Guide des bonnes pratiques
Recyclage des agrégats d'enrobés et recours aux enrobés tièdes

Présentation finale de l'étude | 19.01.2021

KIES FÜR GENERATIONEN

LIBERTÉ ET PATRIE

Berner Fachhochschule
Haute école spécialisée bernoise

Contenu de la présentation

- Message vidéo du Conseiller d'État Dr. Martin Neukom, Directeur travaux publics canton de Zurich
- Présentation de la plateforme *Gravier pour des générations* (KFG)
- De quoi parle-t-on?
- Généralités concernant le projet
- Cadre législatif et normatif
- Structuration du guide
- Zoom sur les points forts du guide
- Prochains jalons et perspectives
- Mot de la fin

- Présentation de la plateforme *Graviers pour des générations*

Plateforme Gravier pour des Générations / Kies für Generationen (KFG)

- Création en avril 2018, à l'initiative de l'AWEL (office de l'environnement) du canton de Zurich et avec le soutien des acteurs suivants:
  - Direction des travaux publics du canton de Zurich, avec l'office de l'environnement et le service des ponts et chaussées
  - L'association asr Recyclage matériaux construction Suisse
  - L'association zurichoise des producteurs de béton et de gravier FKB Zürich
  - Représentants d'entrepreneurs (Walo, Eberhard) et de producteurs d'enrobés (BHZ) issus de la région zurichoise

- Objectif principal: Veiller conjointement à ce que les matériaux minéraux issus de la déconstruction restent dans le circuit économique en tant que matériaux de construction et soient revalorisés.

- En pratique, cela se traduit par…
  - Donner la priorité aux produits de construction issus de matériaux de déconstruction dans le cadre des projets de la Direction des travaux publics du canton de Zurich.
  - Définir des mesures visant à accroître leur acceptation et la demande.
  - Reconnaître et promouvoir les innovations.

- Lien avec le projet: Fin 2019, le sous-groupe asphalte de la plateforme Gravier pour des Générations (KFG) - avec le soutien et le cofinancement de 8 cantons et des ponts et chaussées de la Ville de ZH - a mandaté la HESB (Haute école spécialisée bernoise) pour élaborer un guide des bonnes pratiques.

- De quoi parle-t-on?
- Qu’entend-on par enrobé recyclé à fort taux et enrobé tiède?

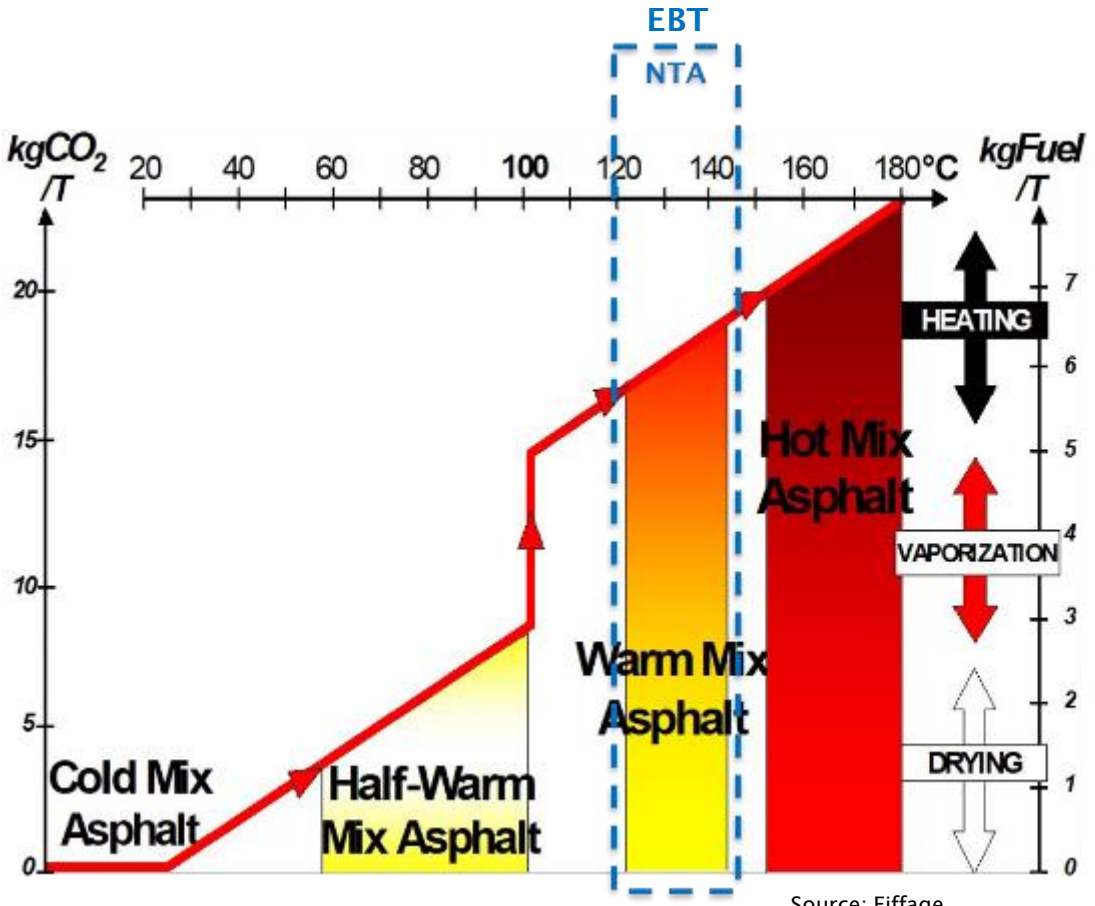
Agrégats d'enrobés

- Matériaux bitumineux obtenus suite à la déconstruction ou au fraisage des chaussées.
- À considérer en tant que matière première secondaire, et non pas en tant que déchet de chantier.
- Compositions des agrégats d'enrobés
  - Liant bitumineux
  - Granulats et sables
  - Filler

Source: SMI Tagung 2018, D. Kästli

- Dans l'étude, nous considérerons en premier lieu les «enrobés recyclés à fort taux».
  - Il s'agit d'enrobés contenant un taux d'agrégats d'enrobés proche de la valeur maximale admissible d'après la norme ou dépassant même cette valeur.
  - Cela signifie par exemple un taux minimal de 50% d'agrégats d'enrobés dans une couche de base AC T.

Enrobés tièdes (EBT / NTA)



Source: Eiffage

- Enrobés produits et mis en œuvre à une température plus basse que les enrobés à chaud traditionnels.
- Cela correspond en général à une diminution de la température de fabrication d'environ 30° C. La température de fabrication se situe alors dans une plage comprise entre 100 et 130° C.
- Il est possible de réduire la température de production tout en maintenant une viscosité adéquate grâce à des procédés de fabrication spécifiques (mousse de bitume) et/ou l'utilisation d'additifs. Voir la diapositive 25.

- Généralités concernant le projet
  - Sélection des thèmes abordés
  - Acteurs du projet, organisation et structure du projet
  - Périmètre et conditions-cadres du projet
  - Démarche utilisée
  - Public-cible

Sélection des thèmes abordés

- Il existe un réel besoin de support et d'accompagnement concernant les enrobés recyclés et les enrobés tièdes, en particulier auprès des maîtres d'ouvrage et des bureaux d'ingénieurs.

- En raison d'un manque de sensibilisation et d'expertise auprès des acteurs de la profession, ces deux types de produits sont encore trop peu mis en avant et intégrés dans le cadre de projets de construction routière. Cela vaut particulièrement au niveau communal. Il existe également de grandes disparités au niveau cantonal.

- La majorité des maîtres d'ouvrage et des bureaux d'ingénieurs s'en tiennent strictement aux prescriptions des normes ou à des processus internes obsolètes.

- L'objectif du projet est de proposer un soutien technique axé sur la pratique, et de contribuer concrètement à la promotion de revêtements plus écologiques, en particulier par le biais d'enrobés recyclés et d'enrobés tièdes.

Acteurs du projet

- Mandant: Plateforme «Graviers pour des générations»
  (nom allemand «Kies für Generationen (KFG)»)

- Sponsors *(offices co-finançant l'étude):*

  Offices de l'environnement et/ou ponts et chaussées (TBA) des cantons:

  AG / BE / GE / LU / VD / VS / ZG / ZH

  ainsi que les ponts et chaussées de la ville de ZH (TAZ)

- Commission de suivi:
  - Sous-groupe "Asphalte" de la plateforme KFG

    Dr. R. Lieb (TBA ZH), C. Gassmann (TBA Kt. ZH), D. Oetiker (AWEL Kt. ZH), M. Preisig (entreprise Eberhard), W. Zuberbühler (TAZ), M. Horat (TAZ), U. Stadler (entreprise Walo), B. Kunz (Entreprise BHZ), M. Horat (TAZ)
  - Président du comité de pilotage du projet

    Laurent Audergon, directeur de «Graviers pour des générations» et de l'asr Recyclage matériaux construction Suisse

- Partenaire scientifique:

  Haute école spécialisée bernoise HESB (nom allemand BFH)

  Pr. Dr. N. Bueche, A. Ziegelmeyer

Périmètre et conditions-cadres du projet

- Seul le recyclage des agrégats d'enrobés sous forme liée dans les matériaux bitumineux est pris en compte dans cette étude.
- Les enrobés considérés sont les enrobés à chaud et les enrobés tièdes.
  → Ces deux procédés de fabrication permettent en effet une valorisation de haute qualité avec un taux élevé d'agrégats d'enrobés.
- Le cas de structures de chaussée fortement sollicitées, à savoir avec une classe de trafic supérieure ou égale à T3, est le domaine d'application principal. Le guide est toutefois aussi valable pour des classes de trafic inférieures à T3.
- Nous faisons l'hypothèse que les enrobés sont posés à la machine.
- L'optimisation des centrales d'enrobage ne sera pas étudiée ici (aspects concernant p.ex. le processus de production ou les émissions).
- L'accent est mis sur la situation en Suisse.

Démarche utilisée

- Etat des lieux de la situation en Suisse et dans les pays européens.
- Etude bibliographique détaillée concernant les projets de recherche déjà menés ainsi que les chantiers déjà réalisés.
- Collecte de connaissances et d'expériences auprès de divers acteurs de la profession par l'intermédiaire d'un questionnaire et de discussions bilatérales.
- Identification de thématiques permettant d'améliorer la situation des enrobés recyclés et des enrobés tiède en Suisse.
- Développement des thèmes retenus par le groupe de travail.
- Il ne s'agit pas de recherche au sens classique du terme. L'étude est fondée sur des informations et des résultats déjà existants ainsi que sur une collection d'expériences pratiques déjà réalisées.

