

Protection et réfection des ouvrages de tunnel

Aperçu des solutions systèmes

Traitement technique
des bétons



Tunnels

Les tunnels routiers jouent un rôle très important dans notre système d'infrastructure. Si leur fonction est notamment de protéger les habitants du bruit, eux-mêmes doivent également être protégés afin de garantir une longue durée de service, d'augmenter la sécurité routière et de préserver l'environnement.

Couverture :

Tunnel du Scheibengipfel, Reutlingen, DE

Produits : StoCretec TF 204, StoPox TU 100

Photo : Isabell Munck, Leinfelden-Echterdingen

Les données, représentations, schémas et caractéristiques techniques générales mentionnés dans cette brochure ne sont proposés qu'à titre d'exemple avec des détails représentant uniquement le mode de fonctionnement. Aucune dimension n'est précisée. La vérification de la possibilité de mise en œuvre ainsi que de l'exhaustivité est du ressort de l'entreprise applicatrice/du client pour le projet de construction concerné. Les corps de métier associés sont uniquement présentés de manière schématique. Toutes les spécifications et données doivent être adaptées aux réalités locales et ne constituent en aucun cas une planification d'ouvrage, de détails ou de montage. Les différentes spécifications et données techniques des produits contenues dans les fiches techniques et les descriptifs des systèmes/avis techniques doivent impérativement être respectées.

Sommaire

Solutions systèmes

04 Protection et réparation des ouvrages de tunnel

Solutions économiques, durables et respectueuses de l'environnement

06 Une réglementation aux exigences strictes

Protection de la structure de l'ouvrage et sécurité routière en ligne de mire

08 Un revêtement de tunnel innovant définit de nouveaux standards

Une excellente aptitude au nettoyage et une tendance limitée à l'encrassement attestées

09 Revêtement de tunnel premium pour supports minéraux

PCC + résine époxy en phase aqueuse
StoConcrete Protect Prime TU 100

10 Revêtement de tunnel standard pour supports minéraux

Hydrofugation + résine époxy en phase aqueuse
StoConcrete Protect Classic TU 100

11 Revêtement de tunnel pour constructions neuves et anciens revêtements cohésifs

Système d'enduit à base de résine époxy en phase aqueuse pour une réparation rapide + résine époxy en phase aqueuse
StoConcrete Protect Reno TU 100

12 Traitement technique des bétons et hydrofugation

13 Références de tunnel

Protection et réfection des ouvrages de tunnel

Solutions économiques, durables et respectueuses de l'environnement

Les tunnels routiers jouent un rôle très important dans notre système d'infrastructure moderne. Si peu d'attention leur est portée tant qu'ils fonctionnent sans problème, ils reviennent toutefois au centre de l'intérêt dès qu'ils sont fermés pour des travaux de réhabilitation ou qu'un accident de tunnel fait la une des journaux.

Nous nous sommes donné pour mission de remettre en état et de protéger en permanence les structures des tunnels à l'aide de systèmes de revêtement avancés. Ces systèmes sont conçus pour réduire en parallèle les coûts de maintenance (entretien et nettoyage), améliorer la sécurité routière et protéger l'environnement.

Vous trouverez sur les pages suivantes un aperçu des réglementations relatives à la construction des tunnels ainsi que diverses solutions systèmes pour les surfaces des tunnels. Les rapports d'essai disponibles sur demande témoignent de la fonctionnalité et de la qualité des systèmes de revêtement présentés. Les références de tunnel, ici présentées, confirment notre longue expérience dans le domaine des tunnels.

**Tunnel Ursulaberg,
Pfullingen, DE**
Compétences Sto :
réfection avec StoPox
TU 100



Une réglementation aux exigences strictes

Protection de la structure de l'ouvrage et sécurité routière en ligne de mire

Les exigences envers les systèmes de revêtement pour la construction des tunnels sont définies dans le manuel technique OFROU Tunnels/Géotechnique (FHB T/G), Fiche technique Éléments de constructions, Soutènement et revêtement 24 001-10303 relative aux systèmes de revêtement de tunnel et à la coloration.

