



Couches liées à froid avec liants hydrauliques et/ou bitumineux – Approche théorique

Kalt gebundene Schichten mit hydraulischen und/oder bitumenhaltigen Bindemitteln – Theoretischer Ansatz

Cold bounded layers with hydraulic and/or bituminous binders – Theoretic approach

Infralab SA
J.-L. Cuénoud, Ing. dipl EPFL
P. Rychen, Dr. ès sc EPFL

IMP Bautech AG
Ch. Angst, Dr. sc. techn., dipl. Ing. ETH
Ph. Bürgisser, Dr. rer. Nat., dipl. Erdw.

Projet de recherche VSS 2010/505 sur demande de l'Association suisse des professionnels de la route et des transports (VSS)

Der Inhalt dieses Berichtes verpflichtet nur den (die) vom Bundesamt für Strassen unterstützten Autor(en). Dies gilt nicht für das Formular 3 "Projektabschluss", welches die Meinung der Begleitkommission darstellt und deshalb nur diese verpflichtet.

Bezug: Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Le contenu de ce rapport n'engage que les auteurs ayant obtenu l'appui de l'Office fédéral des routes. Cela ne s'applique pas au formulaire 3 « Clôture du projet », qui représente l'avis de la commission de suivi et qui n'engage que cette dernière.

Diffusion : Association suisse des professionnels de la route et des transports (VSS)

La responsabilità per il contenuto di questo rapporto spetta unicamente agli autori sostenuti dall'Ufficio federale delle strade. Tale indicazione non si applica al modulo 3 "conclusione del progetto", che esprime l'opinione della commissione d'accompagnamento e di cui risponde solo quest'ultima.

Ordinazione: Associazione svizzera dei professionisti della strada e dei trasporti (VSS)

The content of this report engages only the author(s) supported by the Federal Roads Office. This does not apply to Form 3 'Project Conclusion' which presents the view of the monitoring committee.

Distribution: Swiss Association of Road and Transportation Experts (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

Couches liées à froid avec liants hydrauliques et/ou bitumineux – Approche théorique

Kalt gebundene Schichten mit hydraulischen und/oder bitumenhaltigen Bindemitteln – Theoretischer Ansatz

Cold bounded layers with hydraulic and/or bituminous binders – Theoretic approach

Infralab SA
J.-L. Cuénoud, Ing. dipl EPFL
P. Rychen, Dr. ès sc EPFL

IMP Bautech AG
Ch. Angst, Dr. sc. techn., dipl. Ing. ETH
Ph. Bürgisser, Dr. rer. Nat., dipl. Erdw.

Projet de recherche VSS 2010/505 sur demande de l'Association suisse des professionnels de la route et des transports (VSS)

Impressum

Instance de recherche et équipe de projet

Direction du projet
Jean-Louis Cuénoud

Membres

Patrick Rychen
Christian Angst
Philip Bürgisser

Commission d'experts responsable

Commission d'experts 3 : Matériaux de construction

Commission de suivi

Président
Thomas Trüb

Membres

Hans-Peter Bucheli
Hansjörg Byland
Tullio Martinenghi

Auteur de la demande

Association suisse des professionnels de la route et des transports (VSS)

Source

Le présent document est téléchargeable gratuitement sur <http://www.mobilityplatform.ch>.

Table des matières

Impressum	4
Résumé	7
Zusammenfassung	9
Summary	11
 0	
Préambule	13
 1	
Introduction	15
1.1 Contexte et motivation	15
1.2 Objectifs de la recherche	15
1.3 Considérations générales et liens avec d'autres projets de recherche	15
1.4 Méthodologie	16
1.4.1 Etat de l'art	16
1.4.2 Définition des paramètres de recherche	16
1.4.3 Evaluation des caractéristiques principales des matériaux de base	17
1.4.4 Essais en laboratoire	17
1.4.5 Considérations théoriques	17
1.4.6 Conclusions et recommandations	17
 2	
Etat de l'art	19
2.1 Différents types de techniques à froid	19
2.1.1 Mélanges traités aux liants hydrauliques	19
2.1.2 Mélanges traités aux liants bitumineux	19
2.1.3 Mélanges traités aux liants combinés	20
2.2 Normalisation	21
2.3 Contact avec différents acteurs du domaine	23
2.4 Expériences internationales	24
 3	
Définition des paramètres de recherche	25
3.1 Considérations par rapports aux mélanges à froid	25
3.2 Considérations par rapports aux essais de laboratoire	26
 4	
Evaluation des caractéristiques principales des matériaux de base	27
4.1 Agrégats d'enrobés	27
4.2 Sable d'apport	27
4.3 Emulsions de bitume	28
4.4 Ciment	28
 5	
Essais en laboratoire	29
5.1 Mélanges à froid avec émulsion de bitume pure	30
5.1.1 Mélanges avec 100% d'agrégats d'enrobés	30
5.1.2 Mélanges avec 80% d'agrégats d'enrobés et 20% de sable d'apport	32
5.1.3 Comparaison entre les mélanges avec 100% et 80% d'agrégats d'enrobés	33
5.2 Mélanges à froid avec émulsion de bitume pure et ciment (liant combiné)	35
5.2.1 Mélanges avec 100% d'agrégats d'enrobés	35
5.2.2 Mélanges avec 80% d'agrégats d'enrobés et 20% de sable d'apport	37
5.2.3 Comparaison entre les mélanges avec 100% et 80% d'agrégats d'enrobés	38
5.3 Influence du sable d'apport sur la maniabilité des mélanges à froid	41
5.3.1 Mélanges avec émulsion de bitume pure	41
5.3.2 Mélanges avec émulsion de bitume modifié	42
5.3.3 Comparaison entre les mélanges avec émulsion de bitume pure et modifié	43
5.4 Conclusions par rapport aux essais en laboratoire	44

6	Considérations théoriques	45
6.1	Définition des valeurs de portance pour les techniques à froid	47
6.2	Conclusions par rapport aux considérations théoriques.....	49
7	Conclusions et recommandations	51
7.1	Conclusions par rapport aux essais en laboratoire et recommandations par rapport à la composition optimale des mélanges.....	51
7.2	Proposition des valeurs de portance des techniques à froid	51
7.3	Recommandations pour l'adaptation des normes	52
7.4	Recommandations pour des recherches futures.....	52
	Annexes	53
	Glossaire.....	83
	Bibliographie	85
	Clôture du projet	87
	Index des rapports de recherche en matière de route.....	91

Résumé

Dans le domaine de la construction routière suisse il existe une multitude de possibilités pour la conception d'une couche de fondation d'une chaussée. En présence d'une fondation de mauvaise qualité, ses caractéristiques peuvent être améliorées par des méthodes bien connues comme les mélanges traités au ciment ou à la chaux ou les couches de fondation en enrobés bitumineux AC F, ou alors le recours à des techniques à froid peut être envisagé. Avec ces dernières des pourcentages très élevés de matériaux de récupération peuvent être visés. Même si ces techniques sont déjà appliquées en Suisse, il existe actuellement encore un grand nombre de questions ouvertes, que ce soit par rapport à la composition de ces matériaux, la prise en compte dans le dimensionnement, etc.

Les objectifs principaux de la recherche sont l'évaluation de différentes techniques de mélanges traités à froid en laboratoire et la définition des paramètres de composition optimaux des mélanges. En outre une exploitation des résultats des essais en laboratoire pour la définition de paramètres théoriques pour le dimensionnement de la structure des chaussées est effectuée.

Un nombre important de mélanges à froid, avec une émulsion de bitume pure ou avec un mélange de ciment et d'émulsion de bitume (liant combiné), ont été testés en laboratoire. Plusieurs paramètres ont été évalués, tels que le pourcentage d'agrégats d'enrobés, le dosage en liant, le type de liant, etc.

La fabrication d'un mélange à froid avec émulsion de bitume ou avec un liant combiné de type émulsion de bitume avec ciment, peut être envisagé sans ajout de sable d'apport. En effet, les mélanges avec 100% d'agrégats d'enrobés respectent les exigences des normes. La maniabilité de ce dernier doit par contre être contrôlée sur chantier.

Les résultats des essais en laboratoire ont par la suite été utilisés pour définir des paramètres théoriques pour le dimensionnement de la structure des chaussées pour les différentes techniques à froid. Grâce à l'utilisation d'un logiciel de dimensionnement le comportement des différentes techniques à froid a pu être modélisé, et comparé par rapport aux techniques traditionnelles. Cette approche théorique a permis de définir un ordre de grandeur des valeurs de portance.

Les résultats de la présente recherche permettent d'apporter des recommandations sur la composition des techniques à froid (type de liant, dosage, sable d'apport, etc.), sur leurs caractéristiques mécaniques (résistance à la compression, sensibilité à l'eau, etc.), ainsi que sur leur emploi dans les structures routières en Suisse (valeurs de portance).

En même temps, des recommandations pour des recherches futures ont pu être exprimées. L'on peut mentionner l'impact environnemental d'un mélange au liant combiné et le suivi sur le long terme de ces techniques grâce à des planches d'essais. Ces planches permettraient également de contrôler la fabrication et la mise en œuvre de ces techniques dans la pratique.

Zusammenfassung

Im Bereich des Strassenbaus gibt es eine Vielzahl von Möglichkeiten zur Konzeption einer Foundationsschicht einer Fahrbahn. In Gegenwart einer Foundation von minderer Qualität können seine Eigenschaften durch bekannte Verfahren, wie Zement- oder Kalk-Mischungen oder ACF-Asphaltschichten verbessert werden. Die Anwendung von Techniken von Kaltmischungen kann ebenfalls in Betracht gezogen werden, wobei ein sehr hoher Prozentsatz an Ausbaumaterialien eingesetzt werden können. Auch wenn diese Techniken bereits in der Schweiz angewendet werden, gibt es immer noch eine grosse Anzahl offener Fragen, sei es in Bezug auf die Zusammensetzung dieser Materialien, die Berücksichtigung der Mischungen in der Dimensionierung, usw.

Die Hauptziele der Forschung sind die Bewertung verschiedener Techniken von kaltverarbeiteten Mischungen im Labor und die Definition der optimalen Zusammensetzungsparameter der Mischungen. Zusätzlich wird eine Auswertung der Ergebnisse der Labortests zur Definition theoretischer Parameter für die Dimensionierung der Fahrbahnstruktur durchgeführt.

Im Labor wurden eine Vielzahl von Kaltmischungen mit einer reinen Bitumenemulsion oder mit einer Mischung aus Zement und Bitumenemulsion (komplex gebundene Gemische) getestet. Dabei wurden verschiedene Parameter bewertet, wie der Prozentsatz an Asphaltaggregaten, die Bindemittel-Dosierung, die Art des Bindemittels, usw.

Die Herstellung einer Kaltmischung mit Bitumenemulsion oder mit einem Kombinationsbinder vom Zement-Bitumen-Emulsionstyp kann ohne den Zusatz von Brechsand vorgesehen werden. Tatsächlich erfüllen Mischungen mit 100% Asphaltaggregaten die Anforderungen der Normen. Die Verarbeitbarkeit der letzteren muss jedoch vor Ort kontrolliert werden.

Die Ergebnisse der Labortests wurden anschliessend dazu verwendet, theoretische Parameter für die Dimensionierung der Fahrbahnstruktur für verschiedene Kälteverfahren zu definieren. Durch die Verwendung von einer Dimensionierungs-Software konnte das Verhalten verschiedener Kältetechniken modelliert und mit herkömmlichen Techniken verglichen werden. Dieser theoretische Ansatz ermöglichte es, eine Grössenordnung der Tragfähigkeitswerte festzulegen.

Die Ergebnisse der vorliegenden Forschung geben Empfehlungen zur Zusammensetzung von Kältetechniken (Bindemittel, Dosierung, Sandzugabe, etc.), ihren mechanischen Eigenschaften (Druckfestigkeit, Wasserempfindlichkeit, etc.) und ihrer Verwendung in Strassenbauwerken in der Schweiz (Tragfähigkeitswerte).

Gleichzeitig konnten Empfehlung bezüglich weiterer Forschungsprojekte gegeben werden, wie zum Beispiel die Auswirkungen einer Mischung mit kombinierten Bindemitteln auf die Umwelt oder das langfristige Verhalten dieser Techniken mit Hilfe von Testfeldern. Diese Felder würden es ebenfalls erlauben, die Herstellung und den Einbau dieser Techniken in der Praxis zu kontrollieren.

Summary

In the field of road construction there is a multitude of possibilities for the design of a foundation layer of a roadway. In the presence of a poor quality foundation, its characteristics can be improved by well-known methods such as mixtures treated with cement or lime or AC F asphalt base courses, or the use of cold techniques can be considered. With these very high percentages of recovery materials can be targeted. Even if these techniques are already applied in Switzerland, there are still a large number of open questions, whether in relation to the composition of these materials, the consideration in design, etc.

The main objectives of the research are the evaluation of different techniques of cold-processed mixtures in the laboratory and the definition of the optimal composition parameters of the mixtures. In addition an exploitation of the results of the laboratory tests for the definition of theoretical parameters for the design of the pavement structure is carried out.

A large number of cold mixes, with a pure bitumen emulsion or with a mixture of cement and bitumen emulsion (combined binder), were tested in the laboratory. Several parameters were evaluated, such as the percentage of asphalt aggregates, the binder dosage, the type of binder, and so on.

The manufacture of a cold mix with bitumen emulsion or with a cement bitumen emulsion (combined binder) can be envisaged without the addition of filler sand. Indeed, mixtures with 100% asphalt aggregates meet the requirements of the standards. The workability of the latter must however be controlled on site.

The results of the laboratory tests were used to define theoretical parameters for the design of the pavement structure for different cold techniques. Through the use of a design-software the behaviour of different cold techniques could be modelled, and compared with traditional techniques. This theoretical approach made it possible to define an order of magnitude of the bearing capacity values.

The results of the present research make recommendations on the composition of cold techniques (type of binder, dosage, sand, etc.), their mechanical characteristics (compressive strength, water sensibility, etc.) and their use in road structures in Switzerland (bearing capacity values).

At the same time, recommendations for future research could be made. One can mention the environmental impact of a mixture with the combined binder and the long-term follow-up of these techniques thanks to test boards. These boards would also permit to control the manufacture and laying of these techniques in practice.

0 Préambule

Les projets de recherche VSS 2010/505 "Couches liées à froid avec liants hydrauliques et/ou bitumineux – Approche théorique" et VSS 2010/506 "Couches liées à froid avec liants hydrauliques et/ou bitumineux – Approche pratique" ont été attribués ensemble le 1^{er} juillet 2011 à deux entités de recherche. Avant l'attribution, la FOKO (séance du 21.01.2011) et les membres de la FK 5 (séance du 25.01.2011) ont exigé une collaboration étroite entre les deux projets de recherche et la publication d'un rapport final commun.

Début 2012 les résultats du projet de recherche VSS 2002/401 "Kaltrecycling von Ausbauasphalt mit bituminösen Bindemitteln" [16] n'étaient pas encore publiés. Ainsi, les projets VSS 2010/505 et VSS 2010/506 ont été temporairement interrompus, afin d'éviter des redondances dans les démarches de recherche. Après la publication du rapport final VSS 2002/401 [16] en mars 2014, et la mise en vigueur de la norme SN 640 492 "Couches de fondation en enrobés bitumineux à froid; exigences relatives au mélange, conception, exécution et exigences relatives aux couches en place" [3] en juillet 2014, les programmes de recherches ont été adaptés d'entente avec la commission d'accompagnement, et les travaux ont été libérés.

Grâce aux conclusions du projet de recherche VSS 2002/401 [16] et de la norme SN 640 492 [3], le contenu des projets VSS 2010/505 et VSS 2010/506 a pu être défini de manière plus ciblée. Par exemple une meilleure répartition des liants à analyser a pu être discutée et effectuée. Ainsi, le projet VSS 2010/505 s'intéresse principalement aux mélanges traités aux émulsions de bitume et le projet VSS 2010/506 aux mélanges traités aux bitumes-mousses et aux liants hydrauliques. Les deux projets de recherche sont donc complémentaires.

La chronologie des deux projets de recherche figure dans la figure ci-dessous.

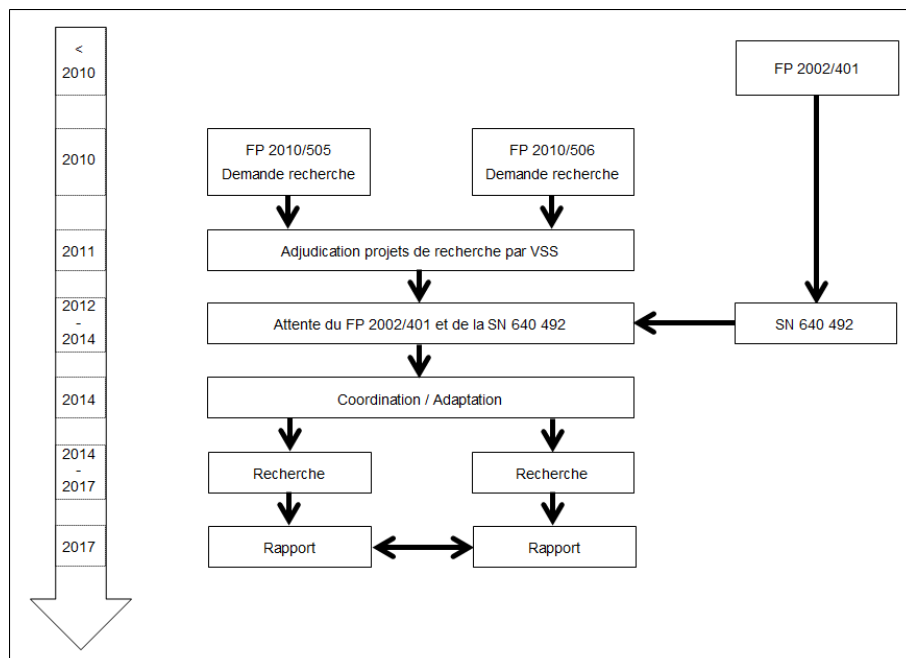


Fig. 1 Chronologie des projets de recherche VSS 2010/505 et VSS 2010/506.

1 Introduction

1.1 Contexte et motivation

Dans le domaine de construction routière suisse il existe une multitude de possibilités pour la conception d'une couche de fondation d'une chaussée. Pour un projet routier standard, la méthode traditionnelle consiste à employer une couche de fondation en grave non liée. Cette couche peut par contre dans certains cas être insuffisante (sol de fondation de mauvaise qualité, portance trop faible sur la couche de fondation, etc.). Dans ces cas, il existe des méthodes bien connues comme les mélanges traités (au ciment, à la chaux, etc.) ou la mise en place d'une couche de fondation en enrobés bitumineux AC F. Cette dernière permet d'augmenter considérablement la qualité d'une fondation, mais présente également des inconvénients (coûts, impact environnemental, quantité limitée d'agréats d'enrobés, etc.).

Le recours à des techniques à froid a comme motivation principale la réutilisation plus importante de matériaux de récupération. Avec ces techniques des pourcentages d'agréats d'enrobés très élevés peuvent être visés. Même si ces techniques sont déjà appliquées en Suisse, il existe actuellement encore un grand nombre de questions ouvertes, que ce soit par rapport à la composition de ces matériaux, la prise en compte dans le dimensionnement, etc.

1.2 Objectifs de la recherche

Les objectifs principaux de la recherche sont:

1. Evaluation des différentes techniques de mélanges traités à froid en laboratoire et définition des paramètres de composition optimaux des mélanges ;
2. Exploitation des résultats des essais en laboratoire pour la définition des paramètres théoriques des mélanges pour le dimensionnement de la structure des chaussées.

Grâce à l'évaluation en laboratoire des différentes techniques de mélanges traités à froid, des recommandations peuvent être faites par rapport à la composition optimale des mélanges. Le recours à une technique spécifique plutôt qu'une autre est également facilité. Une évaluation ciblée est appliquée, c.-à-d. que certains paramètres spécifiques sont investigués. Le but visé étant d'utiliser un maximum de matériaux de récupération.

Grâce à l'approche théorique, des paramètres théoriques pour le dimensionnement de la structure des chaussées peuvent être proposés. Ces valeurs peuvent par la suite être intégrées dans les démarches de dimensionnement des structures routières.

1.3 Considérations générales et liens avec d'autres projets de recherche

Comme mentionné dans le préambule, le projet de recherche VSS 2010/505 est basé sur un grand nombre de recommandations issues du rapport VSS 2002/401 "Recyclage à froid des RC-grave de granulats asphalte avec des liants bitumineux" [16].

Le projet VSS 2010/505 est également fortement lié au projet VSS 2010/506. Le premier est tourné vers une approche théorique, alors que le deuxième est tourné vers une approche pratique. En 2014, lors de la redéfinition des deux projets, une distinction plus nette a été déterminée entre les projets lors d'une séance de la commission de suivi. La distinction se fait principalement par rapport au choix du type de liant évalué. Elle est décrite en détail dans le chapitre 3.

1.4 Méthodologie

Le projet de recherche est divisé en 6 étapes:

1. Etat de l'art
2. Définition des paramètres de recherche
3. Evaluation des caractéristiques principales des matériaux de base
4. Essais en laboratoire
5. Considérations théoriques
6. Conclusions et recommandations

Les différentes étapes sont décrites en détail dans les chapitres suivants (chapitres 1.4.1 à 1.4.6).

1.4.1 Etat de l'art

La première étape consiste à effectuer un état de l'art sur les techniques à froid. Cette étape a été effectuée en grande partie lors du premier lancement du projet de recherche en 2011. Une mise à jour de l'état de l'art a par la suite été effectuée lors de la redéfinition du projet en 2014.

Lors de cette étape une étude documentaire est effectuée. Celle-ci s'intéresse aux documents disponibles en Suisse, dans les pays francophones et dans les pays anglophones. Principalement les différents types de techniques à froid sont comparés.

La normalisation en vigueur est également évaluée par rapport aux normes suisses et européennes.

Ensuite, des contacts avec différents acteurs du domaine (producteurs, entreprises, centrales, etc.) ont été pris afin de connaître leurs points de vue sur la thématique.

1.4.2 Définition des paramètres de recherche

La deuxième étape consiste à définir les paramètres de recherche principaux. Il s'agit de définir à la fois les matériaux à tester (type de liant, type de granulats, etc.), la composition des mélanges (teneur en liant, composition matériaux, etc.) et les types d'essais à effectuer (Duriez, sensibilité à l'eau, etc.).

La définition des paramètres de recherche est largement basée sur les résultats du rapport [16] et a été effectuée en collaboration avec les responsables du projet VSS 2010/506. Dans le cadre de ce projet de recherche une évaluation ciblée est appliquée, c.-à-d. que certains paramètres spécifiques sont investigués. Le but visé étant d'utiliser un maximum de matériaux de récupération.

Finalement une matrice des paramètres de recherche est proposée.

1.4.3 Evaluation des caractéristiques principales des matériaux de base

La troisième étape consiste à évaluer par des essais en laboratoire les caractéristiques principales des matériaux de base. Il s'agit principalement des caractéristiques des liants et des mélanges granulaires employés dans le cadre de ce projet.

1.4.4 Essais en laboratoire

La quatrième étape consiste à effectuer les essais en laboratoire selon la matrice des paramètres de recherche proposée dans l'étape 2. Cette matrice est continuellement adaptée en fonction des résultats des essais en laboratoire afin d'effectuer une évaluation ciblée sur les paramètres importants.

Les résultats des essais sont par la suite interprétés au bureau et résumés dans des tableaux.

1.4.5 Considérations théoriques

La cinquième étape consiste à évaluer d'un point de vue théorique les résultats des essais en laboratoire issus du présent projet de recherche, du projet de recherche associé VSS 2010/506 et du projet [16]. Grâce à l'utilisation d'outils spécifiques des considérations théoriques sont déterminées et des paramètres théoriques pour le dimensionnement de la structure des chaussées sont proposés pour les différents types de mélanges à froid évalués.

1.4.6 Conclusions et recommandations

Finalement, des conclusions sont tirées dans la dernière étape et des recommandations sont faites par rapport aux mélanges à froid investigués. Des recommandations par rapport à la composition optimale des matériaux sont données et des paramètres théoriques pour le dimensionnement de la structure des chaussées sont proposés.

Des recommandations par rapport aux normes et des propositions pour des recherches futures sont également faites.

2 Etat de l'art

2.1 Différents types de techniques à froid

Il existe trois types de techniques de mélanges traités à froid principaux, différenciés par le type de liant employé: Les mélanges traités aux liants hydrauliques, les mélanges traités aux liants bitumineux et les mélanges traités aux liants combinés. Les chapitres ci-après reprennent un par un ces trois techniques (chapitres 2.1.1 à 2.1.3).

2.1.1 Mélanges traités aux liants hydrauliques

Les mélanges traités aux liants hydrauliques emploient un liant hydraulique qui peut être soit un ciment, soit un liant hydraulique routier. Il s'agit d'une technique à froid uniquement.

Le mélange peut se faire soit in situ, soit en centrale. Lors de la fabrication in situ, le matériau en place, un éventuel matériau d'apport, le liant, l'eau et des éventuels adjuvants sont mélangés et directement posés. Une étape de concassage peut être incluse afin d'éliminer les granulats supérieurs au diamètre maximal autorisé. Le paramètre de l'homogénéité du mélange est tout particulièrement à contrôler.

Lors de la fabrication en centrale, les graves, le liant, l'eau et des éventuels adjuvants sont mélangés dans un malaxeur, puis transportés sur chantier. Le paramètre de l'homogénéité du mélange est tout particulièrement à contrôler. De même la ségrégation des matériaux lors du chargement et de la mise en œuvre est à contrôler.

Lors de la mise en œuvre des mélanges, le compactage doit être effectué immédiatement après la pose, et les phénomènes de détrempage (pluie) et de dessèchement (chaleur, vent) sont à éviter. Le compactage doit être terminé généralement deux heures après le malaxage. Des traitements de cure peuvent également être appliqués le cas échéant.

En règle générale, un délai d'attente, avant ouverture au trafic, de sept jours est conseillé.

2.1.2 Mélanges traités aux liants bitumineux

Les mélanges traités aux liants bitumineux emploient un liant bitumineux pur. C'est une technique qui peut à la fois être à froid ou à chaud. Pour ce qui est de la technique à chaud, il s'agit des couches de fondation en enrobés bitumineux AC F.

Les techniques à froid (couches de fondations en enrobés bitumineux à froid AFK) emploient un liant bitumineux qui peut être soit une émulsion de bitume, soit un bitume-mousse.

Cette technique permet l'utilisation d'une grande quantité d'agrégats d'enrobés dans le mélange. L'ajout d'un sable d'apport est souvent nécessaire afin de disposer d'une teneur en fines suffisante.

Le mélange peut se faire soit in situ, soit en centrale. Lors de la fabrication in situ, le matériau en place, un éventuel matériau d'apport, le liant, l'eau de malaxage et des éventuels additifs sont mélangés et directement posés. Une étape de concassage peut être incluse afin d'éliminer les granulats supérieurs au diamètre maximal autorisé (généralement 0/22). Le paramètre de l'homogénéité du mélange est tout particulièrement à contrôler.