Public-cible

- Le guide des bonnes pratiques…
  - est développé en premier lieu pour les maîtres d'ouvrage et les bureaux d'ingénieurs.
  - doit accompagner les professionnels de la branche afin qu'ils puissent intégrer les enrobés recyclés à fort taux d'AE et les enrobés tièdes dans leurs projets, sans prise de risque supplémentaire.
  - est développé avant tout pour les non-spécialistes sur le thème du recyclage et des enrobés tièdes.
- D'autres acteurs de la profession peuvent être intéressés par le guide :
  - Bureaux d'ingénieurs
  - Producteurs d'asphalte
  - Entreprises de construction
  - Associations professionnelles
  - Etudiants

- Cadre législatif et normatif
  - Position du guide
  - Lien avec les aspects juridiques
  - Aperçu du paysage normatif

Position du guide dans le contexte règlementaire et normatif

- Les thèmes développés dans le guide, les objectifs poursuivis ainsi que les mesures proposées sont conformes aux exigences de la législation suisse et s'orientent sur la normalisation.
- Le guide rassemble les règles reconnues de la technique sur les thématiques des enrobés recyclés et tièdes.
- Le guide est un complément aux lois et normes existantes fortement axé sur la pratique.
- Le guide n'est aucunement un substitut aux lois et aux normes.

Lien avec les aspects juridiques

- Le guide contribue au respect de plusieurs principes prescrits par la loi.

- Documents considérés
  - Loi fédérale sur les produits de construction (LPCo)
  - Ordonnance sur les produits de construction (OPCo)
  - Loi sur la protection de l'environnement (LPE)
  - Ordonnance sur les déchets (OLED)
  - Directive pour la valorisation des déchets de chantiers minéraux (OFEV)

Thème	Principes fondamentaux (légaux)	Contribution du guide
Préservation des ressources	• Préservation durable des ressources *(LPCo)* • Les déchets doivent être recyclés autant que possible *(LPE)* • Les ressources naturelles doivent être utilisées de manière durable *(LPCo/OPCo)* • Promotion de circuit/cycle fermé en ce qui concerne les matériaux *(Directive pour la valorisation des déchets de chantier minéraux)*	• Promouvoir et optimiser le recyclage des agrégats d'enrobés • Garantir la durabilité des enrobés recyclés et des enrobés tièdes. • Réduire la consommation d'énergie (cas des enrobés tièdes).
Réutilisation et valorisation	Recyclage hautement qualitatif *(Directive pour la valorisation des déchets de chantier minéraux)* → Cela signifie que les matériaux recyclés (y compris les agrégats d'enrobés) doivent être réutilisés et valorisés, en tenant compte de leurs propriétés. En règle générale, l'objectif est d'utiliser le matériau recyclé pour la même application (aux mêmes fins) que lors de sa première utilisation.	Le guide participe à ce que : • L'agrégat d'enrobé soit préférentiellement réutilisé dans un enrobé bitumineux. Des mesures et des recommandations visant à optimiser/augmenter la teneur d'agrégats d'enrobés dans les enrobés bitumineux sont disponibles. • Les agrégats d'enrobés issus des couches de roulement soit réutilisés dans de nouvelles couches de roulement (recyclage hautement qualitatif).
Emissions	• Protection contre les effets nocifs ou gênants, y compris la fumée, la poussière, les gaz, les vapeurs, les odeurs *(LPE)* • Aucun risque pour l'hygiène, la santé et la sécurité des travailleurs et des riverains *((LPCo/OPCo)* • Pas d'impact excessif sur la qualité de l'environnement et du climat *((LPCo/OPCo)*	Les objectifs du guide visent à développer l'utilisation d'enrobés tièdes.
Faisabilité technique et financière	Le traitement et le recyclage doivent être techniquement et économiquement viable. *(LPE + Directive pour la valorisation des déchets de chantier minéraux)*	• L'état de la technique en Suisse et la maîtrise des processus sont pris en évalué et pris en compte dans le guide. • Les mesures proposées dans le guide sont proportionnées.

Aperçu du paysage normatif

Normes de base	• Recyclage : SN 670 071 • Granulats : SN 670 050 • Enrobés bitumineux : SN 640 420 • Liants bitumineux : SN 670 061
Normes concernant les constituants des enrobés bitumineux	• Agrégats d'enrobés : SN EN 13108-8 - SN 670 103b/EN 13043 • Granulats (naturels und recyclés) : SN 670 103b /EN 13043 • Liants bitumineux Bitumes routiers : SN EN 12 591 Bitumes modifiés par des polymères : SN EN 14 023 Bitumes routiers de grade dur : SN EN 13 924
Normes produits (mélanges bitumineux)	• Enrobés bitumineux AC : SN 640 431-1-NA/EN 13108-1 • Bétons bitumineux drainants PA : SN EN 13108-7 • Enrobés semi-denses SDA : VSS 40 436
Normes concernant les aspects liés à la conception et à la mise en œuvre	• AC, PA et AC EME : VSS 40 430 • SDA : VSS 40 436
Normes concernant le contrôle de la qualité	• Programme des essais : VSS 40 434 • Epreuve de formulation : SN EN 13108-20 • Contrôle de la production en centrale :SN EN 13108-21

- Des éléments relatifs aux enrobés recyclés et aux enrobés tièdes sont déjà présents dans la normalisation actuelle.
- Les normes, en particulier les normes produits, s'appliquent également aux enrobés recyclés et aux enrobés tièdes.
- Les exigences sont les mêmes pour l'ensemble des mélanges. Elles s'appliquent également aux enrobés tièdes et aux enrobés recyclés à fort taux.

- Structuration du guide

Partie 1 : Informations et connaissances de base

Chapitre 1 : de l'agrégat d'enrobé au granulat bitumineux

1.1 - 1.2: Définition et composition de l'agrégat d'enrobé.

1.3 - 1.4: Processus d'obtention des granulats bitumineux et différences avec les matériaux primaires.

1.5: Points forts de la norme SN EN 13 108-8.

Chapitre 2 : Les différents types d'enrobés

2.1 -2.2 : Brève description des différents produits.

2.3 - 2.4 : Zoom sur les enrobés recyclés et les enrobés tièdes (avantages et spécificités).

2.5 - 2.6 : Fabrication et mise en œuvre.

Partie 2: Etat des lieux

Chapitre 3 : Facteurs entravant le développement des enrobés recyclés et des enrobés tièdes

Concerne les aspects techniques, économiques, institutionnels et normatifs.

Comment les enrobés recyclés et les enrobés tièdes sont-ils perçus dans la profession ?

Etat des connaissances.

Apport du guide.

Chapitre 4 : Expériences avec les enrobés recyclés et les enrobés tièdes

4.1: La normalisation suisse.

4.2 - 4.3: Références en Suisse, directives et initiatives locales.

4.4: Projets de recherche nationaux : points forts et conclusions.

4.5: Etat de lieux et exemples provenant de l'étranger

Partie 3 : Domaine d'application étendu et exigences y relatives. Promotion et intégration des enrobés recyclés et des enrobés tièdes dans le cadre des projets.

Chapitre 5 : Domaine d'application étendu et exigences y relatives

5.1: Teneur en agrégats d'enrobés recommandée dans les enrobés.

5.2: Recommandations concernant le choix du liant.

5.3 - 5.6: Exigences relatives au liant et aux enrobés, notamment en ce qui concerne les enrobés recyclés et les enrobés tièdes.

Chapitre 6 : Promotion et intégration des enrobés recyclés et des enrobés tièdes dans le cadre des projets.

6.1 - 6.4: Recommandations pour différentes phases de projet.

- Dans ce qui suit, nous allons vous donner un aperçu du contenu ainsi que des points principaux du guide sensés vous être utiles dans votre travail quotidien.
- Le temps imparti ne nous permettrait pas d'entrer dans tous les détails. Nous allons de ce fait nous focaliser sur quelques points précis et pertinents.

- Zoom sur les points forts du guide

Composition des agrégats d'enrobés (1.2)

Partie 1 : Informations et connaissances de base

- Chapitre 1 : de l'agrégat d'enrobé au granulat bitumineux
- Chapitre 2 : Les différents types d'enrobés

Partie 2 : Etat des lieux

- Chapitre 3 : Facteurs entravant le développement des enrobés recyclés et des enrobés tièdes
- Chapitre 4 : Expériences avec les enrobés recyclés et les enrobés tièdes

Partie 3 : Domaine d'application étendu et exigences y relatives. Promotion et intégration des enrobés recyclés et des enrobés tièdes dans le cadre des projets.

- Chapitre 5 : Domaine d'application étendu et exigences y relatives
- Chapitre 6 : Promotion et intégration des enrobés recyclés et des enrobés tièdes dans le cadre des projets.

- Constituants principaux et secondaires (matériaux étrangers)
- Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)
  - La teneur en HAP est cruciale pour déterminer la filière de traitement et de valorisation de l'AE.
  - Les prescriptions de l'Ordonnance sur les déchets (OLED) s'appliquent (depuis le 01.01.2016).
  - Dans la pratique, les règles de l'Ordonnance sur le traitement des déchets (OTD) sont encore souvent utilisées.

    Attention: les références à l'OTD ne sont plus valables!

Teneur en HAP dans l'agrégat d'enrobé (Rapporté à l'agrégat d'enrobé/ au mélange)	Filière de recyclage/de traitement
≤ 250 mg HAP/kg	Réutilisation (sans contrainte ni condition dans la fabrication de nouveaux enrobés bitumineux. Cela concerne notamment la fabrication d'enrobés recyclés et d'enrobés tièdes. (Alternative : mise en dépôt dans un site de type B)
> 250 mg HAP/kg	Uniquement valable jusqu'à fin 2025*: Réutilisation sous conditions ou mise en dépôt dans un site de type E (voir Art. 52 OLED). • L'agrégat d'enrobé ne contient pas plus de 1'000 mg HAP/kg et est utilisé pour la fabrication de matériaux, dans des installations appropriées. La teneur en HAP du produit final ne dépasse pas les 250 mg HAP/kg; ou • L'agrégat d'enrobé est réutilisé, avec l'accord de l'autorité cantonale et de manière à ce qu'aucune émission de HAP ne se produise. L'autorité cantonale enregistre la teneur exacte en HAP de l'agrégat d'enrobé ainsi que le lieu de valorisation et conserve ces informations pendant au moins 25 ans. *A partir de 2026 les revêtements avec une teneur en HAP supérieure à 250 mg HAP/kg ne pourront plus directement être réutilisés ou mis en dépôt. Ils devront être traités au préalable (par exemple thermiquement).

