit einer erheblichen Rückhaltewirkung gerechnet werden. An Strassenrändern mit Leitschranken ist der Einsatz von Borden mit einer Höhe $\geq 0,07$ m wegen der negativen Auswirkungen auf die Funktion des Systems gemäss den aktuellen technischen Grundlagen unzulässig.



Bild 24: Leitbord in Frankreich



Bild 25: Leitbord in Schutzzone in der Schweiz, System aus Frankreich übernommen

Anordnung der Borde

Die Anordnung der Borde steht in einer direkten Beziehung zum Lichtraumprofil der Strasse. Angaben zu den Elementen des Lichtraumprofils finden sich im Bild 30. Im Folgenden werden die zusätzlichen lichten Breiten mit Bezug zu den Bordhöhen kommentiert.

Grundsätzlich sollte an Hauptverkehrs- und Verbindungsstrassen mit Spritzwasser-Rückhaltesystemen eine zusätzliche Breite neben dem Lichtraumprofil der massgebenden Verkehrsteilnehmer gemäss der Norm [4] bzw. ein Abstand zum Fahrbahnrand von 0,30 m eingehalten werden.

Im Fall von Fahrzeug-Rückhaltesystemen ist dieser Abstand in der Norm SN 640 561 [9] für Fahrzeug-Rückhaltesysteme festgelegt. In Anbetracht des Wirkungszuwachses bei einer Anordnung der Spritzwasser-Rückhaltesysteme direkt am Fahrbahnrand kann auf den angegebenen Minimalabstand verzichtet werden. Dabei wird der Fahrkomfort jedoch herabgesetzt. Es kann jedoch ein Bord mit einer Höhe von 0,12 m direkt am Fahrbahnrand angeordnet werden. Da ein Bord mit dieser Höhe für den Verkehr kein relevantes Hindernis darstellt, ist eine Anordnung innerhalb des Lichtraumprofils unproblematisch. Offen ist jedoch die Wirkung eines solchen Bordes als Spritzwasser-Rückhaltesystem.

8.4 Wände

Der Einsatz von Wänden ist bezüglich des Landschaftsschutzes sehr sensitiv. In Dänemark finden sich Spritzwasser-Rückhaltesysteme an Strasse zum Schutz von Bäumen vor salzhaltigem Wasser.

Sie bestehen aus Kunststofffolien, die an Pfosten befestigt sind (Bild 26 und 27). In der Schweiz sind solche Systeme nicht bekannt. Es ist jedoch davon auszugehen, dass Rückhaltesysteme erst in einem Zeitpunkt entwickelt werden, wenn Vorschriften diese vorschreiben oder von den Strassenbetreibern verlangt werden. Selbst in der Nähe von für die Versorgung wichtigen Grundwasserfassungen findet sich heute kaum ein Strassenabschnitt mit Massnahmen zum Rückhalten der Spritzwasserverfrachtung.

Der zweite wichtige Aspekt des Einsatzes von Spritzwasser-Rückhaltesystemen ist die passive Sicherheit. Um diese zu gewährleisten, ist die Norm SN 640 569, Passive Sicherheit von Tragwerken der Strassenausrüstung [12], zu beachten. Grundsätzlich ist es möglich, Systeme zu entwickeln, bei denen die Anforderungen gemäss der oben angegebenen Norm SN 640 569 [12] keine erheblichen Kosten verursachen. Problematischer ist jedoch der Umstand, dass die Systeme möglicherweise gemäss der Norm SN EN 12767, Passive Sicherheit von Tragkonstruktionen für die Strassenausstattung [13], mit einem grossen Aufwand mit Anprallversuchen getestet, zertifiziert und die Produktion durch eine akkreditierte Stelle überwacht werden muss.



Bild 26: Spritzwasser-Schutzwände mit Pfosten und Kunststofffolien in Dänemark



Bild 27: Spritzwasser-Schutzwände aus Holz in Dänemark

8.5 Wälle

Wälle können im Rahmen einer professionellen Projektierung landschaftsverträglich gestaltet werden. Gut gestaltet sind primär funktional optimierte Wälle. Günstig sind allgemein aus Erdmaterial erstellte bewachsene Wälle mit nötigenfalls einer strassenseitigen Böschungsbewehrung.

Wälle sind keine Bauprodukte und unterstehen demzufolge keiner Prüfpflicht gemäss einer Vorschrift oder Norm.

8.6 Hecken

Es ist davon auszugehen, dass die Anordnung von Spritzwassersystemen im Hinblick auf den Landschaftsschutz auf wenig Verständnis stösst. Die Pflanzung von Hecken kann in speziellen Fällen die durch Spritzwasser belastete Fläche vermindern. Es besteht eine Praxis beim Einsatz von Hecken auf Mittelstreifen von Autobahnen. Die massgebenden Aspekte sind nachfolgend aufgeführt:

- Die Angaben zur Wirkung von Hecken sind beschränkt. Es ist im Übrigen schwierig, diese zu schätzen.
- Es ist zu berücksichtigen, dass es lange dauert, bis eine erhebliche Dichtheit des Bewuchses erreicht ist.
- Das Wachstum der Hecken wird nachhaltig durch Salz zur Verhütung von Winterglätte eingeschränkt. Das Gleiche gilt für die verkehrsbedingten Luftschläge durch schnell fahrende schwere Lastfahrzeuge.
- Hecken können die Sichtweite verkleinern.
- Hecken am Strassenrand vermindern die landwirtschaftlich genutzte Fläche.
- Der Aufwand für den Unterhalt ist nicht bekannt.

8.7 Kombination mit Lärmschirmen

Die Wirkung von Lärmschirmen ist im Fall von Reinigungsanlagen mit gesammeltem und abgeleitetem Strassenabwasser ausserordentlich gross, da nicht nur die Spritzwasserverfrachtung, sondern in einem erheblichen Ausmass auch die Verwehung zurückgehalten wird. Bei der Entwässerung über das Bankett ist die Situation insofern ungünstiger, als dass das von der Strasse abfliessende Wasser unter der Lärmschutzwand durchgeleitet werden muss. Um das zu ermöglichen, müssen akustisch dichte Durchlässe entwickelt werden. Diese sind vermutlich aufwändig.

9. Charakteristiken der Bankette

9.1 Übersicht

Das Bankett ist die Randkonstruktion der Strasse, an welche ein Seitenstreifen oder eine Böschung anstösst. Das Bankett weist keinen Belag aus bituminösen Schichten oder Beton auf.

Das Bankett ist jedoch so aufgebaut, dass es in der Lage ist, die Einwirkungen des Verkehrs auf der angrenzenden Fahrbahn auf den Unterbau zu übertragen. Im Weiteren kann es auch ausnahmsweise befahren werden. Bei der Entwässerung über das Bankett umfasst der Begriff Bankett nicht nur das oben beschriebene Bankett, sondern auch angrenzende Seitenstreifen oder Böschungen mit einem bewachsenen Bodenfilter. Im Folgenden wird jedoch unter dem Titel Bankett nur das eigentliche Bankett ohne Böschung bzw. der direkt an die Fahrbahn angrenzende Streifen beschrieben.

Im Zusammenhang mit der Reinigung des Strassenabwassers sind Ausführungen günstig, die den Abfluss von der Strasse über OK Bodenfilter in die Böschung oder den Seitenstreifen leiten. Dies bedingt Bankette, die dicht sind. Grundsätzlich sind die folgenden Arten zu unterscheiden:

– Bankette mit dichtem Belag

Im Vordergrund steht die Ausführung mit einer tonigen Deckschicht. Diese ist weitgehend ohne eine sehr nachhaltige Verdichtung wasserdicht. Varianten mit bituminösen Deckschichten können auf Banketten nicht ausreichend verdichtet werden. Im Weiteren fehlt die für eine lange Lebensdauer notwendige Nachverdichtung durch den Verkehr.

– Bankette mit durchlässigem Oberbau

Zu dieser Art gehören Kiesrasen, Kiesrasen mit Gitterrost sowie Rasengitterelemente. Im Fall von Dämmen aus sandigem oder kiesig sandigem Material oder bei einem Untergrund aus diesen Materialien ist auf dem Planum eine Abdichtung mit einer Verbindung zum Bodenfilter vorzusehen. Die Bedingungen zum Einbau von Abdichtungen sind jedoch ungünstig. Dies gilt insbesondere für Bentonitmatten.

Eine Übersicht der Banketttypen mit einer groben Beurteilung findet sich in der Tabelle 3. Zu dieser ist festzustellen, dass die Beurteilung nur sehr generell ist und je nach den örtlichen Verhältnissen verschieden sein kann.

| Banketttypen | Tragfähigkeit Verkehr | Strapazierfähigkeit der Oberfläche | Ableitung in Bodenflter | Aufwand Ausführung | Aufwand Unterhalt | Lebenszykluskosten |
|---|-----------------------|------------------------------------|-------------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| <u>Dichter Oberbau</u> Tonige Deckschicht ¹⁾ | + | + | + | + | + | ++ |
| <u>Beschränkt dichter Oberbau</u> Zementstabilisierung ²⁾ | ++ | ++ | 2) | +/- | + | + |
| <u>Durchlässiger Oberbau</u> ³⁾ | | | | | | |
| Kiesrasen | +/- | +/- | 2) | + | + | +/- |
| Kiesrasen mit Gitterrost | ++ | ++ | 2) | +/- | ++ | +/- |
| Rasengitterelemente | ++ | ++ | 2) | +/- | ++ | + |

Legende: ++ sehr günstig + günstig - ungünstig

- 1) Abdichtung bei bindigem Untergrund je nach Situation notwendig
- 2) Keine Erfahrung bezüglich der Ausführung
- 3) Abdichtung häufig notwendig, Abdichtung behindert den Wasserhaushalt für den Bewuchs. Es besteht keine Erfahrung bezüglich der Ausführung.

Tabelle 3: Banketttypen und Beurteilung der Charakteristiken

9.2 Dichtes Bankett - Bankett mit toniger Deckschicht

Dieser Typ ist in der Schweiz am meisten verbreitet. Er ist hinsichtlich der Ausführung und Wirkung identisch mit dem Oberbau mit einer Deckschicht aus Kalkmergel. Die tonige Deckschicht wird bezüglich aller Kriterien positiv bewertet. Diese Bauweise wird bei allen örtlichen Verhältnissen wegen der Einfachheit der Ausführung wegen des Aufwandes für die Ausführung und den Unterhalt als die günstigste beurteilt. Im Folgenden werden die massgebenden Charakteristiken beschrieben. Die tonige Deckschicht verhält sich in Anbetracht des beschränkten Verdichtungseinsatzes und hinsichtlich der Einwirkungen des Verkehrs günstig. Dies betrifft auch die Resistenz gegenüber durchdrehenden Rädern von startenden Fahrzeugen.

Für die Ausführung ist ein Kiessand 0/20 oder 0/25 mit einem erhöhten Feinanteil zu verwenden. Im Fall von Strassen mit einem grossen Längsgefälle ist für das Bankett ein grosses Quergefälle festzulegen. Damit können Ausschwemmungen bei Starkregen verhindert werden.

Der betriebliche Unterhalt ist insofern einfach, als dass örtliche Schäden lokal mit einem geringen Materialersatz und mit wenig Aufwand instand gesetzt werden können. Grundlagen zur Ausführung und zum Unterhalt von Oberbauten mit tonigen Deckschichten finden sich in der Norm SN 640 744, Verkehrsflächen mit ungebundener Bauweise, Ausführung und Erhaltung [19].

9.3 Beschränkt dichte Bankette

Bei den beschränkt dichten Banketten handelt es sich um Ausführungen mit einer zementstabilisierten Deckschicht. Sie weist eine beschränkte Durchlässigkeit auf. Diese wird möglicherweise durch Kolmatieren der Oberfläche herabgesetzt. Erfahrungen mit Deckschichten aus stabilisiertem Material speziell auf Transportpisten liegen vor, jedoch nicht im Fall von Banketten. Dabei ist zu berücksichtigen, dass eine Verdichtung nur beschränkt möglich ist. Es ist jedoch davon auszugehen, dass sich die Deckschichten bezüglich der Einwirkungen des Verkehrs günstig verhalten. Das Gleiche gilt auch hinsichtlich des Aufwandes für die Ausführung und den Unterhalt.

9.4 Wasserdurchlässige Bankette

9.4.1 Erfahrungen

Es bestehen keine langfristigen Erfahrungen zum Einsatz von Banketten mit durchlässigen Oberbauten. Eine Ausnahme sind Rasengitterelemente, die sich bezüglich der Einwirkungen des Verkehrs positiv verhalten. Die durchlässigen Bankette sind in allen Fällen bewachsen. Da diese fast ausnahmslos für die Ableitung des Abwassers in den Bodenfilter eine Abdichtung benötigen, ist der für den Bestand eines Bewuchses notwendige Wasserhaushalt nicht gewährleistet. Der Bewuchs eines Banketts ist bereits bei günstigen Verhältnissen einem extremen Stress ausgesetzt. Bankette sind generell Trockenstandorte mit extremen Veränderungen von nassem und trockenem Boden sowie generell ungünstigen Klimaverhältnissen. Sie sind im Weiteren auch salzhaltigem Abwasser ausgesetzt, das den Bewuchs nachhaltig schwächt. Grundlagen zur Ausführung und zum Unterhalt von wasserdurchlässigen Oberbauten finden sich in der Norm SN 640 744 [19].

9.4.2 Bankette mit Kiesrasen

Kiesrasen bestehen aus Kiessand I, der zusammen mit einer Startdüngung angesät wird. In einem Zeitraum von wenigen Monaten findet eine Durchwurzelung der Deck- bzw. Fundationsschicht statt, die eine erhebliche Bewehrung bewirkt. Der Standard bezüglich der Trag- und der Strapazierfähigkeit eines Banketts mit einer tonigen Deckschicht wird jedoch nicht erreicht. Die Ausführung von Kiesrasen sowie die Grünpflege sind ausserordentlich kostengünstig. Kiesrasen sind zudem in einem erheblichen Ausmass resistent hinsichtlich Kolmatierens. Zum Einsatz von Kiesrasen auf Banketten liegen keine Erfahrungen vor.

9.4.3 Oberbau mit Kiesrasen mit Gitterrosten

Kiesrasen mit Gitterrosten werden analog zum Kiesrasen ausgeführt. Zusätzlich wird jedoch ein Gitterrost eingebaut. Dieser bewirkt neben der Durchwurzelung eine sehr wirksame Bewehrung. Kiesrasen mit Gitterrosten weisen eine hohe Tragfähigkeit und Strapazierfähigkeit auf. Die Kosten für die Ausführung sind vergleichsweise hoch. Der Aufwand für die Grünpflege ist gering. Bei Instandsetzungsarbeiten kann der Gitterrost mit wenig Aufwand entfernt und wieder verwendet werden. Erfahrungen mit Kiesrasen mit Gitterrosten auf Banketten liegen nicht vor. Es ist jedoch davon auszugehen, dass sie die betrieblichen Anforderungen erfüllen. Ein wesentlicher Vorteil von Kiesrasen mit Gitterrosten gegenüber Oberbauten mit Rasengitterelementen besteht darin, dass die Resistenz hinsichtlich Kolmatierens eher grösser ist.

9.4.4 Rasengitterelemente

Rasengitterelemente werden auf Banketten von Hochleistungsstrassen in Deutschland eingesetzt. Ein Einsatz ist in der Schweiz an Hauptverkehrsstrassen mit geringer Breite an wenigen Strecken realisiert. Bankette mit Rasengitterelementen weisen eine erhebliche verkehrsbezogene Trag- und Strapazierfähigkeit auf. Die Kosten für die Erstellung sind vergleichsweise hoch. Sie liegen etwa auf dem gleichen Niveau wie Kiesrasen mit Gitterrosten. Der Aufwand für die Grünpflege ist je nach Ausführung unterschiedlich. Das Gleiche gilt für Erneuerungen. Die Ausführung von Flächen mit Rasengitterelementen bedingt eine grosse Sorgfalt. Dies betrifft sowohl das niveaugleiche Verlegen auf eine gleichmässig tragfähige Foundationsschicht als auch das Auffüllen der Hohlräume.

Gemäss der Norm SN 640 744 [19] wird ein Oberboden/Sandgemisch im Verhältnis 1:1 bis 1:3 eingefüllt. Untersuchungen zur Optimierung der Mischung sind nicht bekannt. Ungeeignete Füllungen von Rasengitterelementen haben die Neigung zum Kolmatieren.

9.5 Normalausführung

Basierend auf dem Beschrieb der Charakteristiken der verschiedenen Ausführungen steht der Oberbau mit einer tonigen Deckschicht im Vordergrund.

Die wasserdurchlässigen Schichten benötigen zur Ableitung des Strassenabwassers in den Bodenfilter auf der Böschung oder in einen Seitenstreifen der Strasse eine Abdichtung. Diese schränkt die Entwicklung des Bewuchses massgeblich ein. Der Einsatz von bewachsenen Oberbauten wird mit Bezug zum Gewässerschutz deshalb generell ausgeschlossen. Der Einsatz von Rasengitterelementen ist an Stellen mit hohen Anforderungen seitens des Verkehrs zu prüfen.

Hinsichtlich der Verwendung von zementstabilisierten Deckschichten auf Banketten fehlen für einen Einsatz Informationen zur Ausführung und zur Eignung. Basierend auf dem aktuellen Wissensstand wird vorgeschlagen, den Oberbau mit toniger Deckschicht als Standardausführung in die Norm SN 640 354 [3] aufzunehmen.

9.6 Bankette und Randstreifen im Normalprofil

Drei typische Bankette mit Bodenfilter sind in den Bildern 28, 29 und 30 dargestellt. Dabei handelt es sich um schematische Darstellungen. Die Profile der Randstreifen im ebenen Gelände und im Einschnitt weisen Drainagen auf, die vielfach nicht notwendig sind. Bei einer umfassenderen Erfassung der Ausführungen von Banketten stellt man fest, dass die Vielfalt ausserordentlich gross ist. So kann der Randstreifen u.a. die folgenden Ausführungen aufweisen:

- Mulden-Rigolen-System
- Bodenfilter und eine dichte Rigole zum Ableiten des Wassers bei Regenereignissen mit einem grossen Volumen zum Schutz von Fluren und Bauten
- Hohe Böschung mit einem Oberbodenstreifen
- Bewachsener Spitzgraben
- Horizontaler Sickerstreifen