Lors de la fabrication en centrale, les graves (0/16 ou 0/22), un éventuel sable d'apport, le liant et des éventuels additifs sont mélangés dans un malaxeur, puis transportés sur chantier. Le paramètre de l'homogénéité du mélange est tout particulièrement à contrôler. De même la ségrégation des matériaux lors du chargement et de la mise en œuvre est à contrôler. Le dessèchement lors du transport est également à éviter.

Lors de la mise en œuvre des mélanges, le compactage doit être effectué immédiatement après la pose, et le phénomène de dessèchement (chaleur, vent) est à éviter.

En règle générale, un délai d'attente, avant pose de la prochaine couche, de 36 heures est conseillé. Pour les mélanges avec émulsion de bitume ce délai peut être plus long.

2.1.3 Mélanges traités aux liants combinés

Les mélanges traités aux liants combinés (KGG) emploient un mélange de liant hydraulique et de liant bitumineux. Les différents types de liants décrits ci-dessus (voir chapitres 2.1.1 à 2.1.2) peuvent être employés.

Le mélange peut se faire soit in situ, soit en centrale. Lors de la fabrication in situ, le matériau en place, un éventuel matériau d'apport, les liants, l'eau et des éventuels adjuvants/additifs sont mélangés et directement posés. Le liant hydraulique peut soit être répandu sur la surface en préparation avant mélange, soit ajouté dans la phase de la malaxage. Une étape de concassage peut être incluse afin d'éliminer les granulats supérieurs au diamètre maximal autorisé. Le paramètre de l'homogénéité du mélange est tout particulièrement à contrôler.

Lors de la fabrication en centrale, les graves, les liants, l'eau et des éventuels adjuvants/additifs sont mélangés dans un malaxeur, puis transportés sur chantier. Le paramètre de l'homogénéité du mélange est tout particulièrement à contrôler. De même la ségrégation des matériaux lors du chargement et de la mise en œuvre est à contrôler. Le dessèchement lors du transport est également à éviter.

Lors de la mise en œuvre des mélanges, le compactage doit être effectué immédiatement après la pose, et les phénomènes de détrempe (pluie) et de dessèchement (chaleur, vent) sont à éviter. Le compactage doit être terminé généralement deux heures après le malaxage. Des traitements de cure peuvent également être appliqués le cas échéant.

En règle générale, un délai d'attente, avant ouverture au trafic, de sept jours est conseillé.

2.2 Normalisation

Dans le tableau ci-après est donné un aperçu non exhaustif des différentes normes de base suisses et européennes en vigueur par rapport aux techniques de mélanges traités à froid.

Tab. 1 Normes de base suisses et européennes en vigueur (aperçu non exhaustif)

N° SN	N° EN	Titre	Description
640 490 [1]	-	Mélanges traités et sols stabilisés – Norme de base	La norme donne une vue d'ensemble des normes SN et EN et décrit les définitions de base.
640 491 [2]	-	Couches traitées aux liants hydrauliques; conception, exécution et exigences relatives aux couches en place	La norme donne des recommandations et prescriptions pour la conception, l'exécution et les exigences relatives aux couches en place traitées aux liants hydrauliques, qui ne sont pas définies dans les normes européennes pour mélanges traités aux liants hydrauliques.
640 492 [3]	-	Couches de fondation en enrobés bitumineux à froid; exigences relatives au mélange, conception, exécution et exigences relatives aux couches en place	La norme donne des recommandations pour la composition, la conception et l'exécution des couches de fondation en enrobés bitumineux à froid AFK ainsi que des exigences relatives aux mélanges, à la production et aux couches en place. Elle décrit également les définitions détaillées.
640 493 (non publiée)	-	Mélanges traités aux liants combinés; conception, exécution et exigences relatives aux couches en place	La norme donne des recommandations pour la conception et l'exécution de mélanges traités aux liants combinés KGG ainsi que des exigences relatives aux couches en place.
640 496 [4]	14227-1/5	Mélanges traités aux liants hydrauliques - Spécifications Partie 1: Mélanges granulaires traités au ciment Mélanges traités aux liants hydrauliques – Spécifications - Partie 5: Mélanges traités au liant hydraulique routier	La norme donne des recommandations pour la composition des mélanges traités aux liants hydrauliques ainsi que des exigences relatives aux matériaux et, à la production.
640 497 (non publiée)	-	Couches de fondation en enrobés bitumineux à froid; exigences relatives aux enrobés	La norme donne des recommandations pour la composition des couches de fondation en enrobés bitumineux à froid.
640 498 (non publiée)	-	Mélanges traités aux liants combinés; exigences relatives aux enrobés	La norme donne des recommandations pour la composition des mélanges traités à froid aux liants combinés.
640 500-2 à 4 [5] à [7]	14227-2 à 4	Mélanges traités aux liants hydrauliques – Spécifications – Partie 2: Mélanges traités au laitier / Partie 3: Mélanges traités à la cendre volante / Partie 4: Cendre volante pour mélanges traités aux liants hydrauliques	Les normes donnent des spécifications et exigences relatives aux constituants, à la composition et à la classification selon les performances mesurées en laboratoire des mélanges granulaires traités au laitier (14227-2), à la cendre volante siliceuse ou calcaire (14227-3) et à la cendre volante siliceuse ou calcaire (14227-4).

Il n'existe aucune norme européenne sur les couches de fondations en enrobés bitumineux à froid AFK, ni sur les mélanges traités aux liants combinés.

Diverses autres normes traitent directement ou indirectement des techniques à froid. L'on peut mentionner les normes sur les matériaux (graves, liants hydrauliques, émulsions, etc.) qui donnent des spécifications et exigences relatives aux différents composants d'une technique à froid.

Dans le tableau ci-après est donné un aperçu non exhaustif des différentes normes d'essais suisses et européennes en vigueur par rapport aux techniques de mélanges traités à froid.

Tab. 2 Normes d'essais suisses et européennes en vigueur (aperçu non exhaustif)

N° SN	N° EN	Titre	Description
670 330-2 [8]	13286-2	Mélanges traités et mélanges non traités – Partie 2: Méthodes d'essai de détermination en laboratoire de la masse volumique de référence et de la teneur en eau – Compactage Proctor	La norme décrit l'appareillage et les essais pour la détermination de la relation entre la teneur en eau et la masse volumique sèche (courbe de compactage) sous conditions d'essais spécifiées.
670 330-41 [9]	13286-41	Mélanges traités et mélanges non traités aux liants hydrauliques – Partie 41: Méthode d'essai pour la détermination de la résistance à la compression des mélanges traités aux liants hydrauliques	La norme fixe les exigences et la méthode d'échantillonnage pour la détermination de la résistance à la compression des mélanges traités aux liants hydrauliques.
670 [10]	330-43 13286-43	Mélanges traités et mélanges non traités aux liants hydrauliques – Partie 43: Méthodes d'essai pour la détermination du module d'élasticité des mélanges traités aux liants hydrauliques	La norme fixe les exigences générales et la méthode d'échantillonnage pour la détermination du module d'élasticité des mélanges traités aux liants hydrauliques.
670 [11]	330-45 13286-45	Mélanges traités et mélanges non traités aux liants hydrauliques – Partie 45: Méthodes d'essai pour la détermination du délai de maniabilité	La norme décrit une méthode d'essai permettant de déterminer le délai de maniabilité d'un mélange traité aux liants hydrauliques.
670 [12]	330-50 13286-50	Mélanges traités et mélanges non traités aux liants hydrauliques – Partie 50: Méthode de confection par compactage avec un appareillage Proctor ou une table vibrante des éprouvettes de matériaux traités aux liants hydrauliques	La norme fixe la méthode de confection par compactage avec un appareillage Proctor ou une table vibrante des éprouvettes de matériaux traités aux liants hydrauliques.

La norme SN 640 324 "Dimensionnement; superstructures des routes" [13] spécifie en outre des valeurs de portance pour certaines techniques à froid et donne des indications par rapport aux structures types à mettre en œuvre (voir chapitre 0).

2.3 Contact avec différents acteurs du domaine

Des contacts avec différents acteurs du domaine ont été pris lors du premier lancement du projet de recherche en 2011 afin de connaître leurs points de vue sur la thématique. Dans le tableau ci-après est donné un aperçu des conclusions principales qui sont ressorties de ces contacts.

Tab. 3 Conclusions principales des contacts avec différents acteurs du domaine (2011)

Groupe d'acteurs	Contacts	Conclusions principales
Maître d'œuvre	6 cantons romands (FR, GE, JU, NE, VD, VS)	Aucune réalisation récente (≤ 5 ans) dans le domaine des techniques à froid n'a été relevée. Il existe très peu d'expérience dans ce domaine.
Producteurs-Stockeurs de matériaux granulaires	3 entreprises privées romandes	Grandes difficultés (manque de place) pour le stockage dans les règles des différentes catégories "officielles" de matériaux de déconstruction selon [14]. Alimentation déséquilibrée entre les catégories réceptionnées, car le stockeur favorise naturellement les granulats "directement" réutilisables. Les entreprises se sentent d'une part trop peu guidées techniquement et, d'autre part, trop contraintes par les exigences extrêmement sévères de la directive OFEV [15].
Producteurs de liants froids	2 producteurs de liants hydrauliques	Les producteurs suisses sont exclusivement penchés sur les Portland du domaine de la construction. Dans le cadre plus spécifique des liants hydrauliques routiers, ils sont totalement "non connaisseurs". L'absence de déchets industriels (laitiers, cendres, etc.) en Suisse explique totalement cette "lacune". L'un des deux producteurs sous-traite complètement les quelques demandes spéciales à sa filiale en Allemagne. A ce jour, les producteurs suisses ne sont pas "dans la course", par manque de demandes et d'intérêts économiques. Par contre des liants hydrauliques routiers sont à disposition en France et en Allemagne à cause de nombreux déchets industriels à recycler.
	1 producteur de liants bitumineux	Un producteur de liants froids (émulsions) a été visité. Cette ancienne entreprise de Suisse alémanique, pionnière dans le domaine des émulsions, est active dans le domaine des mélanges à froid AFK. Leur savoir les fait actuellement travailler dans le recyclage des "matériaux bitumineux" (recyclés), même comme couche de surface. De tels travaux sont faits hors Suisse en raison des normes et directives contraignantes. Le producteur est un peu désabusé actuellement en raison du manque d'environnement technique dynamique en Suisse.
Réalisateurs-poseurs de techniques à froids (entreprises de construction)	3 entreprises romandes	La première entreprise, filiale suisse d'un leader de la route, pratique depuis plusieurs années des techniques à froids. Leurs réalisations passées (granulats bitumineux enrobés à l'émulsion) sont déclarées "acceptables". Mais toutes ces expériences sont faites sous leur entière responsabilité ¹ . Les deux autres entreprises se sont fortement développées dans les techniques tièdes (émulsion et bitumme-mousse) afin de recycler un maximum de matériaux de démolition. Ils ne présentent aucune expérience dans les techniques à froid.
Fabricant de matériels de production	1 fabricant suisse	Le fabricant, leader suisse dans le domaine, s'intéresse principalement au domaine de l'enrobage à chaud et depuis peu "à tiède". Le domaine "à froid" ne présente pas d'intérêt (commercial) dans un futur proche. Les matériels spécifiques pour l'enrobage "à froid" existent déjà (simple-léger-mobile) depuis longtemps sur leur catalogue.

En Suisse, les normes techniques sont produites consensuellement par des représentants des secteurs publics et privés. Donc les normes sont souvent minimalistes en informations techniques. Ainsi les décideurs publics n'ont pas d'arguments techniques pour accepter une variante entreprise, par exemple avec des matériaux traités à froid aux liants bitumineux et à plus forte raison avec des liants combinés. Cette attitude empêche

¹ Le canton de Vaud s'est depuis 2011 penché sur les techniques à froid et a investi beaucoup de temps et d'argent, principalement par le biais du chantier de la H144 Rennaz – Les Evouettes.

les réalisations avec de tels matériaux. C'est encore plus vrai avec des matériaux de démolition dont l'usage est cadré au niveau normatif

2.4 Expériences internationales

Un tour d'horizon des différentes expériences internationales dans le domaine des techniques à froid a été effectué lors du premier lancement du projet de recherche en 2011. Cette étude documentaire s'est principalement intéressée aux expériences francophones et anglophones. Dans le tableau ci-après est donné un aperçu des conclusions principales qui sont ressorties de cette étude.

Tab. 4 Conclusions principales des expériences internationales (2011)

Pays / Organisation / Entreprise	Conclusions principales
France	La France est sans cesse en train de compléter ces catalogues de dimensionnement existants avec des données acquise in situ (planche d'essais, manège de fatigue, etc.). Le but est de créer des modèles de performances qui permettent de calibrer les lois d'évolution paramétrées dans les modèles numériques. La France a tout particulièrement sorti un guide pour le retraitement à froid en place [17].
Etats-Unis	Les Etats-Unis ont complétés leurs anciennes études AASHO (1962, 1986 et 1993 [18]) par des nouveaux acquis à travers une multitude d'études, mais conservent le concept de dimensionnement des Structural Number (SN). Cependant quelques états développent des compléments. Les Etats-Unis restent leader autour des coefficients SN, et complètent régulièrement ce concept, avec la notion de "Module résilient" pour les cas de réhabilitation de structures, en particulier avec des matériaux liés à froid.
Afrique du Sud	L'Afrique du Sud est très active depuis longtemps autour d'un nouveau concept dénommé PN (Pavement Number), qui est une amélioration du concept SN. Bien que ce concept ait vu le jour autour des matériaux bitumineux liés à froid, il est applicable à tous les types de structures [19], [20].
Canada	Au Canada, la conception des structures se fait sur une base AASHO – SN, mais ce pays a participé, avec la France, à une série d'essais pour définir des modèles de performances.
AIPCR	Le comité technique C7/8 de l'association mondiale de la route (AIPCR) a produit en 2003 une première synthèse internationale du recyclage des chaussées à froid in situ. Ce document est un état des lieux très complet [21].
Wirtgen Group	Le manuel Cold Recycling-Wirtgen de 2010 [22] est un document de synthèse très élaboré. Même si le but de ce document n'est pas strictement technique, il comporte un ensemble actualisé de ce qui se fait de mieux dans le domaine du recyclage in situ, du dimensionnement à la réalisation. A l'exception cependant des liants combinés qui sont peu utilisés actuellement.

Il existe actuellement toujours deux modèles de concept de dimensionnement. D'une part la méthode "empirique" des coefficients SN (Structural Number) quelquefois améliorée pour les cas spéciaux (les réhabilitations de structures avec mélanges traités aux liants hydrauliques ou bitumineux, en particulier) et, d'autre part, la voie "mécanique-empirique" pratiquée au travers d'outils logiques sophistiqués, tel "Alizé III". Mais la complexité d'emploi de ces logiciels ralenti passablement la progression publique dans cette voie un peu sophistiquée.

D'autres options plus pragmatiques ont été développées, comme par exemple celle du concept PN (Pavement Number). Mais ce concept nouveau implique également l'usage de tests de laboratoire nouveaux, sophistiqués quelquefois, mieux adaptés aux matériaux nouveaux: les mélanges bitumineux liés à froid. Ces matériaux ont été longtemps associés à leur technique de réhabilitation in situ, et ainsi mis dans une catégorie particulière qui n'a pas fait l'objet d'un consensus technique qui débouche sur des normes techniques.

Le contexte routier actuel est nettement orienté "impact environnemental limité". Ainsi les concepteurs ont à considérer les matériaux recyclés comme des variantes possibles, basiques, utilisables également en structure neuve.

3 Définition des paramètres de recherche

Dans ce chapitre les paramètres de recherche principaux sont définis (mélanges et essais de laboratoire). La définition des paramètres de recherche est largement basée sur les résultats du rapport [16] et a été effectuée en collaboration avec les responsables du projet VSS 2010/506. Dans le cadre de ce projet de recherche une évaluation ciblée est appliquée, c.-à-d. que certains paramètres spécifiques sont investigués. Le but visé étant d'utiliser un maximum de matériaux de récupération.

3.1 Considérations par rapports aux mélanges à froid

Basé sur les résultats du rapport [16], et en coordination avec le projet VSS 2010/506, le choix des mélanges à froid suivants a été fait :

Tab. 5 *Choix des mélanges à froid*

	Agrégats d'enrobés	Granulats de béton	Sable d'apport
Liants hydrauliques	o	o	o
Liants bitumineux (émulsion de bitume)	x	o	x
Liants combinés (émulsion – ciment)	x	o	x
Liants bitumineux (bitume mousse)	o	o	o
Légende :	x : Cas traité dans le cadre de ce projet o : Cas non traité ou cas traité dans le projet VSS 2010/506		

Aux niveaux des granulats, des mélanges avec 100% d'agrégats d'enrobés et des mélanges avec 80% d'agrégats d'enrobés et 20% de sable d'apport ont été évalués dans le cadre de ce projet. Les détails de ces matériaux sont décrits dans le chapitre 0.

Le cas des granulats bétons a été traité dans le cadre du projet VSS 2010/506.

Aux niveaux des liants, des mélanges avec des liants bitumineux de type émulsion de bitume et des liants combinés (émulsion – ciment) ont été évalués dans le cadre de ce projet. Différentes teneurs en liant et en ciment ont été investiguées, ainsi que différents types d'émulsions (pure, modifiée par polymères). Les détails de ces matériaux sont décrits dans le chapitre 0.

Les cas des liants hydrauliques purs et des liants bitumineux de type bitume mousse ont été traités dans le cadre du projet VSS 2010/506.

3.2 Considérations par rapports aux essais de laboratoire

Basé sur les résultats du rapport [16], et en coordination avec le projet VSS 2010/506, le choix des essais de laboratoire suivants a été fait :

Tab. 6 *Choix des essais de laboratoire*

Phase	Matériaux	Essai
Caractérisation des matériaux	Agrégats d'enrobés	Teneur en liant Teneur en eau Granulométrie Pénétration sur liant récupéré Température B&A sur liant récupéré
	Sable d'apport	Granulométrie Teneur en eau Coefficient d'écoulement
	Emulsion de bitume	Teneur en liant Teneur en eau Pénétration Température B&A Retour élastique (émulsion modifié par polymères)
Essais en laboratoire	Mélanges traités à froid	Essai Duriez (Résistance à la compression et sensibilité à l'eau)
		Presse à cisaillement giratoire (PCG)

Les conditions d'essais standards, issus des diverses normes d'essais correspondantes, ont été appliquées dans le cadre de ce projet. Plusieurs de ces conditions sont issues du projet [16].

L'essai Duriez [9] [24] permet de déterminer la résistance à la compression après 7 jours, respectivement 28 jours, de stockage à l'air, ainsi que la sensibilité à l'eau (rapport entre un stockage pendant 7 jours à l'air, puis 7 jours dans l'eau et un stockage pendant 7 jours à l'air).

4 Evaluation des caractéristiques principales des matériaux de base

4.1 Agrégats d'enrobés

Dans le cadre de ce projet des agrégats d'enrobés, sous forme d'une RC-Grave de granulats d'asphalte 0/22, ont été utilisés. La grave a été mise à disposition par la centrale d'enrobage "Belagswerk Boningen AG".

La RC-Grave de granulats d'asphalte présente une teneur en liant de 4.30%-m. et une teneur en fines de 1.4%-m.

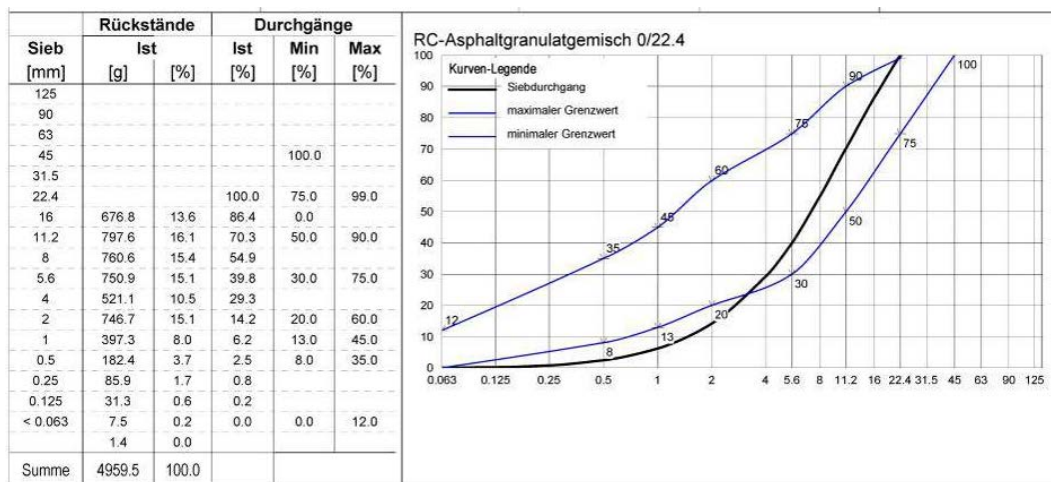


Fig. 2 Courbe granulométrique de la RC-Grave de granulats d'asphalte.

Les résultats détaillés des analyses, y compris les résultats sur liant récupéré et la granulométrie des matériaux enrobés, peuvent être consultés en annexe (I.1).

4.2 Sable d'apport

Dans le cadre de ce projet un sable d'apport 0/4 a été utilisé. Celui-ci a également été mis à disposition par la centrale d'enrobage "Belagswerk Boningen AG".

Le sable présente une teneur en fines de 8.3%-m et un coefficient d'écoulement de 17 [-].

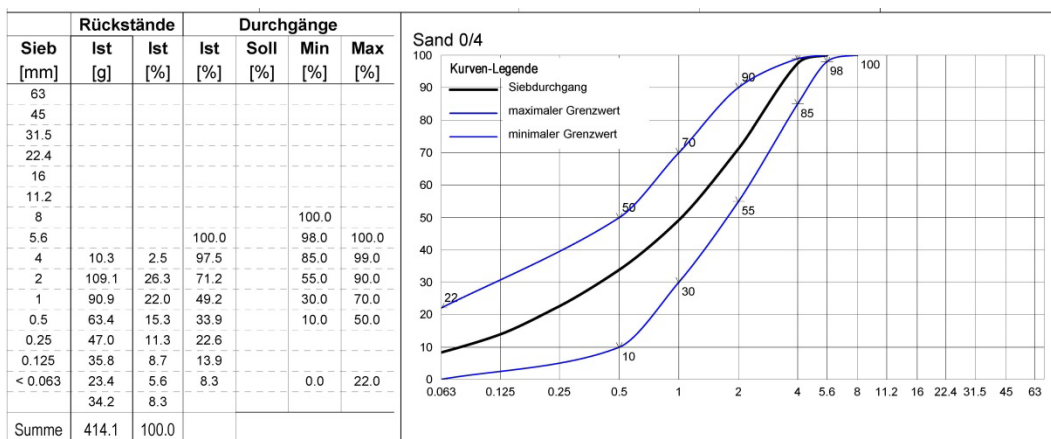


Fig. 3 Courbe granulométrique du sable d'apport.

Les résultats détaillés des analyses peuvent être consultés en annexe (I.2).

4.3 Emulsions de bitume

Dans le cadre de ce projet deux types d'émulsion de bitume ont été utilisés. Il s'agit d'une part d'une émulsion pure (Webacid C60B4) et d'autre part d'une émulsion modifiée par polymères (Webacid Special C60BP4). Les deux matériaux présentent une teneur en liant de 60%-m. et une teneur en eau de 40%-m. Les émulsions ont été mises à disposition par le fournisseur de produits bitumineux "CTW Strassenbaustoffe AG".

L'émulsion pure (Webacid C60B4) présente une teneur en liant de 63.2%-m. et l'émulsion modifiée par polymères (Webacid Special C60BP4) une teneur en liant de 63.5%-m. Les résultats détaillés des analyses peuvent être consultés en annexe (I.3).

4.4 Ciment

Pour les mélanges au liant combiné, un ciment standard (CEM II/A-LL 42.5 N) a été utilisé. Aucun essai de laboratoire n'a été effectué sur ce ciment.

5 Essais en laboratoire

La définition des paramètres de recherche est largement basée sur les résultats du rapport [16] et a été effectuée en collaboration avec les responsables du projet VSS 2010/506. Dans le cadre de ce projet de recherche une évaluation ciblée est appliquée, c.-à-d. que certains paramètres spécifiques sont investigués. Le but visé étant d'utiliser un maximum de matériaux de récupération.

Le Tableau ci-après donne un aperçu des différents mélanges fabriqués en laboratoire dans le cadre de ce projet (Chapitres 5.1 et 5.2).

Tab. 7 *Aperçu des mélanges fabriqués*

Type de liants	Teneur en émulsion	Teneur en ciment	Teneur en agrégats d'enrobés	Teneur en sable d'apport
[-]	[%-m.]	[%-m.]	[%-m.]	[%-m.]
Webacid C60B4	3.0	0.0	100	0
	3.0	0.0	80	20
	4.0	0.0	100	0
	4.0	0.0	80	20
	5.0	0.0	100	0
	5.0	0.0	80	20
Webacid C60B4 / CEM II/A-LL 42.5 N	3.0	1.5	100	0
	3.0	1.5	80	20
	3.0	2.5	100	0
	3.0	2.5	80	20
	4.0	2.0	100	0
	5.0	1.5	100	0
	5.0	1.5	80	20
	5.0	2.5	100	0
	5.0	2.5	80	20
	5.0	2.5	80	20

Des essais complémentaires ont été effectués par la suite afin de déterminer la maniabilité des mélanges à froid avec et sans apport de sable (Chapitre 5.3).

5.1 Mélanges à froid avec émulsion de bitume pure

5.1.1 Mélanges avec 100% d'agrégats d'enrobés

L'objectif de la première série d'essais consistait à déterminer l'influence de la teneur en liant sur la résistance à la compression selon Duriez de mélanges avec 100% d'agrégats d'enrobés. Trois mélanges avec des teneurs en liant différentes ont été fabriqués, afin de déterminer la teneur en liant optimale.

Les teneurs en liant ont été choisies de manière à couvrir la totalité de la fourchette décrite dans la norme SN 640 492 [3]. Ainsi, une teneur en liant minimale, une teneur en liant maximale, et une teneur en liant intermédiaire ont été sélectionnées:

Tab. 8 Aperçu des mélanges fabriqués

Teneur en émulsion [%-m.]	Teneur en liant résiduel [%-m.]	Teneur en agrégats d'enrobés [%-m.]	Teneur en sable d'apport [%-m.]
3.0	1.8	100	0
4.0	2.4	100	0
5.0	3.0	100	0

La figure ci-après montre un exemple d'un mélange à froid avec émulsion de bitume pure.



Fig. 4 Fabrication en laboratoire d'un mélange à froid avec émulsion de bitume pure.

Pour chaque mélange, 12 éprouvettes ont été fabriquées, afin de réaliser un essai Duriez complet (résistance à la compression et sensibilité à l'eau).

Les résistances à la compression déterminées sont représentées dans le tableau et la figure ci-après.