De l'agrégat d'enrobé au granulat bitumineux (1.3) – Différences avec les matériaux primaires et influence sur les propriétés des enrobés (1.4)

- L'agrégat d'enrobé:
  - est déjà passé au minimum une fois par le processus de fabrication des enrobés.
  - a fait partie intégrante d'une chaussée durant plusieurs années et a subi des sollicitations dues au trafic et au climat.
  - est passé par plusieurs phases de récupération et de traitement pour déboucher sur un granulat bitumineux (cf. illustration ci-jointe).
- Cela entraîne une modification des propriétés initiales des constituants de l'agrégat d'enrobé. Une description détaillée est disponible dans le guide, notamment concernant…
  - les granulats, p. ex. les caractéristiques géométriques.
  - le liant, p. ex. le vieillissement (modification chimique).

Phase 1 (agrégat d'enrobé)
Récupération des agrégats d'enrobés (déconstruction)

Phase 2 (agrégat d'enrobé)
si nécessaire
Tri et séparation

Phase 3 (agrégat d'enrobé)
Déclaration des matériaux

Phase 4 (agrégat d'enrobé)
Préparation et traitement (concassage, tamisage, tri…)

Phase 5 (granulat bitumineux)
Contrôle qualité et déclaration du produit

Zoom sur la norme SN EN 13 108-8 (1.5)

- Spécifie les exigences concernant les agrégats d'enrobés s'appliquant à tout type d'utilisation.
  - Par exemple, en ce qui concerne les caractéristiques du liant et des granulats, ainsi que la teneur en matériaux étrangers.
- Précise les caractéristiques des agrégats d'enrobés et de ses composants qui doivent être déclarées et documentées.
- Les points clés de la norme sont synthétisés et commentés dans le guide (cf. tableau ci-joint).
- L'homogénéité des agrégats d'enrobés ainsi qu'une connaissance des propriétés du liants et des granulats récupérés sont décisives pour les enrobés recyclés à fort taux.

Eléments à considérer (selon SN EN 13 108-8)		Etat	Autres commentaires
Matériaux étrangers	Proportion maximale dans les agrégats d'enrobés	Déclaration Exigences	L'utilisation d'agrégats d'enrobés comme constituant d'un nouvel enrobé (selon la teneur en matériaux étrangers) est aussi définie. Des informations supplémentaires sont disponibles au chapitre 1.2.2.
Liant bitumineux	Type de liant	Déclaration	S'agit-il d'un bitume routier, d'un PmB ou d'un bitume dur ?
	Caractéristiques du liant →Point de ramollissement bille-anneau	Déclaration	Si la valeur moyenne du point de ramollissement est de 70° C ou moins et que les valeurs individuelles sont de 77° C ou moins, l'agrégat d'enrobé peut être considéré comme adapté à une utilisation comme constituant d'un nouvel enrobé. Dans les autres cas, des investigations complémentaires doivent être entreprises. Cela vaut particulièrement pour le bitume routier.
	Teneur en liant	Indication	
Granulats	Dimension des granulats d/D	Indication	En ce qui concerne le RAP disponibles en Suisse : - Les RAP 0/16 et 0/22 sont les plus couramment produits en Suisse aujourd'hui. • - Les types 0/11 et 11/22 sont les types de RAP plus rarement produits.
	Granulométrie (courbe granulométrique)	Déclaration	
	Surfaces concassées des granulats ≥ 4 mm	Exigences	Des exigences réduites s'appliquent ici par rapport aux exigences de la norme sur les granulats (EN 13 043). L'objectif est de pouvoir augmenter la teneur en matériaux recyclé dans les enrobés.
	Forme des gravillons	Déclaration	
Agrégats d'enrobés	Dimension maximale des morceaux	Indication	Il peut s'agit de plaques d'enrobés et également de matériaux beaucoup plus fins. Cette information est importante en ce qui concerne le processus de traitement de l'agrégat d'enrobé pour obtenir un granulat bitumineux.
	Evaluation de l'homogénéité sur la base : • Pourcentage de gravillons et de sable • Teneur en fines • Teneur en liant • Point de ramollissement	Déclaration	Paramètre important pour pouvoir augmenter le taux de recyclage dans les enrobés. Voir également l'exemple ci-dessous.

Principaux avantages (2.3), éléments et caractéristiques spécifiques à considérer (2.4) des enrobés recyclés et tièdes.

Partie 1 : Informations et connaissances de base

- Chapitre 1 : de l'agrégat d'enrobé au granulat bitumineux
- Chapitre 2 : Les différents types d'enrobés

Partie 2 : Etat des lieux

- Chapitre 3 : Facteurs entravant le développement des enrobés recyclés et des enrobés tièdes
- Chapitre 4 : Expériences avec les enrobés recyclés et les enrobés tièdes

Partie 3 : Domaine d'application étendu et exigences y relatives. Promotion et intégration des enrobés recyclés et des enrobés tièdes dans le cadre des projets.

- Chapitre 5 : Domaine d'application étendu et exigences y relatives
- Chapitre 6 : Promotion et intégration des enrobés recyclés et des enrobés tièdes dans le cadre des projets.

- S'il fallait encore vous convaincre des avantages des enrobés recyclés et des enrobés tièdes ou si vous avez besoin d'arguments pour pouvoir les intégrer à vos projets, reportez-vous au chapitre 2.3.

	Enrobés recyclés	Enrobés tièdes

Avantages (2.3)	• Optimisation du circuit des matériaux, au niveau des aspects environnementaux et économiques.
	• Economie de ressources naturelles (granulats, pétrole).
	• Diminution de l'encombrement des décharges.
	• Réduction des coûts de fourniture en liant.
		• Economie d'énergie, min. -25% en comparaison aux enrobés à chaud.
		• Diminution des émissions de CO_2.
		• Diminution des fumées et des odeurs lors de la fabrication et de la mise en œuvre.
		  • Amélioration des conditions de travail (centrale d'enrobage et chantier)
		  • Réduction des impacts auprès des riverains des centrales d'enrobage.
		• Grâce aux températures de fabrication et de mise en œuvre réduite, les liants sont moins altérés (vieillis) en comparaison à ceux utilisés pour les enrobés à chaud.

Eléments à considérer et caractéristiques spécifiques (2.4)	• Homogénéité des agrégats d'enrobés à caractériser (et garantir). • Prise en compte des modifications des caractéristiques géométriques des granulats et du vieillissement du liant résiduel. • Quid du mélange entre le liant issu/récupéré des agrégats d'enrobés et le liant d'apport ? • Contraintes techniques concernant la fabrication d'enrobés recyclés à fort taux à destination des couches de roulement et pour les AC EME.	• Maîtrise de la viscosité du liant. • Garantie d'une maniabilité suffisante de l'enrobé durant l'ensemble du processus : de la fabrication de l'enrobés jusqu'à la remise en circulation de la chaussée. • Plusieurs types de produits (différents). • Prise en compte de la modification des propriétés du liant (dans le cas de l'utilisation d'additifs).

- Les avantages environnementaux et économiques sont plus marqués pour la technologie du recyclage que pour la technologie tiède. Lorsqu'une décision doit être prise, il est important de se concentrer sur la question du recyclage.
- Plusieurs technologies de fabrication tiède (et donc différents types de produits) coexistent (diapo 26): il est donc difficile de tirer des conclusions générales pour les enrobés tièdes (coûts, écobilan).
- Important : les enrobés recyclés et les enrobés tièdes doivent avoir les mêmes performances et la même durabilité que les mélanges à chaud conventionnels ne contenant pas d'AE. Toutefois, il faut tenir compte de certaines de leurs spécificités.

Processus de fabrication (2.5)

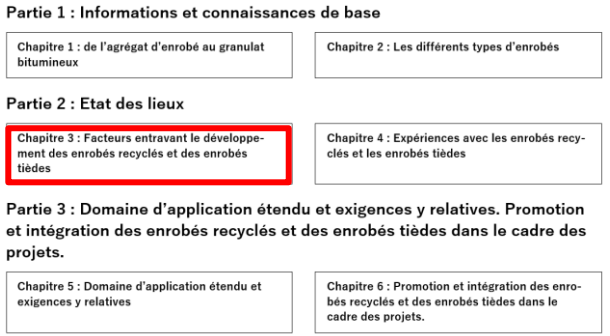
- En comparaison aux autres pays européens, la majorité des centrales d'enrobage en fonctionnement en Suisse présentent un bon standard de développement technologique (notamment en matière de recyclage).
- Des enrobés recyclés à forte teneur en AE et des enrobés tièdes peuvent ainsi être livrés sur quasiment tous les chantiers de construction routière en Suisse.

Type de centrale	Description	Teneur théorique en AE
Centrale non équipée pour l'ajout d'agrégats d'enrobés	• Faible proportion du parc matériel en Suisse. • A la limite de la viabilité économique.	0%
Centrale avec un seul tambour sécheur, mais équipée pour l'ajout d'agrégats d'enrobés à froid	• Encore largement utilisée. • Nécessite un chauffage élevé des granulats pendant le séchage. • Endommagement/Vieillissement du bitume (à cause de la température élevée des granulats). • Désavantageux d'un point de vue énergétique und émissions importantes de CO_2. • Formation de vapeur (possible) dans le malaxeur (ajout d'agrégats d'enrobés humides). • Emissions élevées.	15 - 25%
Tambour parallèle classique (ajout d'agrégats d'enrobés à chaud)	• Largement utilisé en Suisse. • Les granulats (env. 200° C) et les agrégats d'enrobés (120° C) sont chauffés séparément. • Répond aux exigences actuelles en matière d'émissions (filtre pour particules fines).	30 - 60%
Centrale de « nouvelle génération » (ajout d'agrégats d'enrobés à chaud)	• Nouvelle génération. Principe similaire au tambour parallèle classique, avec une adaptation en ce qui concerne le tambour de recyclage. • Chauffage indirect (moins agressif) des agrégats d'enrobés à haute température (150° C). • Les deux tambours (granulats et agrégats d'enrobés) ne doivent pas nécessairement fonctionner simultanément. • Les valeurs d'émission sont inférieures aux limites actuelles.	60 - 100%

En cas de combinaison des deux technologies (recyclage et fabrication tiède), il est important de s'assurer que l'AE est ajouté à chaud. L'ajout à froid d'AE peut certes indirectement abaisser la température de production, mais il ne s'agit pas d'une technologie tiède à proprement parler.