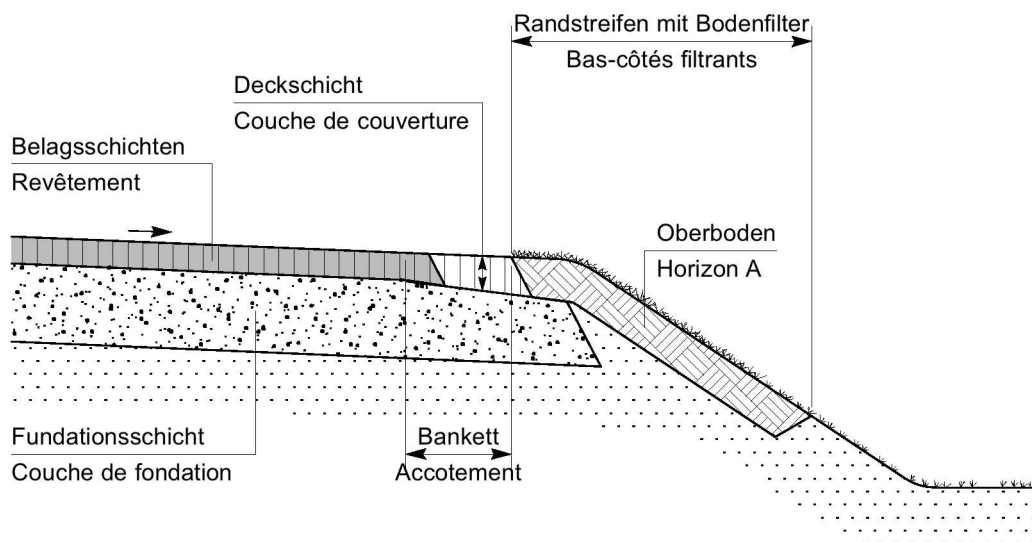


Bild 28: Bankett und Randstreifen mit Bodenfilter und Böschung

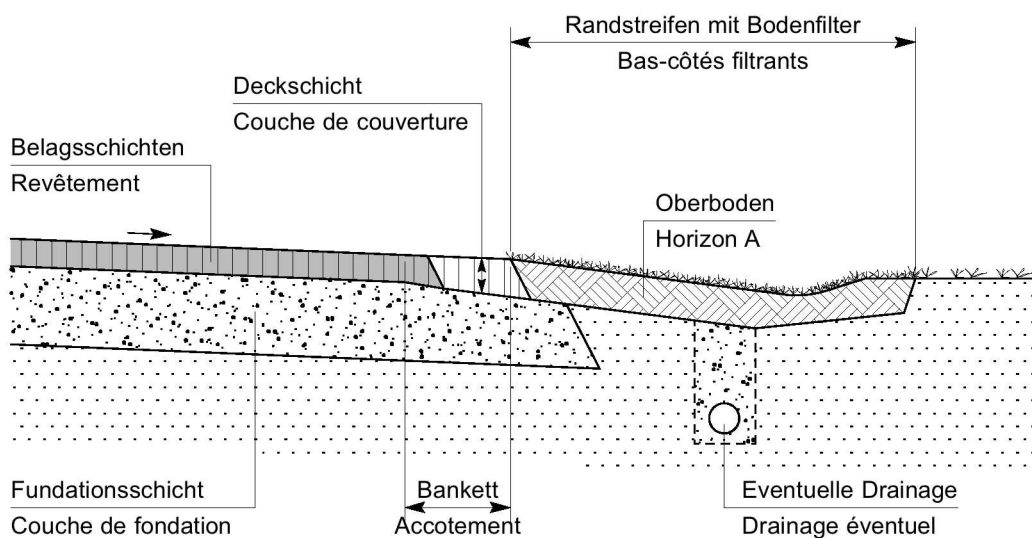


Bild 29: Bankett und Randstreifen mit Bodenfilter in ebenem Gelände

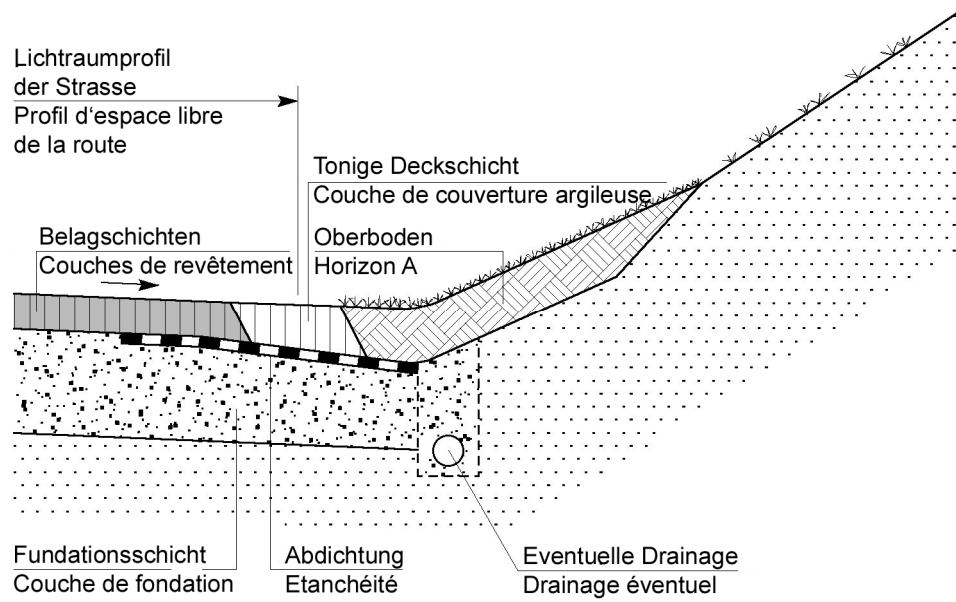


Bild 30: Bankett und Randstreifen im Einschnitt

10. Oberbau Bankett

10.1 Bankett mit toniger Deckschicht

Angaben zur Ausführung von tonigen Deckschichten finden sich in der Norm SN 640 744 [19]. Mit Bezug zu den Deckschichten bei der Entwässerung über das Bankett sind die folgenden Regeln zu beachten :

- Tonige Deckschichten dürfen nicht aus einer Mischung von Kiessand und Ton bestehen. Es ist tonhaltiges Material aus einer Grube zu verwenden.
- Die Deckschichten haben im Hinblick auf die Wasserdichtheit einen vergleichsweise hohen Tongehalt aufzuweisen.
- Es ist Kiessandmaterial mit einem hohen Verfestigungsvermögen - dem sogenannten puzzolanischen Verhalten - zu verwenden.
- Die Dicke der Deckschicht ist gleich wie die gesamte Dicke der bituminösen Schichten bzw. des Betonbelags.

10.2 Bankett mit zementstabilisierter Deckschicht

Zur Ausführung von Banketten mit zementstabilisiertem Material besteht keine Erfahrung. Angaben zur Ausführung finden sich in den massgebenden Normen. Die Anforderungen gemäss den Normen können bei Banketten nicht erreicht werden. Dies betrifft insbesondere die Verdichtung.

10.3 Bankett mit Kiesrasen

Grundlagen zur Ausführung von Kiesrasen finden sich in der Norm SN 640 744 [19]. Der Kiesrasen besteht ausschliesslich aus Kiessand I. Beimengungen wie beispielsweise Oberboden haben nachteilige Folgen.

10.4 Bankett mit Deckschicht aus Rasengitterelementen

Angaben zur Ausführung von Oberboden mit Rasengitterelementen finden sich in der Norm SN 640 744 [19]. Bei der Ausführung auf Banketten ist Folgendes zu beachten:

- Rasengitterelemente werden nur in Fällen mit einem häufigen Befahren des Banketts bei Strassen mit geringer Fahrbahnbreite sowie bei Abzweigungen in Knoten eingesetzt. Dies bedingt den Einsatz von Elementen mit einem vergleichsweise grossen Gewicht und einer Dicke von min. 0,12 m.
- Grosse Beachtung ist der Auffüllung mit einer Mischung von Sand und Oberboden mit einem sehr geringen Anteil von Ton zu schenken. Untersuchungen zur Optimierung der Verfüllung von Rasengitterelementen sind keine bekannt. Die Mischungen werden von den Tiefbau- und Gartenbauunternehmern sehr unterschiedlich gewählt. Angaben dazu finden sich unter Ziffer 9.4.4.

11. Bodenfilter

11.1 Aufbau

Bodenfilter von Filterbecken werden allgemein mit Schichten von Ober- und Unterboden ausgeführt. Der Unterboden dient dabei als zusätzliche Sperre zur Verhütung der Infiltration von Schadstoffen in den Untergrund. Die Praxis zeigt jedoch, dass es schwierig ist, Unterboden so einzubauen, dass die Schicht als Filter wirksam ist. Aus diesem Grund wird im Normalfall auf den Einsatz von Unterboden bei der Entwässerung über das Bankett allgemein verzichtet. Es ist dabei zu beachten, dass bei der Entwässerung über das Bankett die Filterflächen vielfach grösser sind als bei einem Retentionsfilterbecken gemäss der Wegleitung des BUWAL [1].

11.2 Massgebende Grundlagen

11.2.1 Leitfaden Umwelt Nr. 10, Bodenschutz beim Bauen

Diese Wegleitung des Bundesamtes für Umwelt [24] behandelt umfassend alle Charakteristiken von Ober- und Unterboden und das Vorgehen bei der Beurteilung des Bodens, den Abtrag, eine allfällige Zwischenlagerung, den Auftrag sowie den Unterhalt. Sie liefert Unterlagen zum Dokumentieren der Bodeneigenschaften sowie der Schritte bei der Ausführung.

Das Dokument ist grundsätzlich auf die Wiederherstellung von Boden für die landwirtschaftliche Nutzung ausgerichtet. Es ist nach dem aktuellen Wissensstand davon auszugehen, dass keine erheblichen Unterschiede hinsichtlich der Gewährleistung der Bodenfruchtbarkeit und der Filterwirkung bestehen.

11.2.2 FSK-Rekultivierungsrichtlinie

Das Dokument des Schweizerischen Fachverbandes für Sand und Kies, Richtlinie für den fachgerechten Umgang mit Böden [22], ist eine ebenfalls praxisorientierte Anleitung zur Behandlung von Ober- und Unterboden bei der Erstellung von Bodenfilter. Die FSK-Richtlinie enthält keine Widersprüche zum Leitfaden [24]. Sie weist jedoch insofern eine Differenz auf, als dass in der FSK-Richtlinie eine Zwischenbegrünung des Unterbodens verlangt wird, wenn dieser in einer Zwischendeponie gelagert worden ist. Sie bewirkt die notwendige biologische Aktivierung des Unterbodens, die für die Erhaltung der Bodenstruktur von grosser Bedeutung ist. Die Wirkungsdauer der Zwischenbegrünung beträgt je nach Dauer 6 - 12 Monate. Während dieser Zeit ist der Unterboden mangels eines Schutzes durch eine Oberbodenschicht speziell an steileren Böschungen gefährdet.

Zum Aufbau von Bodenfiltern sollte möglichst kein zwischengelagerter Unterboden verwendet werden. Es wird in keiner der massgebenden Anleitungen zum Bodenschutz eine Zwischenbegrünung gefordert. In Anbetracht der beschränkten Belüftung des Unterbodens sind jedoch möglichst alle Massnahmen zur Revitalisierung zu ergreifen. Die Zwischenbegrünung ist dabei eine wichtige Vorkehrung. Die Problematik der Zwischenbegrünung ist der lang dauernde Arbeitsunterbruch, der im Strassenbau vielfach aus Gründen des Bauablaufs kaum tragbar ist. Ebenso problematisch ist der Umstand, dass Unterböden je nach ihrer strukturbezogenen Vulnerabilität durch eine Oberbodenschicht dauernd geschützt werden sollten.

11.2.3 Normen SN 640 561 bis 640 563, Erdbau, Boden

Die nachfolgend aufgeführten Normen enthalten im Wesentlichen die gleichen Informationen zum Bodenschutz beim Bauen wie der bereits genannte Leitfaden des BUWAL [24] und die FSK-Rekultivierungsrichtlinie [22].

- SN 640 581, Grundlagen [15]
- SN 640 582, Erfassung des Ausgangszustandes. Triage des Bodenaushubs [16]
- SN 640 583, Eingriff in den Boden, Zwischenlagerung, Schutzmassnahmen, Wiederherstellung und Abnahme [17]

Die Norm SN 640 582 [16] enthält eine grafische Darstellung zur Wiederherstellung von Boden bzw. zur Herstellung von Bodenfiltern. In der Norm SN 640 583 finden sich übersichtliche Listen zum Ablauf der Ausführung sowie ein Formular zur Werkabnahme von Bodenfiltern.

11.3 Dicke der Schichten

11.3.1 Oberboden

Die Dicke der Oberbodenschicht wird in der Norm SN 640 354 [3] mit 0,25 m vorgeschlagen. Zusätzlich wird darauf hingewiesen, dass im Fall von Oberbodentypen mit einer geringen Empfindlichkeit hinsichtlich des Verdichtens eine Dicke von 0,30 m vorzusehen ist. Das Mass von 0,25 m scheint eher klein. Es ergibt sich jedoch daraus, dass gestörter Oberboden mit einer grösseren Dicke im Hinblick auf die Belüftung ungünstig ist. Eine beschränkte Belüftung behindert die Revitalisierung des beim Abbau, beim Transport und beim Anlegen gestörten Bodens.

11.3.2 Unterboden

In den Ausnahmefällen, bei denen Unterboden in den Filter eingebaut wird, muss die Dicke ebenfalls wegen der risikobehafteten Bodenbelüftung auf eine vergleichsweise geringe Dicke von 0,20 bis 0,40 m beschränkt werden.

11.4 Charakteristiken von Oberbodenschichten

11.4.1 Grundlagen

Bei der Beschaffung von Oberboden ist primär die zu erwartende Filterwirkung und Verdichtungsempfindlichkeit zu beachten. Angaben mit Bezug zur Filterwirkung finden sich in der Tabelle 4 der Wegleitung Gewässerschutz bei der Entwässerung von Verkehrswegen [1] sowie zur Bodenverdichtungsempfindlichkeit im Leitfaden Bodenschutz beim Bauen [24].

| Aufbau | Oberboden (A-Horizont) | |
|---------|------------------------|------------------|
| | Humusgehalt Ho [%] | Tongehalt To [%] |
| Optimal | ≥ 4 | 10 < To < 35 |
| Mittel | ≥ 2 | 10 < To < 35 |
| Minimal | ≥ 2 | 10 < To < 45 |

Tabelle 4: Beurteilung des Aufbaus von natürlichem Oberboden für die Versickerung in Abhängigkeit der wichtigsten Kennwerte gemäss [24].

| Bodentyp | Verdichtungsempfindlichkeit |
|---|-----------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> - Grund- oder hangwassergeprägte, jedoch selten bis zur Oberfläche porengesättigte Böden - Stau-, hang- oder grundwasserbeeinflusste Schluffböden mit mehr als 50 % Schluff und weniger als 10 % Ton | Stark empfindlich |
| <ul style="list-style-type: none"> - Stau-, hang- oder grundwasserbeeinflusste Böden - Schluffböden mit mehr als 50 % Schluff und weniger als 10 % Ton mit ausgeglichenem Wasser- und Lufthaushalt | Normal empfindlich |
| Böden mit ausgeglichenem Luft- und Wasserhaushalt und stabilem Gefüge (ohne Schluffböden mit mehr als 50 % Schluff und weniger als 10 % Ton) | Schwach empfindlich |
| <ul style="list-style-type: none"> - Böden mit Skelettanteil von mehr als 50 % - Kies-/steinreiche Sande, mit weniger als 50 % Schluff und weniger als 10 % Ton | Kaum empfindlich |

Tabelle 5: Beziehungen Bodentyp und Bodenverdichtungsempfindlichkeit gemäss [24]

11.4.2 Anforderungen an den aufzutragenden Oberboden

Zusammenstellung der Kennwerte

Die für die Aufnahme in die Norm SN 640 354 [3] vorgesehenen Kennwerte sind in der Tabelle 6 zusammengestellt.

| Art | Kennwerte |
|----------------------------------|---------------------|
| Tongehalt | > 10% < 25% |
| Siltgehalt (Schluff) | < 50% ¹⁾ |
| Humusgehalt | > 3% |
| Kationenaustauschkapazität (KAK) | > 10 ²⁾ |

Legende: ¹⁾ Herabsetzung bei grösserem Tongehalt

²⁾ Einheit für KAK_{pot} cmol_c·100 g⁻¹ Trockensubstanz

Tabelle 6: Anforderungen an den aufzutragenden Oberboden

Tongehalt

Der Ton mit einer Korngrösse kleiner 0,002 mm weist eine grosse Oberfläche auf und liefert damit einen wichtigen Beitrag zur Filterwirkung. Er vermindert jedoch die Durchlässigkeit. In der Begleitung Gewässerschutz [1] wird ein Tongehalt von 10 - 35% als günstig für die Wirkung als Bodenfilter angegeben. Basierend auf dieser Grundlage wird für die Norm SN 640 354 [3] die untere Grenze des Tongehaltes mit 10% angenommen. Die Richtlinie Bodenschutz beim Bauen geht gemäss der Tabelle in der Begleitung [1] bzw. dem Leitfaden Bodenschutz [24] hinsichtlich der Bodenempfindlichkeit von Anteilen von Ton von 10% aus. Abklärungen bei Experten im Bereich Bodenschutz haben ergeben, dass bei Oberboden, der abgebaut und wieder aufgetragen wird, ein Anteil von Ton von max. 25% zulässig ist. Bei einem hohen Tongehalt ist ein niedrigerer Siltgehalt zulässig.

Der Silt mit einer Korngrösse von 0,002 bis 0,050 mm erhöht das Speichervermögen von Wasser. Damit wird der Wasserhaushalt im Hinblick auf den Bewuchs günstig. Nachteilig ist jedoch bei einem grossen Siltgehalt die herabgesetzte Durchlässigkeit. Im Weiteren fördert ein grosser Siltgehalt das Kolmatieren. Dies ist bei der Entwässerung über das Bankett insofern von Bedeutung, als dass das Strassenabwasser nicht vorbehandelt wird. Die Praxis zeigt andererseits, dass mindestens bei fallenden Böschungen sowie im ebenen Gelände bei gewachsenem Ober- und Unterboden kein Kolmatieren auftritt. Es kann diesbezüglich auch auf die Forschungsarbeit Entwässerung über bestehende Bankette [2] hingewiesen werden. Basierend auf den vorhandenen Grundlagen ist davon auszugehen, dass ein Anteil von Silt grundsätzlich im Fall von ab- und wieder aufgetragenem Oberboden 50% nicht überschritten werden sollte.

Humusgehalt

Humus entsteht durch den Stoffwechsel der Bodenlebewesen. Wenn sich diese ernähren, bauen sie organische Substanzen ab. Der Humus bewirkt die Bildung und Erhaltung eines stabilen Bodengefüges. Er gewährleistet damit den grossen Hohlraumgehalt des Oberbodens sowie das Speichervermögen und die Durchlässigkeit.

Der Humus beteiligt sich zudem an chemischen und physikalischen Vorgängen wie der Bindung von Schadstoffen und liefert einen Beitrag zum Rückhalten von ungelösten und gelösten Schadstoffen. Anzustreben ist ein Anteil von Humus von über 4%. Dabei ist zu beachten, dass sich der Humusgehalt rasch und sehr erheblich ändern kann.

Kationenaustauschkapazität

Die Kationenaustauschkapazität (KAK) beschreibt das Sorptionsvermögen eines Bodens. Ein Boden mit einem KAK-Wert von unter $5 \text{ cmol}_c \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ Trockensubstanz wird als sorptionschwach angesehen. Ein KAK-Wert von $30 \text{ cmol}_c \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ steht für einen extrem sorptionsstarken Boden. Angegeben wird bei Böden von Bodenfiltern die potentielle KAK im Hinblick auf die Sorptionswirkung. Der tatsächliche Wert ist vom pH-Wert des Bodens abhängig.

Angaben zur KAK finden sich auch im Forschungsbericht Bankette bestehender Strassen [2]. Basierend auf der KAK kann geschätzt werden, bis zu welchem Grad die Sorptionskapazität des Bodens bereits ausgenutzt ist. Sie bezieht sich primär auf die Schwermetalle. Im Fall der PAK ist die Bestimmung der Belastung schwierig bzw. nur beschränkt möglich.

11.5 Charakteristiken von Unterbodenschichten

11.5.1 Grundlagen

Im Wesentlichen gelten die Angaben zu den Oberbodenschichten. Gegenüber dem Oberboden hat jedoch die Bodenverdichtungsempfindlichkeit beim Unterboden grundsätzlich eine grössere Bedeutung. Angaben mit Bezug zur Filterwirkung finden sich in der Tabelle 4 in der Wegleitung des BUWAL [1]. Die Anforderungen hinsichtlich des Humusgehaltes sind beim Ober- und beim Unterboden sehr unterschiedlich. Beim Tongehalt besteht lediglich eine geringe Differenz mit $< 45\%$ beim Ober- und $< 35\%$ beim Unterboden bei der Aufbauklasse "minimal". Wie aus der Tabelle 7 hervorgeht, sind beim Unterboden die Anforderungen hinsichtlich des Humus- und Tongehalts bei allen drei Aufbauklassen identisch. Dazu ist jedoch festzustellen, dass die Beurteilungsgrundlagen primär auf bestehende Böden ausgerichtet sind. Soweit es die Empfindlichkeit beim Abtrag, Transport und Auftrag betrifft, finden sich Angaben im Leitfaden Bodenschutz beim Bauen [24].

| Aufbau | Oberboden (A-Horizont) | |
|---------|------------------------|--------------------------------------|
| | Humusgehalt H_o [%] | Tongehalt T_o [%] |
| Optimal | < 1 | $10 < T_u < 35$ sowie $T_u \leq T_o$ |
| Mittel | < 1 | $10 < T_u < 35$ sowie $T_u \leq T_o$ |
| Minimal | < 1 | $10 < T_u < 35$ sowie $T_u \leq T_o$ |

Tabelle 7 : Grundlage zur Beurteilung des Aufbaus von natürlichem Unterboden für die Versickerung in Abhängigkeit der wichtigsten Kennwerte gemäss [1]

11.5.2 Anforderungen an den aufzutragenden Unterboden

Tongehalt

Im Hinblick auf die Bodenverdichtungsempfindlichkeit bzw. die Verhütung von nachhaltigen Schäden am Bodengefüge sollte der Kennwert des Tongehaltes gegenüber dem Oberboden wesentlich kleiner sein. Ein vermutlich eher konservativer Wert von 15% basiert auf der Überlegung, dass eine Bodenverdichtung im Unterboden ohne Abtrag und Ersatz von Ober- und Unterboden nicht saniert werden kann.

Siltgehalt

Die Festlegung des Kennwerts für den Anteil von Silt kleiner als 40% basiert auf den gleichen Überlegungen wie beim Oberboden. Auch hier besteht die Gefahr eines nachhaltigen Gefügeschadens, der u.a. auch die Belüftung des Bodens beeinträchtigt.

Humusgehalt

In Anbetracht der eher geringen Aktivität der Bodenlebewesen im schwächer belüfteten Unterboden bildet sich auch weniger Humus. Basierend auf diesem Umstand wird der vorgeschlagene Kennwert mit 1% angegeben.

Kationenaustauschkapazität

In Anbetracht der Funktion der Unterbodenschicht als ergänzende Sperre unter der primär als Filter wirkenden Oberbodenschicht ist die Kationenaustauschkapazität eher von geringer Bedeutung. Sie wird deshalb in der Norm SN 640 354 [3] nicht festgelegt.

Zwischenbegrünung

Die Ausführung der Zwischenbegrünung ist in der FSK-Rekultivierungsrichtlinie [22] beschrieben. In dieser finden sich Angaben zur Begrünung von Bodenfiltern an Böschungen bzw. Seitenstreifen von Strassen mit Saatmischungen von Pflanzen mit einer kurzen Wachstumsdauer bzw. der Bildung von Wurzelwerk im Saatjahr.