Les systèmes de revêtement pour les surfaces des tunnels doivent à la fois remplir une fonction de protection et satisfaire à des aspects techniques de sécurité. Le béton armé doit être protégé des émissions, des liquides et des sels agressifs ainsi que des changements de température, mais également d'une usure normale, provoquée par exemple par un nettoyage régulier. Des exigences supplémentaires relatives à la sécurité routière sont imposées au revêtement.

Matériaux de construction

- Les normes SIA 198, SIA 262, SIA 269/2, SN EN 206-1:2000 béton ainsi que les fiches techniques du manuel technique des ouvrages d'art (FHB K) s'appliquent principalement aux éléments de construction en béton.
- La définition des types de béton doit reposer sur les exigences spécifiques relatives à la résistance des différents éléments du tunnel aux effets corrosifs, en particulier
 - à une attaque chimique par les eaux de montagne, par ex. les eaux contenant des sulfates, avec pour conséquence la formation de thaumasite, d'ettringite ou de gypse (XA),
 - à une carbonatation (XC) pouvant être renforcée par l'atmosphère du tunnel,
 - à une attaque par des sels, par ex. la pénétration dans le béton des chlorures issus du sel de voirie (XD)
 - à l'effet du gel et du gel/sel de déneigement (XF).
- Les exigences envers les classes d'exposition

varient d'une part entre la zone du portail et le tronçon de tunnel intérieur restant, et d'autre part entre le béton de la voûte (anneau intérieur, arche intérieure). Elles doivent donc être déterminées par le concepteur du projet et définies dans le contrat d'utilisation (voir la directive OFROU 12 001 «Élaboration des projets et construction des ouvrages d'art des routes nationales»).

- À partir de l'accotement, les pores et les retassures doivent être scellées avec un enduit pour système jusqu'à min. 2 mètres de hauteur.
- Le revêtement du tunnel doit être réalisé sur une hauteur d'au moins 4 m à partir du niveau supérieur de l'accotement. Au delà le béton de la bague intérieure ou du plafond intermédiaire doit par ailleurs être traité avec une imprégnation hydrophobe.

Les exigences envers le revêtement sont définies dans l'annexe 2 de la fiche technique 24 001-10303 :

- Essai de quadrillage, mesure sur des échantillons de béton avec revêtement MC (0,40) selon EN 1766, valeur de quadrillage : $\leq$ GT 1 selon EN ISO 2409
- Adhérence $> 1,5 \text{ N/m}^2$ selon SN EN 1542
- Épaisseur de couche : $> 100 \mu\text{m}$
- Perméabilité au CO_2 selon EN 1062-6 conformément à EN 1504-2, NA.3 perméabilité au CO_2 SD $> 50 \text{ m}$
- Perméabilité à la vapeur d'eau selon EN ISO 7783-1/2 conformément à EN 1504-2, NA.3 classe I : SD $< 5 \text{ m}$ (perméable à la vapeur d'eau)
- Absorption d'eau par capillarité et perméabilité à l'eau selon EN 1062-3 conformément à EN 1504-2, NA.3 $w < 0,1 \text{ kg/m}^2 \text{ h}$ 0,5
- Adhérence après essai de résistance aux variations de température selon EN 13687-1, après choc thermique : pas de cloques, pas de fissures, pas de pelage. Adhérence $\geq 1,0 \text{ N/mm}^2$ (min. 0,7 N/

mm²)

- Degré de brillance du revêtement selon EN ISO 2813 : G 2 (satiné), angle de mesure 60°, $30 \leq GE \leq 60$ (GE : unités de brillance). Il doit être clair mais sans effet miroir ou brillant. La teinte claire RAL 9010 (blanc pur) permet également d'augmenter la sécurité.
- Exposition artificielle aux conditions météorologiques selon EN 1062-11 pendant 2'000 heures. Pas de cloques, pas de fissures, pas de pelage.
- Comportement au feu selon DIN EN 13501-1 : B – s1 – d0 – difficilement inflammable. L'essai d'inflammabilité garantit que le revêtement ne représente pas une charge combustible en cas d'incendie dans les tunnels.

Les paramètres suivants sont importants pour un nettoyage efficace, économique et écologique :

- Bonne aptitude au nettoyage conformément à la norme DIN EN ISO 11998. L'aptitude au nettoyage indique la facilité de nettoyage d'un revêtement. La nécessité de recourir à des agents de nettoyage chimiques est également précisée.
- Tendance limitée à l'encrassement. La tendance à l'encrassement indique la vitesse à laquelle un revêtement se salit au cours de l'exploitation du tunnel. Cette valeur influence le nombre d'intervalles de nettoyage.