Tab. 9 Résumé des résistances à la compression

		Dosage en émulsion [%-m.]			Exigences selon [3]
		3.0	4.0	5.0	
Masse volumique réelle déterminée	[kg/m ³]	2425	2383	2332	
Masse volumique apparente après 7 jours	[kg/m ³]	2171	2190	2160	
Teneur en vides après 7 jours	[%-vol.]	10.5	8.1	7.4	5 ... 12
Résistance à la compression après 7 jours (Z_{L7})	[MN/m ²]	4.00	4.13	1.50	≥ 3
Résistance à la compression après 14 jours (Z_{L7+W7})	[MN/m ²]	5.00	4.75	3.88	
Résistance à la compression après 28 jours (Z_{L28})	[MN/m ²]	4.75	5.88	5.13	> Z_{L7}
Rapport Z_{L7+W7} / Z_{L7} (sensibilité à l'eau)	[-]	1.25	1.15	2.59	≥ 0.7

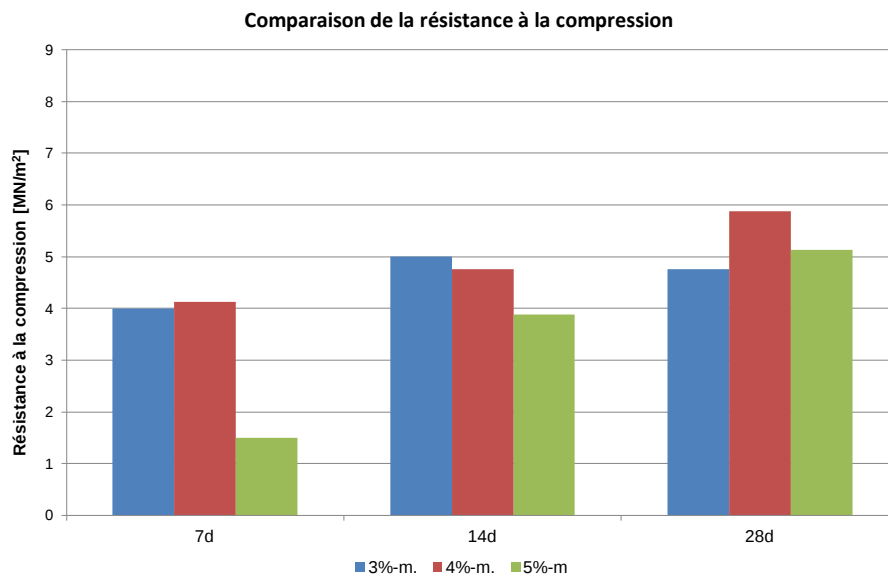


Fig. 5 Comparaison de la résistance à la compression en fonction de la teneur en émulsion.

Les commentaires suivants peuvent être tirés de cette première série d'essais:

- Les mélanges avec un dosage en émulsion de 3 et 4%-m. respectent toutes les exigences de la norme [3]. Le mélange à 4%-m. présente une résistance plus élevée, mais une résistance à la sensibilité à l'eau légèrement plus faible.
- Le mélange avec un dosage en émulsion de 5%-m. ne respecte pas l'exigence sur la résistance à la compression à 7 jours ($Z_{L7} > 3 \text{ MN/m}^2$). La teneur en eau de ce mélange semble trop élevée, et la prise de l'échantillon se fait donc plus lentement. A 28 jours, ce mélange présente une résistance à la compression comparable aux autres mélanges.

5.1.2 Mélanges avec 80% d'agrégats d'enrobés et 20% de sable d'apport

L'objectif de la deuxième série d'essais consistait à déterminer l'influence de l'utilisation d'un sable d'apport à hauteur de 20%-m. dans les mélanges sur la résistance à la compression selon Duriez. Trois mélanges avec des teneurs en liant différentes ont été fabriquées.

Les teneurs en liant sélectionnées sont identiques à celles de la première série d'essais. Ainsi les mélanges suivants ont été fabriqués et évalués:

Tab. 10 Aperçu des mélanges fabriqués

Teneur en émulsion [%-m.]	Teneur en liant [%-m.]	Teneur en agrégats d'enrobés [%-m.]	Teneur en sable d'apport [%-m.]
3	1.8	80	20
4	2.4	80	20
5	3.0	80	20

Pour chaque mélange, 12 éprouvettes ont été fabriquées, afin de réaliser un essai Duriez complet (résistance à la compression et sensibilité à l'eau).

Les résistances à la compression déterminées sont représentées dans le tableau et la figure ci-après.

Tab. 11 Résumé des résistances à la compression

		Dosage en émulsion [%-m.]			Exigences selon [3]
		3.0	4.0	5.0	
Masse volumique réelle déterminée	[kg/m ³]	2448	2425	2423	
Masse volumique apparente après 7 jours	[kg/m ³]	2162	2160	2200	
Teneur en vides après 7 jours	[%-vol.]	11.7	10.9	9.0	5 ... 12
Résistance à la compression après 7 jours (Z_{L7})	[MN/m ²]	4.75	4.25	4.75	≥ 3
Résistance à la compression après 14 jours (Z_{L7+W7})	[MN/m ²]	3.38	4.00	4.50	
Résistance à la compression après 28 jours (Z_{L28})	[MN/m ²]	6.38	6.38	6.75	> Z_{L7}
Rapport Z_{L7+W7} / Z_{L7} (sensibilité à l'eau)	[-]	0.71	0.94	0.95	≥ 0.7

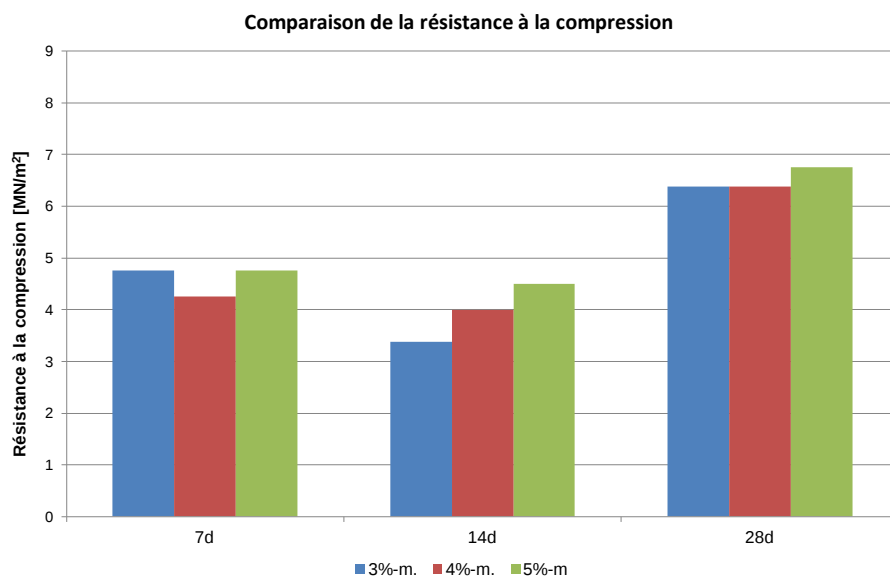


Fig. 6 Comparaison de la résistance à la compression en fonction de la teneur en émulsion.

Les commentaires suivants peuvent être tirés de cette deuxième série d'essais:

- Les trois mélanges, quel que soit le dosage en émulsion, respectent toutes les exigences de la norme [3].
- La différence entre les trois mélanges est relativement faible, à l'exception des résistances à la compression à 14 jours. En effet, les mélanges à 4%-m, respectivement 5%-m., présentent une meilleure sensibilité à l'eau.

5.1.3 Comparaison entre les mélanges avec 100% et 80% d'agrégats d'enrobés

Dans le tableau et la figure ci-après sont résumées les résistances à la compression pour les mélanges à 100%-m. d'agrégats d'enrobés et les mélanges à 80%-m. d'agrégats d'enrobés et 20%-m. de sable d'apport.

Tab. 12 Résumé des résistances à la compression

		Dosage en émulsion [%-m.]						Exigences selon [3]
		3.0		4.0		5.0		
Sable d'apport	[%-m.]	0	20	0	20	0	20	
Masse volumique réelle déterminée	[kg/m ³]	2425	2448	2383	2425	2332	2423	
Masse volumique apparente après 7 jours	[kg/m ³]	2171	2162	2190	2160	2160	2200	
Teneur en vides après 7 jours	[%-vol.]	10.5	11.7	8.1	10.9	7.4	9.0	5 ... 12
Résistance à la compression après 7 jours (Z _{L7})	[MN/m ²]	4.00	4.75	4.13	4.25	1.50	4.75	≥ 3
Résistance à la compression après 14 jours (Z _{L7+W7})	[MN/m ²]	5.00	3.38	4.75	4.00	3.88	4.50	
Résistance à la compression après 28 jours (Z _{L28})	[MN/m ²]	4.75	6.38	5.88	6.38	5.13	6.75	> Z _{L7}
Rapport Z _{L7+W7} / Z _{L7} (sensibilité à l'eau)	[-]	1.25	0.71	1.15	0.94	2.59	0.95	≥ 0.7

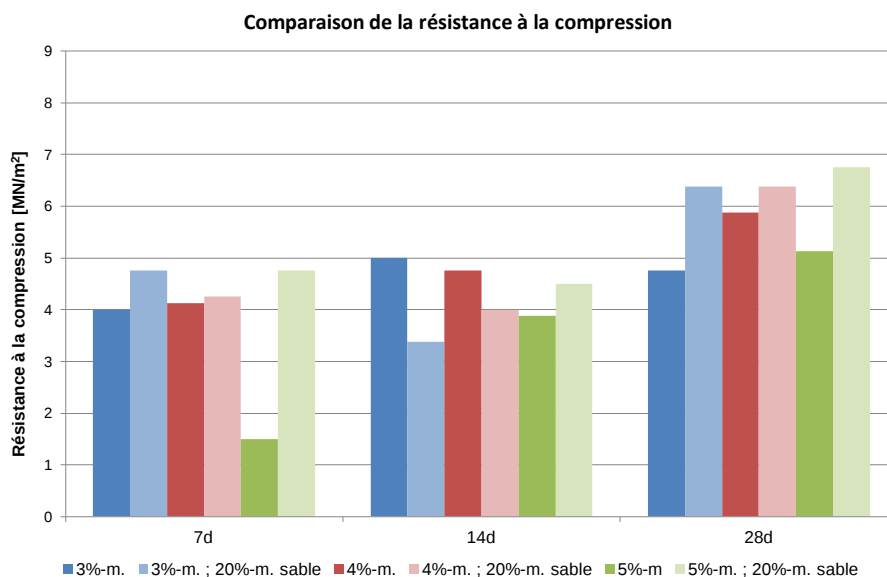


Fig. 7 Comparaison de la résistance à la compression en fonction de la teneur en émulsion et de sable d'apport.

Les commentaires suivants peuvent être tirés de cette première et deuxième série d'essais:

- La substitution d'une partie des agrégats d'enrobés par un sable d'apport, permet d'augmenter de manière générale les résistances à la compression, quel que soit le dosage en émulsion.
- Par contre le sable d'apport implique une résistance à la sensibilité à l'eau moins bonne, même si celle-ci reste conforme aux exigences de la norme [3] (voir figure ci-après).

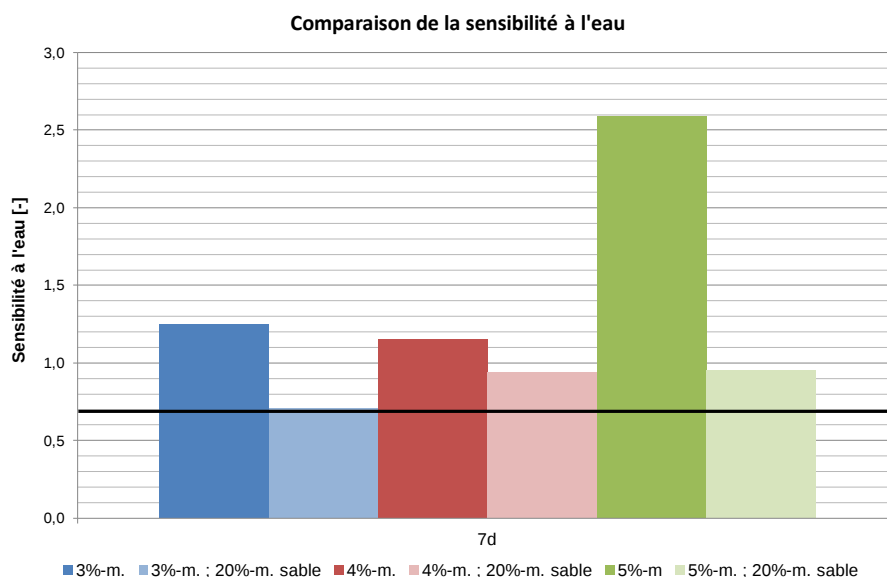


Fig. 8 Comparaison de la sensibilité à l'eau en fonction de la teneur en émulsion et de sable d'apport.

5.2 Mélanges à froid avec émulsion de bitume pure et ciment (liant combiné)

5.2.1 Mélanges avec 100% d'agrégats d'enrobés

L'objectif de la troisième série d'essais consistait à déterminer l'influence de l'ajout de ciment à l'émulsion de bitume pure sur la résistance à la compression selon Duriez de mélanges avec 100% d'agrégats d'enrobés. Cinq mélanges avec des teneurs en émulsion et des teneurs en ciment spécifiques ont été fabriqués:

Tab. 13 *Aperçu des mélanges fabriqués*

Teneur en émulsion [%-m.]	Teneur en ciment [%-m.]	Teneur en agrégats d'enrobés [%-m.]	Teneur en sable d'apport [%-m.]
3.0	1.5	100	0
3.0	2.5	100	0
4.0	2.0	100	0
5.0	1.5	100	0
5.0	2.5	100	0

La figure ci-après montre un exemple d'un mélange à froid avec émulsion de bitume pure et ciment (liant combiné).



Fig. 9 *Fabrication en laboratoire d'un mélange à froid avec émulsion de bitume pure et ciment (liant combiné).*

Pour chaque mélange, 12 éprouvettes ont été fabriquées, afin de réaliser un essai Duriez complet (résistance à la compression et sensibilité à l'eau).

Les résistances à la compression déterminées sont représentées dans le tableau et la figure ci-après.

Tab. 14 Résumé des résistances à la compression

		Dosage en émulsion / ciment [%-m.]					Exigences selon [3]
		3.0 / 1.5	3.0 / 2.5	4.0 / 2.0	5.0 / 1.5	5.0 / 2.5	
Masse volumique réelle déterminée	[kg/m ³]	2437	2437	2404	2411	2415	
Masse volumique apparente après 7 jours	[kg/m ³]	2178	2232	2224	2228	2223	
Teneur en vides après 7 jours	[%-vol.]	10.6	8.0	7.6	7.5	7.9	5 ... 12
Résistance à la compression après 7 jours (Z_{L7})	[MN/m ²]	5.25	7.13	7.00	6.00	6.13	≥ 3
Résistance à la compression après 14 jours (Z_{L7+W7})	[MN/m ²]	5.25	7.38	6.25	6.13	5.25	
Résistance à la compression après 28 jours (Z_{L28})	[MN/m ²]	5.90	8.25	7.00	5.90	7.00	> Z_{L7}
Rapport Z_{L7+W7} / Z_{L7} (sensibilité à l'eau)	[-]	1.00	1.04	0.89	1.02	0.86	≥ 0.7

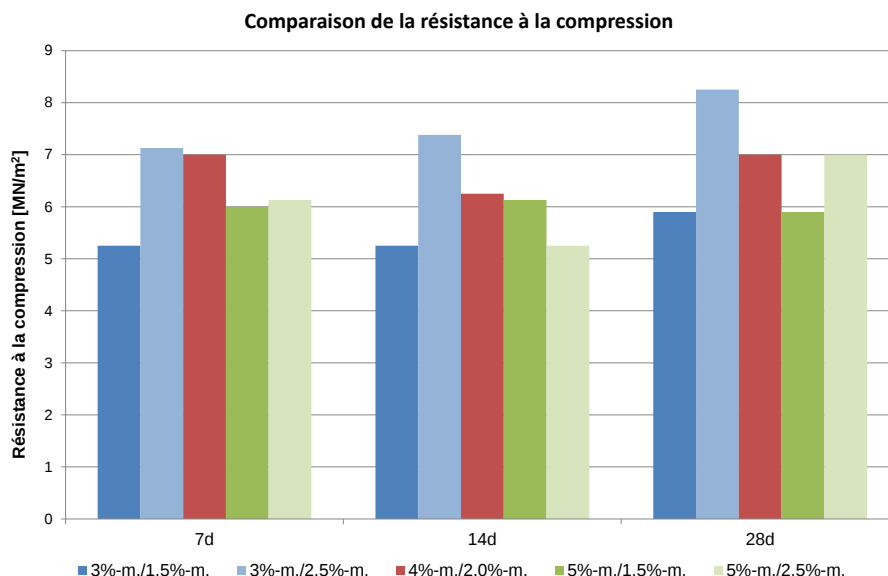


Fig. 10 Comparaison de la résistance à la compression en fonction de la teneur en liants.

Les commentaires suivants peuvent être tirés de cette troisième série d'essais:

- Les mélanges, quel que soit le dosage en émulsion, respectent toutes les exigences de la norme [3], à l'exception du mélange à 5%-m. d'émulsion et de 1.5%-m. de ciment, qui présente une résistance à la compression légèrement plus faible à 28 jours qu'à 7 jours.
- Les mélanges avec un dosage en ciment plus élevée présentent des résistances plus élevées. Ce phénomène est particulièrement marqué pour les mélanges à 3%-m. d'émulsion.

5.2.2 Mélanges avec 80% d'agrégats d'enrobés et 20% de sable d'apport

L'objectif de la quatrième série d'essais consistait à déterminer l'influence de l'utilisation d'un sable d'apport à hauteur de 20%-m. dans les mélanges sur la résistance à la compression selon Duriez. Quatre mélanges spécifiques ont été fabriqués:

Tab. 15 Aperçu des mélanges fabriqués

Teneur en émulsion [%-m.]	Teneur en ciment [%-m.]	Teneur en agrégats d'enrobés [%-m.]	Teneur en sable d'apport [%-m.]
3.0	1.5	80	20
3.0	2.5	80	20
5.0	1.5	80	20
5.0	2.5	80	20

Pour chaque mélange, 12 éprouvettes ont été fabriquées, afin de réaliser un essai Duriez complet (résistance à la compression et sensibilité à l'eau).

Les résistances à la compression déterminées sont représentées dans le tableau et la figure ci-après.

Tab. 16 Résumé des résistances à la compression

		Dosage en émulsion / ciment [%-m.]				Exigences selon [3]
		3.0 / 1.5	3.0 / 2.5	5.0 / 1.5	5.0 / 2.5	
Masse volumique réelle déterminée	[kg/m ³]	2472	2458	2433	2413	
Masse volumique apparente après 7 jours	[kg/m ³]	2145	2186	2200	2188	
Teneur en vides après 7 jours	[%-vol.]	13.2	11.1	9.6	9.3	5 ... 12
Résistance à la compression après 7 jours (Z _{L7})	[MN/m ²]	4.63	5.75	4.88	5.25	≥ 3
Résistance à la compression après 14 jours (Z _{L7+W7})	[MN/m ²]	4.00	6.00	4.50	4.88	
Résistance à la compression après 28 jours (Z _{L28})	[MN/m ²]	4.91	7.25	6.50	7.00	> Z _{L7}
Rapport Z _{L7+W7} / Z _{L7} (sensibilité à l'eau)	[-]	0.86	1.04	0.92	0.93	≥ 0.7

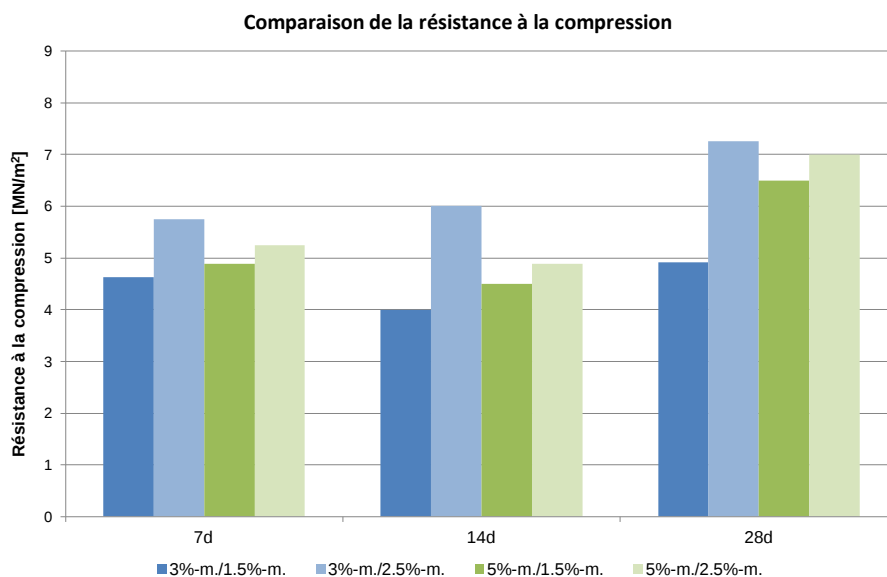


Fig. 11 Comparaison de la résistance à la compression en fonction de la teneur en liants.

Les commentaires suivants peuvent être tirés de cette quatrième série d'essais:

- Les mélanges, quel que soit le dosage en émulsion, respectent toutes les exigences de la norme [3], à l'exception du mélange à 3%-m. d'émulsion et de 1.5%-m. de ciment, qui présente une teneur en vides trop élevée.
- Les mélanges avec un dosage en ciment plus élevée présentent des résistances plus élevées. Ce phénomène est particulièrement marqué pour les mélanges à 3%-m. d'émulsion.

5.2.3 Comparaison entre les mélanges avec 100% et 80% d'agrégats d'enrobés

Dans le tableau et les figures ci-après sont résumées les résistances à la compression pour les mélanges à 100%-m. d'agrégats d'enrobés et les mélanges à 80%-m. d'agrégats d'enrobés et 20%-m. de sable d'apport.

Tab. 17 Résumé des résistances à la compression

		Dosage en émulsion / ciment [%-m.]								Exigences selon [3]
		3.0 / 1.5		3.0 / 2.5		5.0 / 1.5		5.0 / 2.5		
Sable d'apport	[%-m.]	0	20	0	20	0	20	0	20	
Masse volumique réelle déterminée	[kg/m³]	2437	2472	2437	2458	2411	2433	2415	2413	
Masse volumique apparente après 7 jours	[kg/m³]	2178	2145	2232	2186	2228	2200	2223	2188	
Teneur en vides après 7 jours	[%-vol.]	10.6	13.2	8.0	11.1	7.5	9.6	7.9	9.3	5 ... 12
Résistance à la compression après 7 jours (Z _{L7})	[MN/m²]	5.25	4.63	7.13	5.75	6.00	4.88	6.13	5.25	≥ 3
Résistance à la compression après 14 jours (Z _{L7+W7})	[MN/m²]	5.25	4.00	7.38	6.00	6.13	4.50	5.25	4.88	
Résistance à la compression après 28 jours (Z _{L28})	[MN/m²]	5.90	4.91	8.25	7.25	5.90	6.50	7.00	7.00	> Z _{L7}
Rapport Z _{L7+W7} / Z _{L7} (sensibilité à l'eau)	[-]	1.00	0.86	1.04	1.04	1.02	0.92	0.86	0.93	≥ 0.7

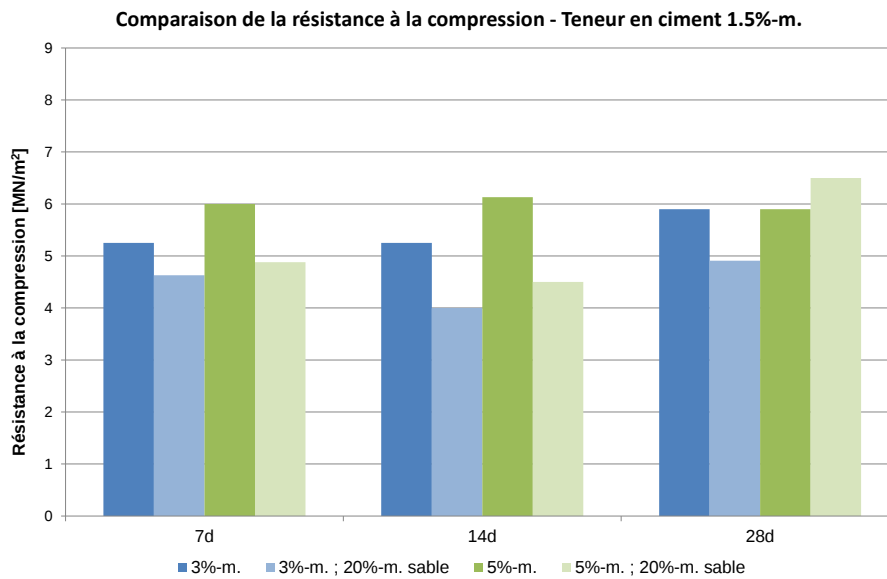


Fig. 12 Comparaison de la résistance à la compression en fonction de la teneur en émulsion et de sable d'apport.

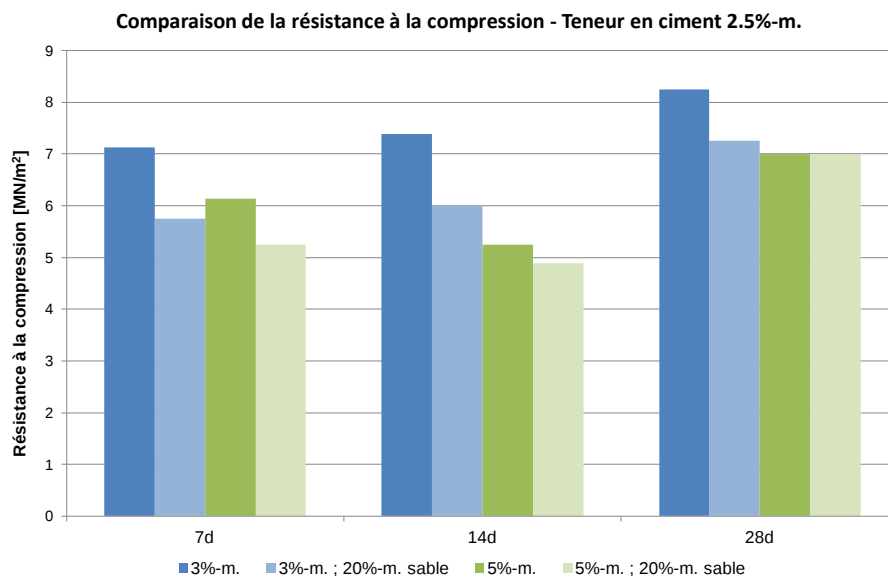


Fig. 13 Comparaison de la résistance à la compression en fonction de la teneur en émulsion et de sable d'apport.

Les commentaires suivants peuvent être tirés de cette troisième et quatrième série d'essais:

- La substitution d'une partie des agrégats d'enrobés par un sable d'apport, diminue de manière générale les résistances à la compression à 7 et 14 jours, quel que soit le dosage en émulsion. A 28 jours, cette diminution est toujours observée pour les mélanges avec 3%-m. d'émulsion.
- Les mélanges avec un dosage en ciment plus élevée (2.5%-m.) présentent des résistances plus élevées.
- Le sable d'apport implique une moins bonne sensibilité à l'eau pour les mélanges avec 1.5%-m. de ciment. Pour les mélanges avec 2.5%-m. de ciment, aucune tendance par rapport à la sensibilité à l'eau n'est observée (voir figures ci-après).