	Enrobés tièdes	
	Ajout d'additifs	**Bitume mousse**
Principe	Ajout de différents types d'additifs (liquides, solides) qui modifient les caractéristiques du liant.	Bitumenschaumbildung durch die Zugabe von Wasser.
Effets	Diminution de la viscosité du liant et/ou amélioration de la maniabilité.	Diminution de la viscosité du liant et/ou amélioration de la maniabilité.
Equipement requis au niveau de la centrale	Pas d'équipement spécifiquement (éventuellement une ligne d'approvisionnement supplémentaire).	Equipement spécifique (générateur de mousse).
Fonctionnement de la centrale/ Flexibilité	Fabrications ponctuelles possibles.	Réorganisation de l'ensemble de la production, plutôt adapté pour des tonnages importants.
Aspects économiques	Coûts d'acquisition des additifs à prévoir (coûts supplémentaires).	Coûts d'investissement initial pour l'équipement.
	Coûts similaires aux enrobés à chaud (fourniture).	
Aspects écologiques (Bilan environnemental global)	Economie d'énergie	
	A moduler en fonction du type d'additifs utilisé.	Meilleur que celui d'un enrobé à chaud.

Facteurs limitant le développement des enrobés recyclés et des enrobés tièdes (3)



- Un grand nombre d'informations et de témoignages ont été recueillis, par l'intermédiaire de:
  - Questionnaire diffusé largement auprès de différents membres représentatifs de la profession.
    - Offices fédéraux, cantonaux et communaux ainsi que des maîtres d'ouvrages privés, des bureaux d'ingénieurs, des associations professionnelles, des entreprises de construction et des producteurs d'enrobés.
    - 21 questionnaires remplis sur 32 questionnaires envoyés.
  - Discussions bilatérales avec des acteurs de la profession (entreprises de construction, producteurs d'enrobés, maîtres d'ouvrage).
  - Echanges intensifs, en particulier lors de la présentation intermédiaire du guide (sept. 2020).

Merci encore pour votre participation et aide appréciées !

Facteurs limitant le développement des enrobés recyclés et des enrobés tièdes (3)

- Des facteurs limitant le développement des enrobés recyclés et tièdes ont ainsi pu être identifiés.
- Plusieurs thématiques sont concernées, en particulier de nature technique, économique, logistique, institutionnelle et normative.
- Les origines et les causes de ces facteurs limitants sont multiples:
  - Dans certains cas, il est davantage question de préjugés ou d'idées reçues, souvent dus à un manque de connaissance.
  - Il peut aussi s'agit d'un manque de coopération et de transparence entre les différents acteurs de la profession.
  - Parfois, il s'agit également d'un problème de méthodologie et de mise en œuvre.
  - Les aspects économiques, qui peuvent primer sur les aspects écologiques, sont aussi des facteurs contraignants.
  - En fin de compte, les véritables facteurs limitants, c'est-à-dire les aspects techniques et légaux/normatifs, sont minoritaires.
- Les facteurs contraignants identifiés ainsi que les témoignages recueillis ont été résumés et leur exactitude évaluée, sous la forme d'un vrai/faux. Le cas partiellement correct signifie que les affirmations doivent être complétées ou clarifiées, car elle ne pas vraies dans tous les cas ou parce qu'elle doivent être remises dans leur contexte.

Facteurs entravant le développement des enrobés recyclés et des enrobés tièdes (3)

- Dans le guide:
  - Les affirmations recueillies ont, le cas échéant, également été clarifiées, complétées voire corrigées.
  - Des notes, des informations ou des références à d'autres parties du guide sont disponibles afin de contribuer à une réduction des facteurs limitants.

Affirmation	Analyse (vrai/faux et informations complémentaires)
« Les centrales d'enrobage en Suisse : - sont obsolètes ; - ont des performances limitées ; - sont insuffisamment équipées et peu flexibles. Il y a trop peu d'innovation et de possibilités d'investissement de la part des entreprises et des producteurs d'enrobés (notamment en ce qui concerne les petites structures). »	Partiellement vrai. Cette affirmation peut s'appliquer aux petites entreprises et aux centrales d'enrobage ayant de faibles volumes de production. Une généralisation à l'ensemble des structures n'est pas recevable. A ce jour, les enrobés tièdes peuvent être produits dans la plupart des centrales d'enrobage en Suisse. Le procédé de fabrication "par ajout d'additifs" ne nécessite aucun équipement spécifique, tandis que le procédé de fabrication "par moussage du bitume" nécessite l'installation d'un générateur de mousse. En ce qui concerne la technologie de recyclage, toutes les centrales d'enrobage ne sont pas encore équipées pour produire des enrobés recyclés à fort taux. Toutefois, il s'agit généralement de centrales dont la production annuelle et les ressources sont réduites. Bien que les coûts initiaux pour l'équipement d'une centrale de production soient élevés, les centrales s'équipent progressivement (tambour parallèle ou tambour à contre-courant). Il est important de noter, qu'en principe, il est possible d'approvisionner l'ensemble des chantiers en Suisse avec des enrobés recyclés à fort taux ou des enrobés tièdes. Pour plus d'informations à ce sujet, voir le chapitre 2.2.
« Il manque des retours d'expérience, en particulier sur le long terme. »	Partiellement vrai, en ce qui concerne l'expérience à long terme. Des enrobés recyclés contenant un fort taux d'agrégats d'enrobés ainsi que des enrobés tièdes ont déjà été mis en œuvre dans le cadre de projets. Une liste avec quelques références est disponible au chapitre 4.2. Ce n'est donc pas l'expérience à proprement parler qui manque. Cependant, il s'agit souvent de constructions récentes ou de chantiers pour lesquels aucun contrôle/suivi dans le temps n'a été effectué. Il y a donc effectivement un manque de retours d'expérience sur le long terme. Pour compenser ce manque, un suivi à long terme de tronçons déjà réalisés peut être organisé. Il est important de souligner, à ce sujet, que dans certains cantons (dont le canton de Vaud), on dispose d'une expérience d'environ 10 ans en ce qui concerne les enrobés tièdes et les enrobés recyclés, et que les feedbacks y relatifs sont positifs.

Affirmation	Analyse (vrai/faux et informations complémentaires)
« La qualité des agrégats d'enrobés est insuffisante. »	Partiellement vrai
« Des contraintes techniques persistent encore, ce qui limite la teneur en agrégats d'enrobés et empêche d'atteindre de fort taux. »	• Faux, en ce qui concerne les couches de liaison, de base et de fondation. • Vrai, en ce qui concerne la couche de roulement et les AC EME.
« Les centrales d'enrobage en Suisse : - sont obsolètes ; - ont des performances limitées ; - sont insuffisamment équipées et peu flexibles. Il y a trop peu d'innovation et de possibilités d'investissement de la part des entreprises et des producteurs d'enrobés (notamment en ce qui concerne les petites structures). »	Partiellement vrai
« En ce qui concerne la mise en œuvre des enrobés tièdes : - la mise en œuvre par temps froid peut s'avérer problématique ; - le délai entre la fabrication et la mise en œuvre est court/réduit. »	Partiellement vrai
« Il manque des retours d'expérience, en particulier sur le long terme. »	Partiellement vrai, en ce qui concerne le long terme.
« Des points en suspens subsistent encore concernant la combinaison entre le recyclage à fort taux et une technologie de fabrication tiède. »	Vrai
« Des incertitudes existent concernant le multi-recyclage et l'incorporation d'agrégats d'enrobés dans des revêtements avec des liants modifiés. »	Vrai
« L'incorporation d'agrégats d'enrobés dans les enrobés conduit à une diminution trop faible des coûts de fabrication/fourniture de l'enrobé. »	Faux
« Malgré les économies d'énergie réalisées, le coût de production des enrobés tièdes peut s'avérer plus élevé. »	Partiellement vrai
« La coexistence de deux types de production (à chaud et tiède) sur une même centrale est difficilement viable du point de vue technique et économique. »	Partiellement vrai
« Il est nécessaire de développer des essais de laboratoire appropriés à ces produits. »	Vrai
« Les normes suisses actuelles sont trop sévères et limitent l'innovation. La limitation par la norme de la teneur maximale en agrégats d'enrobés est problématique, tout comme les exigences concernant les températures de fabrication et de mise en œuvre. »	Partiellement vrai
« Il existe un manque de connaissances et de personnel qualifié concernant ces thématiques. Une sensibilisation des professionnels de la branche semble nécessaire ».	Vrai
« Les maîtres d'ouvrage devraient faire confiance aux entreprises. Il y a un manque de soutien en matière d'innovation de la part des maîtres d'ouvrage. »	Partiellement vrai
« Il existe une certaine réticence de la part des producteurs d'enrobés et des entreprises de construction à proposer ces produits, de même qu'un manque de garantie vis-à-vis des enrobés recyclés et des enrobés tièdes. »	Vrai
« L'aspect économique prédomine encore sur l'aspect environnemental, les enrobés recyclés et les enrobés tièdes ne sont souvent considérés qu'en tant que "nice to have" dans le cadre de projets de construction ».	Partiellement vrai
« Une interdiction de mise en décharge pourrait encourager le recyclage des agrégats d'enrobés. »	Vrai, à court terme. Faux, à long terme.
« La mise en place d'une méthodologie uniformisée pour l'évaluation du bilan écologique des enrobés permettrait de favoriser l'utilisation d'enrobés recyclés et d'enrobés tièdes. »	Vrai

Eléments issus de la normalisation suisse (4.1)

Partie 1 : Informations et connaissances de base

- Chapitre 1 : de l'agrégat d'enrobé au granulat bitumineux
- Chapitre 2 : Les différents types d'enrobés

Partie 2 : Etat des lieux

- Chapitre 3 : Facteurs entravant le développement des enrobés recyclés et des enrobés tièdes
- Chapitre 4 : Expériences avec les enrobés recyclés et les enrobés tièdes

Partie 3 : Domaine d'application étendu et exigences y relatives. Promotion et intégration des enrobés recyclés et des enrobés tièdes dans le cadre des projets.

- Chapitre 5 : Domaine d'application étendu et exigences y relatives
- Chapitre 6 : Promotion et intégration des enrobés recyclés et des enrobés tièdes dans le cadre des projets.

- Des informations relatives aux quantités admissibles d'agrégats d'enrobés (thème du recyclage) et aux températures de fabrication (thème des enrobés tièdes) sont présents dans la normalisation suisse actuelle.
- Ci-dessous, vous trouverez un exemple issu de la norme produit SN 640 431-1-NA (enrobés bitumineux).
- Les enrobés recyclés et les enrobés tièdes doivent répondre aux mêmes exigences de la norme que les enrobés à chaud standards ne contenant pas d'agrégats d'enrobés.