Un revêtement de tunnel innovant définit de nouveaux standards

Une excellente aptitude au nettoyage et une tendance limitée à l'encrassement attestées

Grâce à sa surface claire et non réfléchissante, le revêtement innovant StoPox TU 100 est garant d'une plus grande sécurité dans le tunnel. Ses propriétés de surface optimisées assurent une excellente aptitude au nettoyage (meilleure note conformément à la norme EN 11998) ainsi qu'une tendance très limitée à l'encrassement. Le revêtement peut également être utilisé en intérieur ou dans les salles blanches.

La résine époxy en phase aqueuse permet ainsi d'espacer les intervalles de nettoyage et de réduire les temps de fermeture des tunnels. La consommation d'eau par nettoyage est réduite. Les agents de nettoyage chimiques étant superflus, le revêtement StoPox TU 100 contribue également à la protection de l'environnement.

Le système de revêtement possède une très grande résistance mécanique, est un excellent inhibiteur d'absorption du gaz carbonique et est perméable à la vapeur d'eau. Il protège durablement la structure du bâtiment contre les gaz d'échappement et les substances nocives solubles dans l'eau. StoPox TU 100 est également certifié résistant aux carburants

(EN 13529). Le système pour tunnel répond par ailleurs aux exigences de la classe B1 (difficilement inflammable).

Le grand vainqueur de la comparaison avec les produits concurrents

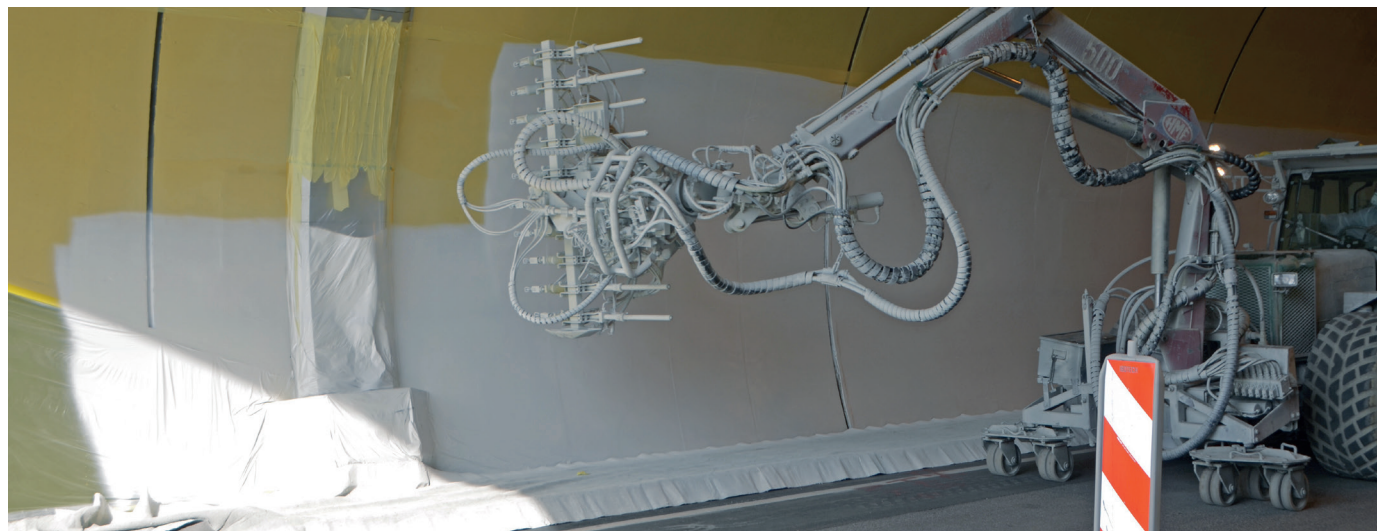
StoPox TU 100 est utilisé dans différentes variantes du système, avec ou sans enduit de ragréage fin minéral, pour les travaux de construction neuve et de réfection. Une autre variante de système a été développée pour les revêtements anciens cohésifs et compatibles. Il n'est alors pas nécessaire d'éliminer les anciens revêtements, ce qui représente un processus long et coûteux.