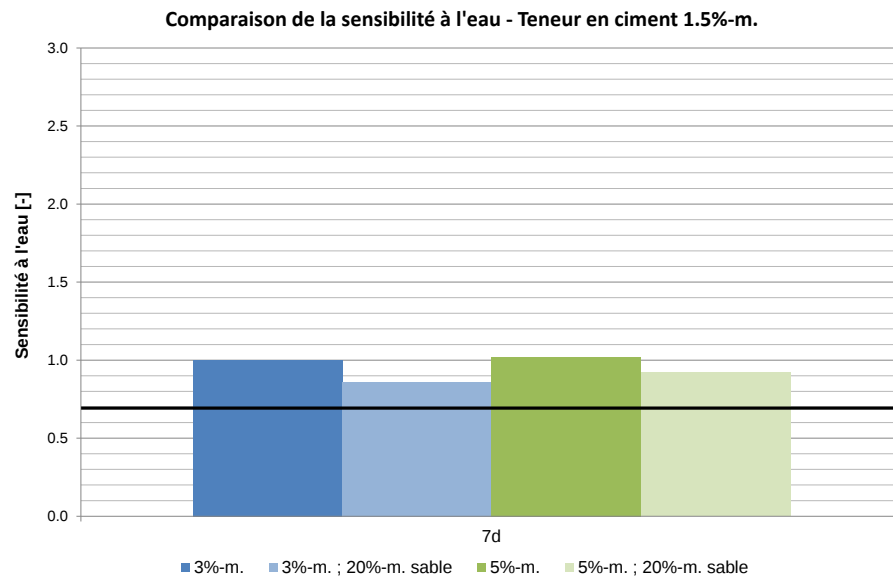


Fig. 14 Comparaison de la sensibilité à l'eau en fonction de la teneur en émulsion de sable d'apport.

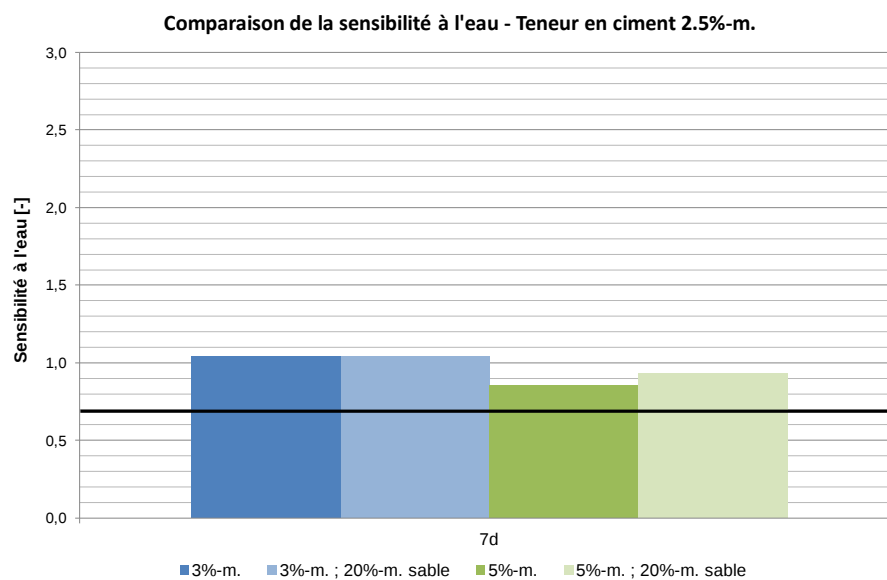


Fig. 15 Comparaison de la sensibilité à l'eau en fonction de la teneur en émulsion et de sable d'apport.

5.3 Influence du sable d'apport sur la maniabilité des mélanges à froid

5.3.1 Mélanges avec émulsion de bitume pure

L'objectif de la cinquième série d'essais consistait à déterminer l'influence de l'utilisation d'un sable d'apport à hauteur de 20%-m. dans les mélanges sur leur maniabilité. Deux mélanges ont été fabriqués et soumis à la presse à cisaillement giratoire (PCG):

Tab. 18 Aperçu des mélanges fabriqués

Type de liants [-]	Teneur en émulsion [%-m.]	Teneur en ciment [%-m.]	Teneur en agrégats d'enrobés [%-m.]	Teneur en sable d'apport [%-m.]
Webacid C60B4	4.0	0.0	100	0
	4.0	0.0	80	20
Webacid C60BP4	4.0	0.0	100	0
	4.0	0.0	80	20

La figure ci-après montre un exemple d'une éprouvette PCG d'un mélange à froid avec émulsion de bitume pure.



Fig. 16 Confection d'une éprouvette PCG d'un mélange à froid avec émulsion de bitume pure.

Pour chaque mélange, 3 éprouvettes ont été fabriquées, afin de réaliser un essai PCG (enregistrement de la courbe de compactage).

Les courbes de compactage déterminées sont représentées dans la figure ci-après.

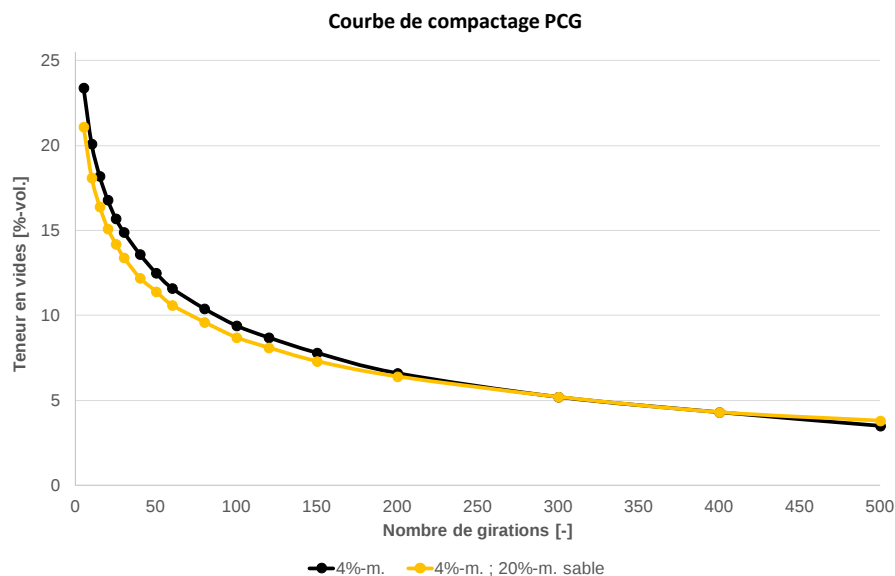


Fig. 17 Comparaison des courbes de compactage PCG.

Les commentaires suivants peuvent être tirés de cette cinquième série d'essais:

- Le mélange avec 20%-m. de sable se laisse compacter plus facilement jusqu'à environ 200 girations. L'ajout de sable dans le mélange permet donc d'augmenter la maniabilité de ce mélange.

5.3.2 Mélanges avec émulsion de bitume modifié

L'objectif de la sixième série d'essais consistait à déterminer l'influence de l'utilisation d'une émulsion de bitume modifié par polymères dans les mélanges sur leur maniabilité. Deux mélanges ont été fabriqués et soumis à la presse à cisaillement giratoire (PCG):

Tab. 19 Aperçu des mélanges fabriqués

Type de liants [-]	Teneur en émulsion [%-m.]	Teneur en liant résiduel [%-m.]	Teneur en agrégats d'enrobés [%-m.]	Teneur en sable d'apport [%-m.]
Webacid C60BP4	4.0	2.4	100	0
	4.0	2.4	80	20

Pour chaque mélange, 3 éprouvettes ont été fabriquées, afin de réaliser un essai PCG (enregistrement de la courbe de compactage).

Les courbes de compactage déterminées sont représentées dans la figure ci-après.

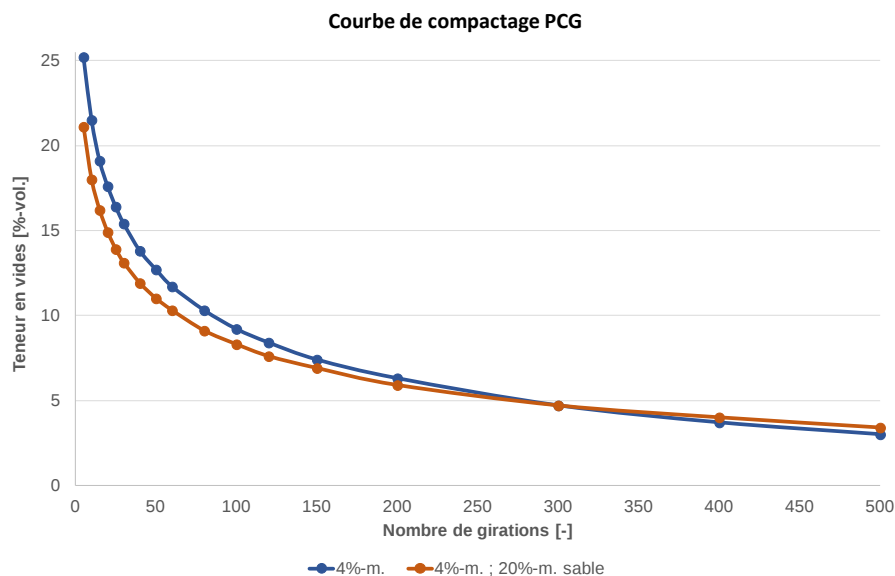


Fig. 18 Comparaison des courbes de compactage PCG.

Les commentaires suivants peuvent être tirés de cette cinquième série d'essais :

- Le mélange avec 20%-m. de sable se laisse compacter plus facilement jusqu'à environ 200 girations. L'ajout de sable dans le mélange permet donc d'augmenter la maniabilité de ce mélange.

5.3.3 Comparaison entre les mélanges avec émulsion de bitume pure et modifié

Dans la figure ci-après sont résumées les courbes de compactage déterminées pour les mélanges avec émulsion de bitume pure et pour les mélanges avec émulsion de bitume modifié par polymères.

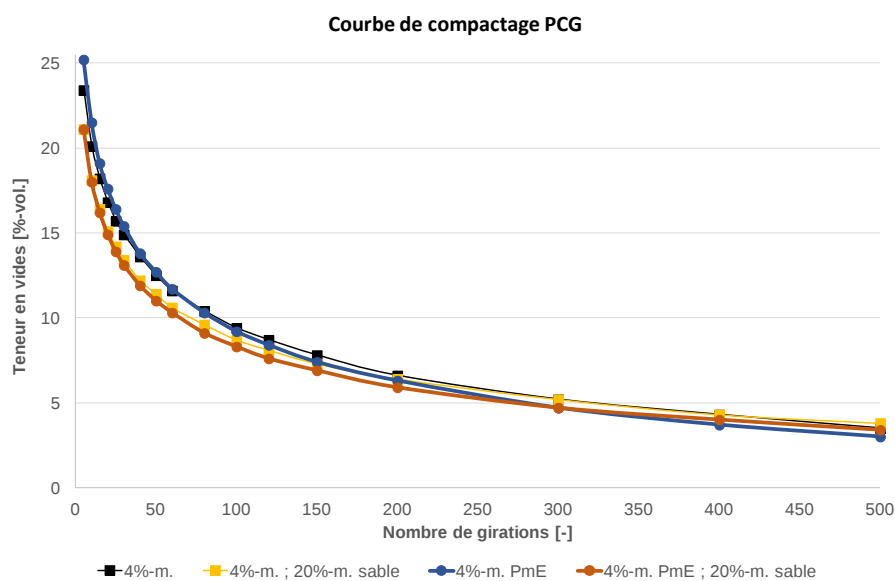


Fig. 19 Comparaison des courbes de compactage PCG.

Les commentaires suivants peuvent être tirés de cette cinquième et sixième série d'essais:

- La substitution de l'émulsion de bitume pure par une émulsion de bitume modifié polymères n'a aucun effet concret sur la maniabilité des mélanges à froid. L'incidence de cette substitution sur les autres caractéristiques (résistance à la compression, sensibilité à l'eau) n'a pas été testée.

5.4 Conclusions par rapport aux essais en laboratoire

Les conclusions suivantes peuvent être tirées des six séries d'essais:

- La quasi-totalité des mélanges évalués respectent les exigences de la norme [3] par rapport aux résistances à la compression. Uniquement le mélange avec un dosage en émulsion de bitume pure de 5%-m. et avec 100%-m. d'agrégats d'enrobés présente une non-conformité importante par rapport à la résistance à la compression à 7 jours ($Z_{L7} > 3 \text{ MN/m}^2$). La teneur en eau de ce mélange semble trop élevée, et la prise de l'échantillon se fait donc plus lentement. A 28 jours, ce mélange présente par contre une résistance à la compression comparable aux autres mélanges.
- La substitution d'une partie des agrégats d'enrobés par un sable d'apport, permet d'augmenter de manière générale les résistances à la compression pour les mélanges avec une émulsion en bitume pure. Par contre pour les mélanges avec un liant combiné (émulsion de bitume pure et ciment), le sable d'apport a plutôt un effet négatif sur les résistances à la compression.
- De manière générale, le sable d'apport implique une moins bonne sensibilité à l'eau, quel que soit le type de liant utilisé.
- Les mélanges au liant combiné avec un dosage en ciment plus élevé présentent des résistances plus élevées. Ce phénomène est particulièrement marqué pour les mélanges à 3%-m. d'émulsion.
- Le recours à un liant combiné permet, de manière générale, d'augmenter les résistances à la compression des mélanges. Par contre la sensibilité à l'eau est légèrement moins bonne en ajoutant du ciment aux mélanges.
- La substitution d'une partie des agrégats d'enrobés par un sable d'apport dans les mélanges permet d'augmenter la maniabilité de ceux-ci. La substitution de l'émulsion de bitume pure par une émulsion de bitume modifié polymères n'a par contre aucun effet concret sur la maniabilité des mélanges à froid.

6 Considérations théoriques

Dans le domaine de construction routière suisse il existe une multitude de possibilités pour la conception d'une couche de fondation d'une chaussée. Pour un projet routier standard, la méthode traditionnelle consiste à employer une couche de fondation en grave non liée. Cette couche peut par contre dans certains cas être insuffisante (sol de fondation de mauvaise qualité, portance trop faible sur la couche de fondation, etc.). Dans ces cas, il existe des méthodes bien connues comme les mélanges traités (au ciment, à la chaux, etc.) ou la mise en place d'une couche de fondation en enrobés bitumineux AC F. Cette dernière permet d'augmenter considérablement la qualité d'une fondation, mais présente également des inconvénients (coûts, impact environnemental, quantité limitée d'agrégats d'enrobés, etc.).

Actuellement en Suisse, on dimensionne toujours avec la méthode empirique AASHO des années 60 (méthode empirique – coefficients SN), avec des normes matériaux correspondantes qui sont basées sur les acquis européens. La norme SN 640 324 "Dimensionnement; superstructures des routes" [13] spécifie les valeurs de portance pour toute couche, bitumineuses ou non, pouvant se trouver dans une structure routière. Au niveau des techniques à froid, la norme reprend certaines techniques et donne des indications par rapport aux structures types à mettre en œuvre. Néanmoins la norme distingue uniquement 2 groupes de techniques à froid, soit les mélanges traités aux liants hydrauliques et mélanges traités aux liants bitumineux (voir figure ci-après). Aucune distinction n'est faite entre les différentes sous-catégories des techniques à froid ou leurs compositions. De même, les mélanges traités aux liants combinés ne sont pas mentionnés dans la norme.

Tragfähigkeitswerte (α -Werte) der Oberbauschichten in Funktion der Schadenbildung Valeurs de portance (coefficient α) des couches de la chaussée en fonction des dégradations					
Oberbauschichten Couches de la chaussée	α -Werte neuer Oberbauschichten Coefficients α de nouvelles couches de la chaussée	α -Werte alter Oberbauschichten in Funktion der Schadenbildung Coefficients α d'anciennes couches de la chaussée en fonction des dégradations			
		Örtliche Schäden Dégradations locales	Ausgedehnte Schäden Dégradations étendues	Strukturelle Schäden Dégradations structurales	
SN 640 730 [12]					
Deck-, Binder- und Tragschichten / Couches de roulement, de liaison et de base					
Asphaltbeton Enrobés bitumineux	AC, AC B, AC T, AC MR	4,0	3,4	2,8	2,4
Asphaltbeton für sehr dünne Schichten Bétons bitumineux très minces	ACVTL				
Hot Rolled Asphalt	HRA				
Splittmastixasphalt Béton bitumineux grenu à forte teneur en mastic	SMA				
Gussasphalt Asphalte coulé routier	MA				
Deck- und Binderschichten / Couches de roulement et de liaison					
Offenporiger Asphalt Bétons bitumineux drainants	PA, PA B	2,6	2,2	1,8	1,6
Tragschichten / Couches de base					
Hochmodul-Asphaltbeton Enrobés bitumineux à module élevé	AC EME 22 C1	4,4 ¹⁾	3,8 ¹⁾	2,8 ¹⁾	2,4 ¹⁾
Hochmodul-Asphaltbeton Enrobés bitumineux à module élevé	AC EME 22 C2	5,6 ¹⁾	5,0 ¹⁾	2,8 ¹⁾	2,4 ¹⁾
Fundationsschichten / Couches de fondation					
Asphaltbeton Enrobés bitumineux	AC F	3,2	2,8	2,2	1,9
Schottertränkung, Stabilisierungen / Pénétration, stabilisations					
Schottertränkung Pénétration		2,6	2,2	1,8	1,6
Stabilisierung mit hydraulischen Bindemitteln Stabilisation aux liants hydrauliques		2,4	2,0	1,7	1,5
Stabilisierung mit bituminösen Bindemitteln Stabilisation aux liants bitumineux		2,7	2,3	1,9	1,6
Ungebundenes Gemisch / Grave non traitée					
Anteil gebrochener Körner: keine Anforderung Proportion de granulats concassés: aucune exigence		1,0 ²⁾	1,0 ²⁾	1,0 ²⁾	0,6 ²⁾
Anteil gebrochener Körner Proportion de granulats concassés	≥ 67%	1,25 ²⁾	1,25 ²⁾	1,25 ²⁾	0,75 ²⁾

- ¹⁾ Überprüfung mit einer analytischen Dimensionierung empfohlen
- ²⁾ Provisorische Werte basierend auf dem Nationalen Anhang SN 670 119-NA zu EN 13242 [18] und EN 13285 [19], da für ungebundene Gemische noch keine aktualisierten Erfahrungswerte bestehen

- ¹⁾ Vérification avec un dimensionnement analytique recommandée
- ²⁾ Valeurs provisoires basées sur l'annexe nationale SN 670 119-NA aux EN 13242 [18] et EN 13285 [19], car aucune valeur d'expérience actualisée pour les graves non traitées n'existe encore

Fig. 20 Valeurs de portance selon [13].

6.1 Définition des valeurs de portance pour les techniques à froid

Pour la définition des valeurs de portance pour les différentes techniques à froid, les résultats issus de [16], du projet associé VSS 2010/506 et du présent projet VSS 2010/505, ont été utilisés. Ceux-ci ont été intégrés dans le logiciel de dimensionnement Alizé-LCPC [25], afin de modéliser le comportement des différentes techniques à froid, en comparaison avec les techniques traditionnelles.

Cette approche est purement théorique et donne un ordre de grandeur des valeurs de portance. La définition exacte de ces valeurs n'est possible qu'avec un suivi pratique du comportement in-situ des matériaux. Les valeurs définies dans ce rapport sont donc purement indicatives.

Le type de chaussée n°3 (couches en enrobés bitumineux sur enrobé bitumineux pour couches de fondation AC F) de la norme [13] a été choisi comme structure-type (voir figure ci-après).

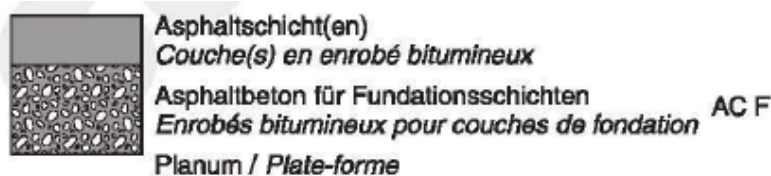


Fig. 21 Type de chaussée n°3 selon [13].

Les hypothèses de calculs suivantes ont été appliquées:

- **Trafic:** Une classe de trafic T4 a été choisie. Un trafic pondéral équivalent journalier de 9000 vhc/j a été choisi afin de se situer dans le haut de la fourchette pour un trafic T4. Ce trafic correspond à un trafic pondéral équivalent total de 65'700'000 vhc sur une durée de vie de 20 ans.
- **Sol de fondation:** Une classe de portance S2 a été choisie avec des caractéristiques moyennes. Le module du matériau a été calculé de manière à ce que les sollicitations calculées correspondent aux sollicitations admissibles (cas de référence avec AC F).
- **Structural Number:** Pour un trafic T4 et un sol S2, un SN de 105 est nécessaire selon [13].
- **Couches en enrobés bitumineux:** Pour un trafic T4 et un sol S2, des couches en enrobé bitumineux de 120 mm sont nécessaires selon [13]. Une composition bicouche a été retenue pour la modélisation (40 mm couche de roulement en AC et 80 mm couche de base en AC T). Des caractéristiques moyennes des matériaux, issues de la littérature, ont été appliquées.
- **Enrobé bitumineux pour couches de fondation AC F:** Pour un trafic T4 et un sol S2, un AC F de 180 mm est nécessaire selon [13]. Des caractéristiques moyennes du matériau, issues de la littérature, ont été appliquées. Le module du matériau a été calculé de manière à ce que les sollicitations calculées correspondent aux sollicitations admissibles (cas de référence avec AC F).
- **Dimensionnement mécanique:** La couche de fondation en AC F ou les différentes techniques à froid sont considérées comme des couches de fondation, ne travaillant pas en fatigue. Le critère de dimensionnement pris en compte se limite ainsi à la déformation verticale sur le sol support, la fatigue étant repris par les couches en enrobés bitumineux.

La valeur de portance de la couche de fondation en enrobé bitumineux AC F, issue de la norme [13], a été choisie en tant que paramètre de base ($a = 3.2 [-]$). Ensuite cette couche a été remplacée par les différentes techniques à froid et son épaisseur optimale a été calculée, tout en conservant les autres paramètres (trafic, caractéristiques et conception des autres couches, etc.). Ainsi la valeur de portance de la technique à froid a pu être déduite par rapport au changement d'épaisseur nécessaire.

Les caractéristiques de matériaux des différentes techniques à froid ont été déduites des essais réalisés dans les trois projets de recherche mentionnés, en recourant à des caractéristiques moyennes, minimales et maximales par technique (résistance à la compression à 28 jours), et de la littérature, principalement du guide technique sur le renforcement du Sétra [23].

La figure ci-après montre un exemple de calcul d'une structure-type modélisée dans Alizé-LCPC [25].

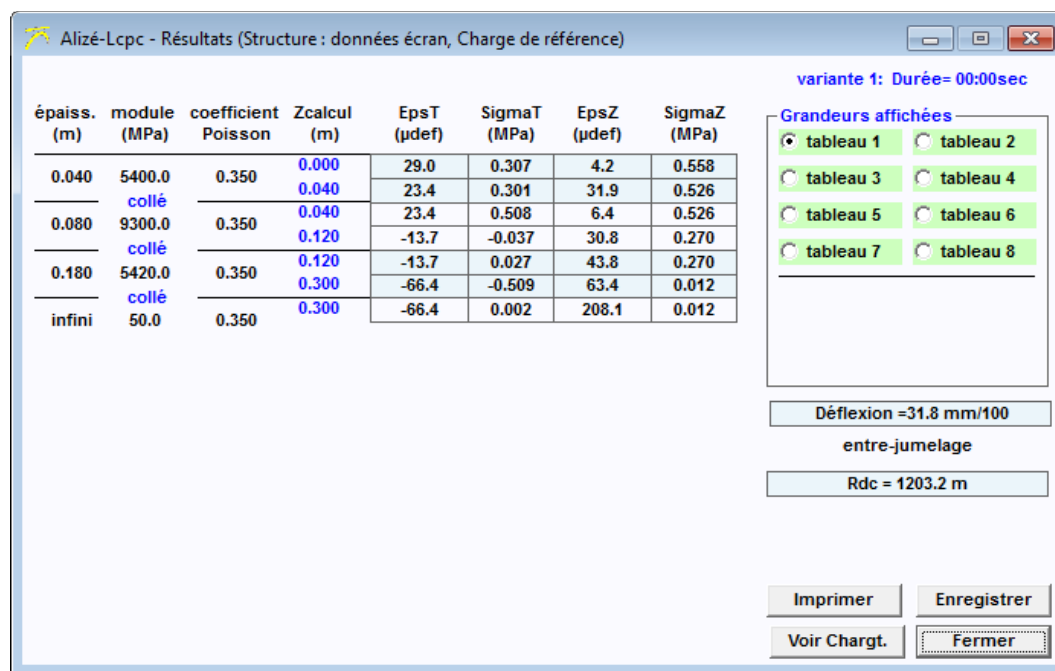


Fig. 22 Exemple de calcul d'une structure-type modélisée dans Alizé-LCPC [25].

Le tableau ci-après donne un aperçu des principaux résultats de calcul pour des caractéristiques moyennes.

Tab. 20 Aperçu des principaux résultats de calcul pour des caractéristiques moyennes

Type de fondation	Sollicitations calculées		Sollicitations admissibles ¹		Epaisseur correspond. [mm]
	EpsT ² [μdef]	EpsZ ³ [μdef]	EpsT ² [μdef]	EpsZ ³ [μdef]	
Couche de fondation en enrobés bitumineux AC F	-13.7	208.1			180
Emulsion de bitume	-23.7	206.4			240
Bitume-mousse	-28.4	208.1	37.6	208.2	260
Emulsion de bitume – Ciment	-19.4	206.8			220
Bitume-mousse - Ciment	-28.5	201.3			270

¹ Sollicitations calculées pour le cas de référence (AC F)

² Déformation horizontale, calculée au bas de la couche de base en AC T

³ Déformation verticale, calculée en haut du sol support

Ces valeurs s'appliquent uniquement aux techniques à froid avec au minimum 80% d'agrégats d'enrobés dans le mélange.

Ainsi les valeurs de portance suivantes ont pu être proposées:

Tab. 21 Proposition des valeurs de portance pour différentes techniques à froid (valeurs indicatives)

Technique	Sous-catégorie	Valeur de portance (a) de nouvelles couches de la chaussée		
		Moy.	Min.	Max.
Enrobés bitumineux	Couche de fondation en enrobés bitumineux AC F	3.2 [13]		
Mélanges aux liants bitumineux	Emulsion de bitume	2.4	2.2	2.6
	Bitume-mousse	2.2	2.1	2.3
Mélanges aux liants combinés	Emulsion de bitume - Ciment	2.6	2.3	2.9
	Bitume-mousse - Ciment	2.2	2.1	2.3

Les valeurs proposées pour les mélanges aux liants bitumineux sont légèrement inférieures aux valeurs indiquées dans la norme [13] ($a = 2.7$).