Asphaltbeton, Bereiche der zulässigen Mischguttemperaturen in allen Phasen der Aufbereitung
Enrobés bitumineux, plages des températures d'enrobés admissibles pour toutes les phases de production

Penetration des Bitumens *Pénétration du bitume* [1/10 mm]	Bereiche der zulässigen Mischguttemperaturen *Plages des températures d'enrobés admissibles* [°C]
30/50	150…190
50/70	140…180
70/100	140…180
100/150	130…170
160/220	130…170

Source: SN 640 431-1-NA

Asphaltbeton, zulässige Zugabemengen von Ausbauasphalt in Abhängigkeit der Schichten, Mischgutsorten und Mischguttypen
Enrobés bitumineux, quantités admissibles d'agrégats d'enrobés en fonction des couches, des sortes et des types d'enrobés

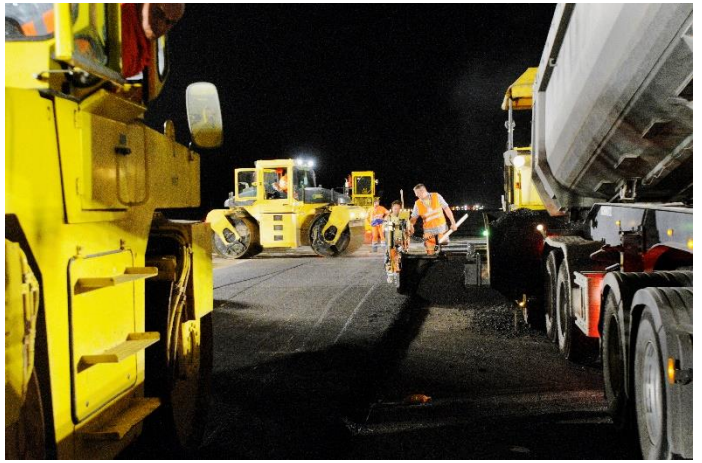
Mischgutsorten und Mischguttypen für Schichten *Sortes et types d'enrobés pour couches*	Anteil Ausbauasphalt *Teneur en agrégats d'enrobés*	
	Kaltzugabe *Incorporation à froid*	Warmzugabe *Incorporation à chaud*
	[Masse-%] / *[% massique]*	
Deckschichten / *Couches de roulement*		
Asphaltbeton für Deckschichten AC S, AC H und AC MR *Enrobés bitumineux pour couches de roulement AC S, AC H et AC MR*	0	0
Asphaltbeton für Deckschichten AC N und AC L *Enrobés bitumineux pour couches de roulement AC N et AC L*	≤ 15	≤ 30
Binderschichten und Hochmodul-Asphaltbeton / *Couches de liaison et enrobés bitumineux à module élevé*		
Asphaltbeton für Binderschichten AC B, Hochmodul-Asphaltbeton AC EME *Enrobés bitumineux pour couches de liaison AC B, enrobés bitumineux à module élevé AC EME*	≤ 15	≤ 30
Trag- und Sperrschichten im Gleisbau / *Couches de base et d'étancheité pour voies ferrées*		
Asphaltbeton für Tragschichten AC T, Asphaltbeton für Sperrschichten im Gleisbau AC RAIL *Enrobés bitumineux pour couches de base AC T, enrobés bitumineux pour couches d'étancheité pour voies ferrées AC RAIL*	≤ 25	≤ 60
Fundationsschichten / *Couches de fondation*		
Asphaltbeton für Fundationsschichten AC F *Enrobés bitumineux pour couches de fondation AC F*	≤ 30	≤ 70

Bonnes pratiques (4.2)

- En Suisse, des références de chantiers avec des enrobés recyclés et des enrobés tièdes existent déjà. Il existe également des exemples combinant les technologies de recyclage et de fabrication tiède.
- Des références sont disponibles :
  - À tous les niveaux: communal, cantonal et national.
  - Pour l'ensemble des couches de chaussées: de la couche de fondation à la couche de roulement.
- La technologie des enrobés tièdes est néanmoins moins connue que celle des enrobés recyclés.
- L'une des difficultés a résidé dans l'obtention des références bien documentées et ayant fait l'objet d'un suivi sur le long terme.
- Une analyse de quelques références d'enrobés recyclés et d'enrobés tièdes mises à disposition dans le cadre du projet, ainsi que des principaux thèmes y relatifs, est disponible dans le guide.
- Les aspects suivants ont été analysés:
  - Domaine d'application, produits mis en œuvre, essais réalisés, problèmes/limitations observés, avantages, retour d'expérience.

Bonnes pratiques (4.2)

- OFROU
- Canton de Berne
- Canton de Zurich
- Canton d'Argovie
- Canton de Vaud
- Ville de Zurich
- Ville de Berne
- Ville d'Uster
- Ville de Küsnacht
- Aéroport de Zürich



Sources: Canton de Vaud (Vuarrens-Pailly), Canton de Zurich (Bülach-Kloten), Comet Photoshopping GmbH / Implenia Suisse SA et ralphbensberg fotografie/ Aéroport Zurich (projet aéroport de Zurich)

Mise en place de directives ou d'initiatives locales (4.3)

- Certains maîtres d'ouvrages proactifs dans le domaine du recyclage, ont mis en place des propres directives et initiatives locales.
- Celles- ci permettent, sous certaines conditions, d'aller au delà des valeurs maximales admises par la norme SN 640 431-1-NA en ce qui concerne les teneurs d'agrégats d'enrobés dans les enrobés recyclés.
- Dans ces cas-là, aucun compromis n'est fait concernant les performances ou la durabilité des enrobés recyclés à fort taux. Les exigences sont conformes aux normes produits et la garantie usuelle s'applique.

Anteil Ausbauasphalt [Masse-%] – Beispiel auf der kommunalen Ebene

	Stadt Bern	SN 640 431-1-NA
Asphaltbeton für Deckschichten AC H, AC MR, PA, SDA	0%	0%
Asphaltbeton für Deckschichten AC S	≤ 30%	0%
Asphaltbeton für Deckschichten AC N und AC L	≤ 50%	≤ 30%
Asphaltbeton für Binderschichten AC B	≤ 70%	≤ 30%
Hochmodul-Asphaltbeton AC EME	C1: ≤ 40% C2: ≤ 50%	≤ 30%
Asphaltbeton für Tragschichten AC T	≤ 70%	≤ 60%
Asphaltbeton für Fundationsschichten AC F	≤ 90%	≤ 70%

Anteil Ausbauasphalt [Masse-%] – Beispiel auf der nationalen Ebene

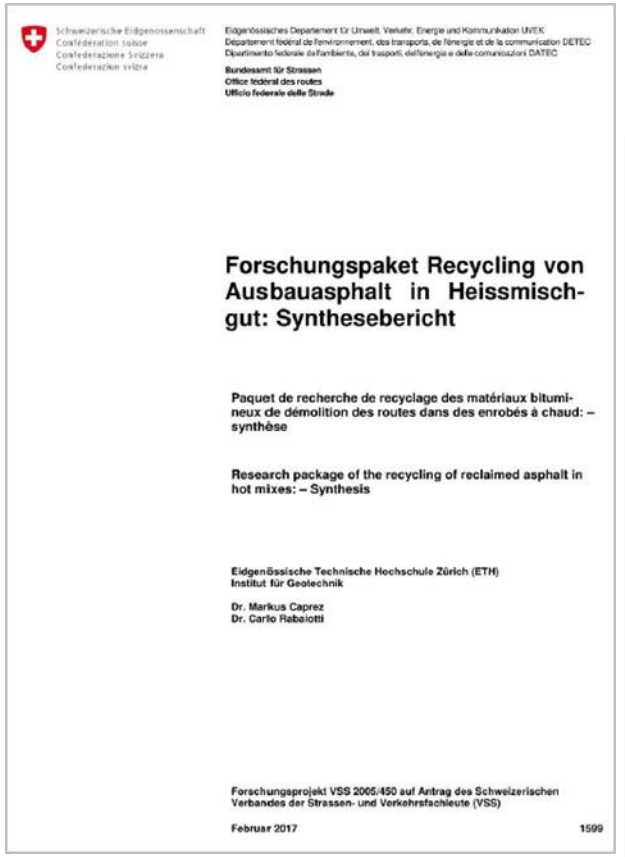
	ASTRA	SN 640 431-1-NA
Asphaltbeton für Deckschichten AC MR, PA, SDA	0%	0%
Asphaltbeton für Binderschichten AC B	≤ 60%	≤ 30%
Hochmodul-Asphaltbeton AC EME	C1: ≤ 40% C2: ≤ 50%	≤ 30%
Asphaltbeton für Tragschichten AC T H	≤ 60%	≤ 60%
Asphaltbeton für Fundationsschichten AC F	≤ 90%	≤ 70%

Anteil Ausbauasphalt [Masse-%] – Beispiel auf der kantonalen Ebene

	Kanton Aargau	Kanton Bern	SN 640 431-1-NA
Asphaltbeton für Deckschichten AC MR, PA, SDA	0%	0%	0%
Asphaltbeton für Deckschichten AC H	0%	≤ 20%	0%
Asphaltbeton für Deckschichten AC S	≤ 20%	≤ 20%	0%
Asphaltbeton für Deckschichten AC N und AC L	≤ 30%	≤ 50%	≤ 30%
Asphaltbeton für Binderschichten AC B	≤ 60%	≤ 50%	≤ 30%
Hochmodul-Asphaltbeton AC EME	Keine Anforderung	≤ 50%	≤ 30%
Asphaltbeton für Tragschichten AC T S und AC T H	≤ 60%	≤ 80%	≤ 60%
Asphaltbeton für Tragschichten AC T N	≤ 80%		
Asphaltbeton für Fundationsschichten AC F	Keine Anforderung	≤ 90%	≤ 70%

Projets de recherche nationaux (4.4)

- Plusieurs projets de recherche ont déjà été réalisés sur les thèmes des enrobés recyclés et des enrobés tièdes.
- Dans ce guide, nous avons mis l'accent sur deux projets de recherche nationaux
  - *Recyclage des matériaux bitumeux de démolition des routes dans des enrobés à chaud*
  - *PLANET* sur la thématique des enrobés tièdes
- Une synthèse des points forts et des conclusions de ces deux projets de recherche est disponible dans le guide.
- D'autres projets de recherche sont actuellement en cours.
  - p.ex. le projet D-A-CH sur la thématique du multi-recyclage dans la construction routière.