12. Ableitung des Abflusses in den Bodenfilter

12.1 Übersicht Massnahmen

12.1.1 Ableitung bei bindigen Böden

Dämme, die aus bindigem Boden bestehen, werden heute allgemein mit Geräten verdichtet, welche eine sehr weitgehende Wasserundurchlässigkeit bewirken. Wegen des Geräteeinsatzes gilt dies jedoch nur für Bauteile mit einer erheblichen Oberfläche. Auch anstehender bindiger Boden kann so verdichtet werden, dass er wasserdicht ist. Das Strassenabwasser kann somit ohne eine Abdichtung in den Bodenfilter eingeleitet werden.

12.1.2 Ableitung bei nichtbindigen Böden

Die Entwässerung über das Bankett im Fall von Strassen auf nichtbindigen Böden bedingen in jedem Fall eine Abdichtung im Übergang vom Strassenbelag bis unter den Bodenfilter gemäss Bild 31. In speziellen Fällen ist eine Abdichtung auf dem Planum vorzusehen.

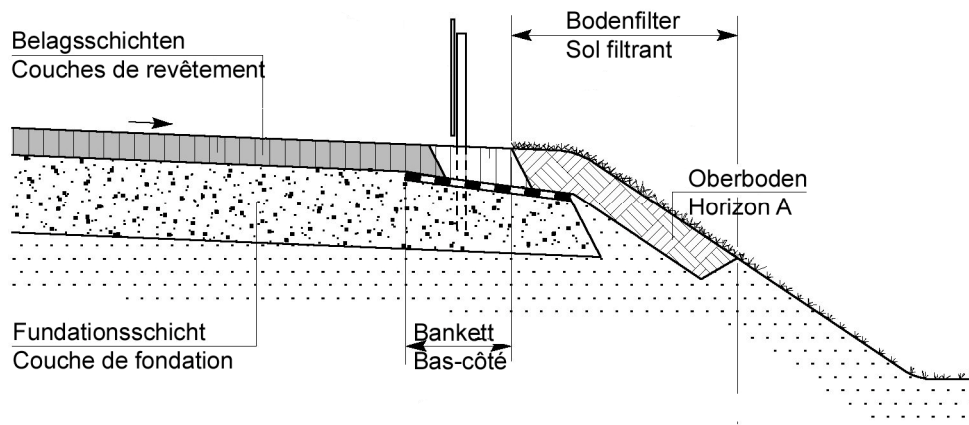


Bild 31 : Massnahme zur Ableitung des Abflusses in den Bodenfilter bei nichtbindigem Untergrund

12.2 Abdichtungen

12.2.1 Anordnung der Abdichtungen

Abdichtung auf der Fundationsschicht

Das zentrale Problem von Abdichtungen im Bereich von Strassenoberbauten liegt bei der Verdichtbarkeit kleinflächiger Schichten. Abdichtungen bedingen generell unter und über den Abdichtungen Schutzmassnahmen wie Geovliese oder Schichten aus Sand. Am zuverlässigsten sind Sandschichten mit einer Dicken von 0,10 m. Diese können jedoch nicht ohne Weiteres in einen Oberbau eingebaut werden.

Abdichtungen auf dem Planum

Im Fall eines Untergrundes oder einer Dammschüttung, die aus nicht bindigem Material besteht, ist der Einsatz einer Abdichtung auf dem Planum zu prüfen. Ist diese notwendig, ist sie situationsbezogen so zu verlegen, dass durch die Fundationsschicht sickernendes Wasser in den Bodenfilter geleitet wird.

12.2.2 Wahl der Abdichtung

Kunststoff-Dichtungsbahnen

Kunststoff-Dichtungsbahnen haben sich beim Abdichten von Banketten und Böschungen in vielen Fällen bewährt. Grundlagen zur Wahl und zum Einsatz finden sich in der Norm SN 564 280 (SIA 280), Kunststoff Dichtungsbahnen [20]. Als Schutz bei Banketten sind Sandschichten kaum praktikabel. Dies bedeutet, dass vielfach Geokunststoffe als Schutz gegen mechanische Einwirkungen eingesetzt werden müssen.

Bitumenhaltige Dichtungsbahnen

Die Bahnen werden verbunden mit integrierten Schutzsystemen zur Verhütung von Beschädigungen durch mechanische Einwirkungen angeboten. Technische Grundlagen finden sich in der Norm SN 564 281 (SIA 281), Bitumenhaltige Dichtungsbahnen.

Bentonitmatten

Bentonitmatten sind in der Schweiz allgemein weniger bekannt als beispielsweise in Deutschland. Dies ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass Normen zu diesen Dichtungsbahnen fehlen. Bentonitmatten sind geosynthetische Tondichtungsbahnen. Sie bestehen aus Geotextilien, die mit Bentonit aufgefüllt sind. Ein Kriterium für deren Anwendung ist die Verlegetiefe im Hinblick auf ein unzulässiges Austrocknen. Die Überdeckung hat mindestens 0,80 m zu betragen.

12.2.3 Schutz gegen mechanische Einwirkungen

Alle Abdichtungen sind gegen mechanische Einwirkungen beim Überdecken zu schützen. Die Vorkehrungen sind auf das Schüttmaterial und den Untergrund auszurichten. Ungünstig ist vor allem kantiges Material. Als Schutz stehen Sandschichten mit einer Dicke bis 0,10 m sowie spezielle Geotextilien zur Auswahl.

13. Schutz bestehender Filterschichten bei der Erneuerung von Strassen

In Anbetracht der Spritzwasserverfrachtung kommt der Erhaltung von Bodenfiltern in Seitenstreifen von Strassen eine dominierende Bedeutung zu, die bis anhin nicht zur Kenntnis genommen wurde. Bei der Planung von Gewässerschutzmassnahmen ist zu beachten, dass bestehende gewachsene Bankette vielfach als Reinigungsanlage eine grössere Wirkung erreichen als Behandlungsanlagen gemäss der Wegleitung Gewässerschutz bei der Entwässerung von Verkehrswegen [1].

Bis heute ist der Erhaltung des gewachsenen Bodens in Seitenstreifen der Strasse kaum eine Bedeutung zugemessen worden. Der Schutz des Seitenstreifens im Hinblick auf den Gewässerschutz ist vielfach die wirksamste und effizienteste Massnahme. In der Norm SN 640 354 [3] wird auf die notwendigen Vorkehrungen mit Bezug zu den Ausführungsvorschriften im Bereich Bodenschutz hingewiesen.

Die Norm SN 640 354 [3] beschreibt die Massnahmen zum Schutz des Bodenfilters mit Bezug zu den Anleitungen zum Schutz des Bodens beim Bauen.

14. Literaturverzeichnis

- [1] BUWAL, Wegleitung Gewässerschutz bei der Entwässerung von Verkehrswegen, Vollzug Umwelt, Bern, 2002
- [2] Boller M., Steiner M., Langbein St., Bankette bestehender Strassen, Dübendorf, 2004
- [3] SN 640 354, Entwässerung über die Bankett (in Vorbereitung)
- [4] SN 640 200a, Geometrisches Normalprofil; Allgemeine Grundsätze, Begriffe und Elemente
- [5] SN 640 340a, Strassenentwässerung; Grundlagen
- [6] SN 640 355, Drainage; Projektierung
- [7] SN 640 361, Strassenentwässerung; Retention und Behandlung
- [8] SN 640 560, Passive Sicherheit im Strassenraum; Grundnorm
- [9] SN 640 561, Passive Sicherheit im Strassenraum; Fahrzeug-Rückhaltesysteme
- [10] SN EN 1317-2, Rückhaltesysteme an Strassen - Teil 2: Leistungsklassen, Abnahmekriterien für Anprallprüfungen und Prüfverfahren für Schutzeinrichtungen
- [11] SN EN 1317-5, Rückhaltesysteme an Strassen - Teil 5: Anforderungen an die Produkte, Konformitätsverfahren und Bescheinigung für Fahrzeugrückhaltesysteme
- [12] SN 640 569, Passive Sicherheit von Tragwerken der Strassenausrüstung
- [13] SN EN 12767, Passive Sicherheit von Tragkonstruktionen für die Strassenausstattung
- [14] SN 640 573, Lärmschutz an Strassen; Bauliche Massnahmen
- [15] SN 640 581a, Erdbau, Boden; Grundlagen
- [16] SN 640 582, Erdbau, Boden; Erfassung des Ausgangszustandes, Triage des Bodenaushubes
- [17] SN 640 583, Erdbau, Boden; Eingriff in den Boden, Zwischenlagerung, Schutzmassnahmen, Wiederherstellung und Abnahme
- [18] SNV 640 585a, Verdichtung; Anforderungen
- [19] SN 640 744, Verkehrsflächen mit ungebundenem Oberbau; Ausführung und Erhaltung
- [20] SN 564 280, SIA 280, Kunststoff-Dichtungsbahnen
- [21] VSA, Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute, Richtlinie zur Versickerung, Retention und Ableitung von Niederschlagswasser in Siedlungsgebieten, Zürich. 2002
- [22] FSK - Schweiz. Fachverband für Sand und Kies, Richtlinien für den fachgerechten Umgang mit Böden, Bern, 2001
- [23] SN 640 562, Passive Sicherheit im Strassenraum, Massnahmen in Siedlungsgebieten
- [24] BUWAL, Bodenschutz beim Bauen, Leitfaden Umwelt Nr. 10, Bern, 2001
- [25] Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Bodenfilter zur Regenwasserbehandlung im Misch- und Trennsystem, Siedlungswasserwirtschaft, Karlsruhe, 2002
- [26] BUWAL, Wegleitung Verwertung von ausgehobenem Boden, Vollzug Umwelt, Bern, 2001
- [27] Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBo), 1. Juli 1998
- [28] BAFU, Wegleitung Grundwasserschutz, Vollzug Umwelt, Bern, 2003
- [29] ASTRA, Richtlinie für Fahrzeugrückhaltesysteme, Bern, 2

! Feuille de couleur verte à insérer en lieu et place de celle-ci !

TABLE DES MATIERES

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 1. | Introduction..... | 60 |
| 1.1 | But et contexte du mandat de recherche | 60 |
| 1.2 | Mandat | 60 |
| 2. | Bases et aspects..... | 61 |
| 2.1 | Bases pour le choix des systèmes d'évacuation des eaux..... | 61 |
| 2.2 | Effet d'épuration | 61 |
| 2.2.1 | Effet du filtre | 61 |
| 2.2.2 | Sels de déverglaçage | 62 |
| 2.3 | Justification de l'application | 63 |
| 2.3.1 | Cas normal | 63 |
| 2.3.2 | Application dans les zones karstiques | 63 |
| 2.3.3 | Système d'évacuation des eaux avec traversées ponctuelles..... | 64 |
| 2.4 | Aspects spéciaux..... | 64 |
| 2.4.1 | Rapports de propriété dans le périmètre de la route | 64 |
| 2.4.2 | Géométrie de la route | 64 |
| 2.4.3 | Évacuation vers la bande verte entre deux voies de circulation | 64 |
| 2.4.4 | Topographie | 65 |
| 2.4.5 | Conditions géologiques et hydrologiques..... | 65 |
| 2.5 | Efficiences | 66 |
| 2.5.1 | Données des directives « Protection des eaux lors de l'évacuation des voies de communication » | 66 |
| 2.5.2 | Répartition globale du dépôt des substances nocives dues au trafic | 66 |
| 2.5.3 | Justification du dépôt des substances nocives dans les eaux et dissémination de l'eau projetée | 68 |
| 2.5.4 | Justification du rendement | 68 |
| 2.6 | Procédure du choix de l'évacuation des eaux selon les instructions « Protection des eaux lors de l'évacuation des eaux des voies de communication » | 69 |
| 2.6.1 | Marche à suivre selon le diagramme pour le choix de la procédure..... | 69 |
| 2.6.2 | Examen de la proportionnalité | 69 |
| 2.6.3 | Diagramme de décision pour l'évacuation des eaux sur l'accotement..... | 70 |
| 3. | Éléments de l'espace routier | 71 |
| 3.1 | Aperçu du profil normal géométrique | 71 |
| 3.2 | Largeur libre supplémentaire comme élément du profil d'espace libre | 72 |
| 3.3 | Accotements (banquettes) | 72 |
| 3.4 | Talus..... | 73 |
| 3.4.1 | Topographie | 73 |
| 3.4.2 | Protection des parcelles contiguës | 75 |
| 3.5 | Protection des propriétés à l'aval | 75 |
| 4. | Exigences posées quant à la technique de construction routière | 76 |
| 4.1 | Portance de la superstructure..... | 76 |
| 4.2 | Résistance de la banquette | 77 |
| 4.3 | Fondation des glissières | 77 |
| 5. | Performance hydraulique et rétention | 78 |
| 5.1 | Circulation, passage de l'eau dans le filtre..... | 78 |
| 5.2 | Colmatage | 78 |
| 6. | Maintenance du sol et protection de la nature | 79 |

| | | |
|------------|--|-----------|
| 6.1 | Protection des sols | 79 |
| 6.2 | Entretien des talus..... | 79 |
| 6.3 | Flore et faune sur les talus..... | 79 |
| 7. | Dimensionnement des surfaces d'infiltration..... | 80 |
| 7.1 | Bases | 80 |
| 7.2 | Intensité des pluies déterminante | 80 |
| 8. | Retenue de l'eau projetée | 81 |
| 8.1 | Efficacité des systèmes de retenue de l'eau projetée | 81 |
| 8.2 | Introduction de systèmes..... | 81 |
| 8.3 | Combinaison eau projetée et système de retenue des véhicules..... | 81 |
| 8.3.1 | Glissières..... | 81 |
| 8.3.2 | Mur de direction..... | 82 |
| 8.3.3 | Bordures..... | 82 |
| 8.4 | Parois | 84 |
| 8.5 | Andains | 84 |
| 8.6 | Haies | 85 |
| 8.7 | Combinaison avec des parois antibruit | 85 |
| 9. | Caractéristiques des accotements..... | 86 |
| 9.1 | Aperçu..... | 86 |
| 9.2 | Accotements étanches avec couche argileuse | 87 |
| 9.3 | Accotements à étanchéité restreinte..... | 87 |
| 9.4 | Accotements perméables | 88 |
| 9.4.1 | Expériences..... | 88 |
| 9.4.2 | Accotements avec gravier-gazon..... | 88 |
| 9.4.3 | Superstructure en gravier-gazon avec des treillis | 88 |
| 9.4.4 | Éléments grilles-gazon | 88 |
| 9.5 | Exécution normale..... | 88 |
| 9.6 | Accotements et bas-côtés dans le profil normal..... | 89 |
| 10. | Superstructure de l'accotement | 91 |
| 10.1 | Accotement avec un revêtement argileux | 91 |
| 10.2 | Accotement avec une couche de couverture stabilisée au ciment | 91 |
| 10.3 | Accotement avec gravier-gazon..... | 91 |
| 10.4 | Accotement avec une couche de couverture en éléments grille-gazon..... | 91 |
| 11. | Sol filtrant..... | 92 |
| 11.1 | Mise en place | 92 |
| 11.2 | Bases déterminantes..... | 92 |
| 11.2.1 | Manuel Environnement N° 10, Protection des sols et génie civil..... | 92 |
| 11.2.2 | Directives ASG pour la remise en état des sites | 92 |
| 11.2.3 | Normes SN 640 561 à SN 640 563, Travaux en terre et sols..... | 92 |
| 11.3 | Épaisseur des couches..... | 93 |
| 11.3.1 | Partie supérieure du sol (horizon A)..... | 93 |
| 11.3.2 | Partie inférieure du sol (horizon B)..... | 93 |
| 11.4 | Caractéristiques des parties supérieures du sol (horizon A) | 93 |
| 11.4.1 | Bases | 93 |
| 11.4.2 | Exigences pour la mise en place des horizons A | 94 |
| 11.5 | Caractéristiques des couches de sous-sol..... | 95 |
| 11.5.1 | Bases | 95 |
| 11.5.2 | Exigences pour les horizons B à mettre en place | 96 |

| | | |
|------------|--|------------|
| 12. | Déversement du débit dans le sol filtrant | 97 |
| 12.1 | Aperçu des mesures..... | 97 |
| 12.1.1 | Déversement dans les sols avec cohésion | 97 |
| 12.1.2 | Déversement dans les sols meubles sans cohésion | 97 |
| 12.2 | Étanchéités..... | 97 |
| 12.2.1 | Disposition des étanchéités | 97 |
| 12.2.2 | Choix de l'étanchéité..... | 98 |
| 12.2.3 | Protection contre les actions mécaniques..... | 98 |
| 13. | Protection de couches filtrantes existantes lors de rénovation de routes..... | 99 |
| 14. | Bibliographie..... | 100 |

1. Introduction

1.1 *But et contexte du mandat de recherche*

Le but du mandat de recherche consiste à étudier et régler le problème de l'écoulement et de l'infiltration des eaux de chaussée. Il s'agissait notamment de rassembler toutes les informations résultant de recherches récentes et en cours au sujet de la constitution des bas-côtés, de les compléter par une analyse des réalisations existantes et d'y ajouter des solutions novatrices tout en tenant compte du critère coût/utilité.

Un point important était de préparer les bases techniques et donner des exemples pour la conception et le dimensionnement pratique et hydraulique pour :

- divers types de banquettes, accotements et aménagements latéraux
- les talus et les ouvrages d'infiltration

Une description détaillée est faite dans le cadre du présent rapport de recherche. Elle est réalisée sur la base des documents suivants :

- Intégration des résultats des 2 mandats de recherche en cours (banquettes existantes 2001/202 et nouvelles 2001/203) et en tirer l'essentiel en ce qui concerne la structure des bords de chaussées (stabilité, construction, écoulement des eaux, infiltration, pouvoir épurateur des sols, présence de nappe phréatique, glissières, etc.)
- Application conforme des Instructions 2002 de l'OFEFP
- Indications constructives concernant les diverses réalisations de bas-côtés, types de banquettes, talus, fossés, cuvettes, rigoles

1.2 *Mandat*

L'évacuation des eaux de chaussée sur l'accotement n'a pas, jusqu'à aujourd'hui, fait l'objet d'études spéciales en ce qui concerne leur réalisation et leur construction pratique.

Or les "Instructions" de l'OFEFP 2002 demandent une infiltration par les bas-côtés ou dans des fossés et dépressions le long de la route chaque fois que cela est possible. Les études en cours permettront d'obtenir essentiellement des données sur l'infiltration et l'effet de filtre des bas-côtés. Il s'agit, dans la présente recherche, de traiter les cas pratiques de types d'accotements et de bas-côtés existants ou novateurs (matériaux utilisables, etc) notamment en ce qui concerne leur constitution, leur perméabilité, leur stabilité et la sécurité des banquettes par rapport aux charges de trafic.

L'étude s'étendra aux talus et aux possibilités d'infiltration (cuvettes, tranchées filtrantes et autres types d'ouvrage) et donnera des indications techniques et constructives avec les esquisses nécessaires. L'entretien et les plantations ainsi que les cas inondations et accidents avec déversement de matières / liquides polluants est aussi à traiter. La recherche servira de base principale à l'établissement d'un projet de norme SN 640 354 [3].

2. Bases et aspects

2.1 Bases pour le choix des systèmes d'évacuation des eaux

Des données pour le choix du système d'évacuation des eaux se trouvent dans les "Instructions" de l'Office fédéral de l'environnement [1].

Ce document fixe dans quels cas une évacuation par les bas-côtés est admissible. Il s'agit d'une part de déterminer l'admissibilité d'une infiltration et d'autre part de définir dans quels cas un traitement dans une "installation de traitement" est nécessaire.

Par "installation de traitement" on entend les systèmes (étanches et contrôlables) cuvettes-rigoles, les tranchées filtrantes horizontales, les bassins de rétention-filtration ainsi que toutes des installations avec un déversement par infiltration ou dans un cours d'eau superficiel. Cette réglementation limite l'utilisation de l'évacuation par les bas-côtés.

2.2 Effet d'épuration

2.2.1 Effet du filtre

Le rendement d'épuration de l'évacuation par les bas-côtés est généralement bon, même s'il peut varier selon la situation. Des informations au sujet de l'effet d'épuration se trouvent dans le rapport de recherche « Banquette bestehender Strassen » [2] Bas-côtés des routes existantes. L'efficacité d'épuration des eaux de chaussée pour l'évacuation par les bas-côtés existants sur le tronçon d'essai, avec un trafic journalier moyen (TJM) de 17'000 vhc/j, peut être résumée de la manière suivante :

- Malgré la longue durée de service de la route (50 ans) il ne s'est pas produit de rupture du filtre.
- Les concentrations en HAP se trouvent jusqu'à une profondeur de 0,50 m mais principalement entre 0.05 et 0.30 m (Fig. 1).
- Pour les métaux lourds on peut admettre que la capacité d'absorption du filtre sera épuisée dans plusieurs années jusqu'à plusieurs dizaines d'années (Fig. 2 et 3). Dans le cas du HAP une estimation est plus difficile car les HAP sont moins absorbables.
- La banquette est aujourd'hui encore capable de retenir les métaux lourds et les HAP malgré les charges de pollution importantes à laquelle elle a été soumise.