6.2 Conclusions par rapport aux considérations théoriques

Les conclusions suivantes peuvent être tirées:

- Grâce à l'utilisation des résultats de trois projets de recherche ([16], VSS 2010/505 et VSS 2010/506), des valeurs de portance pour les techniques à froid ont pu être proposées. Ces valeurs sont purement indicatives.
- La valeur de portance proposée des mélanges aux liants bitumineux varie entre 2.2 ± 0.1 (bitume-mousse) et 2.4 ± 0.2 (émulsion de bitume).
- La valeur de portance proposée des mélanges aux liants combinés varie entre 2.2 ± 0.1 (bitume-mousse et ciment) et 2.6 ± 0.3 (émulsion de bitume et ciment). L'ajout de ciment permet d'augmenter la valeur de portance pour les mélanges à l'émulsion, mais n'a aucune influence sur les mélanges au bitume-mousse.
- Les valeurs de portance issues de la norme [13] sont cohérentes avec les valeurs proposées dans le présent rapport.

7 Conclusions et recommandations

7.1 Conclusions par rapport aux essais en laboratoire et recommandations par rapport à la composition optimale des mélanges

Les conclusions suivantes peuvent être tirées des différentes séries d'essais évaluées:

- La quasi-totalité des mélanges évalués respectent les exigences de la norme [3] par rapport aux résistances à la compression. Uniquement le mélange avec un dosage en émulsion de bitume pure de 5%-m. et avec 100%-m. d'agrégats d'enrobés présente une non-conformité importante par rapport à la résistance à la compression à 7 jours ($Z_{L7} > 3 \text{ MN/m}^2$). La teneur en eau de ce mélange semble trop élevée, et la prise de l'échantillon se fait donc plus lentement. A 28 jours, ce mélange présente par contre une résistance à la compression comparable aux autres mélanges.
- La substitution d'une partie des agrégats d'enrobés par un sable d'apport, permet d'augmenter de manière générale les résistances à la compression pour les mélanges avec une émulsion en bitume pure. Par contre pour les mélanges avec un liant combiné (émulsion de bitume pure et ciment), le sable d'apport a plutôt un effet négatif sur les résistances à la compression.
- De manière générale, le sable d'apport implique une moins bonne sensibilité à l'eau, quel que soit le type de liant utilisé.
- Les mélanges au liant combiné avec un dosage en ciment plus élevé présentent des résistances plus élevées. Ce phénomène est particulièrement marqué pour les mélanges à 3%-m. d'émulsion.
- Le recours à un liant combiné permet, de manière générale, d'augmenter les résistances à la compression des mélanges. Par contre la sensibilité à l'eau est légèrement moins bonne en ajoutant du ciment aux mélanges.
- La substitution d'une partie des agrégats d'enrobés par un sable d'apport dans les mélanges permet d'augmenter la maniabilité de ceux-ci. La substitution de l'émulsion de bitume pure par une émulsion de bitume modifié polymères n'a par contre aucun effet concret sur la maniabilité des mélanges à froid.

Ainsi, la fabrication d'un mélange à froid avec émulsion de bitume ou avec un liant combiné de type émulsion de bitume avec ciment, peut être envisagé sans ajout de sable d'apport. En effet, les mélanges avec 100% d'agrégats d'enrobés respectent les exigences des normes. La maniabilité de ce dernier doit par contre être contrôlée sur chantier.

7.2 Proposition des valeurs de portance des techniques à froid

Les conclusions suivantes peuvent être tirées:

- Grâce à l'utilisation des résultats de trois projets de recherche ([16], VSS 2010/505 et VSS 2010/506), des valeurs de portance pour les techniques à froid ont pu être proposées. Ces valeurs sont purement indicatives.
- La valeur de portance proposée des mélanges aux liants bitumineux varie entre 2.2 ± 0.1 (bitume-mousse) et 2.4 ± 0.2 (émulsion de bitume).
- La valeur de portance proposée des mélanges aux liants combinés varie entre 2.2 ± 0.1 (bitume-mousse et ciment) et 2.6 ± 0.3 (émulsion de bitume et ciment). L'ajout de ciment permet d'augmenter la valeur de portance pour les mélanges à l'émulsion, mais n'a aucune influence sur les mélanges au bitume-mousse.
- Les valeurs de portance issues de la norme [13] sont cohérentes avec les valeurs proposées dans le présent rapport.

Les valeurs de portance suivantes sont proposées:

Tab. 22 Proposition des valeurs de portance pour différentes techniques à froid (valeurs indicatives)

Technique	Sous-catégorie	Valeur de portance (a) de nouvelles couches de la chaussée		
		Moy.	Min.	Max.
Enrobés bitumineux	Couche de fondation en enrobés bitumineux AC F	3.2 [13]		
Mélanges aux liants bitumineux	Emulsion de bitume	2.4	2.2	2.6
	Bitume-mousse	2.2	2.1	2.3
Mélanges aux liants combinés	Emulsion de bitume - Ciment	2.6	2.3	2.9
	Bitume-mousse - Ciment	2.2	2.1	2.3

7.3 Recommandations pour l'adaptation des normes

Les résultats de la présente recherche permettent d'apporter des recommandations sur la composition des techniques à froid (type de liant, dosage, sable d'apport, etc.), sur leurs caractéristiques mécaniques (résistance à la compression, sensibilité à l'eau, etc.), ainsi que sur leur emploi dans les structures routières en Suisse (valeurs de portance).

7.4 Recommandations pour des recherches futures

Plusieurs questions restent ouvertes dans le domaine des techniques à froid. L'on peut mentionner l'impact environnemental d'un mélange au liant combiné, l'adaptation des exigences facilement atteignables (recours à plusieurs catégories de techniques à froid comme pour les enrobés bitumineux (type L, N, S, H)) ou le suivi sur le long terme de ces techniques grâce à des planches d'essais.

L'approche théorique menée dans le cadre de ce mandat donne un ordre de grandeur des valeurs de portance. La définition exacte de ces valeurs n'est possible qu'avec un suivi pratique du comportement in-situ des matériaux. Le recours à des planches d'essais est donc nécessaire.

Ainsi il est recommandé d'effectuer des analyses plus poussées sur deux mélanges (100% d'agrégats d'enrobés avec une teneur en émulsion de 4%-m. ; 100% d'agrégats d'enrobés avec une teneur en émulsion de 3%-m. et une teneur en ciment de 2.5%-m.) et de les tester à l'aide de planches d'essais. De cette manière, la fabrication et la mise en œuvre pourraient être contrôlées.

Annexes

I	Caractéristiques principales des matériaux de base	54
I.1	RC-Grave de granulats d'asphalte	54
I.2	Sable d'apport	56
I.3	Emulsions de bitume	57
II	Essais en laboratoire	59
II.1	Mélanges à froid avec émulsion de bitume pure	59
II.2	Mélanges à froid avec émulsion de bitume pure et ciment (liant combiné)	65
II.3	Influence du sable d'apport sur la maniabilité des mélanges à froid	79

I Caractéristiques principales des matériaux de base

I.1 RC-Grave de granulats d'asphalte



Attest

Prüfzeugnisnummer 16-02-2326
 Gesamtauftrag 02-07-71010-1
 Probenahme 09.05.2016
 Probeneingang 09.05.2016
 Projektleiter Dr. Christian Angst
 Objekt VSS 2010/505 Kaltgebundene Schichten
 Probenahmeort Depot
 Bemerkungen

Mischgutsorte Asphaltgranulat 0/22
 Norm

Bundesamt für Strassen (ASTRA)
 c/o DLZ FI EFD
 3003 Bern

Probe-Nr.	16-03632	Probenahme durch	IMP Bautest AG
Probe-Nr. extern	-	Probenahmezeit	
Unternehmung	-	Mischguttemperatur	- [°C]
Aufbereitungsanlage	Belagswerk Boningen AG	Rezept-Nr.	-
Einbauschicht	-	Lieferschein-Nr.	-
Zielbindemittel	keine Angabe	Anteil Ausbauphase	- [M.-%]
Zusätze	-	Zusätze	- [M.-%]
Prüfergebnisse			
Bindemittel	Einheit	Ergebnis	Sollwert gem. EP
Löslicher Bindemittelgehalt	SN 670 401 [M.-%]	4.30	
Nadelpenetration	SN 670 511a [1/10mm]	17	
Erweichungspunkt Ring und Kugel	SN 670 512 [°C]	69.8	
Penetrationsindex	SN 670 202-NA [-]	+0.5	
Elastische Rückstellung	SN 670 547a [%]		
Module de Richesse	SN 640 431 - 1 - NA [-]		
PAK in Asphalt	eigenes Verfahren [mg/kg]		
Bindemittel-Ablauftest	SN 670 418 [M.-%]		Prüftemperatur [°C]:
Marshall-Versuch (SN 670 430)	Stahlamboss	1)=bestimmt 2)=berechnet	Verdichtungstemperatur [°C]:
Rohdichte Mischgut	SN 670 405 [kg/m³]		
Raumdicke	SN 670 406 [kg/m³]		
Hohlraumgehalt	SN 670 408 [Vol.-%]		
Bindemittelausfüllungsgrad	SN 670 408 [%]		
Marshall Stabilität S	SN 670 434a [kN]		
Marshall Fließwert F	SN 670 434a [mm]		
Tangentieller Fließwert Ft	SN 670 434a [mm]		
Marshall-Quotient S/F	SN 670 434a [kN/mm]		
Korngrößenverteilung	SN 670 402a	Sieb	Durchgang
		[mm]	M.-%
		45.0	
		31.5	
		22.4	100.0
		16.0	92.1
		11.2	81.4
		8.0	68.4
		5.6	55.3
		4.0	46.5
		2.0	34.4
		1.0	25.3
		0.5	19.7
		0.25	14.8
		0.125	10.7
		0.063	9.0

Die Ergebnisse entsprechen den in der Norm geltenden Anforderungen.

Oberbuchsitlen, den 13.05.2016

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.

Es gelten die AGB.

Bereichsleiterin Asphalt und Abdichtungen

IMP Bautest AG
 Institut für Materialprüfung

Hauptstrasse 591
 CH-4625 Oberbuchsitlen

Telefon 062 389 98 99
 Fax 062 389 98 90

info@impbautest.ch
 www.impbautest.ch





Attest

RC-Asphaltgranulatgemisch 0/22.4 SN 670 119-NA - EN 13242/13285

Seite 1 von 1

Prüfzeugnis-Nr. 17-02-0792
Gesamtauftrag 02-07-71010 - 1
Probenahme 09.05.2016
Probeneingang 09.05.2016
Projektleiter Dr. Christian Angst
Objekt Untersuchungen an Gesteinskörnungen

Bundesamt für Strassen (ASTRA)
c/o DLZ FI EFD
3003 Bern

Bemerkungen -

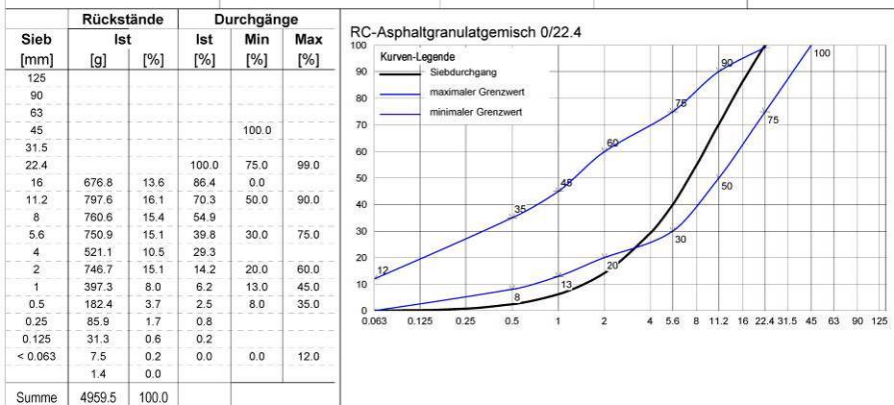
Probe-Nr.	16-03632	Bez. Kunde	Asphaltgranulat
Probenart	Sammelprobe	Probenahmeort	Boningen
Entnahme ab	Depot	Probenehmer	Auftraggeber

Anlieferungswassergehalt (EN 1097-5)

Ergebnis [%]	Kategorie [-]
0.2	-

Bestimmung der Korngrössenverteilung (EN 933-1)

Art der Siebung [-]	Masse Messprobe [g]	Gehalt an Feinanteil [M.-%]	Kategorie Feinanteil [-]	Kategorie Korngrösse [-]
Waschen, Trockensiebung	4961.0	0.0	f_3	-



Oberbuchsiten, den 20.02.2017

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.

Dr. Rüdiger Nandedkar

Es gelten die AGB.

Stv. Bereichsleiter Gesteinskörnung/Erdbau

IMP Bautest AG
Institut für Materialprüfung

Hauptstrasse 591
CH-4625 Oberbuchsiten

Telefon 062 389 98 99
Fax 062 389 98 90

info@impbautest.ch
www.impbautest.ch



I.2 Sable d'apport



Attest

Sand 0/4 SN 670 103b-NA - EN 13043

Seite 1 von 1

Prüfzeugnis-Nr. 16-02-2362
Gesamtauftrag 02-07-71010 - 2
Probenahme 09.05.2016
Probeneingang 09.05.2016
Projektleiter Dr. Christian Angst
Objekt Untersuchungen an Gesteinskörnungen

Bundesamt für Strassen (ASTRA)
c/o DLZ FI EFD
3003 Bern

Bemerkungen -

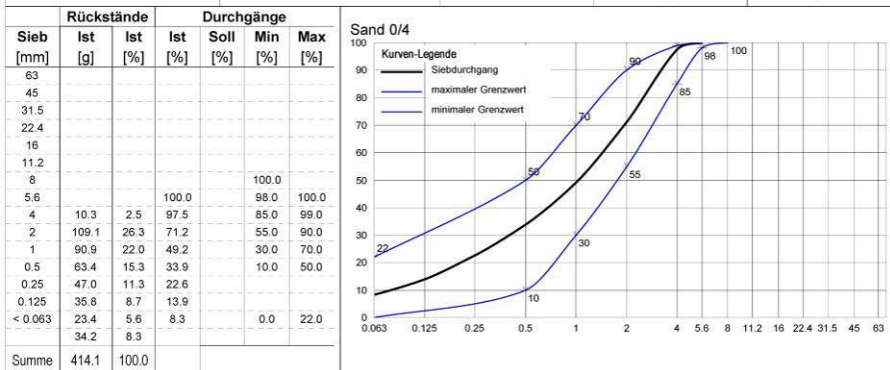
Probe-Nr.	16-03633	Bez. Kunde	Brechsand 0/4
Probenart	Sammelprobe	Probenahmeort	Werk Boningen
Entnahme ab	Haufen	Probenehmer	Auftraggeber

Anlieferungswassergehalt (EN 1097-5)

Ergebnis	Kategorie
[%]	[-]
1.3	-

Bestimmung der Korngrössenverteilung (EN 933-1)

Art der Siebung	Masse Messprobe	Gehalt an Feinanteil	Kategorie Feinanteil	Kategorie Korngrösse
[-]	[g]	[M.-%]	[-]	[-]
Waschen, Trockensiebung	415.2	8.3	f_{10}	G_{F85}



Geometrische Anforderungen

Kantigkeit - Fließkoeffizient (EN 933-6)

Masse Messprobe	Rohdichte	Fließzeiten	Kategorie
1.000	-	17	E_{CS17}

Oberbuchsiten, den 17.05.2016

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.

Es gelten die AGB.

Binh Nguyen

Projektleiter Gesteinskörnungen/Erdbau

IMP Bautest AG
Institut für Materialprüfung

Hauptstrasse 591
CH-4625 Oberbuchsiten

Telefon 062 389 98 99
Fax 062 389 98 90

info@impbautest.ch
www.impbautest.ch



I.3 Emulsions de bitume



Attest

Seite 1 von 1

Prüfzeugnisnummer

Gesamtauftrag 02-07-71010-3

Probenahme 03.05.2016

Probeneingang 11.05.2016

Projektleiter Dr. Christian Angst

Objekt VSS 2010/505 Kaltgebundene Schichten

Bindemittelsorte C60BP4

Norm

Bundesamt für Strassen (ASTRA)
c/o DLZ FI EFD
3003 Bern

Probenahmeort

Bemerkungen

Probe-Nr.	16-03704	Probenahme durch	-		
Probe-Nr. extern	Laborprogramm 2.4	Probenahmeort	-		
Probenart	Webacid Special C60BP4	Probenahmezeit	-		
Rezept-Nr.	-	Probenahmetemp.	-	[°C]	
Lieferschein-Nr.	-	Dosierung	-	[M.-%]	
Zusätze	-	Dosierung	-	[M.-%]	
Zusätze	-	Dosierung	-	[M.-%]	
Eigenschaft	Norm	Ergebnis	Einheit	Anforderung	Abweichung
Bindemittelgehalt	SN 670 584a	63.50	[M.-%]		
Wassergehalt	SN 670 585	36.50	[M.-%]		
Erweichungspunkt Ring und Kugel	SN 670 512	54.8	[°C]	min. 43.0	
Nadelpenetration	SN 670 511a	75	[1/10mm]	max. 220	
Penetrationsindex	SN 670 202-NA	+1.0	[-]		
Elastische Rückstellung	SN 670 547a	65	[%]		
Dehnung bei Bruch	SN 670 547a	200	[mm]		

Oberbuchsitzen, den 24.05.2016

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.

Es gelten die AGB.

IMP Bautest AG
Institut für MaterialprüfungHauptstrasse 591
CH-4625 OberbuchsitzenTelefon 062 389 98 99
Fax 062 389 98 90info@impbautest.ch
www.impbautest.chDr. Philipp Bürgisser
Projektleiter Forschung



Attest

Seite 1 von 1

Prüfzeugnisnummer

Gesamtauftrag 02-07-71010-3

Probenahme 03.05.2016

Probeneingang 11.05.2016

Projektleiter Dr. Christian Angst

Objekt VSS 2010/505 Kaltgebundene Schichten

Bindemittelsorte	C60B4
Norm	

Bundesamt für Strassen (ASTRA)
c/o DLZ FI EFD
3003 Bern

Probenahmeort

Bemerkungen

Probe-Nr.	16-03703	Probenahme durch	-		
Probe-Nr. extern	Laborprogramm 2.3				
Probenart	Webacid C60B4	Probenahmeort	-		
Rezept-Nr.	-	Probenahmezeit	-		
Lieferschein-Nr.	-	Probenahmetemp.	- [°C]		
Zusätze	-	Dosierung	- [M.-%]		
Zusätze	-	Dosierung	- [M.-%]		
Eigenschaft	Norm	Ergebnis	Einheit	Anforderung	Abweichung
Bindemittelgehalt	SN 670 584a	63.20	[M.-%]	min. 58.00	
Wassergehalt	SN 670 585	36.80	[M.-%]		
Erweichungspunkt Ring und Kugel	SN 670 512	51.2	[°C]	min. 35.0	
Nadelpenetration	SN 670 511a	72	[1/10mm]	max. 220	
Penetrationsindex	SN 670 202-NA	+0.0	[-]		

Oberbuchsitzen, den 24.05.2016

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.

Es gelten die AGB.

Dr. Philipp Bürgisser

Projektleiter Forschung

IMP Bautest AG
Institut für Materialprüfung

Hauptstrasse 591
CH-4625 Oberbuchsitzen

Telefon 062 389 98 99
Fax 062 389 98 90

info@impbautest.ch
www.impbautest.ch



II Essais en laboratoire

II.1 Mélanges à froid avec émulsion de bitume pure

i.m.p

Attest

Prüfzeugnisnummer		Mischgutsorte		AFK 22	
Gesamtauftrag		Norm		SN 640 492	
Probenahme		14.06.2016			
Probeneingang		30.05.2016			
Projektleiter		Dr. Christian Angst		Bundesamt für Strassen (ASTRA)	
Objekt		VSS 2015/505 Kaltgebundene Schichten		c/o DLZ FI EFD	
Probenahmeort		IMP Baute AG, Probemischung		CH-3003 Bern	
Bemerkungen		3 M.-% Emulsion			
Probe-Nr.	16-04415	Probenahme durch	IMP Baute AG		
Probe-Nr. extern	-	Probenahmezeit	-		
Unternehmung	-	Mischguttemperatur	-	[°C]	
Aufbereitungsanlage	-	Rezept-Nr.	-		
Einbauschicht	-	Lieferschein-Nr.	-		
Zielbindemittel	keine Angaben	Anteil Ausbauphase	-	[M.-%]	
Zusätze	-	Zusätze	-	[M.-%]	
Prüfergebnisse					
Bindemittel, Wassergehalt		Einheit	Ergebnis	Sollwert gem. EP	Bereich der zul. Abweichung
Anlieferungswassergehalt	SN EN 13286-2	[M.-%]			
Löslicher Bindemittelgehalt	SN 670 401	[M.-%]	6.5		
Duriez-Prüfung (NF P 98-251-4)					
Rohdichte bestimmt	SN 670 405	[kg/m ³]	2425		
Raumdicke nach 7d	SN 670 406, Verfahren D	[kg/m ³]	2171		
Hohlraumgehalt nach 7d	SN 670 408	[Vol.-%]	10.5		5 - 12
Druckfestigkeit nach 4h	-	[MN * m ⁻²]	-		
Druckfestigkeit nach 7d (Z _{L7})	NF P 98-251-4	[MN * m ⁻²]	4.0	≥ 3	
Druckfestigkeit nach 14d (Z _{L7+WT})	NF P 98-251-4	[MN * m ⁻²]	5.0		
Druckfestigkeit nach 28d (Z _{L28})	NF P 98-251-4	[MN * m ⁻²]	4.8	> Z _{L7}	
Verhältnis Z _{L7+WT} : Z _{L7}	-	[-]	1.3	≥ 0.7	
Gesteinskörnungen für AFK mit Bitumenemulsion					
Durchgang bei Sieb 0.063 mm	SN 670 402a	[M.-%]	9.2		2 - 12
Durchgang bei Sieb 2.0 mm	SN 670 402a	[M.-%]	36.4		≥ 25
Gesteinskörnungen für AFK mit Schaumbitumen					
Durchgang bei Sieb 0.063 mm	SN 670 402a	[M.-%]	-		3 - 12
Durchgang bei Sieb 2.0 mm	SN 670 402a	[M.-%]	-		≥ 25
Die Ergebnisse entsprechen den in der Norm geltenden Anforderungen					

Oberbuchsiten, den 12.07.2016

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.
Es gelten die AGBErol Yelkesen
Projektleiter AsphaltIMP Baute AG
Institut für MaterialprüfungHauptstrasse 591
CH-4625 OberbuchsitenTelefon 062 389 98 99
Fax 062 389 98 90info@impbaute.ch
www.impbaute.ch



Attest

Prüfzeugnisnummer Gesamtauftrag Probenahme Probeneingang Projektleiter Objekt Probenahmeort Bemerkungen		02-07-71010-5 20.07.2016 - Dr. Christian Angst VSS 2015/505 Kaltgebundene Schichten IMP Bautest AG, Probemischung 4 M.-% Emulsion		Mischgutsorte Norm		AFK 22 SN 640 492	
				Bundesamt für Strassen (ASTRA) c/o DLZ FI EFD CH-3003 Bern			
Probe-Nr.	16-07015	Probenahme durch	IMP Bautest AG				
Probe-Nr. extern	-	Probenahmezeit	-				
Unternehmung	-	Mischguttertemperatur	-				
Aufbereitungsanlage	-	Rezept-Nr.	-				
Einbauschicht	-	Lieferschein-Nr.	-				
Zielbindemittel	keine Angaben	Anteil Ausbauphase	-				
Zusätze	-	Zusätze	-				
	[M.-%]		[M.-%]				
Prüfergebnisse							
Bindemittel, Wassergehalt		Einheit	Ergebnis	Sollwert gem. EP	Bereich der zul. Abweichung	unzulässige Abweichung	
Anlieferungswassergehalt	SN EN 13286-2	[M.-%]					
Löslicher Bindemittelgehalt	SN 670 401	[M.-%]	7.35				
Duriez-Prüfung (NF P 98-251-4)							
Rohdichte bestimmt	SN 670 405	[kg/m ³]	2383				
Raumdicke nach 7d	SN 670 406, Verfahren D	[kg/m ³]	2190				
Hohlraumgehalt nach 7d	SN 670 408	[Vol.-%]	8.1		5 - 12		
Druckfestigkeit nach 4h	-	[MN * m ⁻²]	-				
Druckfestigkeit nach 7d (Z ₁₇)	NF P 98-251-4	[MN * m ⁻²]	4.0	≥ 3			
Druckfestigkeit nach 14d (Z _{17+WT})	NF P 98-251-4	[MN * m ⁻²]	4.5				
Druckfestigkeit nach 28d (Z ₂₈)	NF P 98-251-4	[MN * m ⁻²]	6.0	> Z ₁₇			
Verhältnis Z _{17+WT} : Z ₁₇	-	[-]	1.1	≥ 0.7			
Gesteinskörnungen für AFK mit Bitumenemulsion							
Durchgang bei Sieb 0.063 mm	SN 670 402a	[M.-%]	11.8		2 - 12		
Durchgang bei Sieb 2.0 mm	SN 670 402a	[M.-%]	48.4		≥ 25		
Gesteinskörnungen für AFK mit Schaumbitumen							
Durchgang bei Sieb 0.063 mm	SN 670 402a	[M.-%]	-		3 - 12		
Durchgang bei Sieb 2.0 mm	SN 670 402a	[M.-%]	-		≥ 25		
Die Ergebnisse entsprechen den in der Norm geltenden Anforderungen							