Comparé aux autres revêtements de tunnel, le StoPox TU 100 a obtenu les meilleurs résultats en termes d'aptitude au nettoyage, de tendance à l'encrassement et de résistance mécanique*.

L'utilisation dans différents tunnels a également confirmé ses excellentes propriétés sur un ouvrage en conditions réelles.

* Pour les résultats des essais, se référer au rapport d'essai de l'institut indépendant accrédité Materialprüfanstalt Hartl GmbH, Wolkersdorf (Autriche) à l'adresse www.stoag.ch/brochures ou à votre contact Sto compétent.

Tunnel Hagenwald,
Waldkirch DE



Revêtement de tunnel premium pour supports minéraux

StoConcrete Protect Prime TU 100

Propriétés de StoCrete TF 300 gris grossier et StoCrete TF 300 blanc fin :

- Conforme à la norme EN 1504-3, résistance à la pression classe R3
- À faible retrait
- Contrôlé par un service externe
- Résistant au gel/au sel de déneigement
- Excellentes propriétés de mise en œuvre
- Application manuelle du matériau ou par pulvérisation humide
- OFROU FHB T/G
- Très haute résistance au gel/au sel de déneigement BE II FT pour tunnels et ouvrages avec une durabilité accrue

Propriétés du système :

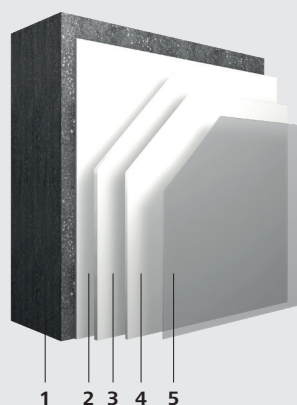
- Égalisation du support à base de ciment, conforme à OFROU
- Conforme à la norme EN 1504-2
- Conforme à la fiche technique OFROU 24 001-10303 (Éléments de construction, Soutènement et revêtement) relative aux systèmes de revêtement de tunnel et à la coloration
- Excellente aptitude au nettoyage
- Tendance limitée à l'encrassement
- Résistance mécanique élevée
- Empêche durablement la pénétration d'eau et de substances nocives dissoutes dans l'eau
- Résistance accrue au dioxyde de carbone (valeur $S_d > 50$ m)
- Bonne perméabilité à la vapeur d'eau (valeur S_d vapeur d'eau < 5 m)
- Degré de brillance selon DIN EN ISO 2813 G2 (satiné)
- Mise en œuvre manuelle ou mécanique
- Sans solvants – Ultra High Solid
- StoPox TU 100 et StoPur WV 60 certifiés comme système anti-graffiti

Structure du système OS protection de surface 4

Passe	Nom du produit	Description du produit
Enduit de ragréage et bouche-pores	StoCrete TF 300 en gris, grossier	Enduit de ragréage bicomposant fin PCC minéral
Enduit de ragréage de finition	StoCrete TF 300 en blanc, fin	Enduit de ragréage bicomposant fin PCC minéral
2 couches de finition	StoPox TU 100	Revêtement à base de résine époxy en phase aqueuse
En option	StoPur WV 60	Vitrification à base de polyuréthane en phase aqueuse

Système

Structure



- 1 — Béton/Paroi interne du tunnel
- 2 — Enduit de ragréage fin PCC minéral StoCrete TF 300 gris grossier
- 3 — Enduit de ragréage de finition PCC minéral StoCrete TF 300 blanc fin
- 4 — Revêtement à base de résine époxy en phase aqueuse StoPox TU 100 en deux couches
- 5 — En option en tant que protection UV, revêtement bicomposant PUR en phase aqueuse StoPur WV 60

Revêtement de tunnel standard pour supports minéraux

StoConcrete Protect Classic TU 100

Propriétés du système :