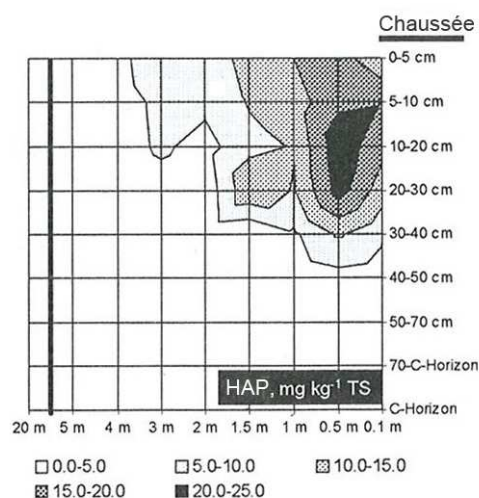


Fig. 1 : Répartition de la concentration en HAP sur les bas-côtés selon [2]

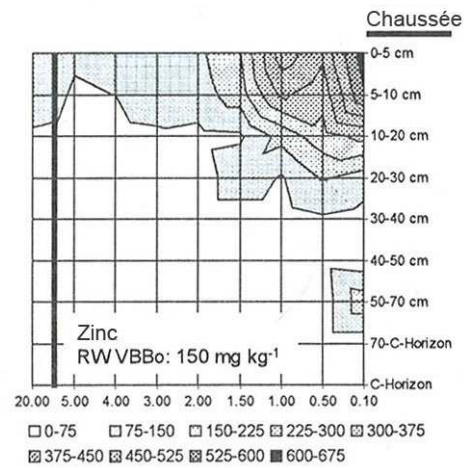


Fig. 2 : Répartition de la concentration en zinc selon [2]

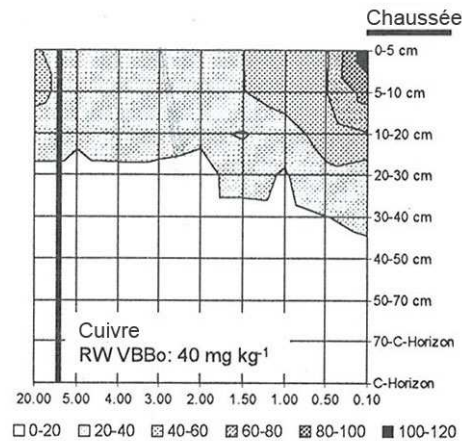


Fig. 3 : Répartition de la concentration du cuivre selon [2]

Les résultats des recherches ont montré que les bas-côtés ont de manière générale une grande efficacité comme installation de traitement des eaux.

A ce sujet, il s'agit de prendre en compte que non seulement les eaux de ruissellement de la route sont traitées mais aussi les eaux projetées. L'efficacité du traitement est ainsi considérablement augmentée.

2.2.2 Sels de déverglage

Plusieurs solutions avec divers types de sels ainsi que des mélanges de sels en poudre sont à disposition pour le déverglage des routes. Ce sont le NaCl, CaCl₂ et MgCl₂.

Ces dernières années, l'épandage de sel a pu être réduit de manière significative grâce au développement des machines à épandre le sel ainsi qu'aux mesures et relevés des données faits lors du service hivernal. Par contre le service hivernal sur les routes et les ponts revêtus d'asphalte drainant nécessite une quantité plus importante de sel de déverglage que pour un revêtement conventionnel. Les sels de déverglage ne sont retenus ni dans les stations d'épuration ni dans le filtre du sol des bas-côtés. Les métaux lourds retenus dans les divers filtres d'installations d'épuration peuvent être remobilisés par l'écoulement d'une solution salée.

2.3 Justification de l'application

2.3.1 Cas normal

Evacuation existante par les bas-côtés

Une évacuation sur l'accotement existante ne devrait être supprimée en aucun cas. Vu le risque minime de déversement de liquides pouvant polluer les eaux, l'évacuation des eaux sur l'accotement est admissible, sauf pour des cas rares, pour des transports intenses de liquides dangereux et aussi pour les routes à grand trafic. Dans des cas particuliers la nécessité d'une modification se basera sur une analyse des risques.

Renouvellement de routes avec une évacuation existante des eaux par les bas-côtés

Pour le renouvellement de routes, les accotements et bas-côtés sont à maintenir et à protéger contre les influences dues aux travaux. À ce sujet, le présent rapport apporte d'autres indications.

Nouvelles routes avec une évacuation des eaux par les bas-côtés

Les couches de sol filtrantes mises en place pour un bas-côté nouveau ont souvent, par rapport à une dépollution des eaux de route, un rendement d'épuration plus faible que celui d'un sol existant. Cela est dû au dérangement de la structure du sol lors de l'excavation, du transport et lors du remblai. Le rendement d'épuration de ces bas-côtés est cependant à peine inférieur à celui des installations de traitement selon les instructions [1]. Le rendement d'épuration est dans tous les cas meilleur que celui des "corps filtrants à circulation horizontale" représentés dans les "Instructions". (1)

2.3.2 Application dans les zones karstiques

Vulnérabilité des eaux souterraines

La directive de l'OFEFP [1] donne les indications suivantes au sujet de la vulnérabilité des eaux souterraines. On peut citer à ce sujet :

"Aquifères karstiques: le sol au-dessus des aquifères karstiques est le plus souvent peu développé.

En l'absence de couches de couverture protectrices étendues, la vulnérabilité des nappes d'eaux souterraines en milieu karstique est donc généralement moyenne à élevée. La vulnérabilité est particulièrement élevée pour les phénomènes karstiques qui présentent une relation directe entre la surface et l'aquifère (par exemple dolines actives)".

Évacuation des eaux sur l'accotement existant

Les routes situées dans les zones karstiques ont un trafic journalier moyen (TJM) situé entre 3000 et 5000 vh/j. La classification selon [1] est ainsi « faible » à « moyenne ». Dans les secteurs de protection et les « autres » secteurs, une évacuation des eaux par les bas-côtés est possible seulement par conditions favorables. L'évacuation par les bas-côtés dans les zones et périmètres de protection est plus difficile à juger. Si l'on tient compte de la fraction d'eau projetée par giclage, une évacuation sur l'accotement peut en général aussi être acceptable dans les zones de protection.

Nouvelles routes avec une évacuation sur l'accotement

Compte tenu de la dispersion de l'eau par giclage, la réalisation optimale, en ce qui concerne la protection des eaux pour une nouvelle route, consiste à mettre en place une couche de sol filtrante pour l'évacuation des eaux par les bas-côtés. Cela est aussi valable dans les zones de protection des eaux.

2.3.3 Système d'évacuation des eaux avec traversées ponctuelles

Pour les routes rurales spécialement, l'eau de ruissellement de la route, souvent collectée côté amont, est récoltée par tronçons dans des conduites traversantes sous la route.

Ce système est rarement utilisé pour les routes principales et de liaison. L'infiltration locale et concentrée à leur arrivée dans le talus peut devenir critique en raison d'une surcharge en substances polluantes.

Compte tenu de la faible fréquence de cette situation ainsi que généralement de la charge de pollution réduite de l'eau due au trafic, ce cas n'est pas traité dans la norme SN 640 354 [3].

2.4 Aspects spéciaux

2.4.1 Rapports de propriété dans le périmètre de la route

L'évacuation des eaux sur l'accotement trouve sa signification en priorité pour les routes en dehors des localités.

Dans le cas des routes à grand trafic, les propriétaires des surfaces contiguës à la route sont les propriétaires de la route (Fig.5).

Par contre le filtre prévu en bordure des routes pour l'infiltration des eaux appartient aux privés et en général aux agriculteurs.

Bien que les parcelles concernées soient, aujourd'hui déjà et en tout cas aussi à l'avenir, contaminées, les nouvelles réalisations d'évacuation des eaux par les bas-côtés vont au-devant de tractations difficiles.

2.4.2 Géométrie de la route

Les routes dont l'évacuation des eaux passe aujourd'hui par des dépotoirs et un système de canalisation ont souvent des dévers (pentes transversales) qui empêchent une évacuation sur l'accotement.

Il s'agit principalement des routes avec une évacuation dirigée vers le bord situé côté amont.

2.4.3 Évacuation vers la bande verte entre deux voies de circulation

Les bandes de verdure conviennent en principe bien à une infiltration. Il s'agit la plupart du temps de routes principales pourvues d'une bande de verdure entre la route et une piste cyclable.

Aujourd'hui dans cette situation, ni la route, ni la piste cyclable n'évacuent leurs eaux vers la bande verte. Une modification des profils normaux et en travers est importante dans la plupart des cas et n'est pas admissible dans les courbes. Une adaptation nécessite par ailleurs un renouvellement de la bande verte qui, dans la plupart des cas, en raison de sa composition n'est pas utilisable comme filtre.

Pour des projets futurs de pistes cyclables, il faudrait examiner dans chaque cas la possibilité d'utiliser les bandes vertes comme surfaces d'infiltration.

Pour des routes existantes avec un dévers vers l'amont, l'évacuation des eaux peut se faire sur l'accotement. L'eau infiltrée doit en général être reprise par un drain et évacuée vers le talus aval à des intervalles raisonnables.



Fig. 4 : Évacuation vers la bande médiane de l'autoroute



Fig. 5 : Évacuation des eaux d'une route à grand trafic vers un fossé végétalisé

2.4.4 Topographie

De hauts talus sont en principe favorables à une évacuation sur l'accotement. La pratique montre cependant que même dans un terrain plat et avec une différence de hauteur limitée entre la chaussée et le bas-côté engazonné, une évacuation par les bas-côtés est possible. Cela est rendu possible en raison de la grande porosité de la couche supérieure du sol (horizon A) qui rend aussi possible un écoulement horizontal lors de pluies avec des volumes importants. Une évacuation par les bas-côtés est souvent aussi possible pour des routes en déblai si la bande latérale est réalisée avec une rigole végétalisée. Un drainage sous la rigole peut aussi être combiné avec l'évacuation des eaux de surface.

2.4.5 Conditions géologiques et hydrologiques

Les conditions géologiques constituent, avec la structure du sol naturel, les bases nécessaires pour déterminer la vulnérabilité des eaux souterraines lors de l'infiltration. Les conditions hydrologiques sont liées avant tout à l'épaisseur de la couche de couverture selon la directive de l'OFEFP [1].

Lors de l'évacuation des eaux par les bas-côtés, les conditions géologiques ont, en pratique et de manière générale une faible importance. Ceci est valable spécialement pour des talus en pente avec une grande hauteur. La largeur des bandes d'infiltration est en général difficilement analysable pour des pluies importantes en volume.

2.5 Efficience

2.5.1 Données des directives « Protection des eaux lors de l'évacuation des voies de communication »

Sous le titre « Infiltration sans installation de traitement » les Instructions 2002 [1] recommandent l'application de l'infiltration par les bas-côtés de la manière suivante :

"Il faut envisager chaque fois que c'est possible l'infiltration dans les bas-côtés. Elle satisfait naturellement de manière optimale aux exigences quantitatives et qualitatives de la protection des eaux.

Il faut assurer que l'infiltration de la pluie déterminante se fasse effectivement dans la bande réservée prévue à cet effet.

En général la place nécessaire est plus faible pour l'infiltration dans les fossés ou dans les dépressions le long de la voie de communication. Pourtant il faut veiller tout particulièrement au risque d'engorgement".

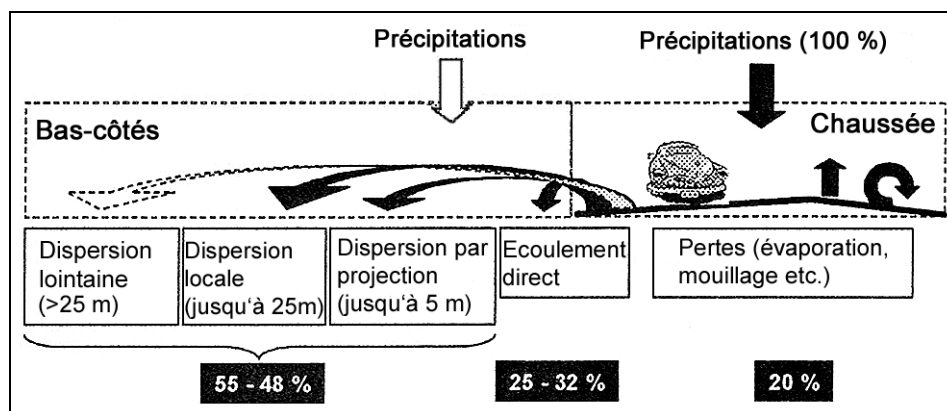


Fig. 6 : Bilan de la répartition par dispersion des précipitations et de l'infiltration [2].

Si l'on considère la citation ci-dessus on devrait classer l'infiltration par les bas-côtés dans les installations de traitement.

Il faut aussi considérer que l'effet d'épuration (purification) de l'eau des routes par les bas-côtés est plus grand que des installations telles que pour des installations comme les « corps filtrants ou rigoles à circulation horizontale » figurant comme « installations de traitement » dans les Instructions [1]. Ce type d'installation a un chemin d'infiltration court à travers le filtre en terre.

2.5.2 Répartition globale du dépôt des substances nocives dues au trafic

Les données qui suivent concernent les routes hors localités. Elles ont un rapport non seulement avec les cours d'eau mais aussi avec la protection du sol. Les conditions spéciales les plus favorables pour la protection des cours d'eau et du sol sont celles où il existe des parois antibruit liées à une épuration des eaux de route. Un aperçu sur la répartition du dépôt des substances nocives sont indiquées dans le tableau 1. Les bases sont données par le rapport de recherche [2].

La citation qui suit donne les indications nécessaires :

« Avant d'aller dans une discussion détaillée des flux des diverses matières, les ordres de grandeur de ces flux sont à estimer :

- Les pluies tombent seulement pendant le 10 % du temps. Les émissions du trafic se déposent donc par temps sec pendant le 90 % du temps. Par temps sec la dissémination locale et diffuse des matières nocives est déterminante.
- Les métaux lourds sont absorbés en grande partie par les particules. Elles se déposent par temps sec en partie sur la route, sont ensuite mobilisées lors d'événement pluvieux suffisamment importants et s'écoulent avec les eaux de route. Ainsi par temps de pluie, on peut considérer en première approximation que la dissémination des matières nocives est liée à l'écoulement et à l'eau projetée.
- La limite inférieure de la part de substances nocives, qui se trouvent dans l'eau projetée et dans l'eau qui s'écoule, comprend ainsi environ 10 % de la charge totale. La limite supérieure est dépendante massivement de la manière dont les particules s'accumulent sur la route en temps sec. Si un tiers de la charge totale est retenu sur la route en temps sec, la limite supérieure peut atteindre le 40 %.»

Dans la citation, il est indiqué qu'il s'agit là d'une répartition grossière des matières déposées. Ceci est également valable pour les données numériques du tableau.

| Répartition des matières polluantes déposées | | Type d'installation et efficacité | | |
|--|------|---|--|--|
| | | Installations techniques 0,95 ² | Filtre en terre 0,90 ^{1 2} | Évacuation ou infiltration dans les bas-côtés 0,80 ² |
| Nettoyage de surface | 10 % | | | |
| Écoulement en bordure de route | 15 % | 0,14 | 0,13 | 0,12 |
| Dissémination par projection | 15 % | | | 0,12 |
| dissipation par le vent | 60 % | | | |
| Efficacité totale | | 0,14 | 0,13 | 0,24 |

Légende : 1. Filtre en terre avec prétraitement
2) Rendement de l'installation

Tableau 1 : Répartition des substances nocives selon le dépôt basée sur les données du rapport de recherche [2]

Les affirmations suivantes ont leur signification malgré leur grande imprécision :

- La part des substances nocives dans les eaux qui s'écoulent est relativement faible par rapport au dépôt global
- La part d'eau polluée dans les eaux projetées est à peu près identique à celle des eaux qui s'écoulent
- La contamination du sol suite à une dispersion par le vent et par l'eau projetée est déterminante dans le cadre d'une analyse globale
- Les rendements des mesures de protection sont en général faibles
- Une efficacité importante sur la protection des eaux et du sol est obtenue si des installations de retenue des projections dues à la convection et à l'eau projetée sont mises en place
- Des influences négatives durables sur les eaux souterraines sont provoquées par la convection et l'eau projetée et ceci **aussi dans les zones de protection des eaux.**

2.5.3 Justification du dépôt des substances nocives dans les eaux et dissémination de l'eau projetée

Les données qui forment la base et la précision des indications selon le chiffre 2.5.4 sont aussi valables pour l'analyse des substances nocives contenue dans les eaux et dans celles disséminées dans l'eau projetée. Le rapport de recherche de Berthoud sert aussi de base [2].

| Répartition des dépôts traités | | Type d'installation et efficacité | | |
|---------------------------------|------|--|---|---|
| | | Installations techniques 0,95 ²⁾ | Filtre en terre 0,90 ¹⁾²⁾ | Evacuation ou infiltration dans les bas-côtés 0,80 ²⁾ |
| Écoulement au bord de la route | 50 % | 0,48 | 0,45 | 0,40 |
| Dissémination de l'eau projetée | 50 % | | | 0,40 |
| Rendement total | | 0,48 | 0,45 | 0,80 |

Légende : 1. Filtre en terre avec prétraitement
2) Rendement de l'installation

Tableau 2 : Niveaux d'efficacité lors de la répartition des substances nocives déposées sur la base des données du rapport de recherche [2].

Les aspects déterminants sont commentés ci-après :

- Si l'on se base sur une estimation grossière, on peut admettre que la part des substances nocives contenue dans les eaux qui s'écoulent et celle des eaux projetées est environ égale.
- Même si on limite la prise en considération du débit d'écoulement et de l'eau projetée, le rendement et l'efficacité des installations techniques et des installations avec un filtre en terre est plus faible que celle de l'infiltration par les bas-côtés.
- Le rendement de l'évacuation des eaux par les bas-côtés est presque deux fois plus grand que celui calculé pour les installations techniques et pour les installations avec filtre en terre aussi longtemps que, pour ce dernier, un système de retenue des eaux projetées n'est pas mis en place. Avec un tel système, l'efficacité est encore améliorée.
- Dans les zones de protection des eaux, si les eaux sont récoltées et canalisées et si le trafic est important, on prévoira si possible un système de retenue des eaux projetées ou une évacuation des eaux par les bas-côtés.

2.5.4 Justification du rendement

L'évacuation des eaux des routes sur l'accotement est souvent plus efficace que les autres alternatives de mesures de protection des eaux. On peut citer les aspects possibles suivants :

- Les banquettes existantes et les talus attenants avec des sols d'horizons A et B sont, par rapport à leur efficacité épurative, souvent supérieurs aux installations de traitement avec des systèmes filtrants
- L'utilisation de banquettes et de talus existants comme installation d'épuration est en général économique.
- Le volume de travail pour l'entretien des surfaces vertes des talus en matériaux bruts (horizon C) est réduit. Dans le cas de talus avec horizon A et B, l'entretien est un multiple. Il est cependant beaucoup plus faible que celui d'une installation de traitement qui normalement comprend encore un système de canalisation.
- L'évacuation par les bas-côtés dans une bande de verdure entre une piste cyclable et une route est aussi économique.

En ce qui concerne une évacuation par les bas-côtés, les aspects suivants sont en général

défavorables :

- Une modification du dévers des chaussées pour un écoulement des eaux vers l'accotement, par exemple par un profil en toit, peut être très coûteuse.
- La construction du filtre en terre, spécialement pour des talus raides et avec horizons A et B est coûteuse.
- Dans les zones et périmètres de protection des eaux, une infiltration et par conséquent une évacuation par les bas-côtés n'est pas admissible. Pour les routes avec un trafic réduit, cette règle peut être assouplie du point de vue écologique.

Dans ce cas il faut considérer que la part d'eau projetée ainsi que la convection ont une importance aussi grande que l'évacuation sur l'accotement. Les matières polluantes retenues dans le filtre des bas-côtés peuvent être, en temps voulu, éliminées. Par contre, celles dues à la convection ainsi que la pollution disséminée par projection ne peuvent, elles, pas être retenues.

2.6 Procédure du choix de l'évacuation des eaux selon les instructions « Protection des eaux lors de l'évacuation des eaux des voies de communication »

2.6.1 Marche à suivre selon le diagramme pour le choix de la procédure

Les instructions OFEV [1] décrivent sous le chiffre 3.2.2 la démarche à suivre pour le choix du mode d'évacuation des eaux. Selon ce chiffre, l'évacuation des eaux de route sur l'accotement est prioritaire. On peut citer le texte suivant :

"Il faut d'abord examiner si les eaux des voies de communication peuvent être infiltrées en surface sur le sol recouvert de végétation de la bande de pollution le long d'une voie de communication.

Si cette infiltration décentralisée n'entre pas en ligne de compte pour des raisons topographiques ou hydrogéologiques, il faut examiner si l'on peut infiltrer au moyen d'une installation centralisée (par ex. dépression ou bassin d'infiltration)".