Oberbuchsiten, den 12.07.2016

 Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.
 Es gelten die AGB

 Erol Yelkesen
 Projektleiter Asphalt

 IMP Bautest AG
 Institut für Materialprüfung

 Hauptstrasse 591
 CH-4625 Oberbuchsiten

 Telefon 062 389 98 99
 Fax 062 389 98 90

 info@impbautest.ch
 www.impbautest.ch



Attest

Prüfzeugnisnummer	16-02-5486	Mischgutsorte	AFK 22
Gesamtauftrag	02-07-71010-6	Norm	SN 640 492
Probenahme	11.08.2016		
Probeneingang	-	Bundesamt für Strassen (ASTRA)	
Projektleiter	Dr. Christian Angst	c/o DLZ FI EFD	
Objekt	VSS 2015/505 Kaltgebundene Schichten	CH-3003 Bern	
Probenahmeort	IMP Baute AG, Probemischung		
Bemerkungen	5 M.-% Emulsion		
Probe-Nr.	16-07020	Probenahme durch	IMP Baute AG
Probe-Nr. extern	-	Probenahmezeit	-
Unternehmung	-	Mischguttemperatur	- [°C]
Aufbereitungsanlage	-	Rezept-Nr.	-
Einbauschicht	-	Lieferschein-Nr.	-
Zielbindemittel	keine Angaben	Anteil Ausbausphalt	- [M.-%]
Zusätze	- [M.-%]	Zusätze	- [M.-%]
Prüfergebnisse			
Bindemittel, Wassergehalt		Einheit	Ergebnis
Anlieferungswassergehalt	SN EN 13286-2	[M.-%]	2.3
Löslicher Bindemittelgehalt	SN 670 401	[M.-%]	9.21
Duriez-Prüfung (NF P 98-251-4)			
Rohdichte bestimmt	SN 670 405	[kg/m ³]	2332
Raumdicke nach 7d	SN 670 406, Verfahren D	[kg/m ³]	2160
Hohlraumgehalt nach 7d	SN 670 408	[Vol.-%]	7.4
Druckfestigkeit nach 4h	-	[MN * m ⁻²]	-
Druckfestigkeit nach 7d (Z ₁₇)	NF P 98-251-4	[MN * m ⁻²]	1.5
Druckfestigkeit nach 14d (Z _{17+WT})	NF P 98-251-4	[MN * m ⁻²]	3.9
Druckfestigkeit nach 28d (Z ₁₈)	NF P 98-251-4	[MN * m ⁻²]	5.1
Verhältnis Z _{17+WT} : Z ₁₇	-	[-]	2.6
Gesteinskörnungen für AFK mit Bitumenemulsion			
Durchgang bei Sieb 0.063 mm	SN 670 402a	[M.-%]	12.8
Durchgang bei Sieb 2.0 mm	SN 670 402a	[M.-%]	52.0
Gesteinskörnungen für AFK mit Schaumbitumen			
Durchgang bei Sieb 0.063 mm	SN 670 402a	[M.-%]	-
Durchgang bei Sieb 2.0 mm	SN 670 402a	[M.-%]	-
Die Ergebnisse entsprechen den in der Norm geltenden Anforderungen			

Oberbuchseiten, den 12.07.2016

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.
Es gelten die AGBErol Yelkisen
Projektleiter AsphaltIMP Baute AG
Institut für MaterialprüfungHauptstrasse 591
CH-4625 OberbuchseitenTelefon 062 389 98 99
Fax 062 389 98 90info@impbaute.ch
www.impbaute.ch



Attest

Prüfzeugnisnummer	16-02-6514	Mischgutsorte	AFK 22
Gesamtauftrag	02-07-71010-8	Norm	SN 640 492
Probenahme	13.09.2016		
Probeneingang	-	Bundesamt für Strassen (ASTRA)	
Projektleiter	Dr. Christian Angst	c/o DLZ FI EFD	
Objekt	VSS 2015/505 Kaltgebundene Schichten	CH-3003 Bern	
Probenahmeort	IMP Bautest AG, Probemischung		
Bemerkungen	3 M.-% Emulsion und 20 M.-% Brechsand		
Probe-Nr.	16-09302	Probenahme durch	IMP Bautest AG
Probe-Nr. extern	-	Probenahmezeit	-
Unternehmung	-	Mischguttemperatur	- [°C]
Aufbereitungsanlage	-	Rezept-Nr.	-
Einbauschicht	-	Lieferschein-Nr.	-
Zielbindemittel	keine Angaben	Anteil Ausbauphosphat	- [M.-%]
Zusätze	-	Zusätze	- [M.-%]
Prüfergebnisse			
Bindemittel, Wassergehalt		Einheit	Ergebnis
Anlieferungswassergehalt	SN EN 13286-2	[M.-%]	1.0
Löslicher Bindemittelgehalt	SN 670 401	[M.-%]	5.45
Duriez-Prüfung (NF P 98-251-4)			
Rohdichte bestimmt	SN 670 405	[kg/m ³]	2448
Raumdicke nach 7d	SN 670 406, Verfahren D	[kg/m ³]	2162.000
Hohlraumgehalt nach 7d	SN 670 408	[Vol.-%]	11.7
Druckfestigkeit nach 4h	-	[MN * m ⁻²]	-
Druckfestigkeit nach 7d (Z ₁₇)	NF P 98-251-4	[MN * m ⁻²]	4.8
Druckfestigkeit nach 14d (Z _{17+WT})	NF P 98-251-4	[MN * m ⁻²]	3.5
Druckfestigkeit nach 28d (Z ₂₈)	NF P 98-251-4	[MN * m ⁻²]	6.4
Verhältnis Z _{17+WT} : Z ₁₇	-	[-]	0.7
Gesteinskörnungen für AFK mit Bitumenemulsion			
Durchgang bei Sieb 0.063 mm	SN 670 402a	[M.-%]	10
Durchgang bei Sieb 2.0 mm	SN 670 402a	[M.-%]	38.3
Gesteinskörnungen für AFK mit Schaumbitumen			
Durchgang bei Sieb 0.063 mm	SN 670 402a	[M.-%]	-
Durchgang bei Sieb 2.0 mm	SN 670 402a	[M.-%]	-
Die Ergebnisse entsprechen den in der Norm geltenden Anforderungen			

Oberbuchsiten, den 12.07.2016

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.
Es gelten die AGBErol Yelkesen
Projektleiter AsphaltIMP Bautest AG
Institut für MaterialprüfungHauptstrasse 591
CH-4625 OberbuchsitenTelefon 062 389 98 99
Fax 062 389 98 90info@impbautest.ch
www.impbautest.ch



Attest

Prüfzeugnisnummer Gesamtauftrag Probenahme Probeneingang Projektleiter Objekt Probenahmeort Bemerkungen		02-07-71010-7 26.08.2016 - Dr. Christian Angst VSS 2015/505 Kaltgebundene Schichten IMP Baute AG, Probemischung 4 M.-% Emulsion und 20 M.-% Brechsand		Mischgutsorte Norm AFK 22 SN 640 492	
Probe-Nr. Probe-Nr. extern Unternehmung Aufbereitungsanlage Einbauschicht Zielbindemittel Zusätze		16-08531 - - - keine Angaben (M.-%)		Probenahme durch Probenahmezeit Mischguttemperatur Rezept-Nr. Lieferschein-Nr. Anteil Ausbausphalt Zusätze	
				IMP Baute AG - - - - - (M.-%)	
Prüfergebnisse					
Bindemittel, Wassergehalt		Einheit	Ergebnis	Stichtwert gem. EP	Bereich der zul. Abweichung
Anlieferungswassergehalt	SN EN 13286-2	[M.-%]	0.6		
Löslicher Bindemittelgehalt	SN 670 401	[M.-%]	6.51		
Duriez-Prüfung (NF P 98-251-4)					
Rohdichte bestimmt	SN 670 405	[kg/m ³]	2425		
Raumdicke nach 7d	SN 670 406, Verfahren D	[kg/m ³]	2160		
Hohlraumgehalt nach 7d	SN 670 408	[Vol.-%]	10.9		5 - 12
Druckfestigkeit nach 4h	-	[MN * m ⁻²]	-		
Druckfestigkeit nach 7d (Z ₁₇)	NF P 98-251-4	[MN * m ⁻²]	4.3	≥ 3	
Druckfestigkeit nach 14d (Z _{17+WT})	NF P 98-251-4	[MN * m ⁻²]	4.0		
Druckfestigkeit nach 28d (Z _{17+WT})	NF P 98-251-4	[MN * m ⁻²]	6.4	> Z ₁₇	
Verhältnis Z _{17+WT} : Z ₁₇	-	[-]	0.9	≥ 0.7	
Gesteinskörnungen für AFK mit Bitumenemulsion					
Durchgang bei Sieb 0.063 mm	SN 670 402a	[M.-%]	11.5		2 - 12
Durchgang bei Sieb 2.0 mm	SN 670 402a	[M.-%]	49.9		≥ 25
Gesteinskörnungen für AFK mit Schaumbitumen					
Durchgang bei Sieb 0.063 mm	SN 670 402a	[M.-%]	-		3 - 12
Durchgang bei Sieb 2.0 mm	SN 670 402a	[M.-%]	-		≥ 25
Die Ergebnisse entsprechen den in der Norm geltenden Anforderungen					

Oberbuchsiten, den 12.07.2016

 Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.
 Es gelten die AGB

 Erol Yelkisen
 Projektleiter Asphalt

 IMP Baute AG
 Institut für Materialprüfung

 Hauptstrasse 591
 CH-4625 Oberbuchsiten

 Telefon 062 389 98 99
 Fax 062 389 98 90

 info@impbaute.ch
 www.impbaute.ch



Attest

Prüfzeugnisnummer	16-02-6585	Mischgutsorte	AFK 22
Gesamtauftrag	02-07-71010-8	Norm	SN 640 492
Probenahme	14.09.2016		
Probeneingang	-	Bundesamt für Strassen (ASTRA)	
Projektleiter	Dr. Christian Angst	c/o DLZ FI EFD	
Objekt	VSS 2015/505 Kaltgebundene Schichten	CH-3003 Bern	
Probenahmeort	IMP Bautest AG, Probemischung		
Bemerkungen	5 M.% Emulsion und 20 M.-% Brechsand		
Probe-Nr.	16-09303	Probenahme durch	IMP Bautest AG
Probe-Nr. extern	-	Probenahmezeit	-
Unternehmung	-	Mischguttemperatur	- [°C]
Aufbereitungsanlage	-	Rezept-Nr.	-
Einbauschicht	-	Lieferschein-Nr.	-
Zielbindemittel	keine Angaben	Anteil Ausbauphase	- [M.-%]
Zusätze	- [M.-%]	Zusätze	- [M.-%]
Prüfergebnisse			
Bindemittel, Wassergehalt		Einheit	Ergebnis
Anlieferungswassergehalt	SN EN 13286-2	[M.-%]	1.2
Löslicher Bindemittelgehalt	SN 670 401	[M.-%]	5.91
Duriez-Prüfung (NF P 98-251-4)			
Rohdichte bestimmt	SN 670 405	[kg/m ³]	2423
Raumdicke nach 7d	SN 670 406, Verfahren D	[kg/m ³]	2200
Hohlraumgehalt nach 7d	SN 670 408	[Vol.-%]	9.0
Druckfestigkeit nach 4h	-	[MN * m ⁻²]	-
Druckfestigkeit nach 7d (Z _{L7})	NF P 98-251-4	[MN * m ⁻²]	4.8
Druckfestigkeit nach 14d (Z _{L7+14})	NF P 98-251-4	[MN * m ⁻²]	4.5
Druckfestigkeit nach 28d (Z _{L28})	NF P 98-251-4	[MN * m ⁻²]	6.8
Verhältnis Z _{L7+14} : Z _{L7}	-	[-]	0.9
Gesteinskörnungen für AFK mit Bitumenemulsion			
Durchgang bei Sieb 0.063 mm	SN 670 402a	[M.-%]	9.8
Durchgang bei Sieb 2.0 mm	SN 670 402a	[M.-%]	35.4
Gesteinskörnungen für AFK mit Schaumbitumen			
Durchgang bei Sieb 0.063 mm	SN 670 402a	[M.-%]	-
Durchgang bei Sieb 2.0 mm	SN 670 402a	[M.-%]	-
Die Ergebnisse entsprechen den in der Norm geltenden Anforderungen			

Oberbuchsiten, den 12.07.2016

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.
Es gelten die AGBErol Yelkesen
Projektleiter AsphaltIMP Bautest AG
Institut für MaterialprüfungHauptstrasse 591
CH-4625 OberbuchsitenTelefon 062 389 98 99
Fax 062 389 98 90info@impbautest.ch
www.impbautest.ch

II.2 Mélanges à froid avec émulsion de bitume pure et ciment (liant combiné)



Attest

Prüfzeugnisnummer		Mischgutsorte		AFK 22	
Gesamtauftrag		Norm		SN 640 492	
Probenahme		02-07-71010-10		06.10.2016	
Probeneingang		-		-	
Projektleiter		Dr. Christian Angst		Bundesamt für Strassen (ASTRA)	
Objekt		VSS 2015/505 Kaltgebundene Schichten		c/o DLZ FI EFD	
Probenahmeort		IMP Baute AG, Probemischung		CH-3003 Bern	
Bemerkungen		3 M.-% Emulsion und 1.5 M.-% Zement			
Probe-Nr.	16-10539	Probenahme durch	IMP Baute AG		
Probe-Nr. extern	-	Probenahmezeit	-		
Unternehmung	-	Mischguttemperatur	-		
Aufbereitungsanlage	-	Rezept-Nr.	-		
Einbauschicht	-		[°C]		
Zielbindemittel	keine Angaben	Anteil Ausbauspalt	-		
Zusätze	-	Zusätze	-		
	[M.-%]		[M.-%]		
Prüfergebnisse					
Bindemittel, Wassergehalt		Einheit	Ergebnis	Sollwert gem. EP	Bereich der zul. Abweichung
Anlieferungswassergehalt	SN EN 13286-2	[M.-%]	4.5		
Löslicher Bindemittelgehalt	SN 670 401	[M.-%]	5.59		
Duriez-Prüfung (NF P 98-251-4)					
Rohdichte bestimmt	SN 670 405	[kg/m³]	2437		
Raumdicke nach 7d	SN 670 406, Verfahren D	[kg/m³]	2178		
Hohlraumgehalt nach 7d	SN 670 408	[Vol.-%]	10.6		5 - 12
Druckfestigkeit nach 4h	-	[MN * m²]	-		
Druckfestigkeit nach 7d (Z ₁₇)	NF P 98-251-4	[MN * m²]	5.3	≥ 3	
Druckfestigkeit nach 14d (Z _{17+WT})	NF P 98-251-4	[MN * m²]	5.3		
Druckfestigkeit nach 28d (Z ₂₈)	NF P 98-251-4	[MN * m²]	3.3	> Z ₁₇	
Verhältnis Z _{17+WT} : Z ₁₇	-	[-]	1.0	≥ 0.7	
Gesteinskörnungen für AFK mit Bitumenemulsion					
Durchgang bei Sieb 0.063 mm	SN 670 402a	[M.-%]	9.9		2 - 12
Durchgang bei Sieb 2.0 mm	SN 670 402a	[M.-%]	44.5		≥ 25
Gesteinskörnungen für AFK mit Schaumbitumen					
Durchgang bei Sieb 0.063 mm	SN 670 402a	[M.-%]	-		3 - 12
Durchgang bei Sieb 2.0 mm	SN 670 402a	[M.-%]	-		≥ 25
Die Ergebnisse entsprechen den in der Norm geltenden Anforderungen					

Oberbuchsiten, den 12.07.2016

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.
Es gelten die AGBErol Yelkisen
Projektleiter AsphaltIMP Baute AG
Institut für MaterialprüfungHauptstrasse 591
CH-4625 OberbuchsitenTelefon 062 389 98 99
Fax 062 389 98 90info@impbaute.ch
www.impbaute.ch



Attest

Prüfzeugnisnummer		Mischgutsorte		AFK 22		
Gesamtauftrag		Norm		SN 640 492		
Probenahme		17.11.2016				
Probeneingang		-		Bundesamt für Strassen (ASTRA)		
Projektleiter		Dr. Christian Angst		c/o DLZ FI EFD		
Objekt		VSS 2015/505 Kaltgebundene Schichten		CH-3003 Bern		
Probenahmeort		IMP Baute AG, Probemischung				
Bemerkungen		3 M.-% Emulsion und 1.5 M.-% Zement Wiederholung				
Probe-Nr.	16-12753	Probenahme durch	IMP Baute AG			
Probe-Nr. extern	-	Probenahmezeit	-			
Unternehmung	-	Mischguttemperatur	[°C]			
Aufbereitungsanlage	-	Rezept-Nr.	-			
Einbauschicht	-	Lieferschein-Nr.	-			
Zielbindemittel	keine Angaben	Anteil Ausbauphase	[M.-%]			
Zusätze	-	Zusätze	[M.-%]			
Prüfergebnisse						
Bindemittel, Wassergehalt		Einheit	Ergebnis	Sollwert gem. EP	Bereich der zul. Abweichung	unzulässige Abweichung
Anlieferungswassergehalt	SN EN 13286-2	[M.-%]	7.3			
Löslicher Bindemittelgehalt	SN 670 401	[M.-%]	7.41			
Duriez-Prüfung (NF P 98-251-4)						
Rohdichte bestimmt	SN 670 405	[kg/m³]	2382			
Raumdicke nach 7d	SN 670 406, Verfahren D	[kg/m³]	2190			
Hohlraumgehalt nach 7d	SN 670 408	[Vol.-%]	8.1		5 - 12	
Druckfestigkeit nach 4h	-	[MN * m⁻²]	-			
Druckfestigkeit nach 7d (Z ₁₇)	NF P 98-251-4	[MN * m⁻²]	4.8	≥ 3		
Druckfestigkeit nach 14d (Z _{17+W7})	NF P 98-251-4	[MN * m⁻²]	-			
Druckfestigkeit nach 28d (Z ₂₈)	NF P 98-251-4	[MN * m⁻²]	5.9	> Z ₁₇		
Verhältnis Z _{17+W7} : Z ₁₇	-	[-]	-	≥ 0.7		
Gesteinskörnungen für AFK mit Bitumenemulsion						
Durchgang bei Sieb 0.063 mm	SN 670 402a	[M.-%]	11.9		2 - 12	
Durchgang bei Sieb 2.0 mm	SN 670 402a	[M.-%]	38.3		≥ 25	
Gesteinskörnungen für AFK mit Schaumbitumen						
Durchgang bei Sieb 0.063 mm	SN 670 402a	[M.-%]	-		3 - 12	
Durchgang bei Sieb 2.0 mm	SN 670 402a	[M.-%]	-		≥ 25	
Die Ergebnisse entsprechen den in der Norm geltenden Anforderungen						

Oberbuchsiten, den 12.07.2016

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.
Es gelten die AGB

Erol Yelkesen
Projektleiter Asphalt
IMP Baute AG
Institut für MaterialprüfungHauptstrasse 591
CH-4625 OberbuchsitenTelefon 062 389 98 99
Fax 062 389 98 90info@impbaute.ch
www.impbaute.ch



Attest

Prüfzeugnisnummer	16-02-6740	Mischgutsorte	AFK 22
Gesamtauftrag	02-07-71010-8	Norm	SN 640 492
Probenahme	15.09.2016		
Probeneingang	-	Bundesamt für Strassen (ASTRA)	
Projektleiter	Dr. Christian Angst	c/o DLZ FI EFD	
Objekt	VSS 2015/505 Kaltgebundene Schichten	CH-3003 Bern	
Probenahmeort	IMP Baute AG, Probemischung		
Bemerkungen	3 M.-% Emulsion und 2.5 M.-% Zement		
Probe-Nr.	16-09304	Probenahme durch	IMP Baute AG
Probe-Nr. extern	-	Probenahmezeit	-
Unternehmung	-	Mischguttemperatur	- [°C]
Aufbereitungsanlage	-	Rezept-Nr.	-
Einbauschicht	-	Lieferschein-Nr.	-
Zielbindemittel	keine Angaben	Anteil Ausbauspalt	- [M.-%]
Zusätze	- [M.-%]	Zusätze	- [M.-%]
Prüfergebnisse			
Bindemittel, Wassergehalt		Einheit	Ergebnis
Anlieferungswassergehalt	SN EN 13286-2	[M.-%]	6.5
Löslicher Bindemittelgehalt	SN 670 401	[M.-%]	6.25
Duriez-Prüfung (NF P 98-251-4)			
Rohdichte bestimmt	SN 670 405	[kg/m³]	2427
Raumdicke nach 7d	SN 670 406, Verfahren D	[kg/m³]	2232
Hohlraumgehalt nach 7d	SN 670 408	[Vol.-%]	8.0
Druckfestigkeit nach 4h	-	[MN * m⁻²]	-
Druckfestigkeit nach 7d (Z ₁₇)	NF P 98-251-4	[MN * m⁻²]	7.1
Druckfestigkeit nach 14d (Z _{17+WT})	NF P 98-251-4	[MN * m⁻²]	7.4
Druckfestigkeit nach 28d (Z ₂₈)	NF P 98-251-4	[MN * m⁻²]	8.3
Verhältnis Z _{17+WT} : Z ₁₇	-	[-]	1.0
Gesteinskörnungen für AFK mit Bitumenemulsion			
Durchgang bei Sieb 0.063 mm	SN 670 402a	[M.-%]	12.2
Durchgang bei Sieb 2.0 mm	SN 670 402a	[M.-%]	37.1
Gesteinskörnungen für AFK mit Schaumbitumen			
Durchgang bei Sieb 0.063 mm	SN 670 402a	[M.-%]	-
Durchgang bei Sieb 2.0 mm	SN 670 402a	[M.-%]	-
Die Ergebnisse entsprechen den in der Norm geltenden Anforderungen			

Oberbuchsiten, den 12.07.2016

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.
Es gelten die AGBErol Yelkesen
Projektleiter AsphaltIMP Baute AG
Institut für MaterialprüfungHauptstrasse 591
CH-4625 OberbuchsitenTelefon 062 389 98 99
Fax 062 389 98 90info@impbaute.ch
www.impbaute.ch



Attest

Prüfzeugnisnummer	16-02-6739	Mischgutsorte	AFK 22
Gesamtauftrag	02-07-71010-8	Norm	SN 640 492
Probenahme	16.09.2016		
Probeneingang	-	Bundesamt für Strassen (ASTRA)	
Projektleiter	Dr. Christian Angst	c/o DLZ FI EFD	
Objekt	VSS 2015/505 Kaltgebundene Schichten	CH-3003 Bern	
Probenahmeort	IMP Bautest AG, Probemischung		
Bemerkungen	4 M.-% Emulsion und 2.0 M.-% Zement		
Probe-Nr.	16-09305	Probenahme durch	IMP Bautest AG
Probe-Nr. extern	-	Probenahmezeit	-
Unternehmung	-	Mischguttemperatur	- [°C]
Aufbereitungsanlage	-	Rezept-Nr.	-
Einbauschicht	-	Lieferschein-Nr.	-
Zielbindemittel	keine Angaben	Anteil Ausbauphase	- [M.-%]
Zusätze	- [M.-%]	Zusätze	- [M.-%]
Prüfergebnisse			
Bindemittel, Wassergehalt		Einheit	Ergebnis
Anlieferungswassergehalt	SN EN 13286-2	[M.-%]	5.6
Löslicher Bindemittelgehalt	SN 670 401	[M.-%]	6.45
Duriez-Prüfung (NF P 98-251-4)			
Rohdichte bestimmt	SN 670 405	[kg/m ³]	2404
Raumdicke nach 7d	SN 670 406, Verfahren D	[kg/m ³]	2224
Hohlraumgehalt nach 7d	SN 670 408	[Vol.-%]	7.5
Druckfestigkeit nach 4h	-	[MN * m ⁻²]	-
Druckfestigkeit nach 7d (Z ₁₇)	NF P 98-251-4	[MN * m ⁻²]	7.0
Druckfestigkeit nach 14d (Z _{17+WT})	NF P 98-251-4	[MN * m ⁻²]	6.3
Druckfestigkeit nach 28d (Z ₂₈)	NF P 98-251-4	[MN * m ⁻²]	7.0
Verhältnis Z _{17+WT} : Z ₁₇	-	[-]	0.9
Gesteinskörnungen für AFK mit Bitumenemulsion			
Durchgang bei Sieb 0.063 mm	SN 670 402a	[M.-%]	10.4
Durchgang bei Sieb 2.0 mm	SN 670 402a	[M.-%]	32.8
Gesteinskörnungen für AFK mit Schaumbitumen			
Durchgang bei Sieb 0.063 mm	SN 670 402a	[M.-%]	-
Durchgang bei Sieb 2.0 mm	SN 670 402a	[M.-%]	-
Die Ergebnisse entsprechen den in der Norm geltenden Anforderungen			

Oberbuchsiten, den 12.07.2016

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.
Es gelten die AGBErol Yelkisen
Projektleiter AsphaltIMP Bautest AG
Institut für MaterialprüfungHauptstrasse 591
CH-4625 OberbuchsitenTelefon 062 389 98 99
Fax 062 389 98 90info@impbautest.ch
www.impbautest.ch



Attest

Prüfzeugnisnummer	16-02-6741	Mischgutsorte	AFK 22
Gesamtauftrag	02-07-71010-8	Norm	SN 640 492
Probenahme	19.09.2016		
Probeneingang	-	Bundesamt für Strassen (ASTRA)	
Projektleiter	Dr. Christian Angst	c/o DLZ FI EFD	
Objekt	VSS 2015/505 Kaltgebundene Schichten	CH-3003 Bern	
Probenahmeort	IMP Baute AG, Probemischung		
Bemerkungen	5M.-% Emulsion 1.5 M.-% Zement		
Probe-Nr.	16-09306	Probenahme durch	IMP Baute AG
Probe-Nr. extern	-	Probenahmezeit	-
Unternehmung	-	Mischguttemperatur	- [°C]
Aufbereitungsanlage	-	Rezept-Nr.	-
Einbauschicht	-		
Zielbindemittel	keine Angaben	Anteil Ausbausphal	- [M.-%]
Zusätze	-	Zusätze	- [M.-%]
Prüfergebnisse			
Bindemittel, Wassergehalt		Einheit	Ergebnis
Anlieferungswassergehalt	SN EN 13286-2	[M.-%]	7.8
Löslicher Bindemittelgehalt	SN 670 401	[M.-%]	6.8
Duriez-Prüfung (NF P 98-251-4)			
Rohdichte bestimmt	SN 670 405	[kg/m³]	2411
Raumdicke nach 7d	SN 670 406, Verfahren D	[kg/m³]	2228
Hohlraumgehalt nach 7d	SN 670 408	[Vol.-%]	7.6
Druckfestigkeit nach 4h	-	[MN * m⁻²]	-
Druckfestigkeit nach 7d (Z ₁₇)	NF P 98-251-4	[MN * m⁻²]	6.0
Druckfestigkeit nach 14d (Z _{17+WT})	NF P 98-251-4	[MN * m⁻²]	6.1
Druckfestigkeit nach 28d (Z ₂₈)	NF P 98-251-4	[MN * m⁻²]	5.9
Verhältnis Z _{17+WT} : Z ₁₇	-	[-]	1.0
Gesteinskörnungen für AFK mit Bitumenemulsion			
Durchgang bei Sieb 0.063 mm	SN 670 402a	[M.-%]	9.4
Durchgang bei Sieb 2.0 mm	SN 670 402a	[M.-%]	30.8
Gesteinskörnungen für AFK mit Schaumbitumen			
Durchgang bei Sieb 0.063 mm	SN 670 402a	[M.-%]	-
Durchgang bei Sieb 2.0 mm	SN 670 402a	[M.-%]	-
Die Ergebnisse entsprechen den in der Norm geltenden Anforderungen			

Oberbuchsiten, den 12.07.2016

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.
Es gelten die AGBErol Yelkesen
Projektleiter AsphaltIMP Baute AG
Institut für MaterialprüfungHauptstrasse 591
CH-4625 OberbuchsitenTelefon 062 389 98 99
Fax 062 389 98 90info@impbaute.ch
www.impbaute.ch