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

Forschungspaket Recycling von Ausbauasphalt in Heissmischgut: Synthesebericht

Paquet de recherche de recyclage des matériaux bitumineux de démolition des routes dans des enrobés à chaud: – synthèse

Research package of the recycling of reclaimed asphalt in hot mixes: – Synthesis

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETH)
Institut für Geotechnik

Dr. Markus Caprez
Dr. Carlo Rabaiotti

Forschungsprojekt VSS 2005/450 auf Antrag des Schweizerischen Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Februar 2017 1599

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

Forschungspaket PLANET: EP-0: Steuerung, Koordination und Synthese

Research package PLANET:
EP-0: Steering, coordination and synthesis

Paquet de recherche PLANET:
EP-0: Gestion, coordination et synthèse

Lombardi SA Ingegneri Consulenti Minusio
Dr. sc. techn. Thomas Arn

Forschungsprojekt VSS 2010/540 auf Antrag des Schweizerischen Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

November 2017 1619

Etat des lieux et exemples issus des pays européens (4.5)

- Situation proche de celle de la Suisse
  - Les enrobés recyclés et les enrobés tièdes sont actuellement aussi des thématiques majeures pour réduire l'impact environnemental dans le domaine de la construction routière.
  - Il est nécessaire de sensibiliser les acteurs de la profession à ces sujets et d'améliorer l'acceptation des enrobés recyclés et des enrobés tièdes.

- Des projets de recherche relatifs à ces thématiques ont déjà été menés.
  - Il s'agit presque toujours d'une approche collaborative entre les acteurs de la profession.
  - Les objectifs principaux sont:
    - Parvenir à une utilisation à grande échelle et dans le cadre d'un domaine d'application élargi des enrobés recyclés et des enrobés tièdes.
    - Mettre en place des mesures techniquement, économiquement et écologiquement rationnelles pour y parvenir.
    - Assurer une communication en toute transparence des conclusions et des résultats entre les acteurs de la branche.

- Deux de ces projets sont présentés dans le guide:
  - Re-Road: valorisation de haute qualité, recyclage dans la couche de roulement.
  - MURE: Multi-recyclage et combinaison des technologies de recyclage et de fabrication tiède.

Source: wwwpnmure.fr / re-road.fehrl.org

Nouvelles teneurs en agrégats d'enrobés (AE) conseillées pour les enrobés recyclés (5.1)

Partie 1 : Informations et connaissances de base

- Chapitre 1 : de l'agrégat d'enrobé au granulat bitumineux
- Chapitre 2 : Les différents types d'enrobés

Partie 2 : Etat des lieux

- Chapitre 3 : Facteurs entravant le développement des enrobés recyclés et des enrobés tièdes
- Chapitre 4 : Expériences avec les enrobés recyclés et les enrobés tièdes

Partie 3 : Domaine d'application étendu et exigences y relatives. Promotion et intégration des enrobés recyclés et des enrobés tièdes dans le cadre des projets.

- Chapitre 5 : Domaine d'application étendu et exigences y relatives
- Chapitre 6 : Promotion et intégration des enrobés recyclés et des enrobés tièdes dans le cadre des projets.

- L'analyse des expériences déjà réalisées en Suisse et à l'étranger a permis de proposer une adaptation des teneurs d'agrégats d'enrobés indiquées dans la norme.

Teneur en agrégats d'enrobés pour les couches AC F (fondation), AC T (base) et AC B (liaison)

Type d'enrobé	Teneur en agrégats d'enrobés conseillée par le guide		Quantité admissible à l'heure actuelle (SN 640 431-1-NA)	Quantité admissible conseillée, à intégrer lors de la révision de la norme
AC F	min. 60%	max. 100%	max. 70%	max. 100%
AC T	min. 50%	max. 90%	max. 60%	max. 80%
AC B	min. 20%	max. 60%	max. 30%	max. 50%

Teneur en agrégats d'enrobés pour les AC EME et la couche de roulement

Type d'enrobé		Teneur en agrégats d'enrobés conseillée par le guide		Quantité admissible à l'heure actuelle (SN 640 431-1-NA)	Quantité admissible conseillée, à intégrer lors de la révision de la norme
AC EME		min. 10%	max. 50%	max. 30%	max. 50%
AC Couche de roulement	N	min. 0%	max. 50%	max. 30%	max. 40%
	S/H	min. 0%	max. 30%	max. 0%	max. 30%

- La teneur minimale d'AE spécifiée dans le guide correspond à ce qu'un client/maître d'ouvrage est en droit d'attendre de la part des producteurs d'enrobés et des entreprises de construction en matière d'enrobés recyclés.
- Une garantie identique à celle des produits standards s'applique.
- La teneur maximale d'AE correspond à la teneur maximale pouvant être techniquement atteinte. Dans ces cas-là, il est primordial que les producteurs d'enrobés et les entreprises de construction maîtrisent l'ensemble du processus de fabrication et de mise en œuvre. Cette teneur maximale indiquée permet également de laisser la porte ouverte à l'innovation et aux produits d'entreprise.
- La teneur optimale en AE dans un enrobé recyclé n'est pas nécessairement le maximum techniquement réalisable (cela dépend fortement du type d'enrobé, de la situation locale, des conditions sur site et de mise en œuvre, et des constituants disponibles).
- Dans le cas d'une combinaison entre les technologies de recyclage et de fabrication tiède, les teneurs en AE actuellement définies par la norme conviennent. Dans ce cas, il est donc recommandé de tenir compte des prescriptions actuelles de la norme.

Essais usuels et exigences concernant le liant (5.3)

- Il est question ici des essais usuels réalisés sur le liant: pénétrabilité, point de ramollissement bille-anneau, retour élastique (PmB).
- Les propriétés des enrobés et celles du liant sont fortement liées.
- Le respect des exigences relatives au liant (original, final ou récupéré) est une condition nécessaire pour garantir les performances, la qualité et la durabilité des enrobés, y compris lorsqu'il s'agit d'enrobés recyclés ou d'enrobés tièdes.
- Ces essais sont utilisés aussi bien pour les aspects relatifs à la formulation d'enrobés qu'au contrôle du liant original (fourniture), du liant final (recyclage et technologie tiède) et du liant récupéré (après fabrication de l'enrobé).
- Plusieurs références concernant les exigences concernant le liant sont présentées dans le guide.

				B50/70	B70/100	PmB 10/40-70 (CH-E)	PmB 25/55-65 (CH-E)	PmB 45/80-65 (CH-E)	PmB 65/105-60 (CH-E)	B10/20	B15/25
Normes VSS	Pénétrabilité (EN 1426)	Original		50…70	70…100	10…40	25…55	45…80	65…105	10…20	15…25
		Vieillissement RTFOT *Calculée selon les indications de la norme concernant la pénétrabilité résiduelle*		≥ 50% 25…70	≥ 46% 32…100	≥ 60% 6…40	≥ 60% 15…55	≥ 60% 27…80	≥ 60% 39…105	≥ 55% 6…20	≥ 55% 8…25
	Point de ramollissement bille-anneau (EN 1427)	Original		46…54	43…51	≥ 70	≥ 65	≥ 65	≥ 60	58…78	55…71
		Vieillissement RTFOT *Calculée selon les indications de la norme concernant l'augmentation et la diminution admissibles du point de ramollissement bille-anneau*		≤9°C (augmentat.) 46…63	≤9°C (augmentat.) 43…60	≤8°C (augmentat.) ≤5°C (réduct.) 65…78	8°C (augmentat.) ≤5°C (réduct.) 60…73	8°C (augmentat.) ≤5°C (réduct.) d.h. 60…73	8°C (augmentat.) ≤5°C (réduct.) d.h. 55…68	≤10°C (augmentat.) ≤2°C (réduct.) d.h. 56…88	≤10°C (augmentat.) ≤2°C (réduct.) d.h. 53…81
	Retour élastique 25°C (EN 13398)	Original				≥ 80	≥ 80	≥ 80	≥ 80		
		Vieillissement RTFOT				≥ 60	≥ 60	≥ 60	≥ 60		
OFROU	Pénétrabilité (EN 1426)	Original		30…55	40…75	10…35	15…50	30…70	40…90	6…16	8…21
	Point de ramollissement bille-anneau (EN 1427)	récupéré		48…65	45…62	≥ 65	≥ 60	≥ 60	≥ 55	≥ 60	≥ 57
	Retour élastique 25°C (EN 13398)										
Canton Zürich	Pénétrabilité (EN 1426)	récupéré	AC	30…55	40…75		20…50	35…70	45…90		
			AC B AC T AC F	25…55	35…75	15…35				6…16	15…35
	Point de ramollissement bille-anneau (EN 1427)	récupéré	AC	48…65	45…62		60…80	60…80	55…75		
			AC B AC T AC F	50…55	47…62	65…87				60…85	65…80
	Retour élastique 25°C (EN 13398)	récupéré	AC				≥ 60	≥ 60	≥ 60		
			AC B AC T AC F			≥ 50	≥ 50	≥ 50	≥ 50		

Investigations complémentaires et exigences relatives au liant concernant les enrobés recyclés et les enrobés tièdes (5.4)

- Les investigations et les essais traditionnels sur le liant ont montré leurs limites, surtout lorsqu'il s'agit du liant à destination (ou issu) d'enrobés recyclés et d'enrobés tièdes.
- En raison de leur complexité, ces types de liant ne peuvent plus être caractérisés de façon complète à partir des méthodes traditionnelles.
- D'autres types d'investigation (Advanced Tests), adaptées au cas des enrobés recyclés et des enrobés tièdes, sont présentées dans le guide.
- Ces essais sont plutôt destinés au développement et à la validation des formulations (recettes) ou à des expertises.
- Le principe de ces essais ainsi que les exigences correspondantes concernant les liants sont mentionnés dans le guide.

DSR (Quelle: TA)

Paramètre étudié	Essai	Plage de températures
Sensibilité à la fissuration (comportement aux basses températures)	Rhéomètre à flexion du barreau (Bending Beam Rheometer BBR) ou Comportement à la déformation avec le DSR (rhéomètre à cisaillement dynamique)	Températures de service basses env. -30° C - 0° C
Sensibilité à la fatigue (fissures de fatigue)	Comportement à la déformation avec le DSR (rhéomètre à cisaillement dynamique)	Températures de service normales env. 5° C – 30° C
Sensibilité aux déformations permanentes	Comportement à la déformation avec le DSR (rhéomètre à cisaillement dynamique)	Températures de service élevées env. 40° C – 60° C
Température optimale lors de la fabrication et à la mise en œuvre.	Détermination de la viscosité dynamique (Brookfield)	Plage de températures élevées, adaptée au bon enrobage et à la mise en œuvre des enrobés. Il ne s'agit pas de températures de service. env. 100° C – 180° C

Mise au point et validation de la formulation des enrobés en laboratoire et en centrale d'enrobage (5.5)

Caractéristiques	Lien avec la norme produit SN 640 431-1-NA/ EN 13108-1	Eléments importants à considérer		Autres commentaires
		Enrobés recyclés	Enrobés tièdes	
Teneur en bitume	Point 15 / Tableau 8	X *liée à l'homogénéité de l'agrégat d'enrobé*		
Module de richesse	Point 16 / Tableau 9			Ne concerne que les AC EME.
Granulométrie	Point 14/ Tableau 7	X *liée à l'homogénéité de l'agrégat d'enrobé*		
Teneur en vides	Point 11/ Tableau 4	X	X	
		liée à l'aptitude au compactage		
Degré de remplissage des vides par le bitume	Point 18/ Tableau 11			Ne concerne que les enrobés de type L et N.
Sensibilité à l'eau	Point 12/ Tableau 5	X	X	
		Les expériences menées jusqu'ici ont montré qu'il peut y avoir une sensibilité à l'eau pour les enrobés recyclés et les enrobés tièdes.		
Résistance aux déformations permanentes	Point 19/ Tableau 12	X	X	Ne concerne que les enrobés de type S et H, ainsi que les AC MR et les AC EME.
		Les expériences menées jusqu'ici ont montré qu'il peut y avoir une sensibilité aux déformations permanentes pour les enrobés recyclés et les enrobés tièdes.		
Valeurs Marshall (Stabilité S Et fluage F)	Point 17/ Tableau 10	X	X	• Ne concerne que les enrobés de type L et N et les AC F. • Caractérise la résistance aux déformations permanentes.
		Les expériences menées jusqu'ici ont montré qu'il peut y avoir une sensibilité à l'eau pour les enrobés recyclés et les enrobés tièdes.		
Rigidité	Point 20/ Tableau 13			Ne concerne que les AC EME.
Fatigue	Point 20/ Tableau 13			Ne concerne que les AC EME.