Dans les chapitres suivants il n'est plus fait mention des **bas-côtés** dans les Instructions. **Elles ne sont en effet plus considérées comme des installations de traitement mais comme une infiltration sans installation de traitement.**

La caractéristique déterminante d'une installation de traitement n'est donc pas liée à son efficacité ou à son rendement mais à son étanchéité et à la présence d'une canalisation jusqu'au point d'infiltration ou bien d'un déversement dans les eaux de surface. Ceci permet la mesure et le contrôle de la concentration des substances polluantes à la sortie de l'installation.

Cette démarche ne conduit en aucun cas et selon le diagramme de décision sous chiffre 3.2.2 des Instructions, à une évacuation sur l'accotement ceci sous réserve de l'examen de proportionnalité par comparaison des variantes.

2.6.2 Examen de la proportionnalité

Les données pour l'examen de la proportionnalité de l'évacuation des eaux se trouvent dans les instructions, chiffre 3.5. Le paragraphe déterminant est cité ci-dessous :

"En cas de doutes fondés quant à la proportionnalité d'une première variante faisable et admissible, il faut examiner d'autres variantes selon le diagramme de décision de la figure 2 et comparer les différentes variantes. L'analyse du rapport coûts/avantages représente un instrument d'appréciation. Cette méthode confronte les avantages d'un mode d'évacuation des eaux avec ses coûts".

Si l'on prend en considération qu'il n'y a pas de données financières à disposition pour les mesures de protection des eaux, une analyse coûts/utilité pour la justification de la

proportionnalité n'est pas possible.

Une analyse de la proportionnalité en vue d'une décision au sujet d'une évacuation des eaux par les bas-côtés est très différente s'il s'agit d'une chaussée à rénover avec une évacuation existante de l'eau sur l'accotement qui doit être maintenue ou s'il s'agit de réaliser une nouvelle banquette avec un sol filtrant.

Pour une banquette existante on aura, après une analyse coût/utilité, un coût nul pour les frais par rapport à une installation de traitement.

Si l'on prend en considération le plus grand rendement de l'évacuation par les bas-côtés et si l'on tient compte du traitement de l'eau projetée hors de la chaussée, la décision penchera dans la plupart des cas en faveur de l'évacuation par les bas-côtés.

L'appréciation de l'efficacité d'une installation de traitement pose souvent problème. Notamment du fait que l'avantage apporté par l'épuration des eaux de route n'est pas monnayable. L'évacuation des eaux de chaussée sur l'accotement pour les nouvelles routes est dans la plupart des cas plus favorable tant du point de vue économique qu'écologique.

2.6.3 Diagramme de décision pour l'évacuation des eaux sur l'accotement

Il est prévu de faire figurer dans la norme SN 640 354 [3] le diagramme de décision selon la figure 7. Le déroulement commence avec la décision prioritaire basée sur les Instructions [1], à savoir si une épuration de l'eau de route est nécessaire ou non. Dans le premier cas, le diagramme fournit une base pour le choix d'une évacuation par les bas-côtés, à l'aide d'une comparaison de variantes dans le cadre de l'examen de proportionnalité.

Dans le deuxième cas, où un traitement n'est pas nécessaire, mais une rétention tout de même nécessaire, on utilisera le diagramme sous chiffre 3.2 des Instructions [1] pour le choix et pour la justification d'une évacuation sur l'accotement.

Avec une évacuation par les bas-côtés, la nécessité d'une installation de rétention n'existe plus. Dans ce cas aussi, il faut tenir compte du fait que l'eau projetée est épurée.

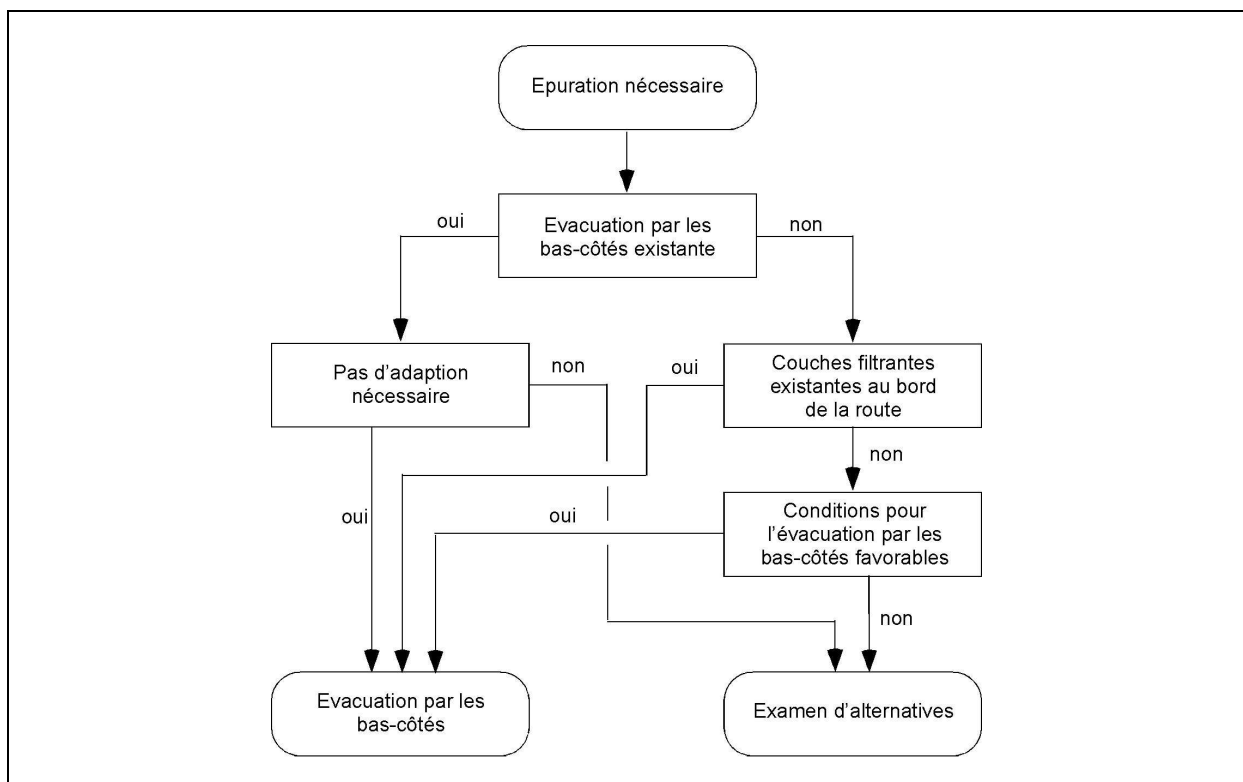


Fig. 7 : Diagramme de décision pour l'évacuation des eaux par les bas-côtés

3. Éléments de l'espace routier

3.1 Aperçu du profil normal géométrique

Les éléments de l'espace routier dans la zone de la banquette et du filtre en terre sont représentés sur la fig. 8. Ils montrent les recouvrements qui sont à prendre en considération lors de l'établissement des projets d'évacuation des eaux sur l'accotement.

Le profil normal géométrique de la fig. 9 est une limitation virtuelle des éléments de l'espace routier qui ne sont pas reconnaissables physiquement sur la route. Une représentation du profil normal avec éléments liée aux dimensions à retenir pour le projet ainsi que les bases pour l'établissement des projets se trouve dans la norme SN 640 200, Profil normal géométrique [4], et ss.

Pour de nombreuses routes existantes, il n'existe pas d'informations pour le profil normal géométrique. Les plans de base contiennent en général des informations orientées vers la réalisation et des données concernant les éléments constructifs. Lors de projets concernant l'évacuation des eaux sur l'accotement pour une nouvelle route ou pour un renouvellement on doit pourtant souvent définir le profil d'espace libre des utilisateurs déterminants ainsi que le profil d'espace libre de la route.

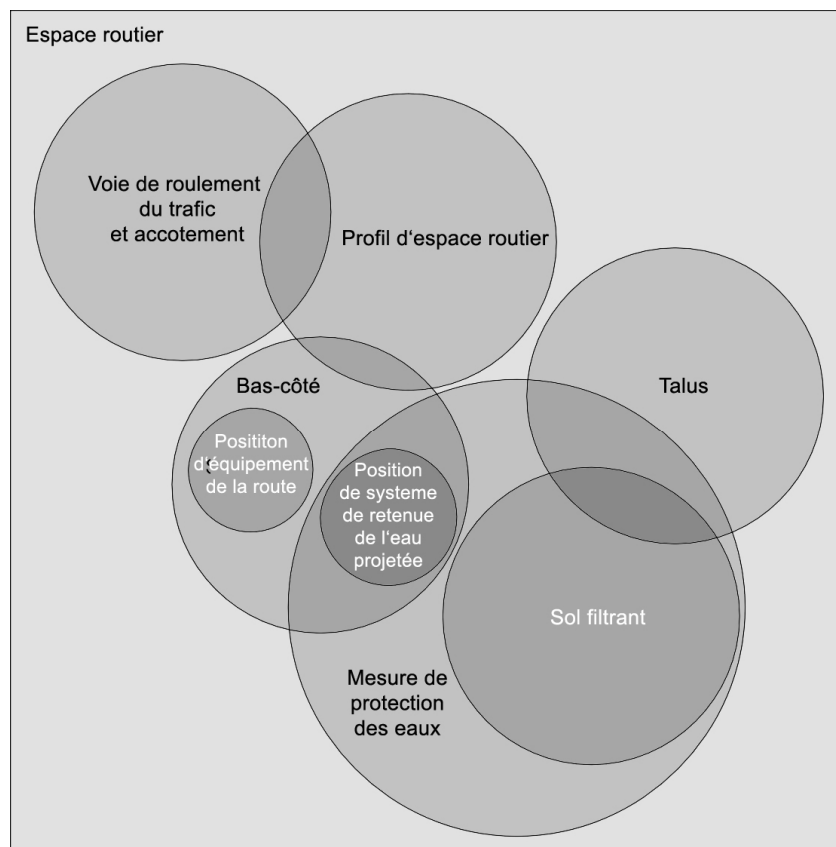


Fig. 8 : Relation entre les éléments de l'espace routier

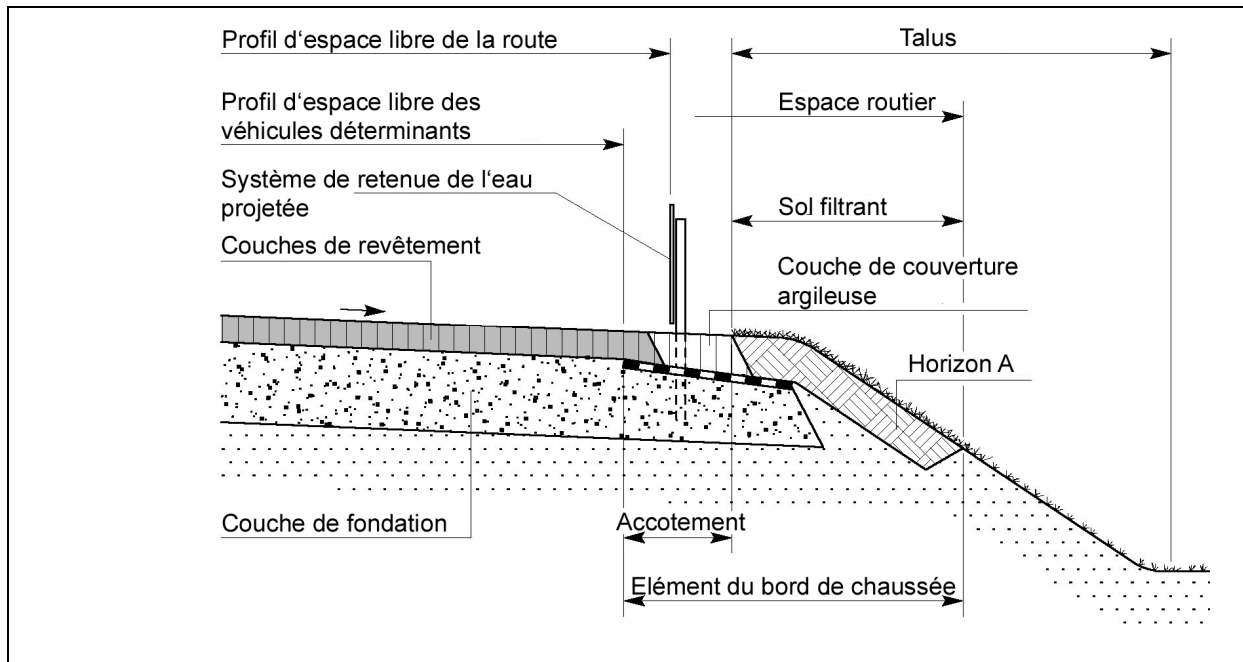


Fig. 9 : Éléments de l'espace routier

3.2 Largeur libre supplémentaire comme élément du profil d'espace libre

Le profil d'espace libre de la route comprend, en plus des voies de circulation une largeur libre supplémentaire. Cette largeur est en liaison avec la sécurité du trafic ainsi que l'exploitation et l'entretien de la route. Les largeurs libres supplémentaires sont fixées dans de nombreuses normes et notamment dans le domaine des équipements de la route.

Pour l'évacuation sur l'accotement, le profil d'espace libre de la route a une signification importante, car il détermine la mise en place des systèmes de retenue pour les véhicules comme les glissières de sécurité et les systèmes de retenue de l'eau projetée.

Dans ce dernier cas, il faut tenir compte du fait que la distance entre la voie de roulement du trafic motorisé et le système de retenue influence de manière importante l'efficacité de la paroi de retenue de l'eau projetée. Il est possible de mettre en place une bordure comme retenue de l'eau au bord de la chaussée utilisée par le trafic motorisé.

Pour une hauteur de la bordure de 0,12 m on ne doit pas prendre en compte la marge de sécurité. L'efficacité des bordures avec une telle hauteur est par contre certainement très réduite. Il faut cependant considérer que la hauteur des bordures devrait être plus élevée dans le cadre de la révision planifiée de la norme SN 640 200 et ss. Avec la nouvelle réglementation, les bordures proches du trafic pourraient être fixées à une hauteur de 0,25 ou 0,30 m. Avec cette disposition, il serait possible de retenir une grande partie de l'eau projetée.

3.3 Accotements (banquettes)

L'accotement est composé d'une bande située le long du bord pourvu de revêtement et est utilisé de manière sporadique par le trafic.

Pour obtenir un écoulement de l'eau de route vers le sol filtrant des bas-côtés, la banquette doit être étanche.

On peut placer des éléments d'équipements de route sur les bandes latérales.

Le filtre en terre longe l'accotement. Sur cette bande carrossable on pourra mettre en place des éléments de l'équipement routier.

De manière générale, les glissières de sécurité et les systèmes de retenue de l'eau projetée ont là une grande importance. Des problèmes se posent lors de la pose des poteaux des glissières qui perforent l'étanchéité.



Fig. 10 : Route avec un accotement en argile (!)

Des données concernant la justification des types de banquettes et pour leur exécution se trouvent au chapitre 8.

3.4 Talus

3.4.1 Topographie

La figure 11 montre un talus avec une pente normale. Une pente du talus est favorable par rapport à l'efficacité de l'installation de traitement. L'évacuation par les bas-côtés peut cependant avoir une bonne efficacité épurative même avec des pentes de talus plus faibles jusqu'à des bandes d'infiltration presque horizontales respectivement des rigoles en pointe ou des fossés végétalisés. Des exemples se trouvent dans les fig. 11 à 15.



Fig. 11 : Route principale avec évacuation des eaux sur le talus



Fig. 12 : Route principale avec évacuation des eaux sur le talus dans des eaux superficielles



Fig. 13 : Route principale avec évacuation des eaux dans un fossé drainant



Fig. 14 : Route principale avec évacuation des eaux dans un fossé



Fig. 15 : Route principale avec évacuation des eaux dans la bande centrale

3.4.2 Protection des parcelles contiguës

Les parcelles contiguës aux routes situées hors localités sont touchées de manière durable par la pollution provenant des eaux de route. Les intérêts des propriétaires concernés ont trait à la protection des sols. L'apport de substances nocives est à peine reconnu et ne fait pas l'objet de réclamations. Par contre un écoulement d'eau avec une formation de mares d'eau est tout de suite perçu. La pratique montre que pour beaucoup de routes avec une évacuation sur l'accotement, il n'y a que rarement des dégâts ou des conflits avec les propriétaires. Des regards d'évacuation avec des conduites d'évacuation sont souvent placés en bas des talus comme sur la fig. 16. Ils ne captent souvent que très peu d'eau.



Fig. 16 : Regard ou cheminée d'évacuation des eaux en pied de talus

3.5 Protection des propriétés à l'aval

Les routes avec une évacuation par les bas-côtés se trouvent généralement en dehors des localités. Cela signifie que le sol utilisé est prioritairement agricole et est touché par l'eau qui s'écoule sur et dans les bas-côtés et les talus.

L'infiltration dans les sols forestiers ne pose en général pas de problèmes étant donné l'importance du volume des pores. Des problèmes apparaissent dans les sols horizontaux constitués de "lehm" en horizon C. Dans ce cas, en principe assez rare, on aménagera en pied de talus des fossés, une rigole ou rigole en pointe végétalisée avec en plus un drainage.

4. Exigences posées quant à la technique de construction routière

4.1 Portance de la superstructure

Les accotements sont à exécuter de manière à ce que leur portance soit assurée. Le passage de la voie de circulation au talus ou à une voie latérale est en général un point faible de la route. Deux exemples sont présentés aux figures 17 et 18. Un glissement de banquettes réalisées sur des digues se produit en fait assez rarement mais surtout à la suite d'ébranlements dus aux engins de compactage ainsi qu'à la suite du roulement de poids lourds sur des routes de faible largeur. Dans le cas de routes principales avec des largeurs normales, on n'a en général pas constaté de dégâts. Les accotements ne sont en général pas réalisés comme filtre. En Suisse et en Allemagne, des banquettes avec des grilles gazon (fig. 19 et 20) sont réalisées dans certains cas pour assurer une portance minimale. Celles-ci ont un effet de filtration de l'eau important mais pas contrôlé.



Fig. 17 : Accotement d'une route principale



Fig. 18 : Dégâts typiques au bord du revêtement



Fig. 19 : Accotement renforcé par des grilles-gazon en Suisse



Fig. 20 : Bas-côtés souvent utilisés et renforcés par des grilles-gazon en Allemagne

4.2 Résistance de la banquette

La capacité de résistance des accotements a une grande signification sauf en ce qui concerne les couches de couverture en asphalte-béton ou en béton. Des données concernant ce type de problèmes se trouvent dans la norme SN 640 744 [19].

4.3 Fondation des glissières

Les poteaux des glissières doivent être enfoncés en général à une profondeur de 1,10 m. La pratique montre que l'encastrement des poteaux est insuffisant dans beaucoup de cas et que les poteaux sont poussés vers l'extérieur par le choc d'un véhicule sans se plier respectivement sans se déformer (fig. 21 et 22). Le système est dans ce cas basculé avec l'élément longitudinal auquel il est fixé.

Dans ce cas la glissière est sans efficacité et ne remplit pas son rôle. Dans les zones où on a une couche d'horizon A ou bien dans le cas de sols graveleux engazonnés, ce problème revient souvent.



Fig. 21 : Glissières avec un encastrement insuffisamment rigide dans une banquette étroite



Fig. 22 : Glissières avec encastrement insuffisant dans le sol

5. Performance hydraulique et rétention

5.1 Circulation, passage de l'eau dans le filtre

Des données concernant la circulation de l'eau dans les sols naturels se trouvent dans le document « Évacuation des eaux pluviales » du VSA [21]. La circulation d'eau dans les horizons A et B est un processus vital. Une part de l'eau est retenue dans les pores de la couche de sol de manière inégale en quantité.

Une part de l'eau qui s'écoule depuis l'accotement s'évapore sur la surface ou par l'intermédiaire des plantes.

Dans le cas de l'évacuation par les bas-côtés, ces phénomènes sont peu importants. Le volume des pores peut être d'environ 50 %. Seuls les grands pores avec un diamètre de 50 µm et pour une part de 10 à 25 % sont actifs. Pour l'évacuation par les bas-côtés, la relation surface filtrante par rapport à la surface de la route est en général plus grande que pour les installations de traitement comprenant un filtre en terre avec un traitement préliminaire. La rétention dans les bas-côtés a ainsi une signification importante.

5.2 Colmatage

Dans le cas d'installation de traitement avec un filtre en terre et un prétraitement, le prétraitement réduit le colmatage du sol. Pour l'évacuation par les bas-côtés il n'y a pas de prétraitement. Dans ce cas, grâce aux micro-organismes et aux plantes, les matières organiques et minérales sont intégrées à la structure du sol. Les performances hydrauliques et les capacités de rétention sont ainsi en principe assurées.

Un colmatage du sol provoque premièrement une diminution de l'aération du sol et en conséquence une activité microbiologique réduite. Les particules de limon et d'argile qui sont entraînées depuis la chaussée et l'accotement sont les principales responsables du colmatage.

5.3 Expériences pratiques

Dans les pays européens et hors localité, on évacue les eaux en général par les bas-côtés. Il s'agit très souvent de filtres mis en place et donc pas naturels. La pratique montre que ces filtres se comportent favorablement eu égard à la rétention et aux performances hydrauliques et même en cas de déficit de l'horizon B ou même pour un sous-sol en matériaux liés. Dans ce cas les "chemins préférentiels" d'infiltration sont très difficilement repérables.