- Hydrofugation et protection de surface (conforme à OFROU) sans enduit d'égalsation
- Conforme à la norme EN 1504-2
- Conforme à la fiche technique OFROU 24 001-10303 (Éléments de construction, Soutènement et revêtement) relative aux systèmes de revêtement de tunnel et à la coloration
- Excellente aptitude au nettoyage
- Tendance limitée à l'encrassement
- Résistance mécanique élevée
- Empêche durablement la pénétration d'eau et de substances nocives dissoutes dans l'eau
- Résistance accrue au dioxyde de carbone (valeur $S_d > 50$ m)
- Bonne perméabilité à la vapeur d'eau (valeur S_d vapeur d'eau < 5 m)
- Degré de brillance selon EN ISO 2813 G2 (satiné)
- Bonne stabilité
- Faible temps d'attente entre les passes
- Mise en œuvre manuelle ou mécanique
- Sans solvants – Ultra High Solid
- StoPox TU 100 et StoPur WV 60 certifiés systèmes anti-graffiti

Structure du système OS 2

Passe	Nom du produit	Description du produit
En option	StoCryl HG 200 StoCryl HC 100 StoCryl HP 200	Imprégnation hydrofuge
2 couches de finition	StoPox TU 100	Revêtement à base de résine époxy en phase aqueuse
En option	StoPur WV 60	Vitrification à base de polyuréthane en phase aqueuse

Système

Structure



- 1 — Béton/Paroi interne du tunnel
 2 — StoCryl HG 200, StoCryl HC 100 ou StoCryl HP 200
 3 — StoPox TU 100 en deux couches
 4 — En option : StoPur WV 60

Revêtement de tunnel pour constructions neuves et anciens revêtements cohésifs

StoConcrete Protect Reno TU 100

Propriétés du revêtement StoPox WB 50 :

- Recouvrement de revêtements anciens cohésifs
- Ne craint pas les courants d'air
- Aucune reprise nécessaire
- Recouvrement rapide
- Mise en œuvre manuelle ou mécanique

Propriétés du système :

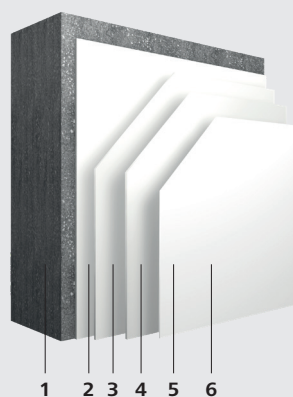
- Égalisation et reprofilage partiel avec enduit époxy en phase aqueuse
- Conforme à la norme EN 1504-2
- Excellente aptitude au nettoyage
- Tendance limitée à l'encrassement
- Résistance mécanique élevée
- Empêche durablement la pénétration d'eau et de substances nocives dissoutes dans l'eau
- Résistance accrue au dioxyde de carbone (valeur $S_d > 50$ m)
- Bonne perméabilité à la vapeur d'eau (valeur S_d vapeur d'eau < 5 m)
- Degré de brillance selon EN ISO 2813 G2 (satiné)
- Bonne stabilité
- Faible temps d'attente entre les passes
- Mise en œuvre manuelle ou mécanique
- Aucune reprise nécessaire
- Sans solvants – Ultra High Solid
- StoPox TU 100 et StoPur WV 60 certifiés comme système anti-graffiti

Structure du système

Passé	Nom du produit	Description du produit
En option : reprofilage partiel	StoPox WB 50	Enduit de ragréage à base de résine époxy en phase aqueuse
En option : couche d'impression	StoPox WG 100	Couche d'impression à base de résine époxy en phase aqueuse
En option : Reboucher les pores et les cavités dues au retrait	StoPox WB 50	Enduit de ragréage à base de résine époxy en phase aqueuse
2 couches de finition	StoPox TU 100	Revêtement à base de résine époxy en phase aqueuse
En option	StoPur WV 60	Vitrification à base de polyuréthane en phase aqueuse

Système

Structure



- 1 — Béton/Paroi interne du tunnel avec revêtement ancien cohésif
- 2 — En option : StoPox WB 50
- 3 — En option : StoPox WG 100
- 4 — StoPox WB 50
- 5 — StoPox TU 100 en deux couches
- 6 — En option : StoPur WV 60

Traitement technique des bétons et hydrofugation

Traitement technique préalable des bétons (réparation de fissures par injection, bandes d'étanchéité, reprofilage)