Attest

Prüfzeugnisnummer		Mischgutsorte		AFK 22	
Gesamtauftrag		Norm		SN 640 492	
Probenahme		02-07-71010-10			
Probeneingang		07.10.2016			
Projektleiter		-			
Objekt		Dr. Christian Angst			
Probenahmeort		VSS 2015/505 Kaltgebundene Schichten			
Bemerkungen		IMP Bautest AG, Probemischung			
		5 M.-% Emulsion und 2.5 M.-% Zement			
Probe-Nr.	16-10540	Probenahme durch	IMP Bautest AG		
Probe-Nr. extern	-	Probenahmezeit	-		
Unternehmung	-	Mischguttemperatur	-		
Aufbereitungsanlage	-	Rezept-Nr.	-		
Einbauschicht	-		[°C]		
Zielbindemittel	keine Angaben	Anteil Ausbaumasphalt	-		
Zusätze	-	Zusätze	-		
	[M.-%]		[M.-%]		
Prüfergebnisse					
Bindemittel, Wassergehalt		Einheit	Ergebnis	Sollwert gem. EP	Bereich der zul. Abweichung
Anlieferungswassergehalt	SN EN 13286-2	[M.-%]	5.5		
Löslicher Bindemittelgehalt	SN 670 401	[M.-%]	6.92		
Duriez-Prüfung (NF P 98-251-4)					
Rohdichte bestimmt	SN 670 405	[kg/m³]	2415		
Raumdicke nach 7d	SN 670 406, Verfahren D	[kg/m³]	2223		
Hohlraumgehalt nach 7d	SN 670 408	[Vol.-%]	7.9		5 - 12
Druckfestigkeit nach 4h	-	[MN * m⁻²]	-		
Druckfestigkeit nach 7d (Z ₁₇)	NF P 98-251-4	[MN * m⁻²]	6.1	≥ 3	
Druckfestigkeit nach 14d (Z _{17+WT})	NF P 98-251-4	[MN * m⁻²]	5.3		
Druckfestigkeit nach 28d (Z ₂₈)	NF P 98-251-4	[MN * m⁻²]	2.9	> Z ₁₇	
Verhältnis Z _{17+WT} : Z ₁₇	-	[-]	0.87	≥ 0.7	
Gesteinskörnungen für AFK mit Bitumenemulsion					
Durchgang bei Sieb 0.063 mm	SN 670 402a	[M.-%]	10.6		2 - 12
Durchgang bei Sieb 2.0 mm	SN 670 402a	[M.-%]	41.5		≥ 25
Gesteinskörnungen für AFK mit Schaumbitumen					
Durchgang bei Sieb 0.063 mm	SN 670 402a	[M.-%]	-		3 - 12
Durchgang bei Sieb 2.0 mm	SN 670 402a	[M.-%]	-		≥ 25
Die Ergebnisse entsprechen den in der Norm geltenden Anforderungen					

Oberbuchsiten, den 12.07.2016

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.
Es gelten die AGBErol Yelkesen
Projektleiter AsphaltIMP Bautest AG
Institut für MaterialprüfungHauptstrasse 591
CH-4625 OberbuchsitenTelefon 062 389 98 99
Fax 062 389 98 90info@impbautest.ch
www.impbautest.ch



Attest

Prüfzeugnisnummer		Mischgutsorte		AFK 22	
Gesamtauftrag		Norm		SN 640 492	
Probenahme		18.11.2016			
Probeneingang		-			
Projektleiter		Dr. Christian Angst			
Objekt		VSS 2015/505 Kaltgebundene Schichten			
Probenahmeort		IMP Baute AG, Probemischung			
Bemerkungen		5 M.-% Emulsion und 2.5 M.-% Zement Wiederholung			
Probe-Nr.	16-12754	Probenahme durch	IMP Baute AG		
Probe-Nr. extern	-	Probenahmezeit	-		
Unternehmung	-	Mischguttemperatur	-	[°C]	
Aufbereitungsanlage	-	Rezept-Nr.	-		
Einbauschicht	-	Lieferschein-Nr.	-		
Zielbindemittel	keine Angaben	Anteil Ausbausphalt	-	[M.-%]	
Zusätze	-	Zusätze	-	[M.-%]	
Prüfergebnisse					
Bindemittel, Wassergehalt		Einheit	Ergebnis	Sollwert gem. EP	Bereich der zul. Abweichung
Anlieferungswassergehalt	SN EN 13286-2	[M.-%]	6.9		
Löslicher Bindemittelgehalt	SN 670 401	[M.-%]	7.86		
Duriez-Prüfung (NF P 98-251-4)					
Rohdichte bestimmt	SN 670 405	[kg/m³]	2380		
Raumdicke nach 7d	SN 670 406, Verfahren D	[kg/m³]	2224		
Hohlraumgehalt nach 7d	SN 670 408	[Vol.-%]	6.6		5 - 12
Druckfestigkeit nach 4h	-	[MN * m⁻²]	-		
Druckfestigkeit nach 7d (Z ₁₇)	NF P 98-251-4	[MN * m⁻²]	5.5	≥ 3	
Druckfestigkeit nach 14d (Z _{17+WT})	NF P 98-251-4	[MN * m⁻²]	-		
Druckfestigkeit nach 28d (Z _{17+WT})	NF P 98-251-4	[MN * m⁻²]	7.0	> Z ₁₇	
Verhältnis Z _{17+WT} : Z ₁₇	-	(-)		≥ 0.7	
Gesteinskörnungen für AFK mit Bitumenemulsion					
Durchgang bei Sieb 0.063 mm	SN 670 402a	[M.-%]	13.2		2 - 12
Durchgang bei Sieb 2.0 mm	SN 670 402a	[M.-%]	39.9		≥ 25
Gesteinskörnungen für AFK mit Schaumbitumen					
Durchgang bei Sieb 0.063 mm	SN 670 402a	[M.-%]	-		3 - 12
Durchgang bei Sieb 2.0 mm	SN 670 402a	[M.-%]	-		≥ 25
Die Ergebnisse entsprechen den in der Norm geltenden Anforderungen					

Oberbüschiten, den 12.07.2016

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.
Es gelten die AGBErol Yelkesen
Projektleiter Asphalt

IMP Baute AG
Institut für MaterialprüfungHauptstrasse 591
CH-4625 OberbüschitenTelefon 062 389 98 99
Fax 062 389 98 90info@impbaute.ch
www.impbaute.ch



Attest

Prüfzeugnisnummer Gesamtauftrag Probenahme Probeneingang Projektleiter Objekt Probenahmeort Bemerkungen		02-07-71010-10 10.10.2016 - Dr. Christian Angst VSS 2015/505 Kaltgebundene Schichten IMP Bautest AG, Probemischung 3 M.-% Emulsion, 1.5 M.-% Zement und 20% M.-% Brechsand		Mischgutsorte Norm		AFK 22 SN 640 492	
Probe-Nr. Probe-Nr. extern Unternehmung Aufbereitungsanlage Einbauschicht Zielbindemittel Zusätze		16-10541 - - - - keine Angaben -		Probenahme durch Probenahmezeit Mischguttemperatur Rezept-Nr. Anteil Ausbauphosphat Zusätze		IMP Bautest AG - - - - -	
						[°C]	
						[M.-%]	
						[M.-%]	
Prüfergebnisse							
Bindemittel, Wassergehalt		Einheit	Ergebnis	Sollwert gem. EP	Bereich der zul. Abweichung	unzulässige Abweichung	
Anlieferungswassergehalt	SN EN 13286-2	[M.-%]	6.8				
Löslicher Bindemittelgehalt	SN 670 401	[M.-%]	5.03				
Duriez-Prüfung (NF P 98-251-4)							
Rohdichte bestimmt	SN 670 405	[kg/m ³]	2472				
Raumdicke nach 7d	SN 670 406, Verfahren D	[kg/m ³]	2145				
Hohlraumgehalt nach 7d	SN 670 408	[Vol.-%]	13.2		5 - 12		
Druckfestigkeit nach 4h	-	[MN * m ⁻²]	-				
Druckfestigkeit nach 7d (Z _{L7})	NF P 98-251-4	[MN * m ⁻²]	4.6	≥ 3			
Druckfestigkeit nach 14d (Z _{L7+14d})	NF P 98-251-4	[MN * m ⁻²]	4.0				
Druckfestigkeit nach 28d (Z _{L28})	NF P 98-251-4	[MN * m ⁻²]	4.9	> Z _{L7}			
Verhältnis Z _{L7+14d} : Z _{L7}	-	[-]	0.87	≥ 0.7			
Gesteinskörnungen für AFK mit Bitumenemulsion							
Durchgang bei Sieb 0.063 mm	SN 670 402a	[M.-%]	10.5		2 - 12		
Durchgang bei Sieb 2.0 mm	SN 670 402a	[M.-%]	38.2		≥ 25		
Gesteinskörnungen für AFK mit Schaumbitumen							
Durchgang bei Sieb 0.063 mm	SN 670 402a	[M.-%]	-		3 - 12		
Durchgang bei Sieb 2.0 mm	SN 670 402a	[M.-%]	-		≥ 25		
Die Ergebnisse entsprechen den in der Norm geltenden Anforderungen							

Oberbuchsiten, den 12.07.2016

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.
Es gelten die AGBErol Yelkisen
Projektleiter Asphalt

IMP Bautest AG
Institut für MaterialprüfungHauptstrasse 591
CH-4625 OberbuchsitenTelefon 062 389 98 99
Fax 062 389 98 90info@impbautest.ch
www.impbautest.ch



Attest

Prüfzeugnisnummer Gesamtauftrag 02-07-71010-10 Probenahme 11.10.2016 Probeneingang - Projektleiter Dr. Christian Angst Objekt VSS 2015/505 Kaltgebundene Schichten Probenahmeort IMP Baute AG, Probemischung Bemerkungen 3 M.-% Emulsion, 2.5 M.-% Zement und 20 M.-% Brechsand		Mischgutsorte AFK 22 Norm SN 640 492			
Bundesamt für Strassen (ASTRA) c/o DLZ FI EFD CH-3003 Bern					
Probe-Nr. 16-10542 Probe-Nr. extern - Unternehmung - Aufbereitungsanlage - Einbauschicht - Zielbindemittel keine Angaben Zusätze -	Probenahme durch IMP Baute AG Probenahmezeit - Mischguttemperatur - Rezept-Nr. - Anteil Ausbauphosphat - Zusätze -	[°C] [M.-%] [M.-%]			
Prüfergebnisse					
Bindemittel, Wassergehalt	Einheit	Ergebnis	Sollwert gem. EP	Bereich der zul. Abweichung	unzulässige Abweichung
Anlieferungswassergehalt SN EN 13286-2	[M.-%]	6.7			
Löslicher Bindemittelgehalt SN 670 401	[M.-%]	5.06			
Duriez-Prüfung (NF P 98-251-4)					
Rohdichte bestimmt SN 670 405	[kg/m³]	2458			
Raumdichte nach 7d SN 670 406, Verfahren D	[kg/m³]	2186			
Hohlraumgehalt nach 7d SN 670 408	[Vol.-%]	11.1		5 - 12	
Druckfestigkeit nach 4h -	[MN * m²]	-			
Druckfestigkeit nach 7d (Z ₁₇) NF P 98-251-4	[MN * m²]	5.8	≥ 3		
Druckfestigkeit nach 14d (Z _{17+WT}) NF P 98-251-4	[MN * m²]	6.0			
Druckfestigkeit nach 28d (Z _{17+WT}) NF P 98-251-4	[MN * m²]	3.4	> Z ₁₇		
Verhältnis Z _{17+WT} : Z ₁₇ -	[-]	1.0	≥ 0.7		
Gesteinskörnungen für AFK mit Bitumenemulsion					
Durchgang bei Sieb 0.063 mm SN 670 402a	[M.-%]	11.4		2 - 12	
Durchgang bei Sieb 2.0 mm SN 670 402a	[M.-%]	42.5		≥ 25	
Gesteinskörnungen für AFK mit Schaumbitumen					
Durchgang bei Sieb 0.063 mm SN 670 402a	[M.-%]	-		3 - 12	
Durchgang bei Sieb 2.0 mm SN 670 402a	[M.-%]	-		≥ 25	
Die Ergebnisse entsprechen den in der Norm geltenden Anforderungen					

Oberbuchsiten, den 12.07.2016

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.
Es gelten die AGBErol Yelkisen
Projektleiter AsphaltIMP Baute AG
Institut für MaterialprüfungHauptstrasse 591
CH-4625 OberbuchsitenTelefon 062 389 98 99
Fax 062 389 98 90info@impbaute.ch
www.impbaute.ch



Attest

Prüfzeugnisnummer	02-07-71010-11		Mischgutsorte	AFK 22	
Gesamtauftrag	21.11.2016		Norm	SN 640 492	
Probenahme	-				
Probeneingang	-		Bundesamt für Strassen (ASTRA)		
Projektleiter	Dr. Christian Angst		c/o DLZ FI EFD		
Objekt	VSS 2015/505 Kaltgebundene Schichten		CH-3003 Bern		
Probenahmeort	IMP Baute AG, Probemischung				
Bemerkungen	3 M.-% Emulsion, 2.5 M.-% Zement und 20 M.-% Brechsand Wiederholung				
Probe-Nr.	16-12755	Probenahme durch	IMP Baute AG		
Probe-Nr. extern	-	Probenahmezeit	-		
Unternehmung	-	Mischguttemperatur	[°C]		
Aufbereitungsanlage	-	Rezept-Nr.	-		
Einbauschicht	-	Lieferschein-Nr.	-		
Zielbindemittel	keine Angaben	Anteil Ausbauphase	[M.-%]		
Zusätze	-	Zusätze	[M.-%]		
Prüfergebnisse					
Bindemittel, Wassergehalt		Einheit	Ergebnis	Sollwert gem. EP	Bereich der zul. Abweichung
Anlieferungswassergehalt	SN EN 13286-2	[M.-%]	10.0		
Löslicher Bindemittelgehalt	SN 670 401	[M.-%]	5.59		
Duriez-Prüfung (NF P 98-251-4)					
Rohdichte bestimmt	SN 670 405	[kg/m³]	2425		
Raumdichte nach 7d	SN 670 406, Verfahren D	[kg/m³]	2176		
Hohlraumgehalt nach 7d	SN 670 408	[Vol.-%]	10.3		5 - 12
Druckfestigkeit nach 4h	-	[MN * m²]	-		
Druckfestigkeit nach 7d (Z ₁₇)	NF P 98-251-4	[MN * m²]	5.4	≥ 3	
Druckfestigkeit nach 14d (Z _{17-W7})	NF P 98-251-4	[MN * m²]	-		
Druckfestigkeit nach 28d (Z ₁₈)	NF P 98-251-4	[MN * m²]	7.3	> Z ₁₇	
Verhältnis Z _{17-W7} : Z ₁₇	-	[-]	-	≥ 0.7	
Gesteinskörnungen für AFK mit Bitumenemulsion					
Durchgang bei Sieb 0.063 mm	SN 670 402a	[M.-%]	12.2		2 - 12
Durchgang bei Sieb 2.0 mm	SN 670 402a	[M.-%]	42.5		≥ 25
Gesteinskörnungen für AFK mit Schaumbitumen					
Durchgang bei Sieb 0.063 mm	SN 670 402a	[M.-%]	-		3 - 12
Durchgang bei Sieb 2.0 mm	SN 670 402a	[M.-%]	-		≥ 25
Die Ergebnisse entsprechen den in der Norm geltenden Anforderungen					

Oberbuchsiten, den 12.07.2016

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.
Es gelten die AGBErol Yelkesen
Projektleiter AsphaltIMP Baute AG
Institut für MaterialprüfungHauptstrasse 591
CH-4625 OberbuchsitenTelefon 062 389 98 99
Fax 062 389 98 90info@impbaute.ch
www.impbaute.ch



Attest

Prüfzeugnisnummer		Mischgutsorte		AFK 22		
Gesamtauftrag		Norm		SN 640 492		
Probenahme		22.11.2016				
Probeneingang		-				
Projektleiter		Dr. Christian Angst				
Objekt		VSS 2015/505 Kaltgebundene Schichten				
Probenahmeort		IMP Baute AG, Probemischung				
Bemerkungen		5 M.-% Emulsion, 1.5 M.-% Zement und 20 M.-% Brechsand Wiederholung				
Probe-Nr.	16-12949	Probenahme durch	IMP Baute AG			
Probe-Nr. extern	-	Probenahmezeit	-			
Unternehmung	-	Mischguttemperatur	[°C]			
Aufbereitungsanlage	-	Rezept-Nr.	-			
Einbauschicht	-	Lieferschein-Nr.	-			
Zielbindemittel	keine Angaben	Anteil Ausbauphase	[M.-%]			
Zusätze	-	Zusätze	[M.-%]			
Prüfergebnisse						
Bindemittel, Wassergehalt		Einheit	Ergebnis	Sollwert gem. EP	Bereich der zul. Abweichung	unzulässige Abweichung
Anlieferungswassergehalt	SN EN 13286-2	[M.-%]	7.8			
Löslicher Bindemittelgehalt	SN 670 401	[M.-%]	6.64			
Duriez-Prüfung (NF P 98-251-4)						
Rohdichte bestimmt	SN 670 405	[kg/m³]	2401			
Raumdicke nach 7d	SN 670 406, Verfahren D	[kg/m³]	2109			
Hohlraumgehalt nach 7d	SN 670 408	[Vol.-%]	8.8		5 - 12	
Druckfestigkeit nach 4h	-	[MN * m⁻²]	-			
Druckfestigkeit nach 7d (Z _{L7})	NF P 98-251-4	[MN * m⁻²]	5.3	≥ 3		
Druckfestigkeit nach 14d (Z _{L14})	NF P 98-251-4	[MN * m⁻²]	-			
Druckfestigkeit nach 28d (Z _{L28})	NF P 98-251-4	[MN * m⁻²]	6.5	> Z _{L7}		
Verhältnis Z _{L14} - Z _{L7}	-	[-]		≥ 0.7		
Gesteinskörnungen für AFK mit Bitumenemulsion						
Durchgang bei Sieb 0.063 mm	SN 670 402a	[M.-%]	12.3		2 - 12	
Durchgang bei Sieb 2.0 mm	SN 670 402a	[M.-%]	45.6		≥ 25	
Gesteinskörnungen für AFK mit Schaumbitumen						
Durchgang bei Sieb 0.063 mm	SN 670 402a	[M.-%]	-		3 - 12	
Durchgang bei Sieb 2.0 mm	SN 670 402a	[M.-%]	-		≥ 25	
Die Ergebnisse entsprechen den in der Norm geltenden Anforderungen						

YEE

Oberbuchsiten, den 12.07.2016

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.
Es gelten die AGBErol Yelkesen
Projektleiter AsphaltIMP Baute AG
Institut für MaterialprüfungHauptstrasse 591
CH-4625 OberbuchsitenTelefon 062 389 98 99
Fax 062 389 98 90info@impbaute.ch
www.impbaute.ch



Attest

Prüfzeugnisnummer		Mischgutsorte		AFK 22		
Gesamtauftrag		Norm		SN 640 492		
Probenahme		12.10.2016				
Probeneingang		-				
Projektleiter		Dr. Christian Angst				
Objekt		VSS 2015/505 Kaltgebundene Schichten				
Probenahmeort		IMP Baute AG, Probemischung				
Bemerkungen		5M.-% Emulsion, 1.5 M.-% Zement und 20 M.-% Brechsand				
Probe-Nr.	16-10543	Probenahme durch	IMP Baute AG			
Probe-Nr. extern	-	Probenahmezeit	-			
Unternehmung	-	Mischguttemperatur	[°C]			
Aufbereitungsanlage	-	Rezept-Nr.	-			
Einbauschicht	-	Anteil Ausbauphase	-			
Zielbindemittel	keine Angaben	Zusätze	-			
Zusätze	-		-			
Prüfergebnisse						
Bindemittel, Wassergehalt		Einheit	Ergebnis	Sollwert gem. EP	Bereich der zul. Abweichung	unzulässige Abweichung
Anlieferungswassergehalt	SN EN 13286-2	[M.-%]	6.8			
Löslicher Bindemittelgehalt	SN 670 401	[M.-%]	6.54			
Duriez-Prüfung (NF P 98-251-4)						
Rohdichte bestimmt	SN 670 405	[kg/m ³]	2433			
Raumdicke nach 7d	SN 670 406, Verfahren D	[kg/m ³]	2200			
Hohlraumgehalt nach 7d	SN 670 408	[Vol.-%]	9.6		5 - 12	
Druckfestigkeit nach 4h	-	[MN * m ⁻²]	-			
Druckfestigkeit nach 7d (Z ₁₇)	NF P 98-251-4	[MN * m ⁻²]	4.9	≥ 3		
Druckfestigkeit nach 14d (Z _{17+WT})	NF P 98-251-4	[MN * m ⁻²]	4.5			
Druckfestigkeit nach 28d (Z ₂₈)	NF P 98-251-4	[MN * m ⁻²]	2.4	> Z ₁₇		
Verhältnis Z _{17+WT} : Z ₁₇	-	[-]	0.9	≥ 0.7		
Gesteinskörnungen für AFK mit Bitumenemulsion						
Durchgang bei Sieb 0.063 mm	SN 670 402a	[M.-%]	10.7		2 - 12	
Durchgang bei Sieb 2.0 mm	SN 670 402a	[M.-%]	42.6		≥ 25	
Gesteinskörnungen für AFK mit Schaumbitumen						
Durchgang bei Sieb 0.063 mm	SN 670 402a	[M.-%]	-		3 - 12	
Durchgang bei Sieb 2.0 mm	SN 670 402a	[M.-%]	-		≥ 25	
Die Ergebnisse entsprechen den in der Norm geltenden Anforderungen						

Oberbuchsiten, den 12.07.2016

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.
Es gelten die AGBErol Yelkesen
Projektleiter Asphalt

IMP Baute AG
Institut für MaterialprüfungHauptstrasse 591
CH-4625 OberbuchsitenTelefon 062 389 98 99
Fax 062 389 98 90info@impbaute.ch
www.impbaute.ch



Attest

Prüfzeugnisnummer		Mischgutsorte		AFK 22		
Gesamtauftrag		Norm		SN 640 492		
Probenahme		02-07-71010-10				
Probeneingang		13.10.2016				
Projektleiter		-				
Objekt		Dr. Christian Angst Bundesamt für Strassen (ASTRA)				
Probenahmeort		c/o DLZ FI EFD				
Bemerkungen		CH-3003 Bern				
Probe-Nr.		16-10544				
Probe-Nr. extern		-				
Unternehmung		IMP Baute AG				
Aufbereitungsanlage		-				
Einbauschicht		-				
Zielbindemittel		keine Angaben				
Zusätze		-				
		[M.-%]				
		[M.-%]				
Prüfergebnisse						
Bindemittel, Wassergehalt		Einheit	Ergebnis	Sollwert gem. EP	Bereich der zul. Abweichung	unzulässige Abweichung
Anlieferungswassergehalt	SN EN 13286-2	[M.-%]	5.6			
Löslicher Bindemittelgehalt	SN 670 401	[M.-%]	7.0			
Duriez-Prüfung (NF P 98-251-4)						
Rohdichte bestimmt	SN 670 405	[kg/m ³]	2413			
Raumdicke nach 7d	SN 670 406, Verfahren D	[kg/m ³]	2188			
Hohlraumgehalt nach 7d	SN 670 408	[Vol.-%]	9.3		5 - 12	
Druckfestigkeit nach 4h	-	[MN * m ⁻²]	-			
Druckfestigkeit nach 7d (Z ₁₇)	NF P 98-251-4	[MN * m ⁻²]	5.3	≥ 3		
Druckfestigkeit nach 14d (Z _{17+WT})	NF P 98-251-4	[MN * m ⁻²]	4.9			
Druckfestigkeit nach 28d (Z _{17+WT})	NF P 98-251-4	[MN * m ⁻²]	3.0	> Z ₁₇		
Verhältnis Z _{17+WT} : Z ₁₇	-	[-]	0.9	≥ 0.7		
Gesteinskörnungen für AFK mit Bitumenemulsion						
Durchgang bei Sieb 0.063 mm	SN 670 402a	[M.-%]	10.9		2 - 12	
Durchgang bei Sieb 2.0 mm	SN 670 402a	[M.-%]	38.4		≥ 25	
Gesteinskörnungen für AFK mit Schaumbitumen						
Durchgang bei Sieb 0.063 mm	SN 670 402a	[M.-%]	-		3 - 12	
Durchgang bei Sieb 2.0 mm	SN 670 402a	[M.-%]	-		≥ 25	
Die Ergebnisse entsprechen den in der Norm geltenden Anforderungen						

Oberbuchsiten, den 12.07.2016

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.
Es gelten die AGBErol Yelkisen
Projektleiter Asphalt

IMP Baute AG
Institut für MaterialprüfungHauptstrasse 591
CH-4625 OberbuchsitenTelefon 062 389 98 99
Fax 062 389 98 90info@impbaute.ch
www.impbaute.ch



Attest

Prüfzeugnisnummer			Mischgutsorte	AFK 22
Gesamtauftrag	02-07-71010-12		Norm	SN 640 492
Probenahme	23.11.2016			
Probeneingang	-		Bundesamt für Strassen (ASTRA)	
Projektleiter	Dr. Christian Angst		c/o DLZ FI EFD	
Objekt	VSS 2015/505 Kaltgebundene Schichten		CH-3003 Bern	
Probenahmeort	IMP Baute AG, Probemischung			
Bemerkungen	5 M.-% Emulsion, 2.5 M.-% Zement und 20 M.-% Brechsand Wiederholung			
Probe-Nr.	16-12950	Probenahme durch	IMP Baute AG	
Probe-Nr. extern	-	Probenahmezeit	-	
Unternehmung	-	Mischguttemperatur	-	[°C]
Aufbereitungsanlage	-	Rezept-Nr.	-	
Einbauschicht	-	Lieferschein-Nr.	-	
Zielbindemittel	keine Angaben	Anteil Ausbauspalt	-	[M.-%]
Zusätze	-	Zusätze	-	[M.-%]
Prüfergebnisse				
Bindemittel, Wassergehalt		Einheit	Ergebnis	Sollwert gem. EP
Anlieferungswassergehalt	SN EN 13286-2	[M.-%]	9.8	Bereich der zul. Abweichung
Löslicher Bindemittelgehalt	SN 670 401	[M.-%]	6.68	unzulässige Abweichung
Duriez-Prüfung (NF P 98-251-4)				
Rohdichte bestimmt	SN 670 405	[kg/m³]	2377	
Raumdichte nach 7d	SN 670 406, Verfahren D	[kg/m³]	2203	
Hohlraumgehalt nach 7d	SN 670 408	[Vol.-%]	7.3	5 - 12
Druckfestigkeit nach 4h	-	[MN * m⁻²]	-	
Druckfestigkeit nach 7d (Z _{L7})	NF P 98-251-4	[MN * m⁻²]	5.1	≥ 3
Druckfestigkeit nach 14d (Z _{L7+WT})	NF P 98-251-4	[MN * m⁻²]	-	
Druckfestigkeit nach 28d (Z _{L28})	NF P 98-251-4	[MN * m⁻²]	7.0	> Z _{L7}
Verhältnis Z _{L7+WT} : Z _{L7}	-	[-]	≥ 0.7	
Gesteinskörnungen für AFK mit Bitumenemulsion				
Durchgang bei Sieb 0.063 mm	SN 670 402a	[M.-%]	12.8	2 - 12
Durchgang bei Sieb 2.0 mm	SN 670 402a	[M.-%]	45.4	≥ 25
Gesteinskörnungen für AFK mit Schaumbitumen				
Durchgang bei Sieb 0.063 mm	SN 670 402a	[M.-%]	-	3 - 12
Durchgang bei Sieb 2.0 mm	SN 670 402a	[M.-%]	-	≥ 25
Die Ergebnisse entsprechen den in der Norm geltenden Anforderungen				

Oberbuchsiten, den 12.07.2016

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.
Es gelten die AGBErol Yelkesen
Projektleiter AsphaltIMP Baute AG
Institut für MaterialprüfungHauptstrasse 591
CH-4625 OberbuchsitenTelefon 062 389 98 99
Fax 062 389 98 90info@impbaute.ch
www.impbaute.ch

II.3 Influence du sable d'apport sur la maniabilité des mélanges à froid



Attest

Prüfzeugnis Nummer 17-02-0531

Gyrator-Verdichtung AFK 22

Gesamtauftrag 02-07-71010-13

Eingang 24.01.2017

Entnahme 06.02.2017

Probenummer 17-00224

Probenummer extern: Laborprogramm 9.1

Baustelle VSS 2010/505 Kaltgebundene Schichten

Bauteil -

Bundesamt für Strassen (ASTRA)
c/o DLZ FI EFD
3003 Bern

Unternehmung	-	Probenahme	-
Aufbereitungsanlage	-	Temperatur/Zeit	-
Lieferschein	-	Rezept	-
Bindemittel	C60B4	Dosierung	4 M.-%
Zusatz	-	Dosierung	- M.-%

Gyrator-Verdichtung nach EN 12697-31

Prüftemperatur 27 °C

Durchmesser 150 mm

Mindesthöhe h_{min} 110 mm

Gyrator-Verdichter ELE Model 2500

Rotationsgeschwindigkeit 30 U/min

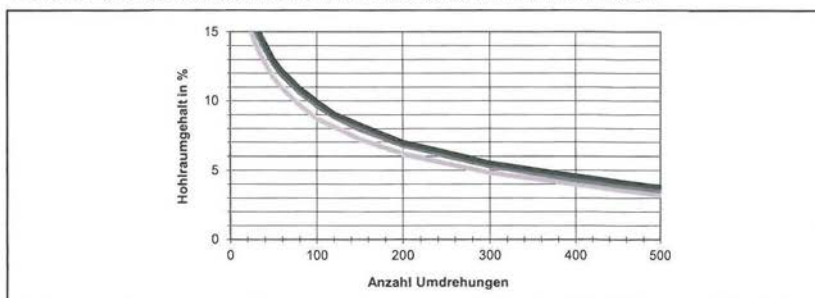
Neigungswinkel 1.00 °

Kraft 10603 N

Prüfung des Hohlraumgehalts nach EN 12697-31

Prüfkörperbezeichnung	1	2	3	Mittelwert	Anforderung
Anzahl Umdrehungen	Hohlraumgehalt* in %				
5	22.6	23.4	24.0	23.4	
10	19.3	20.3	20.8	20.1	
15	17.4	18.3	18.8	18.2	
20	16.0	17.0	17.4	16.8	
25	14.9	15.9	16.3	15.7	
30	14.1	15.0	15.4	14.9	
40	12.8	13.8	14.1	13.6	
50	11.7	12.7	13.0	12.5	
60	10.9	11.9	12.1	11.6	
80	9.7	10.6	10.9	10.4	
100	8.7	9.6	9.9	9.4	
120	8.1	8.9	9.0	8.7	
150	7.2	7.9	8.3	7.8	
200	6.2	6.8	7.0	6.6	
300	4.8	5.3	5.5	5.2	
400	4.0	4.3	4.6	4.3	
500	3.2	3.5	3.8	3.5	

* Der Hohlraumgehalt bei Verdichtungstemperatur stimmt mit demjenigen bei Raumtemperatur nicht überein.



M:\7_F-Projekte\01 Forschung\02-07-71010 Kaltgebundene Schichten\1_Berichte_Atteste_Auswertungen\Auswertungen\Laborprogramm 8 - 9 Gyrator\Laborprogramm 9\17-00224

Oberbuchsiten, den 07. Februar 2017

IMP Bauteist AG

IMP Bauteist AG
Institut für MaterialprüfungDie Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf das untersuchte Mischgut.
Es gelten die AGBHauptstrasse 591
CH-4625 OberbuchsitenTelefon 062 389 98 99
Fax 062 389 98 90info@impbauteist.ch
www.impbauteist.ch

Swiss Testing: STS 016



Attest

Prüfzeugnis Nummer 17-02-1765

Gyrator-Verdichtung **AFK 22**

Gesamtauftrag 02-07-71010-15

Eingang 27.03.2017

Entnahme 01.03.2017

Probennummer 17-01953

Probennummer extern: Laborprogramm 9.2 Wiederholung

Baustelle VSS 2010/505 Kaltgebundenes Schichten

Bauteil 80 % RA-20 % Brechsand

Bundesamt für Strassen (ASTRA)

c/o DLZ FI EFD

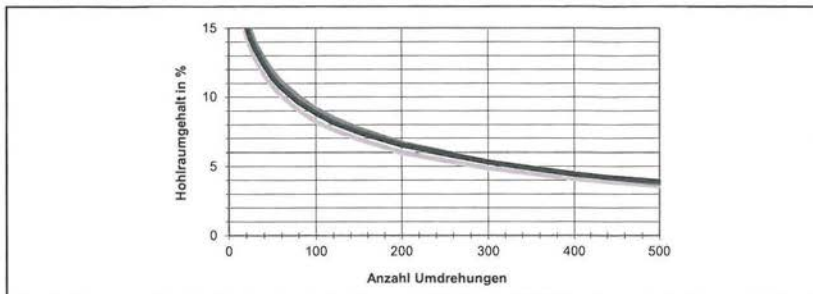
3003 Bern

Unternehmung	-	Probenahme	-
Aufbereitungsanlage	-	Temperatur/Zeit	-
Lieferschein	-	Rezept	-
Bindemittel	C60B4	Dosierung	4 M.-%
Zusatz	-	Dosierung	- M.-%

Gyrator-Verdichtung nach EN 12697-31		Gyrator-Verdichter	ELE Model 2500
Prüftemperatur	- °C	Rotationsgeschwindigkeit	30 U/min
Durchmesser	150 mm	Neigungswinkel	1.00 °
Mindesthöhe h _{min}	110 mm	Kraft	10603 N

Prüfung des Hohlraumgehalts nach EN 12697-31					
Prüfkörperbezeichnung	1	2	3	Mittelwert	Anforderung
Anzahl Umdrehungen	Hohlraumgehalt* in %				
5	20.6	21.6	21.1	21.1	
10	17.6	18.7	18.2	18.1	
15	15.8	16.9	16.4	16.4	
20	14.5	15.7	15.2	15.1	
25	13.6	14.7	14.2	14.2	
30	12.8	13.9	13.5	13.4	
40	11.7	12.7	12.4	12.2	
50	10.8	11.9	11.4	11.4	
60	10.1	11.1	10.7	10.6	
80	9.0	10.0	9.6	9.6	
100	8.2	9.1	8.8	8.7	
120	7.6	8.5	8.1	8.1	
150	6.9	7.7	7.4	7.3	
200	6.0	6.6	6.5	6.4	
300	4.9	5.3	5.3	5.2	
400	4.1	4.5	4.4	4.3	
500	3.6	3.8	3.9	3.8	

* Der Hohlraumgehalt bei Verdichtungstemperatur stimmt mit demjenigen bei Raumtemperatur nicht überein.



M17_F-Projekt/01 Forschung/02-07-71010 Kaltgebundene Schichten/1_Berichte_Atteste_Auswertungen/Auswertungen/Laborprogramm 8 - 9 Gyrator/Laborprogramm 9/17-01953

Oberbuchsiten, den 29. März 2017

IMP Baute AG

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf das untersuchte Mischgut.
Es gelten die AGB

PB

IMP Baute AG
Institut für MaterialprüfungHauptstrasse 591
CH-4625 OberbuchsitenTelefon 062 389 98 99
Fax 062 389 98 90info@impbaute.ch
www.impbaute.ch

Swiss Testing: STS 016



Attest

Prüfzeugnis Nummer 17-02-1146

Gyrator-Verdichtung

AFK 22

Gesamtauftrag 02-07-71010-14

Eingang 01.03.2017

Entnahme 07.03.2017

Probenummer 17-01071

Probenummer extern: Laborprogramm 8.1

Baustelle VSS 2010/505 Kaltgebundenes Schichten

Bauteil 100 % RA

Bundesamt für Strassen (ASTRA)

c/o DLZ FI EFD

3003 Bern

Unternehmung	-	Probenahme	-
Aufbereitungsanlage	-	Temperatur/Zeit	-
Lieferschein	-	Rezept	-
Bindemittel	C60BP4	Dosierung	4 M.-%
Zusatz	-	Dosierung	- M.-%

Gyrator-Verdichtung nach EN 12697-31

Prüftemperatur - °C

Durchmesser 150 mm

Mindesthöhe h_{min} 110 mm

Gyrator-Verdichter ELE Model 2500

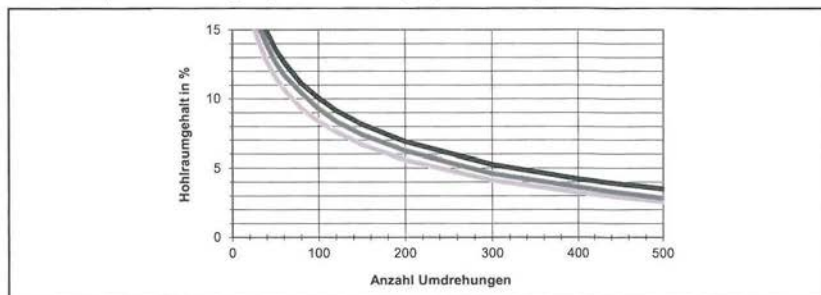
Rotationsgeschwindigkeit 30 U/min

Neigungswinkel 1.00 °

Kraft 10603 N

Prüfung des Hohlraumgehalts nach EN 12697-31					
Prüfkörperbezeichnung	1	2	3	Mittelwert	Anforderung
Anzahl Umdrehungen	Hohlraumgehalt* in %				
5	24.0	25.3	26.3	25.2	
10	20.2	21.5	22.6	21.5	
15	18.0	19.2	20.2	19.1	
20	16.5	17.7	18.7	17.6	
25	15.3	16.4	17.5	16.4	
30	14.3	15.4	16.4	15.4	
40	12.7	13.9	14.9	13.8	
50	11.6	12.7	13.7	12.7	
60	10.7	11.8	12.7	11.7	
80	9.3	10.5	11.1	10.3	
100	8.4	9.3	10.1	9.2	
120	7.6	8.4	9.2	8.4	
150	6.7	7.4	8.1	7.4	
200	5.6	6.3	6.9	6.3	
300	4.1	4.6	5.3	4.7	
400	3.2	3.6	4.2	3.7	
500	2.6	2.8	3.5	3.0	

* Der Hohlraumgehalt bei Verdichtungs-temperatur stimmt mit demjenigen bei Raumtemperatur nicht überein.



M:\7_F-Projekte\01 Forschung\02-07-71010 Kaltgebundene Schichten\1_Berichte_Atteste_Auswertungen\Auswertungen\Laborprogramm 8 - 9 Gyrator\Laborprogramm 8\17-01071

Oberbuchsiten, den 7. März 2017

IMP Bautest AG

IMP Bautest AG
Institut für MaterialprüfungDie Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf das untersuchte Mischgut.
Es gelten die AGBHauptstrasse 591
CH-4625 OberbuchsitenTelefon 062 389 98 99
Fax 062 389 98 90info@impbautest.ch
www.impbautest.ch

Swiss Testing: STS 016



Attest

Prüfzeugnis Nummer 17-02-1764

Gyrator-Verdichtung AFK 22

Gesamtauftrag 02-07-71010-15
 Eingang 24.03.2017
 Entnahme 01.03.2017
 Probenummer 17-01952
 Probenummer extern: Laborprogramm 8.2
 Baustelle VSS 2010/505 Kaltgebundenes Schichten
 Bauteil 80 % RA - 20% Brechsand

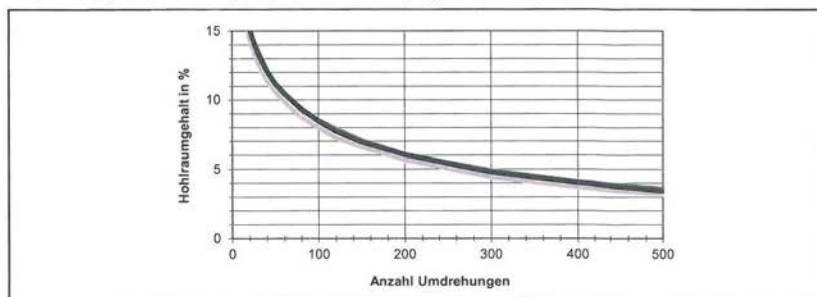
Bundesamt für Strassen (ASTRA)
 c/o DLZ FI EFD
 3003 Bern

Unternehmung	-	Probenahme	-
Aufbereitungsanlage	-	Temperatur/Zeit	-
Lieferschein	-	Rezept	-
Bindemittel	C60BP4	Dosierung	4 M.-%
Zusatz	-	Dosierung	- M.-%

Gyrator-Verdichtung nach EN 12697-31	Gyrator-Verdichter	ELE Model 2500
Prüftemperatur - °C	Rotationsgeschwindigkeit	30 U/min
Durchmesser 150 mm	Neigungswinkel	1.00 °
Mindesthöhe h _{min} 110 mm	Kraft	10603 N

Prüfung des Hohlraumgehalts nach EN 12697-31					
Prüfkörperbezeichnung	1	2	3	Mittelwert	Anforderung
Anzahl Umdrehungen	Hohlraumgehalt* in %				
5	20.5	21.4	21.4	21.1	
10	17.5	18.3	18.3	18.0	
15	15.7	16.4	16.5	16.2	
20	14.4	15.1	15.1	14.9	
25	13.5	14.1	14.2	13.9	
30	12.7	13.3	13.4	13.1	
40	11.5	12.1	12.1	11.9	
50	10.6	11.1	11.2	11.0	
60	9.9	10.5	10.5	10.3	
80	8.8	9.4	9.3	9.1	
100	8.0	8.5	8.5	8.3	
120	7.3	7.9	7.7	7.6	
150	6.6	7.1	7.0	6.9	
200	5.7	6.1	6.0	5.9	
300	4.4	4.9	4.8	4.7	
400	3.7	4.1	4.0	4.0	
500	3.2	3.6	3.4	3.4	

* Der Hohlraumgehalt bei Verdichtungstemperatur stimmt mit demjenigen bei Raumtemperatur nicht überein.



M17_F-Projekt01 Forschung/02-07-71010 Kaltgebundene Schichten/1_Berichte_Atteste_Auswertungen/Auswertungen/Laborprogramm 8-9 Gyrator/Laborprogramm 8/17-01952

Oberbuchsiten, den 29. März 2017

IMP Baute AG



Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf das untersuchte Mischgut.
 Es gelten die AGB

IMP Baute AG
 Institut für Materialprüfung

Hauptstrasse 591
 CH-4625 Oberbuchsiten

Telefon 062 389 98 99
 Fax 062 389 98 90

info@impbaute.ch
 www.impbaute.ch

Swiss Testing: STS 016

Glossaire

Terme	Signification
AC F	Couche de fondation en enrobés bitumineux
AFK	Couche de fondations en enrobés bitumineux à froid
AIPCR	Association mondiale de la route
EN	Normes européennes (EN)
KGG	Mélanges traités aux liants combinés
PCG	Presse à cisaillement giratoire
PN	Pavement Number
SN	Normes suisses (SN)
SN	Structural Number
VSS	Association suisse des professionnels de la route et des transports

Bibliographie

Normes

- [1] Association suisse des professionnels de la route et des transports VSS (2009), « **Mélanges traités et sols stabilisés – Norme de base** », *norme SN 640 490*.
- [2] Association suisse des professionnels de la route et des transports VSS (2009), « **Couches traitées aux liants hydrauliques; conception, exécution et exigences relatives aux couches en place** », *norme SN 640 491*.
- [3] Association suisse des professionnels de la route et des transports VSS (2014), « **Couches de fondation en enrobés bitumineux à froid; exigences relatives au mélange, conception, exécution et exigences relatives aux couches en place** », *norme SN 640 492*.
- [4] Association suisse des professionnels de la route et des transports VSS (2015), « **Mélanges traités aux liants hydrauliques - Spécifications Partie 1: Mélanges granulaires traités au ciment / Mélanges traités aux liants hydrauliques – Spécifications - Partie 5: Mélanges traités au liant hydraulique routier** », *norme SN 640 496*.
- [5] Association suisse des professionnels de la route et des transports VSS (2013), « **Mélanges traités aux liants hydrauliques – Spécifications – Partie 2: Mélanges traités au laitier** », *norme SN 640 500-2*.
- [6] Association suisse des professionnels de la route et des transports VSS (2013), « **Mélanges traités aux liants hydrauliques – Spécifications – Partie 3: Mélanges traités à la cendre volante** », *norme SN 640 500-3*.
- [7] Association suisse des professionnels de la route et des transports VSS (2013), « **Mélanges traités aux liants hydrauliques – Spécifications – Partie 4: Cendre volante pour mélanges traités aux liants hydrauliques** », *norme SN 640 500-4*.
- [8] Association suisse des professionnels de la route et des transports VSS (2012), « **Mélanges traités et mélanges non traités – Partie 2: Méthodes d'essai de détermination en laboratoire de la masse volumique de référence et de la teneur en eau – Compactage Proctor** », *norme SN 670 330-2*.
- [9] Association suisse des professionnels de la route et des transports VSS (2004), « **Mélanges traités et mélanges non traités aux liants hydrauliques – Partie 41: Méthode d'essai pour la détermination de la résistance à la compression des mélanges traités aux liants hydrauliques** », *norme SN 670 330-41*.
- [10] Association suisse des professionnels de la route et des transports VSS (2004), « **Mélanges traités et mélanges non traités aux liants hydrauliques – Partie 43: Méthodes d'essai pour la détermination du module d'élasticité des mélanges traités aux liants hydrauliques** », *norme SN 670 330-43*.
- [11] Association suisse des professionnels de la route et des transports VSS (2005), « **Mélanges traités et mélanges non traités aux liants hydrauliques – Partie 45: Méthodes d'essai pour la détermination du délai de maniabilité** », *norme SN 670 330-45*.
- [12] Association suisse des professionnels de la route et des transports VSS (2005), « **Mélanges traités et mélanges non traités aux liants hydrauliques – Partie 50: Méthode de confection par compactage avec un appareillage Proctor ou une table vibrante des éprouvettes de matériaux traités aux liants hydrauliques** », *norme SN 670 330-50*.
- [13] Association suisse des professionnels de la route et des transports VSS (2011), « **Dimensionnement; superstructures des routes** », *norme SN 640 324*.
- [14] Association suisse des professionnels de la route et des transports VSS (2011), « **Granulats pour matériaux traités aux liants hydrauliques et matériaux non traités utilisés pour les travaux de génie civil et pour la construction des chaussées – Graves non traitées – Spécifications** », *norme SN 670 119*.
- [15] Office fédéral de l'environnement OFEV (2006), « **Directive pour la valorisation des déchets de chantier minéraux** », *directive OFEV*.

Documentation

- [16] M. Kronig, D. Niederberger et A. Tobler (mars 2014), « **Recyclage à froid des RC-Grave de granulats asphaltés avec des liants bitumineux** », Office fédéral des routes OFROU, *Projet de recherche VSS 2002/401, Rapport VSS No. 1450*.
- [17] CFTR/SETRA (2003), « **Retraitement à froid en place des anciennes chaussées** ».
- [18] AASHTO (1986, 1993), « **Guide de dimensionnement** ».
- [19] Asph. Acad. (2009), « **A Guideline for the design and construction** ».
- [20] Gauteng DOT (2007), « **A knowledge based structural design method** ».

-
- [21] Association mondiale de la route AIPCR (2003), « **Recyclage des chaussées C 7/8 : Guide pour le retraitement en place à froid** ».
-
- [22] Wirtgen Group (2010), « **Cold Recycling - Wirtgen Cold Recycling Technology** ».
-
- [23] Sétra (2013), « **Guide technique - Renforcement des chaussées** ».
-
- [24] NF P98-251-4 (1992), « **Essais Duriez sur mélanges hydrocarbonés à froid à l'émulsion de bitume** ».
-

Logiciel

-
- [25] IFSTTAR, « **Alizé-Lcpc : Logiciel pour l'analyse et le dimensionnement des structures de chaussées** », v.1.5.1 (2017).
-

Clôture du projet



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Version vom 09.10.2013

Formular Nr. 3: Projektabschluss

erstellt / geändert am: 28.11.2017

Grunddaten

Projekt-Nr.: VSS 2010/505

Projekttitel: Couches liées à froid avec liants hydrauliques et/ou bitumineux – Approche théorique

Enddatum: 28.11.2017

Texte

Zusammenfassung der Projektergebnisse:

Dans le domaine de la construction routière suisse il existe une multitude de possibilités pour la conception d'une couche de fondation d'une chaussée. En présence d'une fondation de mauvaise qualité, ses caractéristiques peuvent être améliorées par des méthodes bien connues comme les mélanges traités au ciment ou à la chaux ou les couches de fondation en enrobés bitumineux AC F, ou alors le recours à des techniques à froid peut être envisagé. Avec ces dernières des pourcentages très élevés de matériaux de récupération peuvent être visés. Même si ces techniques sont déjà appliquées en Suisse, il existe actuellement encore un grand nombre de questions ouvertes, que ce soit par rapport à la composition de ces matériaux, la prise en compte dans le dimensionnement, etc.

Les objectifs principaux de la recherche sont l'évaluation de différentes techniques de mélanges traités à froid en laboratoire et la définition des paramètres de composition optimaux des mélanges. En outre une exploitation des résultats des essais en laboratoire pour la définition de paramètres théoriques pour le dimensionnement de la structure des chaussées est effectuée.

Un nombre important de mélanges à froid, avec une émulsion de bitume pure ou avec un mélange de ciment et d'émulsion de bitume (liant combiné), ont été testés en laboratoire. Plusieurs paramètres ont été évalués, tels que le pourcentage d'agrégats d'enrobés, le dosage en liant, le type de liant, etc.

La fabrication d'un mélange à froid avec émulsion de bitume ou avec un liant combiné de type émulsion de bitume avec ciment, peut être envisagé sans ajout de sable d'apport. En effet, les mélanges avec 100% d'agrégats d'enrobés respectent les exigences des normes. La maniabilité de ce dernier doit par contre être contrôlée sur chantier.

Les résultats des essais en laboratoire ont par la suite été utilisés pour définir des paramètres théoriques pour le dimensionnement de la structure des chaussées pour les différentes techniques à froid. Grâce à l'utilisation d'un logiciel de dimensionnement le comportement des différentes techniques à froid a pu être modélisé, et comparé par rapport aux techniques traditionnelles. Cette approche théorique a permis de définir un ordre de grandeur des valeurs de portance.

Les résultats de la présente recherche permettent d'apporter des recommandations sur la composition des techniques à froid (type de liant, dosage, sable d'apport, etc.), sur leurs caractéristiques mécaniques (résistance à la compression, sensibilité à l'eau, etc.), ainsi que sur leur emploi dans les structures routières en Suisse (valeurs de portance).



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

Zielerreichung:

Suite à la publication du rapport VSS 2002/401 en mars 2014, et la mise en vigueur de la norme SN 640 492 "Couches de fondation en enrobés bitumineux à froid; exigences relatives au mélange, conception, exécution et exigences relatives aux couches en place" en juillet 2014, le programme de recherche du présent projet a été adapté. Ainsi les objectifs principaux définis lors du lancement du projet ont profondément évolués.

Grâce à l'évaluation en laboratoire des différentes techniques de mélanges traités à froid, des recommandations ont pu être faites par rapport à la composition optimale des mélanges. Une évaluation ciblée a été appliquée, c.-à-d. que certains paramètres spécifiques ont été investigués.

Grâce à l'approche théorique, des paramètres théoriques pour le dimensionnement de la structure des chaussées ont pu être proposés. Ces valeurs pourraient par la suite être intégrées dans les démarches de dimensionnement des structures routières.

Folgerungen und Empfehlungen:

Les résultats de la présente recherche permettent d'apporter des recommandations sur la composition des techniques à froid (type de liant, dosage, sable d'apport, etc.), sur leurs caractéristiques mécaniques (résistance à la compression, sensibilité à l'eau, etc.), ainsi que sur leur emploi dans les structures routières en Suisse (valeurs de portance).

Publikationen:

Aucune.

Der Projektleiter/die Projektleiterin:

Name: Cuénoud

Vorname: Jean-Louis

Amt, Firma, Institut: Infralab SA

Unterschrift des Projektleiters/der Projektleiterin:



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Formular Nr. 3: Projektabschluss

Beurteilung der Begleitkommission:

Beurteilung:

Als übergeordnetes Ziel im Infrastrukturbau ist die Wiederverwendung von Abbruchmaterial im Strassenbau zu optimieren. Insbesondere soll der Anteil des wiederverwendeten Ausbauasphalts erhöht werden. Das vorliegende Forschungsprojekt 505/2010 erbringt für die untersuchten Materialkombinationen unter Laborbedingungen den Nachweis der Eignung bei Verwendung von 80% bis 100% rezykliertem Ausbauasphalt. Als Bindemittel kann sowohl Bitumenemulsion als auch Bitumenemulsion+Zement eingesetzt werden. Mittels theoretischer Herleitung wird ein möglicher Tragfähigkeitswert abgeschätzt. Damit ist der Forschungsauftrag erfüllt.

Umsetzung:

Im Einvernehmen mit der NFK 3.8, der Begleitkommission und des ASTRA wurde die Zielsetzung resp. der Weg zum Ziel nach Abschluss des Forschungsprojekts VSS 2002/401 "Kaltrecycling von Ausbauasphalt mit bituminösen Bindemitteln" modifiziert. Dieses Vorgehen ist in der Präambel des Forschungsberichts beschrieben. Die Zielerreichung über den geänderten Weg ist im Sinne des Forschungsauftrags in Ordnung und akzeptiert.

weitergehender Forschungsbedarf:

Die Begleitkommission erkennt weiteren Forschungsbedarf für:

1. Priorität: Verifizierung der Laboregebnisse mittels Feldversuch unter Baustellenbedingung
2. Priorität: Versuchsstrecken unter Verkehr mit AC F und AF K mit Variation der Schichtstärke

Einfluss auf Normenwerk:

Einfluss auf die Norm SN 640 324b "Dimensionierung....."

Der Präsident/die Präsidentin der Begleitkommission:

Name: Trüb

Vorname: Thomas

Amt, Firma, Institut: F. Preisig AG

Unterschrift des Präsidenten/der Präsidentin der Begleitkommission:

T. Trüb
VSS FK3: 3.5.18 *[Signature]*

Forschung im Strassenwesen des UVEK: Formular 3

Seite 3 / 3

Index des rapports de recherche en matière de route

L'index actuel des rapports publiés dernièrement peut être téléchargé sur notre site www.astra.admin.ch (Recherche en matière de routes --> Downloads --> Formulaires).