6. Maintenance du sol et protection de la nature

6.1 Protection des sols

Un conflit d'intérêt apparaît souvent entre la protection des sols et celle des eaux. Pour les routes en dehors des localités et lorsqu'il n'existe pas de parois antibruit, de grandes surfaces sont chargées de substances nocives déposées par les eaux de route. À côté de la route, il existe une bande décrite comme une installation qui constitue un élément de la route et peut donc être polluée.

Des questions restent ouvertes en ce qui concerne la conformité juridique de la mise en place des horizons A et B dans les filtres en terre des bassins d'infiltration. En principe selon la loi sur la protection des eaux, la mise en place d'horizons A et B est à limiter à un minimum pour tenir compte des conditions économiques. L'horizon A est souvent décapé lors de constructions de toutes sortes dont les routes et les places sans être réutilisé. Au contraire l'horizon B est souvent mis à disposition.

On peut résumer les conséquences de cette situation ainsi :

- L'étude « Banquettes de routes existantes » [2] montre que la capacité d'absorption des substances nocives sur les accotements est étonnamment grande et la durée jusqu'à la rupture du filtre est plus longue qu'admis habituellement.
- Du point de vue de la protection des sols, les installations techniques de traitement des eaux des routes constituent la variante la plus efficace. Elles ne peuvent cependant pas résoudre le problème de la contamination des bandes latérales le long de la route, conséquence de la dissémination par projection des eaux de route.
- Fondamentalement, les surfaces touchées par la projection des eaux des routes qui ont un TJM important peuvent être réduites à l'aide d'un système de retenue des eaux projetées.
- Pour autant que la faisabilité soit assurée, l'évacuation des eaux par les bas-côtés est à préférer à une épuration dans un bassin filtrant ou un bassin de rétention-filtration.

6.2 Entretien des talus

Durant ces dernières décennies, les talus des routes avec beaucoup de trafic y compris les routes à grand trafic, ont été réalisés sans horizon A. Des économies ont ainsi pu être réalisées lors de la construction et avant tout le travail relatif aux surfaces vertes a été fortement réduit. En plus les glissements fréquents des couches supérieures de terre après des pluies importantes ont pu être éliminés.

L'entretien des talus pour les routes hors localités prend une part importante du temps nécessaire à l'entretien général des routes. Il faut aussi prendre en compte l'entretien des dépotoirs, des canalisations et des installations de traitement. Les comparaisons de coût, faites pour diverses situations, donnent des résultats très différents. Dans tous les cas, il faut tenir compte du volume de travail nécessaire pour l'entretien de la largeur du filtre en terre en faisant attention au critère de la proportionnalité.

6.3 Flore et faune sur les talus

La construction des talus avec le seul horizon C qui ne contient pas ou peu de substances nutritives, impose l'utilisation d'une flore riche qui favorise l'arrivée d'une faune variée. Les soins très sporadiques à donner aux surfaces vertes n'impliquent qu'un dommage réduit à la faune dû au fauchage et ainsi une amélioration des conditions de vie de la faune. Suite à cela les instances cantonales de protection de la nature se sont engagées depuis plusieurs années, de manière durable pour la réalisation de talus sans couche supérieure en terre.

L'évacuation par les bas-côtés à travers des couches de sol engazonnées s'oppose donc maintenant à celle pratiquée en réalisant les bandes latérales sans couche supérieure.

7. Dimensionnement des surfaces d'infiltration

7.1 Bases

Au contraire des filtres en terre faisant partie des bassins de rétention-filtration, les évacuations des eaux par les bas-côtés ne sont pas à dimensionner car les surfaces filtrantes à disposition sont en général assez grandes. Les largeurs des bandes latérales pourvues d'un filtre en terre sont indiquées dans la norme SN 640 354 [3]. Elles dépendent du TJM et sont fixées entre 1,50 m et 2,50 m.

La largeur maximum est d'environ 2,50 m. Pour tenir compte de l'entretien, de l'utilisation de l'horizon A ainsi que pour la protection de la faune et de la flore, les filtres pour l'évacuation des eaux par les bas-côtés sont à fixer de manière raisonnable.

Si l'on a des bandes d'infiltration larges entre les voies de circulation, ces bandes sont à dimensionner comme les filtres en terre des installations d'infiltration.

7.2 Intensité des pluies déterminante

La probabilité de provoquer des dégâts par écoulement de l'eau des routes sur les propriétés situées à l'aval est en principe faible. Les fortes pluies de courte durée ne sont pas significatives en regard au pouvoir de rétention du sol. Ce sont les épisodes de pluie d'une durée de quelques heures qui sont déterminants pour le dimensionnement. Il faut cependant remarquer que contrairement aux filtres des bassins de rétention - filtration, les filtres en terre des bas-côtés sont chargés pour une part importante des eaux projetées.

8. Retenue de l'eau projetée

8.1 Efficacité des systèmes de retenue de l'eau projetée

Avec des systèmes de retenue de l'eau projetée, on peut améliorer l'effet de l'évacuation des eaux sur l'accotement et réduire les investissements. La retenue des eaux projetées permet de mieux utiliser la partie filtrante du bas-côté.

Par rapport à un système d'évacuation des eaux avec une récolte de l'eau dans un système de canalisation, l'efficacité des systèmes de retenue de l'eau projetée est réduite en comparaison avec la mise en place d'une évacuation des eaux par les bas-côtés.

Un système de retenue de l'eau projetée est de manière générale à mettre en place pour une évacuation par les bas-côtés que ce soit pour un profil de route en toit ou à pente unique. Ce système de retenue provoque une concentration souhaitable des substances nocives sur la bande latérale respectivement sur le sol filtrant. Pour une route à dévers unique, le système de retenue prévu au bord supérieur de la route est à réaliser de manière à ce que l'eau retenue parvienne au bord inférieur de la route et soit évacuée sur l'accotement.

8.2 Introduction de systèmes

C'est un fait que, en dehors de situations locales favorables où la nappe phréatique doit être protégée, des systèmes de retenue de l'eau projetée n'existent en Suisse que rarement. Pour atteindre une efficacité importante avec une installation d'épuration, il faudrait mettre en place des systèmes de retenue de l'eau projetée au moins dans les zones et secteurs de protection des eaux.

8.3 Combinaison eau projetée et système de retenue des véhicules

8.3.1 Glissières

Les glissières pourvues d'un profilé supplémentaire ont un haut degré d'efficacité vis-à-vis de la retenue de l'eau projetée et de la convection des particules chargées de pollution. Les murs en béton ont aussi une influence très positive.

Au premier plan on trouve les glissières avec une ouverture sous le profilé ou sous le profil en caisson. Celles-ci se trouvent sur relativement peu de routes. Dans certains cas il s'agit de glissières avec une protection dans la partie inférieure pour les motocyclistes (fig. 23). Ces systèmes sont utilisés très rarement pour la protection des eaux mais pour celles des piétons et des cyclistes contre la projection d'eau.

Des combinaisons de systèmes de retenue de l'eau projetée et de mesures de protection doivent être testées par rapport à leur efficacité comme système de retenue des véhicules.

Les glissières doivent avoir, selon la directive du département fédéral des routes, une hauteur de 0.70 à 1,15 m. Si la distance par rapport à une route sans accotement est aussi réduite que possible, l'efficacité de retenue de l'eau projetée sera très importante.



Fig. 23 : Glissière de sécurité avec profil en caisson LS 150'180u modifiée avec protection contre un passage par-dessous utilisable aussi comme système de retenue des eaux projetées

8.3.2 Mur de direction

Parapets de sécurité en béton

En Suisse, les murs de direction en béton ne sont construits que rarement sur les autoroutes et les routes, sauf sur les ponts. Ils n'ont dès lors que peu de signification comme systèmes de retenue des eaux projetées.

Un avantage particulier du mur de direction réside dans le fait que leur hauteur peut être adaptée aux conditions locales. Dans le cas de murs préfabriqués, il n'existe pas aujourd'hui de systèmes éprouvés avec des hauteurs réduites pouvant être utilisés comme installation de retenue.

Murs de direction en acier

Les murs de direction en acier posés en Suisse se composent en général de 2 éléments longitudinaux avec un espace libre entre deux. Ils ne sont dès lors pas adaptés à une combinaison de systèmes. Le développement d'un système économique avec une hauteur convenable et de nature à respecter la protection de la nature est possible.

Parapets de sécurité en acier

Les parapets de sécurité en acier qui ont une grande hauteur sont souvent composés de deux éléments longitudinaux avec un espace ouvert entre les deux. Cela diminue l'efficacité de retenue par rapport à l'eau. Ces parapets en acier ne sont ainsi pas adaptés pour une combinaison de systèmes. Le développement d'un système économique et intégrable au paysage est cependant envisageable.

8.3.3 Bordures

Pose de bordures

Au contraire de la France, en Suisse il existe peu de bordures posées comme système de retenue des véhicules. Deux exemples se trouvent aux fig. 24 et 25. Les bordures ont en général une hauteur de 0,25 m à 0,30 m. Une disposition de ces bordures proche de la voie de circulation a une efficacité certaine vis-à-vis de la projection des eaux.

La norme SN 640 562 [10] " Sécurité passive dans l'espace routier, mesures en localité", traite des bordures comme système de retenue des véhicules. Pour des vitesses jusqu'à 60 km/h, les bordures de 0.25 à 0,30 m sont efficaces pour les véhicules. Sur les routes principales avec une vitesse de 80 km/h l'efficacité de retenue est considérable mais elle est difficilement appréciable.

Pour les routes à grand trafic, des bordures hautes de moins de 30 cm, ont une efficacité peu importante. En bordure d'une route, pourvue de glissières, la pose de bordures de hauteur $> 0,07$ m n'est pas admissible en raison de leur effet négatif sur le fonctionnement du système.



Fig. 24 : Bordure "en France"



Fig. 25 : Bordure dans une zone de protection des eaux en Suisse, système repris de la France

Disposition des bordures

La disposition des bordures est en relation directe avec le profil d'espace libre de la route. Des données concernant les éléments du profil d'espace libre se trouvent en fig. 30.

Par la suite on commentera la largeur supplémentaire d'espace libre en liaison avec la hauteur des bordures.

Fondamentalement on devrait imposer, pour les routes principales et les routes de liaison pourvues de systèmes de retenue de l'eau projetée, une largeur supplémentaire à côté du profil d'espace libre pour les utilisateurs déterminants selon la norme SN 640 200 [4] de 0,30 m par rapport au bord de la route.

Cette distance est fixée dans la norme SN 640 561 [9] pour les systèmes de retenue des véhicules. Pour prendre en compte l'efficacité supplémentaire obtenue par la pose d'un système de retenue de l'eau projetée directement au bord de la route on pourra renoncer à la distance minimale fixée dans la norme. Ce faisant le confort sera réduit. On pourra cependant disposer une bordure de 0,12 m de hauteur au bord de la route. Comme une bordure de cette hauteur ne constitue plus un obstacle déterminant, une disposition dans le profil d'espace libre ne pose aucun problème.

Le problème de l'efficacité d'une telle bordure comme système de retenue de l'eau projetée reste cependant ouvert.

8.4 Parois

La pose de parois est sensible vis-à-vis de la protection du paysage. Au Danemark on trouve des systèmes de retenue d'eau projetée au bord des routes pour la protection des arbres contre la projection d'eau salée. Ils sont en général en plastique et fixés à des poteaux (fig. 26 et 27). En Suisse des systèmes de ce genre ne sont pas connus.

Il faut cependant admettre que de tels systèmes de retenue ne sont développés que si des prescriptions sont édictées ou bien exigées par les utilisateurs de la route.

Même dans les zones de captage important, il n'y a, à ce jour, une retenue de l'eau projetée que sur un court tronçon.

Le deuxième aspect important de l'introduction de systèmes de retenue de l'eau projetée est la sécurité passive. Pour assurer cette sécurité, la norme SN 640 569 [12], Sécurité passive des ouvrages de l'équipement routier, est à respecter. Fondamentalement, il est possible de développer des systèmes qui répondent aux exigences de la norme citée ci-dessus sans provoquer des coûts importants. Il est plus problématique de répondre à la norme SN EN 12767, Sécurité passive des structures porteuses des équipements routiers [13] car un institut d'accréditation doit surveiller, tester et certifier les essais de collision et la production.



Fig. 26 : Parois de protection entre l'eau projetée avec poteaux et feuilles plastiques au Danemark



Fig. 27 : Parois de protection contre l'eau projetée en bois au Danemark

8.5 Andains

La mise en place d'andains doit être étudiée de manière à ce qu'ils soient acceptables du point de vue du paysage. Des andains bien conçus sont prioritairement fonctionnels. Les andains réalisés en terre, engazonnés et avec une haie arbustive si nécessaire sont favorables.

Les andains ne sont pas des produits du marché et ne sont pas soumis à des contrôles par rapport à la sécurité passive selon une prescription ou une norme.

8.6 Haies

Il faut bien admettre que la pose de systèmes de retenue de l'eau projetée soulèvera des oppositions en raison de la protection du paysage. La plantation de haies pourra dans des cas particuliers réduire la surface arrosée par giclage.

Des expériences existent avec les haies plantées dans les bermes centrales des autoroutes. Les aspects déterminants sont les suivants :

- L'efficacité par rapport à un système « fermé » est réduite. Le degré d'efficacité est difficile à apprécier.
- Le temps nécessaire à une haie pour atteindre une grande « densité » est important.
- La croissance de haies est influencée durablement par les sels de déverglaçage. En plus il y a les turbulences dues au trafic principalement les poids lourds roulant à grande vitesse.
- Les haies peuvent réduire la visibilité.
- Les haies le long des routes réduisent les surfaces utiles pour l'agriculture.
- Le temps nécessaire à l'entretien n'est pas bien connu

8.7 Combinaison avec des parois antibruit

L'efficacité des parois antibruit est très grande dans le cas d'installations d'épuration avec une évacuation des eaux par des canalisations car les eaux projetées ainsi qu'une grande partie des eaux disséminées par le vent sont récoltées. Pour l'évacuation des eaux sur l'accotement, la situation est défavorable tant que les eaux qui s'écoulent depuis la route doivent passer sous la paroi antibruit. Il faudrait pour que cela soit acceptable, développer des passages qui résolvent les problèmes d'acoustique. Ces mesures sont vraisemblablement coûteuses.

9. Caractéristiques des accotements

9.1 Aperçu

L'accotement constitue la partie latérale de la route contre laquelle une bande ou un talus se plaque. L'accotement n'est pourvu en général d'aucun revêtement en bitume ou en béton. Il est cependant construit de manière à ce qu'il soit en état de reporter les charges du trafic de la voie contiguë sur l'infrastructure.

En plus il doit pouvoir être exceptionnellement emprunté par des véhicules. La notion de bas-côté ne comporte pas seulement l'accotement décrit ci-dessus mais aussi les bandes latérales contiguës et les talus avec un filtre en terre engazonné. Par la suite on utilisera sous la désignation « accotement » uniquement l'accotement lui-même sans le talus qui est directement accolé à la route.

En relation avec l'épuration des eaux de chaussée, la réalisation des bas-côtés doit permettre l'écoulement des eaux sur la surface du filtre en terre et dans le talus ou dans la bande latérale filtrante. Cela nécessite des accotements étanches.

On peut fondamentalement distinguer les deux types d'accotement suivants :

Accotements pourvus d'un revêtement étanche

L'accotement avec une couche de roulement argileuse est une solution intéressante. Cet accotement est étanche sans compactage ultérieur. Des variantes avec des revêtements bitumineux ne peuvent pas être compactées suffisamment sur des accotements. En plus, pour avoir une longue durée de vie, un compactage du revêtement dû au trafic fait défaut.

Accotement avec une superstructure perméable

Ce type d'accotement comprend les solutions avec gravier-gazon, gravier-gazon avec éléments grille-gazon.

Dans le cas de talus en sable ou sable-gravier ou encore en présence d'un sous-sol composé de ces matériaux, une étanchéité est à prévoir sur la plateforme avec une liaison au filtre en terre.

Les conditions de réalisation d'une étanchéité sont cependant défavorables. Cela est valable notamment pour les nattes bentonit.

Un aperçu avec une justification grossière se trouve dans le tableau 3.

À ce sujet il faut remarquer que la justification est très générale et qu'elle peut être différente selon les conditions locales.

| Type de banquettes | Résistance au trafic | Résistance à la fatigue de la surface | Écoulement vers le filtre | Exécution | Entretien | Coût pour le cycle de vie |
|---|----------------------|---------------------------------------|---------------------------|-----------|-----------|---------------------------|
| <u>Superstructure étanche</u> Couche de couverture en argile ¹⁾ | + | + | + | + | + | ++ |
| <u>Superstructure à étanchéité limitée</u> Stabilisation au ciment ²⁾ | ++ | ++ | 2) | +/- | + | + |
| <u>Superstructure perméable³⁾</u> Gravier-gazon | +/- | +/- | 2) | + | + | +/- |
| Gravier-gazon avec grilles | ++ | ++ | 2) | +/- | +/- | +/- |
| Éléments grilles-gazon | ++ | ++ | 2) | ++ | +/- | + |

Légende : ++ très favorable + favorable - défavorable

1) Étanchéité pour ses sous-sol non liés nécessaire selon la situation

2) Aucune expérience concernant l'exécution

3) Étanchéité souvent nécessaire. L'étanchéité empêche la retenue d'eau pour les plantations.

Il n'existe pas d'expérience concernant la réalisation

Tableau 3 : Types de banquettes et justification des caractéristiques.

9.2 Accotements étanches avec couche argileuse

Cette exécution est très répandue en Suisse. Elle est, du point de vue exécution et efficacité, semblable à une superstructure avec un revêtement en « groise ». La couche argileuse peut être jugée de manière positive par rapport à tous les critères. La réalisation est, à cause de sa simplicité d'exécution et du coût et de l'entretien qu'elle nécessite, la plus favorable pour toutes les conditions locales. Les caractéristiques déterminantes sont décrites ci-après.

La couche d'argile se comporte favorablement en raison du compactage réduit nécessaire et de sa sensibilité au trafic ; cela est valable aussi pour la résistance au démarrage de véhicules. Pour la réalisation on utilisera un gravier 0/20 ou 0/25 avec une proportion de particules fines augmentée. Lorsque la pente longitudinale de la route est importante, on choisira un dévers élevé de façon à réduire l'érosion par fortes pluies.

L'entretien est simplifié car les dégâts locaux peuvent être réparés avec peu de matériel et un minimum de travail. Des bases concernant la construction et l'entretien de la superstructure avec un revêtement argileux se trouvent dans la norme SN 640 744, surfaces de circulation à superstructure sans liants, réalisation et entretien [19].

9.3 Accotements à étanchéité restreinte

Les accotements à étanchéité réduite sont réalisés avec une couche supérieure stabilisée au ciment, qui a une perméabilité restreinte. Celle-ci est encore réduite par le colmatage de la surface.

Il existe des expériences avec des revêtements en matériaux stabilisés spécialement pour les pistes de transport mais pas pour des banquettes. Il faut considérer qu'un compactage n'est possible dans ce cas, que de manière limitée. On peut admettre que le revêtement aura un comportement favorable par rapport à l'influence du trafic. La réalisation et l'entretien sont aussi relativement simples.

9.4 Accotements perméables

9.4.1 Expériences

Il n'existe aucune expérience de longue durée avec des accotements à superstructure perméable à l'exception des éléments grilles-gazon qui se comportent bien par rapport aux sollicitations du trafic. Les banquettes perméables sont dans tous les cas à engazonner. Comme ces banquettes nécessitent, presque sans exception, une étanchéité pour l'amenée d'eau dans le sol filtrant, un apport d'eau pour le maintien du gazon n'est pas assuré. La végétation sur une banquette est soumise à un stress extrême même par conditions favorables. Les banquettes sont des lieux en général secs mais soumises à des changements importants d'humidité et de sécheresse ainsi qu'à des conditions climatiques défavorables. Elles sont en plus soumises aux aspersion d'eau chargée de sel de déverglaçage qui affaiblissent la végétation. Des bases pour la construction et l'entretien de superstructures perméables se trouvent dans la norme SN 640 744 [19].

9.4.2 Accotements avec gravier-gazon

Le gravier-gazon est composé de gravier I qui est ensemencé dès le début. Dans un intervalle de quelques mois, les racines s'étendent de la superstructure à la couche de fondation et forment une sorte « d'armature ». Pourtant le standard en ce qui concerne la résistance et la capacité de résistance à la fatigue par rapport aux banquettes revêtues d'argile n'est pas atteint. Cette solution est cependant intéressante par rapport au colmatage. Pour la réalisation en gravier-gazon il n'existe pas d'expériences..

9.4.3 Superstructure en gravier-gazon avec des treillis

Le gravier-gazon avec des treillis est réalisé de la même manière que le gravier-gazon. Les treillis sont posés en supplément. Celles-ci forment une « armature » efficace grâce à l'enracinement du gazon. Le gravier-gazon avec des treillis possède une grande portance et résistance à la fatigue. Les coûts de construction sont équivalents à d'autres solutions. Le travail d'entretien des surfaces vertes est réduit. Lors de travaux de maintenance on peut enlever et remettre en place les grilles en peu de temps. Il n'existe pas d'expériences avec des grilles posées sur les banquettes. On peut cependant admettre qu'elles rempliraient les exigences de l'exploitation. Un avantage important du gravier-gazon avec treillis par rapport à la solution des éléments avec des grilles-gazon réside dans le fait que son comportement face au colmatage est meilleur.