- Des investigations et des essais concernant certaines propriétés des enrobés doivent être réalisés selon la norme SN EN 13108-20: Epreuve de formulation (cf. tabelle ci-jointe à gauche).
- Dans le cas des enrobés recyclés et enrobés tièdes, certaines propriétés sont à prendre en considération.
- Les résultats doivent répondre aux exigences de la norme produit et permettent de garantir la conformité des enrobés produits et de leurs constituants.
- Dans le guide, la liste des essais conventionnels a été complétée avec quelques essais supplémentaires (cf. tableau ci-dessous). Ceux-ci sont particulièrement adaptés au cas des enrobés recyclés et des enrobés tièdes (principe des essais et exigences y relatives, disponibles dans le guide).

	Enrobés recyclés	Enrobés tièdes
Teneur en vides sur éprouvettes compactées à la PCG *SN EN 12697-10 (méthode B)*	x	x
Maniabilité (Cohésion) *SN EN 12697-53*		x
Fissuration et propriétés à basse des essais de traction uniaxiale (sur enrobés) *SN EN 12697-46 (méthode TSRST)*	x	

Contrôle de la fourniture et de la mise en œuvre des enrobés (5.6)

	Essais	Exigences
Enrobé (non compacté)	Teneur en vides (éprouvettes Marshall)	SN 640 431-1-NA/EN 13108-1 Tab. 4 /Point 11
	Granularité	SN 640 431-1-NA/EN 13108-1 Tab. 7 / Point 14
	Teneur en liant	SN 640 431-1-NA/EN 13108-1 Tab. 8 / Point 15
Liant (récupéré)	Point de ramollissement (bille-anneau)	Voir tableaux 16 et 17 ainsi que chapitre 5.3 du guide.
	Pénétrabilité	
	Retour élastique (PmB)	
	Fraass	
	DSR (cas particuliers)	
Carottes	Epaisseur des couches	VSS 40 430 Tab. 1
	Teneur en vides	VSS 40 430 Tab. 6
	Degré de compactage	VSS 40 430 Tab. 5
	Liaison entre les couches (Leutner)	VSS 40 430 Point 45
PV de mise en œuvre	Les informations à mentionner dans le protocole de pose sont données dans la norme VSS 40 430 Point 39. En ce qui concerne les enrobés recyclés et les enrobés tièdes, les conditions météorologiques ainsi que la température de l'enrobé avant compactage sont des informations essentielles. Selon la norme VSS 40 434, cette tâche doit être effectuée par l'entreprise de construction. Toutefois, il est recommandé que la direction des travaux rédige également un PV de son côté.	
Durant la mise en œuvre	En ce qui concerne les enrobés recyclés et les enrobés tièdes, il peut s'avérer utile de faire un suivi du compactage pendant la pose de l'enrobé, p. ex. à l'aide d'un nucléodensimètre. Cela permet, en complément des résultats obtenus à partir des carottes prélevées, de déterminer le degré de compactage et la teneur en vides des couches mises en place.	

- Synthèse des éléments de la norme VSS 40 434.
- Informations complémentaires concernant les enrobés recyclés et les enrobés tièdes.
- En matière d'enrobés recyclés et d'enrobés tièdes, les éléments suivants décisifs doivent être pris en compte:
  - La température et la viscosité des enrobés qui garantissent une maniabilité et une aptitude au compactage adéquates.
  - Une mise en œuvre à la machine est à privilégier (dans le cas des enrobés tièdes).
  - La mise à disposition d'équipes expérimentées est nécessaire (dans le cas des enrobés tièdes).

Phase de planification (6.1)

- La réalisation d'essais préliminaires est primordiale.
  - Prélèvements de carottes (y.c. teneur en HAP) et réalisation de sondages, relevés visuels de l'état et mesures de la portance.
  - Constitue une aide à la préparation de la déconstruction des couches bitumineuses en place.
    - Mise en place d'une méthodologie de déconstruction permettant un recyclage de haute qualité des matériaux en place (fraisage couche par couche).
    - Estimation des quantités de matériaux à déconstruire et définition des filières de valorisation et d'élimination.
- Recommandations pour le choix des enrobés bitumineux.
    - Dans la mesure du possible, les enrobés recyclés doivent être privilégiés.
    - Points à prendre en compte en ce qui concerne les enrobés recyclés et les enrobés tièdes: mise en œuvre à la main, travaux de nuit, travaux de basse saison, altitude de l'emplacement du chantier
- Indications concernant le dimensionnement de la structure et les aspects financiers liés au projet.

Partie 1 : Informations et connaissances de base

- Chapitre 1 : de l'agrégat d'enrobé au granulat bitumineux
- Chapitre 2 : Les différents types d'enrobés

Partie 2 : Etat des lieux

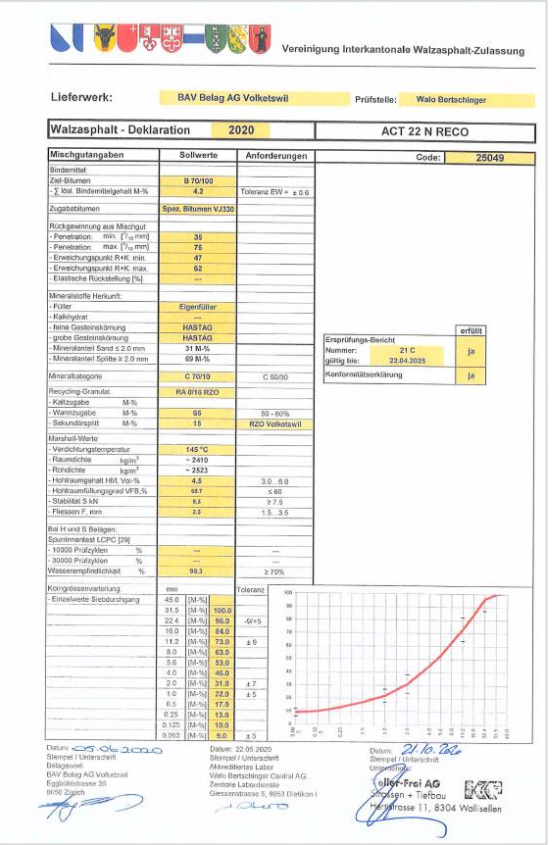
- Chapitre 3 : Facteurs entravant le développement des enrobés recyclés et des enrobés tièdes
- Chapitre 4 : Expériences avec les enrobés recyclés et les enrobés tièdes

Partie 3 : Domaine d'application étendu et exigences y relatives. Promotion et intégration des enrobés recyclés et des enrobés tièdes dans le cadre des projets.

- Chapitre 5 : Domaine d'application étendu et exigences y relatives
- Chapitre 6 : Promotion et intégration des enrobés recyclés et des enrobés tièdes dans le cadre des projets.

Documents pour l'appel d'offre (6.2)

- Les éléments ci-dessous sont à intégrer dans les documents de l'appel d'offre:
  - Il est important de:
    - faire référence aux documents suivants: lois, normes, directives.
    - définir les termes spécifiques, par exemple ce qu'on entend par enrobés tièdes.
    - rappeler les exigences particulières → p.ex. concernant le liant récupéré.
  - Description claire des produits demandés (dans la soumission, dans les plans).
  - Les éléments suivants doivent être demandés au soumissionnaire:
    - Rapport technique
    - Copie des épreuves de formulation et de la dernière version de la déclaration de conformité du produit
    - Références de l'entreprise de construction



Vereinigung Interkantonale Walzasphalt-Zulassung

Lieferwerk: BAV Belag AG Volketswil — Prüfstelle: Walo Bertschinger

Walzasphalt - Deklaration 2020 — ACT 22 N RECO

Code: 25049

Mischgutangaben	Sollwerte	Anforderungen
Bindemittel		
Ziel-Bitumen	B 70/100	
- ∑ lösl. Bindemittelgehalt M-%	4.2	Toleranz EW = ± 0.6
Zugabebitumen	Spez. Bitumen VJ330	
Rückgewinnung aus Mischgut:		
- Penetration: min. [1/10 mm]	35	
- Penetration: max. [1/10 mm]	75	
- Erweichungspunkt R+K, min.	47	
- Erweichungspunkt R+K, max.	62	
- Elastische Rückstellung [%]	---	
Mineralstoffe Herkunft:		
- Füller	Eigenfüller	
- Kalkhydrat	---	
- feine Gesteinskörnung	HASTAG	
- grobe Gesteinskörnung	HASTAG	
- Mineralanteil Sand ≤ 2.0 mm	31 M-%	
- Mineralanteil Splitte ≥ 2.0 mm	69 M-%	
Mineralkategorie	C 70/10	C 50/30
Recycling-Granulat	RA 0/10 RZO	
- Kaltzugabe M-%		
- Warmzugabe M-%	65	50 - 60%
- Sekundärsplitt M-%	15	RZO Volketswil
Marshall-Werte		
- Verdichtungstemperatur	145 °C	
- Raumdichte kg/m³	~ 2410	
- Rohdichte kg/m³	~ 2523	
- Hohlraumgehalt Hhl. Vol-%	4.5	3.0 ... 6.0
- Hohlraumfüllungsgrad VFB-%	69.7	≤ 80
- Stabilität S kN	9.4	≥ 7.5
- Fliessen F. mm	2.6	1.5 ... 3.5
Bei H und S Belägen:		
Spurrinnentest LCPC [2%]		
- 10000 Prüfzyklen %	---	---
- 30000 Prüfzyklen %	---	---
Wasserempfindlichkeit %	98.3	≥ 70%

Korngrössenverteilung mm			Toleranz
- Einzelwerte Siebdurchgang	45.0	(M-%)	
	31.5	(M-%)	100.0
	22.4	(M-%)	96.0	-5/+5
	16.0	(M-%)	84.0
	11.2	(M-%)	73.0	± 9
	8.0	(M-%)	63.0
	5.6	(M-%)	53.0
	4.0	(M-%)	46.0
	2.0	(M-%)	31.8	± 7
	1.0	(M-%)	22.8	± 5
	0.5	(M-%)	17.8
	0.25	(M-%)	13.8
	0.125	(M-%)	10.0
	0.063	(M-%)	9.0	± 3

Ersprüfungs-Bericht		erfüllt
Nummer:	21 C	ja
gültig bis:	22.04.2025	
Konformitätserklärung		ja

Datum 05.06.2020 Stempel / Unterschrift Belagswerk BAV Belag AG Volketswil Egg bei Höfe 38 8602 Zürich

Datum: 22.05.2020 Stempel / Unterschrift Akkreditiertes Labor Walo Bertschinger Cavitral AG Zentrale Laboratorien Giessenstrasse 5, 8953 Dietikon

Datum: 21.10.2020 Stempel / Unterschrift Unternehmer Alex Frei AG Strassen + Tiefbau Hauptstrasse 11, 8304 Wallisellen

Déclaration de conformité (source: VIWZ)

Die Beläge für die Trag- und die Binderschichten wurden im Leistungsverzeichnis wie folgt ausgeschrieben (Auszug aus dem LV):

451.701 AC T 22 S
Mischgut
Anteil Recycling - Material mindestens 60 %.
Bindemittelart, -sorte
PmB 45/80-65 (CH-E).
d mm 70
Ausmass: Masse
LE = t :RW 820 LE ....

(Source: Soumission du Canton d'Argovie)

Critères d'aptitude et d'adjudication (6.3)

- Critères d'aptitude
  - Permettent de s'assurer que les produits proposés par l'entreprise sont conformes aux exigences de l'appel d'offre.
    - En ce qui concerne les enrobés recyclés, il s'agit de respecter la teneur minimale en agrégats d'enrobés prescrite par le client.
    - En ce qui concerne les enrobés tièdes, ceux-ci doivent être fabriqués avec une température réduite (en comparaison avec les enrobés à chaud traditionnels).

- Critères d'adjudication
  - Permettent de s'assurer que le marché soit attribué à la meilleure offre en fonction des critères d'adjudication, et pas forcément à l'offre la moins chère. Le choix des critères d'adjudication permet au pouvoir adjudicateur de définir ce qu'il entend par la «meilleure offre».
  - Dans la plupart des cas, la pondération du prix est prédominante dans l'évaluation des offre et le calcul de la note finale (>50%).
    - D'après la nouvelle loi sur les marchés publics (LMP) et l'accord intercantonal (AIMP), les aspects liés au développement durable peuvent être intégrés comme possible critère d'adjudication.
    - Les maîtres d'ouvrages devraient donc accorder plus de poids aux aspects liés au développement durable dans les futurs appels d'offres.
    - 2 exemples (cantons de Vaud et d'Argovie) faisant la promotion et l'évaluation positive des enrobés recyclés dans leurs appels d'offres figurent dans le guide.

Phase d'exécution: livraison et mise en œuvre des enrobés (6.4)

- Lors de la livraison de l'enrobé
  - Contrôle des bons de livraison
- Lors de la mise en œuvre de l'enrobé
  - Contrôle de la température lors de la mise en œuvre et du compactage
  - Contrôle visuel de l'homogénéité et de l'enrobage
  - Suivi du compactage
  - Prélèvements d'enrobé non compacté (conformité de la recette et des constituants)
  - Elaboration d'un PV de mise en œuvre
- Après la mise en œuvre
  - Prélèvement de carottes
- A mettre en lien avec les éléments des chapitres 5.5 et 5.6.
- Le programme d'essai et les mesures mises en place pour le contrôle de la qualité doivent être définis et adaptés pour chaque projet.
- Un nombre significatif de contrôles/essais peut déjà être effectué par la DT sans que cela ne nécessite des ressources financières importantes.

Source: Canton de Vaud (mise en œuvre d' un enrobé tiède)

- Prochains jalons et perspectives

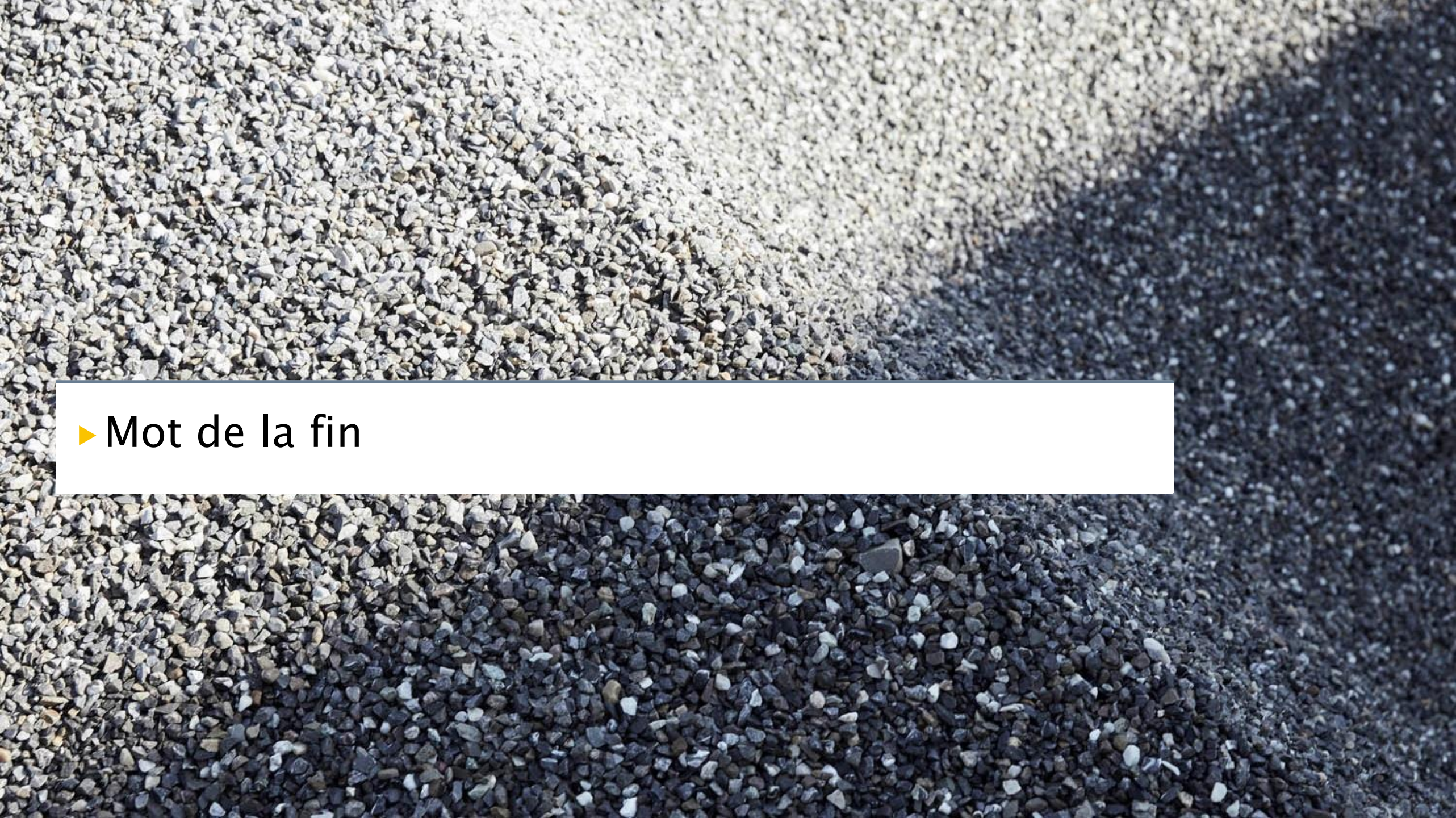
Prochains jalons

- Publication de la première e-version du guide
  - version allemande: fin février 2021
  - version française: fin mars 2021

- Afin de toucher un large public, les points clés du guide seront résumés dans un flyer de 6-8 pages en allemand, français et italien.

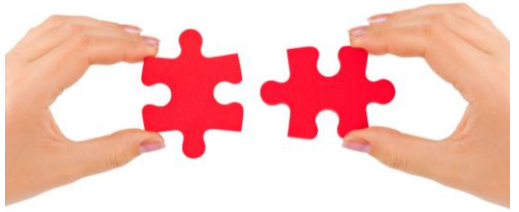
Perspectives

- Au cours du projet, des besoins en développement et en recherche sur certaines thématiques ont été identifiés, de même que des sujets pouvant faire également l'objet d'un guide des bonnes pratiques.
- Une feuille de route avec des thèmes pour la suite est en cours d'élaboration.
- Une première mise à jour du guide est prévue d'ici env. 2 ans.



- Mot de la fin

Mot de la fin



- Le guide est un document orienté vers la pratique. Il constitue une synthèse des documents existants et des expériences déjà réalisées sur la thématique des enrobés recyclés et des enrobés tièdes, tout en proposant des compléments pratiques.
- Nous espérons que ce document vous sera utile et que vous pourrez l'utiliser dans votre travail au quotidien.
- C'est maintenant à votre tour de jouer! Il ne tient qu'à vous de poursuivre sur la lancée initiée par la plateforme 'graviers pour des générations' (KFG).
- Pour rappel, l'objectif principal du guide est de vous aider à intégrer et à promouvoir les enrobés recyclés avec une forte teneur en agrégats d'enrobés ainsi que les enrobés tièdes dans vos projets – sans prise de risque supplémentaire.
- Pour un déploiement réussi des enrobés recyclés et des enrobés tièdes ainsi que pour leur développement ultérieur, il est primordial que l'ensemble des acteurs de la profession travaillent les uns avec les autres, et non pas les uns contre les autres. Il ne s'agit pas ici d'intérêts particuliers, mais d'œuvrer pour le bien commun.

Merci pour votre attention.

Merci également à l'ensemble des partenaires pour leur coopération et leur précieux soutien.

Plateforme Gravier pour des générations / Kies für Generationen

www.kiesfuergenerationen.ch

info@kiesfuergenerationen.ch

KIES FÜR GENERATIONEN

Berner Fachhochschule
Haute école spécialisée bernoise