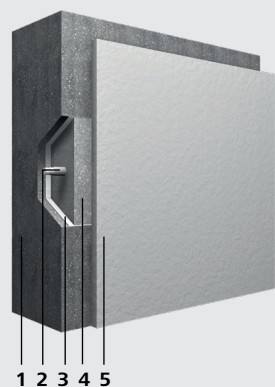
Passe	Nom du produit
Protection anticorrosion	StoCrete TK StoCrete BE Pont d'adhérence
En option : pont d'adhérence	StoCrete TH 200 StoCrete TH 250 StoCrete BE Pont d'adhérence
Mortier de reprofilage ou sur toute la surface	StoCrete TS 203 StoCrete TS 250
Alternative : enduit de ragréage fin	StoCrete TF 200 StoCrete TF 204 StoCrete TF 250
Bandes d'étanchéité	StoSeal D 101 StoSeal D 102 StoPox SK 41
Réparation de fissures par injection	Produits StoJet

Hydrofugation au-dessus du système de revêtement sur les surfaces verticales et en sous-face

Produit	Consistance	Description du produit
StoCryl HP 200	Liquide	• Bonne pénétration dans le support • Principe actif comme StoCryl HG 200 • Non thixotrope
StoCryl HC 100	Crème	• Bonne pénétration dans le support • Jusqu'à 0,4 kg/m² en première passe
StoCryl HG 200	Gel	• Profondeur de pénétration apport de principe actif max. • Mécaniquement jusqu'à 1,0 kg/m² en première passe • Arrête la carbonatation et le chlorure • Utilisable pour les dommages dus à une réaction alcali-granulat • Efficacité de longue durée grâce à une faible évaporation

Système

Structure



- 1 — Béton/Paroi interne du tunnel après préparation du support
- 2 — Protection anticorrosion
- 3 — En option : pont d'adhérence
- 4 — Reprofilage partiel ou sur toute la surface
- 5 — Enduit de ragréage fin

Structure



- 1 — Béton/Paroi interne du tunnel après nettoyage
- 2 — Hydrofugation

Références de tunnel



Tunnel de Gubrist, construction d'un troisième tube, Regensdorf CH

Maître d'ouvrage : Office fédéral des routes
OFROU

Mise en oeuvre : Trauffer Bautenschutz AG

Compétences Sto : protection de surface de
construction neuve avec StoPox WB 50 et StoPox
TU 100

Références de tunnel



A5/N5 Contournement de Bienne branche Ouest, tunnel Weidteile, tubes Bienne Est, CH
Tubes de tunnel à deux voies et séparation en fonction du sens de circulation, construits à ciel ouvert.

Surface témoin : env. 200 m² au niveau de la cloison de séparation de la chaussée, env. 50 m à partir du portail Brüggemoos.



Tunnel Schindellegi, Schindellegi, CH
 Mise en oeuvre : Strabag SE et Trauffer
 Bautenschutz AG
Compétences Sto : réfection avec enrobage à
 protection anticorrosion cathodique, StoCrete TS
 203, StoCrete TF 300 et StoPox TU 100.



Références de tunnel



Årstatunneln, Stockholm SE

Maître d'ouvrage : Swedish Transport

Administration, Stockholm SE

Planification : Bostek, Hågersten SE

Mise en oeuvre : Trauffer Bautenschutz AG,
Samen CH

Compétences Sto : StoCryl HC 100, StoPox TU 100

Photo : Mikael Ullén, Haninge SE



Tunnel Hirschhagen, Helsa DE

Maître d'ouvrage : Hessen Mobil-Strassen und Verkehrsmanagement (gestion des routes et de la circulation), Kassel DE

Mise en oeuvre : Baresel Tunnelbau GmbH, Leinfelden-Echterdingen DE et Franz Dietrich GmbH, Baunatal DE

Compétences Sto : traitement technique des bétons et protection de surface avec StoPox TU 100

Photo : StoCretec GmbH, DE



Références de tunnel



Tunnel de Virngrund, A7 au niveau de Ellwangen, DE
Compétences Sto : traitement technique des bétons et protection de surface avec StoPox TU 100

Notes

Sto SA

Route de Denges 38
1027 Lonay
Téléphone 021 802 82 20
sto.ch.lonay@sto.com
www.stoag.ch

**Centre de support
technique**

Téléphone 021 802 82 35
tsc.ch@sto.com

Vous trouverez les adresses
de tous nos points de vente à
l'adresse **www.stoag.ch**.