9.4.4 Eléments grilles-gazon

Les éléments grille-gazon sont utilisés entre autre en Allemagne pour les banquettes des routes à grand trafic. Une application est réalisée en Suisse pour quelques routes principales qui ont une largeur réduite. Les accotements avec des éléments grilles-gazon ont une résistance au trafic et à la fatigue élevée. Les coûts de construction sont relativement élevés. Ils sont environ au même niveau que le gravier-gazon avec des treillis. L'entretien des zones vertes est différent selon la construction. Il en est de même pour les renouvellements. La réalisation de surfaces avec des éléments grilles-gazon demande un grand soin. Cela concerne aussi bien la pose sur une couche de fondation résistante que le remplissage des vides. Selon la norme SN 640 744 [19] on utilisera pour le remplissage de la couche supérieure un mélange horizon A / sable dans le rapport 1 :1 à 1 : 3. Il n'y a pas, à notre connaissance, de recherches pour une optimisation du mélange. Un remplissage inapproprié des éléments de grille-gazon conduit à un colmatage.

9.5 Exécution normale

Si l'on se base sur la description des caractéristiques des diverses superstructures, une exécution avec une couche supérieure en argile est à retenir en premier lieu.

Les couches perméables nécessitent une étanchéité pour l'écoulement des eaux de route

dans le sol filtrant du talus ou sur une bande latérale de la route. Cela limite le développement de la végétation de manière importante. La mise en place d'une couche de sol engazonnée est ainsi en général exclue. L'introduction d'éléments de grille-gazon est à étudier pour les endroits qui ont de hautes exigences du point de vue du trafic.

En ce qui concerne l'utilisation de couches supérieures stabilisées au ciment il manque des informations pour leur réalisation et pour leur aptitude.

Si l'on se base sur l'état actuel des connaissances, on peut conseiller, comme solution standard, de réaliser la couche supérieure des banquettes avec un revêtement en argile selon la norme SN 640 354 [3].

9.6 Accotements et bas-côtés dans le profil normal

Trois bas-côtés typiques sont représentés dans les fig. 28, 29 et 30.

Il s'agit d'une représentation schématique. Les profils des bas-côtés dans un terrain plat et en déblai sont pourvus de drains qui souvent ne sont pas nécessaires. Les nombreuses réalisations de bas-côtés montrent une très grande diversité de construction. Ainsi on trouve entre autre les réalisations suivantes :

- Cuvettes – rigoles
- Filtre en terre et rigole étanche pour l'évacuation des eaux lors d'évènements pluvieux importants et pour la protection des champs et des constructions
- Talus hauts avec bandes horizon A
- Fossés en pointe végétalisés
- Fossés filtrants horizontaux

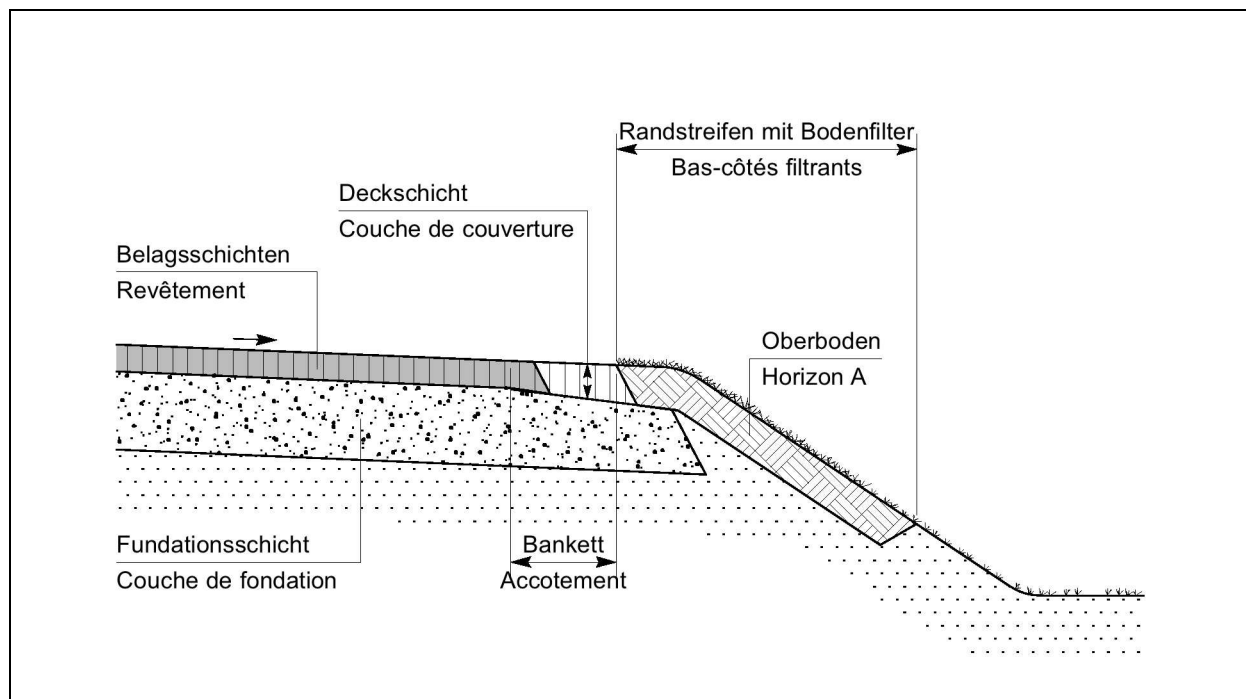


Fig. 28 : Accotement et bas-côtés filtrants et talus

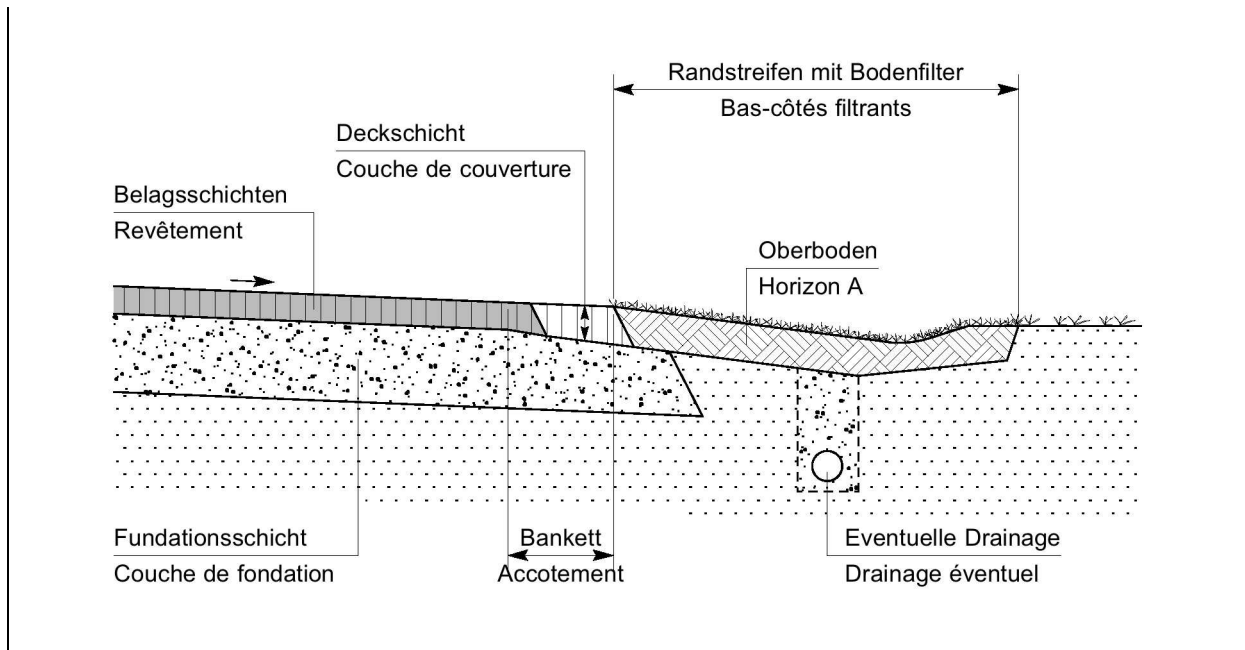


Fig. 29 : Accotement et bas-côtés filtrants en terrain plat

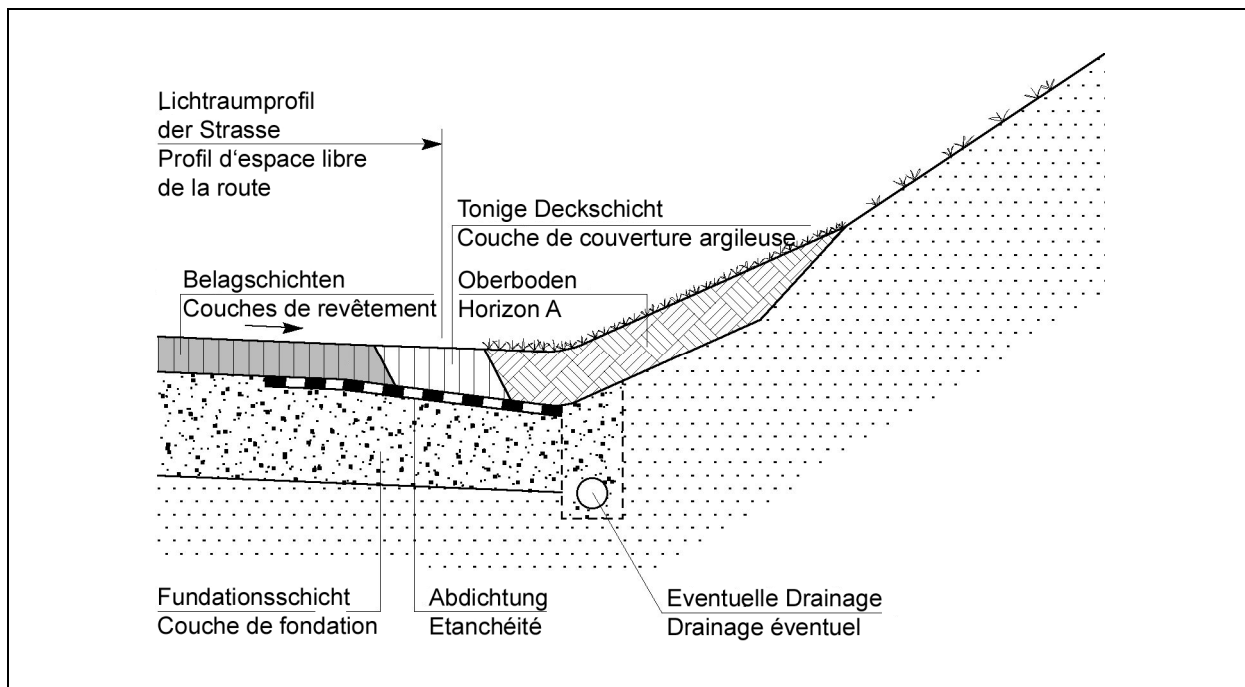


Fig. 30 : Accotement et bas-côtés filtrants en déblais

10. Superstructure de l'accotement

10.1 Accotement avec un revêtement argileux

Des données pour l'exécution de couches superficielles en argile se trouvent dans la norme SN 640 744 [19]. Les règles suivantes sont à respecter en ce qui concerne les couches superficielles pour l'évacuation des eaux par les bas-côtés :

- Les couches supérieures argileuses ne doivent jamais être réalisées en mélangeant du sable et de l'argile. C'est un matériel avec une teneur en argile correcte provenant d'une fouille qui doit être utilisé.
- Les couches supérieures doivent avoir un taux d'argile élevé de façon à obtenir une imperméabilité élevée.
- On utilisera un matériel gravier-sable avec un haut taux de compactibilité. Ce matériel se consolide selon un comportement puzzolanique.
- L'épaisseur de la couche supérieure sur la banquette est égale à celle du revêtement de la route, respectivement du revêtement en béton.

10.2 Accotement avec une couche de couverture stabilisée au ciment

Pour la réalisation de bas-côtés stabilisés au ciment, il n'y a actuellement pas d'expérience. Des données indicatives se trouvent cependant dans les normes appropriées. Les exigences prévues dans les normes peuvent ne pas être atteintes pour les bas-côtés notamment en ce qui concerne le compactage.

10.3 Accotement avec gravier-gazon

Des indications concernant la réalisation des surfaces en gravier-gazon sont décrites dans la norme SN 640 744 [19]. Le gravier-gazon est composé exclusivement de gravier-sable I. Un mélange par exemple avec un horizon A a une influence défavorable.

10.4 Accotement avec une couche de couverture en éléments grille-gazon

Des données pour l'exécution des superstructures avec les éléments grille-gazon se trouvent dans la norme SN 640 744 [19]. On respectera les règles suivantes lors de la réalisation de banquettes :

- Des éléments de grille-gazon seront posés uniquement dans les cas où la banquette est fréquemment utilisée par des véhicules lourds à côté de routes à largeur réduite ainsi que pour des carrefours. Cela nécessite la disposition d'éléments assez lourds et d'une épaisseur de 0.12 m.
- Il faut prêter une grande attention lors du remplissage avec un mélange de sable et horizon A avec une petite partie d'argile. Il n'existe pas de recherches pour l'optimisation du remplissage des éléments grille-gazon. Les mélanges sont réalisés de manières très diverses par les entreprises de génie civil et de jardinage. Des données à ce sujet figurent sous 9.4.4.

11. Sol filtrant

11.1 Mise en place

Les sols filtrants des bassins d'infiltration sont réalisés en général avec des couches d'horizons A et B. L'horizon B sert de barrière supplémentaire à la pénétration des substances nocives dans le sous-sol. La pratique montre cependant qu'il est difficile de mettre en place l'horizon B de manière à ce que la couche soit efficace comme filtre. Pour cette raison on renoncera dans les cas normaux à mettre en place un horizon B pour l'évacuation par les bas-côtés. Il est à remarquer que pour l'évacuation par les bas-côtés, les surfaces d'infiltration sont beaucoup plus grandes que pour les bassins d'infiltration selon les Instructions de l'OFEFP [1].

11.2 Bases déterminantes

11.2.1 Manuel Environnement N° 10, Protection des sols et génie civil

Cette directive de l'Office fédéral de l'environnement [24] traite de manière complète toutes les caractéristiques des horizons A et B ainsi que la marche à suivre pour la désignation du sol, le déblaiement, le dépôt intermédiaire éventuel, le remblayage et l'entretien.

Elle fournit des bases pour la documentation des propriétés des sols et pour les étapes à respecter lors de l'exécution.

Ce document est destiné à la restitution des sols pour une utilisation en agriculture. Il n'y a cependant, selon les connaissances actuelles, pas de différences déterminantes en ce qui concerne les mesures à prendre pour le maintien de la fertilité des sols et leur efficacité de filtration.

11.2.2 Directives ASG pour la remise en état des sites

Ce document de l'Association Suisse des sables et graviers, « Directives pour une manipulation appropriée des sols » [22], est également une base, orientée vers la pratique, pour le traitement des horizons A et B lors de la réalisation de filtres en terre. La directive ASG ne contient aucune contradiction par rapport au manuel [24]. Elle contient cependant une différence en ce sens que la directive ASG demande un engazonnement intermédiaire de l'horizon B lorsque cet horizon a été stocké en dépôt intermédiaire.

Cela nécessite une activation biologique de l'horizon B qui est importante pour l'obtention d'une structure du sol adéquate. La durée de croissance de la végétation est de 6 à 12 mois. Pendant ce temps, l'horizon B est mis en danger notamment au droit des talus intermédiaires en pente en raison du manque de protection.

Pour la réalisation de sols filtrants, il ne faudrait si possible pas déposer l'horizon B en dépôt intermédiaire.

Un engazonnement intermédiaire n'est demandé dans aucun autre des manuels cités. Pour tenir compte de l'aération limitée de l'horizon B, on prendra, si possible, toutes les mesures de revitalisation du sol. Un engazonnement intermédiaire est une mesure importante à cet égard. La problématique de l'engazonnement intermédiaire est qu'il nécessite une longue interruption du travail qui, en construction routière, n'est souvent pas acceptable pour des raisons de délais.

11.2.3 Normes SN 640 561 à SN 640 563, Travaux en terre et sols

Les normes désignées ci-après comprennent pour l'essentiel les mêmes informations pour la protection des sols lors de travaux que dans le manuel déjà cité de l'OFEFP [24] et dans la directive ASG [22].

- SN 640 581, Terrassements, sols Bases [15].
- SN 640 582, Inventaire de l'état initial. Tri des matériaux terreux manipulés [16].
- SN 640 583, emprises et terrassements, entreposage, mesures de protection [17].

La norme SN 640 582 [16] contient une représentation graphique pour la restitution des sols respectivement pour la réalisation de filtres en terre. Dans la norme SN 640 583 on trouve des listes décrivant le déroulement de l'exécution jusqu'à la réception ainsi qu'un formulaire pour la réception de sol reconstitué resp. de filtres en terre.

11.3 Epaisseur des couches

11.3.1 Partie supérieure du sol (horizon A)

L'épaisseur de l'horizon A conseillée dans la norme SN 640 354 [3] est de 0.25 m. En plus, il est indiqué que dans le cas de types d'horizon A qui ont une faible sensibilité au compactage selon les directives déjà citées, il faut prévoir une épaisseur de 0.30 m. L'épaisseur de 0.25 m peut paraître faible. Elle résulte cependant du fait que la revitalisation d'un horizon A remanié d'épaisseur plus grande est mise en danger car l'aération du sol n'est pas assurée. Une aération limitée empêche la revitalisation du sol lors des terrassements, du transport et du remblayage du sol.

11.3.2 Partie inférieure du sol (horizon B)

Pour les cas spéciaux où un horizon B serait mis en place pour le filtre, l'épaisseur devrait être limitée de 0.20 à 0,40 m, également pour éviter un manque d'aération.

11.4 Caractéristiques des parties supérieures du sol (horizon A)

11.4.1 Bases

Lors de la constitution d'un horizon A, il faut en priorité se référer à l'effet de filtration souhaité et à la sensibilité au tassement du sol concerné.

Des données en relation avec l'efficacité de filtration se trouvent dans les Instructions [1], resp. dans le tableau 4 ainsi que dans le manuel "Protection dans la construction" [24] en relation avec la sensibilité au compactage du sol selon la tableau 4.

| Construction | Partie supérieure du sol (horizon A) | |
|--------------|--------------------------------------|----------------------|
| | Teneur en humus [%] | Teneur en argile [%] |
| Optimale | ≤ 4 | 10 < To < 35 |
| Moyenne | ≤ 2 | 10 < To < 35 |
| Minimale | ≤ 2 | 10 < To < 45 |

Tableau 4 : Justification de la constitution de l'horizon A naturel pour l'infiltration en relation avec les valeurs les plus importantes [24].

| Type de sol | Sensibilité du sol au compactage |
|---|----------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> - Sols rarement saturés jusqu'à la surface par les eaux souterraines et nappes suspendues - Sols influencés par une rétention, une nappe suspendue ou une nappe phréatique (avec plus de 50 % de silt et moins de 10 % d'argile) | Fortement sensible |
| <ul style="list-style-type: none"> - Sols influencés par rétention, nappe suspendue ou nappe phréatique - Sols limoneux (avec plus de 50 % de silt et moins de 10 % d'argile avec une teneur en eau et air égale) | Normalement sensible |
| <ul style="list-style-type: none"> - Sols avec teneur en eau et air égale et composition stable (sans sol avec plus de 50 % de silt et moins de 10 % d'argile) | Faiblement sensible |
| <ul style="list-style-type: none"> - Sols avec un squelette de plus de 50 % - Gravier/sable, en pierres avec moins de 50 % de limons et moins de 10 % d'argile | À peine sensible |

Tableau 5 : Correspondances types de sols et sensibilité des sols au compactage selon [24]

11.4.2 Exigences pour la mise en place des horizons A

Récapitulation des caractéristiques

Les valeurs caractéristiques prévues dans la norme SN 640 354 [3] sont récapitulées dans la table 6.

| Types | Valeurs caractéristiques |
|-------------------------------------|--------------------------|
| Teneur en argile | > 10% < 25% |
| Teneur en limons | < 50% ¹⁾ |
| Teneur en humus | > 3% |
| Capacité d'échange cationique (CEC) | > 10 ²⁾ |

¹⁾ Diminution lors de grandes teneurs en argile

²⁾ Unité pour CEC $\text{cmolc} \times 100\text{g}^{-1}$ de substance solide

Tableau 6 : Exigences pour les horizons A mis en place

Teneur en argile

L'argile, avec des grains plus petits que 0,002 mm, possède une grande surface spécifique et constitue un apport important à l'efficacité de filtration. La perméabilité est par contre diminuée. Dans les Instructions [1] une teneur en argile de 10 à 35 % est indiquée comme étant favorable pour l'efficacité du filtre. En se basant sur cette indication, la norme SN 640 354 [3] admet la limite inférieure de la teneur en argile soit 10 %. La directive "Protection des sols dans la construction" admet de manière analogue à la table des Instructions [1] resp. du manuel "Protection des sols" [24] une part de 10 % d'argile pour tenir compte de la sensibilité du sol. Selon les experts dans le domaine de la protection des sols qui ont été consultés, on peut admettre qu'une part de 25 % d'argile est admissible pour les horizons A qui sont prélevés et remis en place. Lorsque la teneur en argile est élevée, on admettra une teneur en limons plus basse.

Le tableau 6 permet de fixer ce qui concerne l'horizon A et B. On admet que l'horizon B est recouvert par l'horizon A.

Le limon dont la grosseur des grains va de 0,002 mm à 0,005 mm élève la capacité de rétention de l'eau. Cette retenue d'eau est favorable pour la végétation. Par contre, une grande teneur en limon diminue la perméabilité et favorise le colmatage. Cela a une

importance lors de l'évacuation des eaux par les bas-côtés lorsque celles-ci n'ont pas subi de prétraitement. La pratique montre par contre que, au moins pour les talus descendants ainsi que pour un terrain plat, lorsque les horizons A et B sont végétalisés, il n'y a pas de colmatage. On peut trouver à ce sujet des renseignements dans le rapport de recherche sur l'évacuation des eaux par les bas-côtés existants [2].

En se basant sur les données qui précèdent on peut admettre qu'une part de 50 % de limons ne doit pas être dépassée dans le cas des horizons A qui ont été creusés et remis en place.

Teneur en humus

L'humus résulte de la décomposition de la matière organique par l'action combinée des animaux, des bactéries et des champignons du sol. Lorsque ceux-ci se nourrissent, ils détruisent les substances organiques. L'humus favorise la parution et le maintien d'une structure de sol stable. Il assure aussi la présence de vides dans l'horizon A ainsi que la capacité de rétention et la perméabilité.

L'humus participe aussi aux processus chimique et physique comme la liaison des substances nocives et intervient pour la retenue de ces substances diluées ou non. On peut admettre une part d'humus supérieure à 3 ou 4 %. Il faut préciser que la teneur en humus peut se modifier rapidement et de manière importante.

Capacité d'échanges en cations

La capacité d'échanges en cations CEC décrit la capacité d'absorption d'un sol. Selon le rapport "Sols filtrants pour le traitement des eaux pluviales dans les systèmes mixtes et séparatifs" [25] une valeur de CEC en dessous de 5 cmolc x 100g-1 de substance solide est à considérer comme faible. Une valeur de 30 cmolc x 100g-1 caractérise un sol très absorbant. C'est la valeur du CEC potentiel qui est donnée. La valeur effective dépend du pH du sol.

Des données sur le CEC se trouvent dans le rapport de recherches "Banquettes de routes existantes" [2]. En se basant sur le CEC on pourra estimer jusqu'à quel point la capacité d'absorption du sol est utilisée. Elle se réfère prioritairement aux métaux lourds. Dans le cas des HAP, la charge de pollution est difficile à déterminer et n'est possible que de manière limitée.

11.5 Caractéristiques des couches de sous-sol

11.5.1 Bases

Pour l'essentiel les données concernant les couches d'horizon B sont les mêmes que pour les horizons A. En comparaison avec l'horizon A, la sensibilité au compactage de l'horizon B a une plus grande signification. Des données par rapport à l'efficacité du filtre se trouvent également dans les Instructions [1]. Le tableau 4 ainsi que le manuel "Protection des sols dans la construction" [24] définit la sensibilité de ces sols lors du terrassement, du transport et de la mise en place.

| Construction | Partie inférieure du sol (B-horizon) | |
|--------------|--------------------------------------|--|
| | Teneur en humus H_u [%] | Teneur en argile T_u [%] |
| Optimale | < 1 | $10 < T_u < 35$ ainsi que $T_u \leq T_o$ |
| Moyenne | < 1 | $10 < T_u < 35$ ainsi $T_u \leq T_o$ |
| Minimale | < 1 | $10 < T_u < 35$ ainsi que $T_u \leq T_o$ |

Tableau 7 Bases pour la réalisation d'un horizon B naturel pour l'infiltration en comparaison avec les caractéristiques les plus importantes [1]

11.5.2 Exigences pour les horizons B à mettre en place

Teneur en argile

Par rapport à la sensibilité du sol de compactage, resp. pour éviter des dégâts ultérieurs à la structure du sol, la teneur en argile de l'horizon B devrait être plus faible que celle de l'horizon A.

Une valeur, vraisemblablement conservatrice de 15 % est basée sur le raisonnement qu'un compactage trop important de l'horizon B ne peut pas être assaini sans creusage et remplacement des horizons A et B.

Teneur en silt

La détermination de la valeur de la part de silt plus petite que 40 % est basée sur les mêmes réflexions que pour l'horizon A. Ici aussi, le danger existe de créer un dégât durable de la structure du sol, qui influera aussi l'aération du sol. Cela est spécialement critique pour l'horizon B.

Teneur en humus

Au regard de l'activité réduite de la vie dans les horizons B faiblement aérés, il se forme moins d'humus. La valeur proposée de 1 % est basée sur ce fait.

Capacité d'échange cationique

Par rapport à la fonction de l'horizon B comme barrière supplémentaire sous l'horizon A qui est en priorité un filtre, la capacité d'échange cationique est de moindre importance. C'est pourquoi elle n'est pas définie par une valeur dans la norme SN 640 354 [3].

Engazonnement intermédiaire

La réalisation d'un engazonnement intermédiaire est décrite dans la directive ASG [22] pour la remise en état des sites. Ce document contient des données concernant la végétalisation des filtres pour les talus, les bandes latérales filtrantes de routes avec des mélanges de semences de plantes qui ont une courte durée de croissance respectivement avec la formation de racines dans le courant de l'année où à lieu l'ensemencement.

12. Déversement du débit dans le sol filtrant

12.1 Aperçu des mesures

12.1.1 Déversement dans les sols avec cohésion

Les digues, qui sont constituées de sols avec cohésion, sont en général compactées avec des machines qui provoquent une grande imperméabilité de la digue. Cela n'est cependant valable que pour des éléments de construction qui ont une grande surface. Un sol proche peut aussi être compacté de manière à ce qu'il devienne étanche. Pour des bas-côtés avec des talus en pente. L'eau peut aussi être dirigée de l'accotement vers le filtre sans qu'une étanchéité ne soit mise en place. Pour des bas-côtés dans un terrain plat, une étanchéité devra, dans certains cas, être mise en place de façon à assurer le passage de l'eau à travers le sol filtrant.

12.1.2 Déversement dans les sols meubles sans cohésion

L'évacuation des eaux par les bas-côtés dans le cas de routes sur des sols meubles nécessite dans tous les cas une étanchéité pour la liaison depuis le revêtement routier jusque sous le filtre selon la fig. 31. Dans des cas spéciaux, l'étanchéité est à prolonger jusque dans le talus ou éventuellement sur la plateforme.

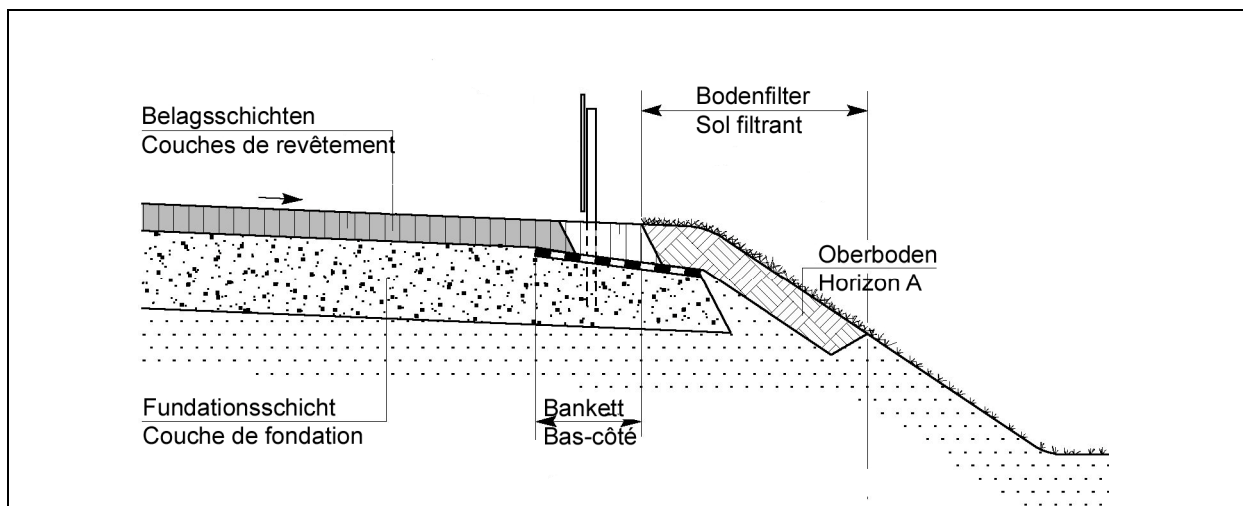


Fig. 31 : Mesures pour le déversement du débit dans le filtre pour des sols meubles et un talus en pente

12.2 Étanchéités

12.2.1 Disposition des étanchéités

Étanchéité sur la couche de fondation

Le problème central des étanchéités dans la zone de la superstructure de la route réside dans le fait de devoir compacter des petites surfaces. Les étanchéités nécessitent en général la pose d'une protection en géotextile ou couches de sable sous et sur l'étanchéité. Le plus sûr est une couche de sable de 10 cm d'épaisseur. Celle-ci ne peut pourtant pas sans autre être mise en place sans autre.

Étanchéités sur la plateforme

Dans le cas d'un sol de fondation ou d'un remblai qui sont constitués de matériaux sans cohésion ou meubles, il est nécessaire d'envisager la pose d'une étanchéité. Si celle-ci est nécessaire, elle sera disposée de façon à ce que l'eau s'écoulant à travers la couche de fondation soit conduite vers le sol filtrant.

12.2.2 Choix de l'étanchéité

Lès d'étanchéité en matière synthétique

Les lès d'étanchéité en matière synthétique ont fait leur preuve dans de nombreux cas pour l'étanchement de banquettes et de talus. Des bases pour le choix et l'utilisation se trouvent dans la norme SN 564 280 (SIA 280) [20]. Comme protection des accotements, des couches de sable sont à peine utilisables. Cela signifie que les géotextiles doivent souvent être utilisés en multicouches comme protection contre les effets mécaniques.

Nattes d'étanchéité au bitume

Les nattes sont liées à un système de protection de façon à éviter des dégâts dus aux engins de chantier. Des données techniques se trouvent dans la norme SN 564 281 (SIA 281), Nattes d'étanchéité contenant du bitume.

Nattes bentonit

Les nattes bentonit sont généralement moins connues en Suisse qu'en Allemagne ou en France.

Ceci est vraisemblablement dû au fait que des normes suisses sur ces nattes n'existent pas.

Les nattes bentonit sont des étanchéités synthétiques remplies d'argile fin (bentonit). Un critère déterminant pour leur utilisation est la profondeur de pose car leur fonctionnement est lié à la nécessité d'éviter un assèchement des nattes. Pour maintenir leur efficacité, les nattes sont à poser à une profondeur de 0.80 m au minimum.

12.2.3 Protection contre les actions mécaniques

Toutes les étanchéités sont à protéger contre les actions mécaniques. L'attention doit être portée sur le matériel de remblai et sur le sol de fondation. Des matériaux avec des arêtes coupantes sont défavorables. Comme protection on utilisera une couche de sable d'une épaisseur de 10 cm ainsi que des géotextiles spéciaux.

13. Protection de couches filtrantes existantes lors de rénovation de routes

Le maintien des filtres présents en bordure de route est à recommander. Il faut considérer, lors de la planification de mesures de protection des eaux, que des banquettes engazonnées existantes ont une efficacité bien plus grande qu'une installation de traitement au sens des Instructions [1].

Jusqu'à aujourd'hui, le maintien du sol en place en bordure de route n'avait presque aucune signification. La bande latérale filtrante en terre permet de protéger les eaux. Elle est la plus efficace. Dans la norme SN 640 354 [3], les indications nécessaires concernant les mesures à prendre pour une réalisation selon les règles sont données.

La norme SN 640 354 [3] décrit les mesures nécessaires à prendre pour protéger le filtre en terre en relation avec les prescriptions de réalisation dans le domaine de la protection des sols.

14. Bibliographie

- [1] OFEFP Instructions, intitulées "Protection des eaux lors de l'évacuation des eaux des voies de communication", Berne, 2002
- [2] Boller M., Steiner M., Langbein St., Bas-côtés des routes existantes, Dübendorf, 2004
- [3] SN 640 354, Évacuation des eaux de chaussées sur l'accotement
- [4] SN 640 200a, Profil géométrique type, principes généraux, définitions et éléments
- [5] SN 640 340a, Évacuation des eaux de chaussées, bases
- [6] SN 640 355, Drainage ; études des projets
- [7] SN 640 361, Evacuation des eaux de chaussées, rétention et traitement
- [8] SN 640 560, Sécurité passive dans l'espace routier, norme de base
- [9] SN 640 561, Sécurité passive dans l'espace routier, dispositifs de retenue de véhicules
- [10] SN EN 1317-2, Systèmes de retenue sur les routes - Partie 2: classes de performance, critères d'acceptation de protection et méthodes d'essai
- [11] SN EN 1317-5, Systèmes de retenue sur les routes - Partie 5: Exigences en matière de produit, des procédures de conformité et de certification de systèmes de retenue des véhicules
- [12] SN 640 569, Sécurité passive des structures porteuses des équipements routiers
- [13] SN EN 12767, Sécurité passive des structures porteuses
- [14] SN 640 573, Protection contre le bruit du trafic routier, mesures de construction
- [15] SN 640 581a, Terrassement, sol; bases
- [16] SN 640 582, Terrassement, sol; inventaire de l'état initial, tri des matériaux terreux manipulés
- [17] SN 640 583, Terrassement, sol; emprises et terrassements, entreposage, mesures de protection, remise en place et restitution
- [18] SNV 640 585a, Compactage, exigences
- [19] SN 640 744, Surfaces de circulation à superstructure sans liants; exécution et entretien
- [20] SN 564 280, SIA 280, Lès d'étanchéité en matière synthétique
- [21] VSA, Évacuation des eaux pluviales, VSA, Association suisse des professionnels et des eaux, 2002
- [22] ASG – Association suisse des professionnels des sables et de graviers, Directives pour une manipulation appropriée des sols, Berne, 2001
- [23] SN 640 562, Sécurité passive dans l'espace routier, mesures pour les zones habitées
- [24] L'OFEFP, la protection des sols dans la construction, guide de l'environnement n °10, Berne, 2001
- [25] Landesamt pour la protection de l'environnement du Bade-Wurtemberg, sol filtrant pour le traitement des eaux pluviales dans les réseaux unitaires et séparatifs, assainissement urbain, Karlsruhe, 2002
- [26] OFEFP, Instructions. Evacuation et utilisation de matériaux terreux, Berne 2001
- [27] Ordonnance sur les atteintes apportées aux sols (Osol), 1 juillet 1998
- [28] OFEV, Guide de protection des eaux souterraines, Berne, 2003
- [29] OFROU, Lignes directrices pour les systèmes de retenue, Berne, 2005

! Feuille de couleur verte à insérer en lieu et place de celle-ci !



RECHERCHE EN MATIERE DE ROUTES DU DETEC

ARAMIS RPT

Formulaire N° 3 : Clôture du projet

établi / modifié le:

27.11.2008

Données de base

Projet N°:

VSS 2004/203

Titre du projet:

Evacuation des eaux par les bas-côtés

Echéance effective:

12.2008

Chef de projet

Nom:

JOBIN

Prénom:

Michel

Service ou entreprise:

M. Jobin SA, ingénieurs EPF-SIA

Rue et N°:

24-Septembre 11

NPA:

2800

Email:

m.jobin@jobin-ing-sa.ch

Lieu:

Delémont

Téléphone:

032 422 43 03

Canton, pays:

Jura / Suisse

Fax:

032 422 98 59

Textes:

Résumé des résultats du projet:

Le mandat de recherche a permis de définir les bases importantes comme l'étude de l'effet du filtre selon la conception des bas-côtés par rapport aux métaux lourds, aux hydrocarbures aromatiques polycyclique (HAP) et aux sels de déverglaçage, de préciser la notion de vulnérabilité des eaux souterraines, de traiter des aspects spéciaux (problèmes de propriété du sol, géométrie de la route, topographie, géologie, hydrogéologie), d'estimer le rendement d'épuration du traitement des eaux de chaussées par les bas-côtés du filtre en terre, de décrire en détail la procédure de choix de l'évacuation des eaux par les bas-côtés.

La recherche s'est aussi penchée sur les problèmes posés par l'espace routier, la technique routière, l'hydraulique du filtre en terre et la réalisation des banquettes.

Enfin le rapport analyse les problèmes de conception et d'exécution des bas-côtés et notamment des accotements et des talus (sols filtrants, horizons A et B, portance, colmatage du sol filtrant, systèmes de retenue de l'eau projetée, étanchéité des accotements, efficacité d'absorption).

Les principaux résultats sont :

- Les bas-côtés peuvent être conçus avec des accotements étanches ou avec une superstructure perméable. Leur portance doit être suffisante.
- Les accotements avec couche de roulement étanche proposés sont pourvus d'une couche argileuse



ou avec revêtement stabilisé au ciment (étanchéité restreinte).

- Les accotements perméables envisageables sont ceux pourvus de gravier-gazon, gravier-gazon avec grilles, éléments grille-gazon.
- Une exécution avec une couche de roulement en argile est préconisée en priorité en raison de son étanchéité et de sa portance.
- La réalisation de la couche en argile doit être faite avec le plus grand soin (pas de mélange sable-argile, respect des proportions, etc.).
- Pour le sol filtrant constituant principalement les talus, l'épaisseur conseillée pour l'horizon A est de 0.25 m à 0.30 m. Un horizon B n'est pas à mettre en place systématiquement étant donné les grandes difficultés de fourniture et de mise en place.
- Les étanchéités à poser dans le cas où celle-ci sont nécessaires (accotement perméable, etc.) doivent conduire l'eau vers le sol filtrant du talus.
- Le cas de la rénovation de routes existantes est décrit dans le rapport.

Finalement, il est à remarquer qu'une infiltration par les bas-côtés de la chaussée est très intéressante du point de vue du rendement d'épuration, des coûts, de l'entretien.

Atteinte des objectifs:

Les résultats décrits ci-dessus montrent que les objectifs fixés ont été atteints notamment :

- régler le problème de l'infiltration des eaux de chaussée dans un sol filtrant.
- traiter de la conception et de l'exécution des bas-côtés (accotements et talus) et des autres ouvrages d'infiltration.

Déductions et recommandations:

Les recommandations issues de la recherche figurent sous "Résumé des résultats du projet"

Les éléments suivants sont aussi à prendre en considération :

- La teneur en humus optimale est importante.
- Le prélèvement et la remise en place des sols doit être faite avec le plus grand soin.
- Pour les routes existantes, les sols filtrants en place sont à maintenir dans toute la mesure du possible.

Publications:

Le rapport de recherche peut être distribué aux planificateurs et aux autorités de surveillance. Il donne des indications techniques et pratiques pour tout ce qui concerne la constitution de bas-côtés filtrants nouveaux ou existants.

La norme VSS 640 354 "Evacuation par les bas-côtés" a été établie sur la base de la recherche 2004/203.

Appréciation de la commission de suivi:

Cette appréciation de la commission de suivi remplace l'ancienne évaluation technique détachée.

Evaluation:

La recherche a permis d'étudier tous les aspects de l'évacuation des eaux de chaussées par les bas-côtés y compris les problèmes de dépollution des eaux infiltrées. L'étude est complète et a permis l'établissement de la norme VSS 640 354 "Evacuation par les bas-côtés"

Mise en oeuvre:

Sur la base des points décrits ci-dessus, la commission d'experts VSS 2.07 constate que les objectifs sont entièrement atteints.

Elle propose l'acceptation du rapport de recherche et sa publication.

Besoin supplémentaire en matière de recherche :

Il n'y a pas de besoins supplémentaires en matière de recherche si ce n'est qu'il serait intéressant de suivre l'évolution des expériences faites dans les différents cantons et communes en ce qui concerne la constitution du sol filtrant de l'accotement et notamment sa teneur en argile optimale.

Influence sur les normes:

La norme VSS 640 354 "Evacuation par les bas-côtés" a été établie. Elle est actuellement en consultation auprès de la commission FK2.

Président de la commission de suivi:

| | | | |
|-------------------------|-------------------------------|-----------|--------------------|
| Nom: | Rauch | Prénom: | Peter |
| Service ou entreprise : | Sennhauser, Werner & Rauch AG | | |
| Rue et N°: | Schöneeggstrasse 30 | | |
| NPA: | 8953 | Email: | Peter.rauch@swr.ch |
| Lieu: | Dietikon | Téléphone | 043 500 45 45 |
| Canton, pays: | ZH ,/ Schweiz | Fax: | 043 500 45 01 |

Signature du président de la commission de suivi:

