

Auftraggeber

Bundesamt für Strassen (ASTRA)

Auftragsbezeichnung

Beschlagende Scheiben in Strassentunneln

Phase III

Berichttitel

**Beschlagende Scheiben in
Strassentunneln**

Synthese

Verfasser

**Rudolf Bopp
Simon Haag
Andreas Peter**

Gruner AG Ingenieure und Planer
Gellertstrasse 55, Postfach
CH-4020 Basel
Telefon +41 61 317 61 61
Fax +41 61 271 79 48
mail-uo@gruner.ch
www.gruner.ch

Auftragsnummer

200'662'004-09

Datum

31. August 2004

Kontrollblatt

Ansprechperson Rudolf Bopp
Tel. direkt 061 317 63 12
Email rudolf.bopp@gruner.ch

Änderungsgeschichte

Version	Änderung	Kürzel	Datum
0.5	Entwurf	HAS	18.05.04
1.0	Ergebnisse der Sitzung der Begleitgruppe vom 11.06.04: Bewertung der Massnahmen, Eckwerte für Richtlinien, Zusammenfassung	HAS	23.07.04
1.1	Endfassung, Kleinkorrekturen aus Anmerkungen an der Schlussitzung Begleitgruppe vom 06.08.04	PEA	31.08.04

Verteiler

Firma	Name	Anz. Expl.
ASTRA	Herr Berner	1
TBA BL	Herr Martin	1
TBA BE	Herr Ruch	1
TBA NE	Herr Schneider	1
Geschäftsstelle für Forschung im Strassenwesen	c/o Rapp AG Ingenieure und Planer	160

Zusammenfassung

Fährt ein Auto in einen Tunnel, so wird die Luft, welche das Fahrzeug umströmt, auf Fahrzeug- resp. Scheibentemperatur abgekühlt. Dies führt unter gewissen Bedingungen zur Bildung von Kondensat auf der Fahrzeugoberfläche. Die Voraussetzungen für Beschlagsbildung sind eine im Vergleich zur Aussentemperatur erhöhte Lufttemperatur im Tunnel sowie der Eintrag von Feuchtigkeit in den Tunnel. Durch verschiedene Prozesse wird Wasser direkt der Luft im Tunnel zugeführt. Besonders zu erwähnen ist der Feuchtigkeitseintrag durch Verbrennungsmotoren. Dieser kann nicht durch bauliche Massnahmen vermindert werden und führt auch in Zeiten ohne Niederschlag zu einer erhöhten Luftfeuchtigkeit im Tunnel.

Befragungen

Durch eine Befragung der kantonalen Amtsstellen in der ganzen Schweiz wurden die Tunnel erfasst, in welchen beschlagende Scheiben auftreten. Das Phänomen ist bei insgesamt 19 schweizerischen Strassentunnels bekannt. In 9 Tunnels wird regelmässiges Auftreten beschlagener Scheiben gemeldet. Die Umfrage zeigt, dass die Beschlagsgefahr in Gegenverkehrstunnels mit einer Länge von mehr als 1400 m deutlich erhöht ist. Zusätzlich kommt es bei Richtungsverkehrstunnels während Sanierungen, in welchen eine Tunnelröhre im Gegenverkehr betrieben wird, immer wieder zu beschlagenden Scheiben.

In den Tunnels Vue-des-Alpes (H20, NE) und Eggflue (H18, BL) wurde eine Befragung der Tunnelbenutzer zu Häufigkeit und Stärke beschlagender Scheiben durchgeführt. Die Meldung von beschlagenen Scheiben erfolgte anhand einer dreistufigen Skala (leichtes, mittleres oder starkes Beschlagen). Insgesamt wurden 4770 (Vue-des-Alpes) resp. 3830 (Eggflue) Durchfahrten ausgewertet. Folgende Aussagen können abgeleitet werden:

- Im Mittel wird in 7% der Durchfahrten mittlerer oder starker Beschlag gemeldet.
- In 92% der Durchfahrten mit beschlagenden Scheiben ist die Fahrbahn nass.
- Die Beschlagsbildung erfolgt meist kurz nach der Einfahrt in den Tunnel.

Werden diese Resultate auf das schweizerische Tunnelnetz hochgerechnet, muss davon ausgegangen werden, dass in der Schweiz durchschnittlich ca. 2000 Fahrzeuge pro Tag von unerwartetem Scheibenbeschlag betroffen sind.

Fazit: Scheibenbeschlag in Strassentunnels stellt ein sicherheitsrelevantes Problem dar.

Klimamessungen / Untersuchungen

In den Tunnels Eggflue (H18, BL), Leissigen (A8, BE), und Vue-des-Alpes/Mont-Sagne (H20, NE), wurden Klimamessungen durchgeführt. Neben Lufttemperatur und relativer Feuchtigkeit wurden teilweise auch die bestehenden Messwerte wie Sichttrübung, Strömungsgeschwindigkeit und Ventilatorleistung aufgezeichnet. Folgende Aussage kann aus den Messungen und den durchgeführten Versuchen abgeleitet werden:

- Auf Grund der weiter abnehmenden Schadstoffemissionen ist auch in Zukunft mit einem geringeren Luftaustausch im Tunnel durch die mechanische Tunnellüftung zu rechnen.

Fazit: Da der Wassereintrag durch Fahrzeuge annähernd konstant bleibt, ist mit einem vermehrten Auftreten von beschlagenen Scheiben zu rechnen.

Lüftungssystem

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass das Lüftungssystem einen entscheidenden Einfluss auf die Beschlagsgefahr hat:

- Mit einer Mittenabsaugung (resp. einer variablen Punktabsaugung) wird die Taupunkttemperatur im Portalbereich besonders stark gesenkt. Dies verhindert einen abrupten Klimawechsel bei der Tunneleinfahrt und verhindert somit ein schlagartiges Auftreten beschlagener Scheiben. Die Mittenabsaugung ist für eine Verminderung des Problems gut geeignet. Entscheidend ist auch der korrekte Betrieb einer Taupunktsteuerung.
- Mit einer Halbquerlüftung kann die Beschlagsproblematik durch eine Taupunktsteuerung auch mit grossem Energieaufwand nur ungenügend und behoben werden. Die Tunnellüftung senkt die Taupunkttemperatur in den Portalbereichen nur schwach.

Fazit: Beschlagende Scheiben lassen sich nur mit einer in den Tunnel gerichteten Strömung verhindern. Die Installation einer Taupunktsteuerung ist deshalb nur sinnvoll, falls eine Mittenabsaugung (resp. eine variablen Punktabsaugung) realisiert ist. Um die Bildung beschlagener Scheiben wirksam zu verhindern, ist an den Portalen eine in den Tunnel gerichtete Strömungsgeschwindigkeit von > 0.5 m/s zu erzeugen.

Regelgrösse für Taupunktsteuerung

Als Regelgrösse wird die Übersättigung der Tunnelluft [g/m^3] vorgeschlagen. Die Übersättigung ist definiert als Differenz zwischen der absoluten Feuchte im Tunnel und der maximal möglichen Feuchte bei Abkühlung der Tunnelluft auf Aussentemperatur. Zur Höhe des Schwellenwertes, ab welchem mit einer relevanten Beschlagsbildung gerechnet werden muss, können folgende Aussagen gemacht werden:

- Die Gegenüberstellung von Umfrage- mit Messergebnissen zeigt, dass ab einer Übersättigung $> 3 \text{ g/m}^3$ ausschliesslich mittlerer oder starker Beschlag gemeldet wird. Bei einer Übersättigung $< 0 \text{ g/m}^3$ wird meist kein Beschlag gemeldet. Dazwischen erstreckt sich ein Übergangsbereich, in welchem je nach Situation Beschlag auftreten kann oder auch nicht.
- Wird der prozentuale Anteil der Durchfahrten mit Beschlag (Befragung) mit dem zeitlichen Anteil der Beschlagsgefahr (Klimamessung) verglichen, so zeigt sich eine gute Korrelation der beiden Grössen. Die Übersättigung ist über das ganze Jahr ein guter Parameter zur Prognose der Beschlagsgefahr in einem Tunnel. Mit einem Schwellenwert von ca. 1.5 g/m^3 wird die beste Übereinstimmung erzielt. Dieser Wert wurde durch ergänzende experimentelle Untersuchungen in einem Windkanal bestätigt.

Fazit: Die Übersättigung ist proportional zur Beschlagsgefahr in einem Tunnel und kann somit als Regelgrösse für die Taupunktlüftung verwendet werden. Der Schwellenwert beträgt ca. 1.5 g/m^3 .

Massnahmen

Es werden verschiedene Massnahmen vorgeschlagen, um die Eintretenswahrscheinlichkeit eines Unfalls auf Grund beschlagener Scheiben zu reduzieren. Die Wirksamkeit einer Massnahme ergibt sich durch eine verbesserte Reaktion des Tunnelbenutzers und/oder durch eine Verminderung des Auftretens beschlagener Scheiben. Die Massnahmen werden im Folgenden zusammengefasst:

- Schulung der Verkehrsteilnehmer: Integration der Thematik „Beschlagende Scheiben bei der Einfahrt in Strassentunnels“ in den obligatorischen Verkehrskundeunterricht, Durchführen von Aktionen durch die Beratungsstelle für Unfallverhütung (bfu), sowie Information der Bevölkerung durch Publikationen in Fachzeitschriften (z.B. TCS, ACS, VCS...) und weiteren Medien (z.B. Tageszeitungen).
- Warneinrichtungen: Zur Warnung der Tunnelbenutzer wird vor den Portalen des betroffenen Tunnels eine statische oder dynamische Warntafel installiert. Die dynamische Warntafel warnt die Tunnelbenutzer, wenn gemäss Klimamessung Beschlagsgefahr vorhanden ist.
- Geschwindigkeitsreduktion: Anordnen einer dynamischen Geschwindigkeitsreduktion (z.B. von 80 km/h auf 60 km/h).
- Taupunktlüftung: Mit einer taupunktgesteuerten Lüftung kann die Bildung von Scheibenbeschlag wirksam bekämpft werden. Dies gilt jedoch nur für Tunnel mit Lüftungssystemen, bei welchen Aussenluft in die Portale einströmt (Mittenabsaugung, variable Punktabsaugung). Betroffene Tunnel mit anderen Lüftungssystemen sollen im Zuge einer Sanierung entsprechend umgebaut werden.

Eckwerte für Richtlinien

Auf Grund der vorliegenden Erkenntnisse wurden Eckwerte für Richtlinien vorgeschlagen. Dabei wird unterschieden in Massnahmen für Tunnel in Planung und für solche in Betrieb. Bei Richtungsverkehrstunneln sind keine Massnahmen erforderlich. Bei Gegenverkehrstunneln sind ab einer Länge von 1400 m Massnahmen umzusetzen. Die vorgeschlagenen Eckwerte für Richtlinien sind im Folgenden zusammengefasst:

- Gegenverkehrstunnel in Planung mit einer Länge zwischen 1400 und 1800 m: Eine variable Punktabsaugung (bzw. Mittenabsaugung) ist einer Halbquer- oder einer Längslüftung ohne Absaugung vorzuziehen. Zusätzlich müssen Vorkehrungen getroffen werden, um bei Bedarf das Nachrüsten von Taupunktsensoren und die Integration eines Taupunktsteuerungs-Moduls in die Tunnellüftung zu erleichtern.

- Gegenverkehrstunnel in Planung mit einer Länge über 1800 m: In den Portalbereichen ist eine abschnittsweise Längslüftung (z.B. Punktabsaugung über die Zwischendecke) vorzusehen, um eine von beiden Portalen in den Tunnel gerichtete Strömung sicherzustellen.
- Gegenverkehrstunnel in Betrieb mit einer Länge über 1400 m: Es sind Messungen durchzuführen, um den zeitlichen Anteil der Beschlagsgefahr zu bestimmen. Wenn die Beschlagsgefahr in mehr als 4% der Zeit gegeben ist, muss eine Taupunktlüftung installiert werden.

Es wird angestrebt, die vorgeschlagenen Massnahmen in die bestehende Richtlinie „Lüftung der Strassentunnel“ zu integrieren. Da beschlagende Scheiben nicht nur in der Schweiz ein Problem der Verkehrssicherheit darstellen, ist eine internationale Abstimmung der Empfehlungen wünschenswert.

Inhaltsverzeichnis

	Seite	
1	Aufbau des Forschungsvorhabens	1
2	Ziele	2
3	Problemerkennung	3
3.1	Physikalische Grundlagen	3
3.2	Ausmass	4
4	Befragung von Tunnelbenutzern	5
5	Klimamessungen	6
5.1	Durchführung	6
5.2	Tunnelklima und Beschlagsgefahr	7
5.3	Beurteilung der Hypothesen	9
5.3.1	Lüftungssystem	9
5.3.2	Tendenz der Beschlagsgefahr	10
5.3.3	Regelgrösse für Taupunktlüftung	11
5.3.4	Indirekte Erfassung und Prognose	11
6	Massnahmen	13
6.1	Kriterien zur Beurteilung der Massnahmen	13
6.2	Katalog möglicher Massnahmen	13
6.2.1	Schulung der Verkehrsteilnehmer	13
6.2.2	Statische Warntafeln	14
6.2.3	Dynamische Warneinrichtungen	15
6.2.4	Statische Geschwindigkeitsreduktion	16
6.2.5	Dynamische Geschwindigkeitsreduktion mittels Lichtsignalanlage	17
6.2.6	Taupunktlüftung	18
7	Hilfsmittel zur Prognose	20
8	Eckwerte für Richtlinien	22
8.1	Gegenverkehrstunnel in Planung	22
8.2	Tunnel in Betrieb	23
8.3	Temporäre Massnahmen	24
9	Ausblick	25

Anhang

- A Literaturverzeichnis
- B Unfallmeldungen
- C Analyse der Einflussgrösse Tunnelsteigung
- D Taupunktlüftung
- E Messung zur Beurteilung der Beschlagsgefahr
- F Juristische Stellungnahme zu den Warnsignalen
- G CD mit Berichten und Messdaten

1 Aufbau des Forschungsvorhabens

In verschiedenen Tunneln der Schweiz kommt es unter gewissen Voraussetzungen bei der Einfahrt eines Fahrzeuges zur Bildung von Kondenswasser. Dies führt zu einem Beschlagen der Windschutzscheibe. Wegen dem schlagartigen Auftreten und der starken Beeinträchtigung der Sicht stellt dieses Phänomen ein beachtliches Gefährdungspotential dar.

Um die Problematik umfassend anzugehen, erteilte das ASTRA der Gruner AG einen Forschungsauftrag. Dieser gliedert sich in drei Phasen:

- Phase I - Problemerkennung: Das Ausmass des Auftretens beschlagener Scheiben wird erfasst. Physikalische Grundlagen werden für ein besseres Verständnis der Ursachen aufbereitet, vorhandene Erfahrungen werden gesichtet und dokumentiert.
- Phase II - Systematische Untersuchungen in drei Tunnels: Soweit notwendig werden zur Erfassung des Tunnelklimas Sensoren zur Messung der Temperatur und der Luftfeuchtigkeit sowie zur Überwachung der Strömungsgeschwindigkeit installiert. Die erfassten Daten werden ausgewertet und mit den Angaben von Tunnelbenutzern verglichen. Anschliessend wird die Wirksamkeit einzelner Massnahmen überprüft und schliesslich ein auf die spezifischen Verhältnisse abgestimmtes Gesamtkonzept erarbeitet.
- Phase III - Synthese und Generalisierung: Die gewonnenen Erfahrungen werden generalisiert, Hilfsmittel zur Prognose des Auftretens beschlagener Scheiben erstellt und Massnahmen zur Einschränkung aufgezeigt.

Die einzelnen Phasen werden gemäss Forschungsantrag jeweils mit einem Bericht abgeschlossen:

- Phase I mit einer Zusammenstellung der Grundlagen und dem Ausmass des Phänomens.
- Phase II mit einem gesonderten Bericht für jeden Tunnel. Diese enthalten Messkonzept, Auswertung der Messdaten sowie eine Darstellung der Massnahmen.
- Phase III wird mit einem Bericht abgeschlossen, welcher die Ergebnisse der vorangehenden Phasen zusammenfasst, die Erkenntnisse generalisiert und Eckwerte für eine künftige Richtlinie festlegt.

Im vorliegenden Bericht sind die Ergebnisse der Phase III dargestellt. In Kapitel 3 werden die Ergebnisse der Phase I zusammengefasst. Kapitel 4 und 5 enthalten die Erkenntnisse der Untersuchungen in den Tunneln Eggflue, Vue-des-Alpes und Leissigen (Phase II). Aufbauend auf diesen Ergebnissen werden in Kapitel 6 mögliche Massnahmen aufgeführt, in Kapitel 7 Hilfsmittel zur Prognose des Auftretens beschlagener Scheiben zur Verfügung gestellt und in Kapitel 8 Empfehlungen für Tunnel in Planung und solche in Betrieb formuliert.

2 Ziele

Mit dem Forschungsprogramm soll ein Beitrag zur weiteren Erhöhung der Sicherheit in Schweizer Strassentunnels erbracht werden. Folgende Zielsetzungen stehen in der hier dokumentierten Phase III im Vordergrund:

- Zusammenfassung: Die Erkenntnisse aus Phase I und II werden zusammengefasst und generalisiert.
- Massnahmen: Für bestehende Tunnel und für Tunnel in Planung werden mögliche Massnahmen formuliert.
- Hilfsmittel: Es werden Hilfsmittel zur Prognose des Auftretens beschlagener Scheiben erstellt. Mit diesen Hilfsmitteln ist es möglich die Gefahr des Auftretens beschlagener Scheiben bereits in der Planungsphase abzuschätzen.
- Eckwerte für Richtlinien: Es werden Empfehlungen zusammengestellt, die bei der Planung neuer Tunnel zu beachten sind, um das Auftreten beschlagener Scheiben einzuschränken.

3 Problemerkennung

3.1 Physikalische Grundlagen

Fährt ein Fahrzeug in einen Tunnel, so wird die Luft, welche das Fahrzeug umströmt, auf Fahrzeug- resp. Scheibentemperatur abgekühlt. Dies führt unter gewissen Bedingungen zur Bildung von Kondensat. Die wichtigsten Voraussetzungen sind eine im Vergleich zur Aussentemperatur erhöhte Lufttemperatur im Tunnel sowie der Eintrag von Feuchtigkeit in den Tunnel. Dieser erfolgt durch verschiedene Prozesse. Besonders kritisch ist der Feuchtigkeitseintrag durch Verbrennungsmotoren. Er kann nicht durch bauliche Massnahmen eingegrenzt werden und führt auch in Zeiten ohne Niederschlag zu einer erhöhten Luftfeuchtigkeit im Tunnel.

Folgende Grössen sind gemäss [1] für die Bildung beschlagener Scheiben von zentraler Bedeutung:

- Feuchtigkeitseintrag durch Fahrzeuge: Es kann von einem Feuchtigkeitseintrag von ca. 50 g_{H2O} pro PKW und Kilometer resp. 250 g_{H2O} pro LKW und Kilometer ausgegangen werden.
- Temperatur der Fahrzeugscheibe: Die Temperatur an der Aussenseite der Fahrzeugscheibe liegt sehr nahe bei der Aussentemperatur. Im Winter ist die Scheibentemperatur bis zu ca. 2°C höher als die Aussentemperatur. Diese Temperaturdifferenz ist von der Aussentemperatur und der Lüftungsaktivität (Heizung, Strömungsgeschwindigkeit) im Fahrzeug abhängig.
- Temperatur der Tunnelluft: Die Temperatur der Tunnelluft wird massgeblich durch die Aussentemperatur und den Wärmeeintrag der Fahrzeuge bestimmt. Pro PKW kann mit einem Wärmeeintrag von ca. 2.2 MJ pro Kilometer gerechnet werden.

Die Beschlagsgefahr kann mit zwei unterschiedlichen Grössen beschrieben werden:

Taupunktunterschreitung (ΔTP): Differenz zwischen der Taupunkttemperatur im Tunnel und der Aussentemperatur. Ist die Aussentemperatur tiefer als die Taupunkttemperatur, so wird die Sättigungsgrenze überschritten. Somit ist theoretisch Beschlagsbildung möglich.

Übersättigung (ΔF): Differenz zwischen absoluter Feuchte im Tunnel und der maximal möglichen Feuchte bei Abkühlung der Tunnelluft auf Aussentemperatur. Die Abkühlung der Tunnelluft führt zu einer Übersättigung der Luft mit Wasserdampf und somit zu Beschlagsbildung auf den Fahrzeugscheiben.

3.2 Ausmass

Durch eine Befragung der kantonalen Amtsstellen in der ganzen Schweiz wurden möglichst alle Tunnel erfasst, in welchen beschlagene Scheiben auftreten [1]. Das Phänomen ist bei insgesamt 19 schweizerischen Strassentunneln bekannt. In 9 Tunneln wird regelmässiges Auftreten beschlagener Scheiben gemeldet. Zusätzlich kommt es bei Richtungsverkehrstunneln während Sanierungen, in welchen eine Tunnelröhre im Gegenverkehr betrieben wird, regelmässig zu beschlagenden Scheiben.

Die Umfrage zeigt, dass die Beschlagsgefahr in Gegenverkehrstunneln mit einer Länge von mehr als 1250 m deutlich erhöht ist. Mit einer grösseren Tunnelänge steigt auch die Wahrscheinlichkeit, dass Scheibenbeschlag auftritt (Abbildung 1).

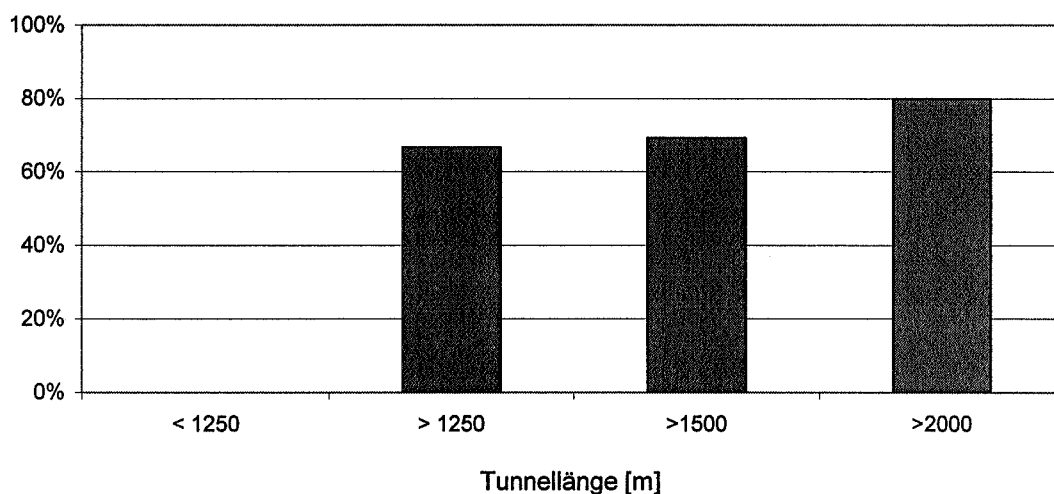


Abbildung 1: Anteil der Gegenverkehrstunnels auf Schweizer Nationalstrassen, bei welchen beschlagene Scheiben auftreten.

Gemäss einer groben Abschätzung muss davon ausgegangen werden, dass in der Schweiz durchschnittlich ca. 2000 Fahrzeuge pro Tag von unerwartetem Scheibenbeschlag betroffen sind (bei trockener Fahrbahn). Es sind auch einige Unfälle bekannt, welche mit diesem Phänomen in Verbindung gebracht werden (Beispiele siehe Anhang B). Die Bildung beschlagener Scheiben ist folglich ein sicherheitsrelevantes Phänomen.

4 Befragung von Tunnelbenutzern

In den Tunneln Vue-des-Alpes [4] und Eggflue [2] wurde eine Befragung der Tunnelbenutzer durchgeführt. Die Meldung von beschlagenen Scheiben erfolgte anhand einer dreistufigen Skala (vgl. Tabelle 1) und wurde mit Angaben zu dem Ort des Auftretens, dem Strassenzustand, der Lüftung und weiteren Beobachtungen ergänzt. Insgesamt wurden 4770 (Vue-des-Alpes) resp. 3830 (Eggflue) Durchfahrten ausgewertet.

Tabelle 1: Dreistufige Skala zur Beschreibung der Stärke der Beschlagsbildung

leichtes Beschlagen der Scheiben	kaum sichtbar, Weiterfahrt ohne Reinigung der Scheiben möglich
mittleres Beschlagen der Scheiben	kontinuierliche Zunahme, Reinigung der Scheiben notwendig
starkes Beschlagen der Scheiben	schlagartiges Auftreten, starke Beeinträchtigung der Sicht

Die Auswertung der Fragebögen führt zu folgenden Resultaten:

- Der Anteil der Durchfahrten mit mittlerem und starkem Beschlag variiert von Monat zu Monat stark. Im Mittel wurde in 5% (Eggflue) resp. 8% (Vue-des-Alpes) der Durchfahrten mittlerer oder starker Beschlag gemeldet.
- In 91% (Eggflue) resp. 92% (Vue-des-Alpes) der Durchfahrten mit beschlagenden Scheiben ist die Fahrbahn nass.
- In 83% (Eggflue) resp. 98% (Vue-des-Alpes) der Durchfahrten mit beschlagenden Scheiben erfolgt die Beschlagsbildung kurz nach der Einfahrt in den Tunnel.
- Im Tunnel Vue-des-Alpes wird vereinzelt ein Vereisen der Fahrzeugscheiben gemeldet. Total wurden 7 Fälle gemeldet. Dies entspricht 0.1% der Durchfahrten.

Die wichtigsten Erkenntnisse der Personenbefragung sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Tabelle 2: Erkenntnisse aus der Personenbefragung

	Eggflue	Vue-des-Alpes
Umfrage durchgeführt von – bis	Sept. 01 – Okt. 03	Nov. 03 – Jun. 04
Anteil von mittlerem und starkem Beschlag bei Tunneldurchfahrten	5%	8%
Beschlagen der Scheiben bei nasser Fahrbahn	91%	92%
Beschlagen der Scheiben kurz nach Tunneleinfahrt	83%	98%

5 Klimamessungen

5.1 Durchführung

In drei Tunneln, in welchen die Thematik beschlagender Scheiben bekannt ist, wurden Klimamessungen durchgeführt. Neben Lufttemperatur und relativer Feuchtigkeit wurden teilweise auch die bestehenden Messwerte wie Sichttrübung, Strömungsgeschwindigkeit und Ventilatorleistung aufgezeichnet. Die baulichen und betrieblichen Randbedingungen sind in Tabelle 3 aufgeführt.

Tabelle 3: Bauliche und betriebliche Randbedingungen der drei untersuchten Tunnel

	Eggflue	Leissigen	Vue-des-Alpes	Mont-Sagne
Lage (Strasse)	H18 (BL)	A8 (BE)	H20 (NE)	H20 (NE)
Tunnellänge [m]	2800	2100	3240	1600
Durchschnittlicher täglicher Verkehr (DTV)	14'200	13'850	16'790	16'790
Anteil Schwerverkehr [%]	8%	4%	6%	6%
Querschnittsfläche [m ²]	47	45	49	49
Durchschnittliche Steigung [%]	0.93	1.2% / -1.2%	2.45%	1.47 / -2.0%
Lüftungssystem im Normalbetrieb	Halbquer- lüftung	Mitten- absaugung	Halbquer- lüftung ¹	Halbquer- lüftung ²
Start Messprogramm (Ende = 30.06.2004)	28.10.02	04.08.03	28.01.03	28.01.03

¹ Wird bei hoher Verschmutzung als variable Punktabsaugung betrieben. Es sind Strahlventilatoren zur Steuerung der Strömungsrichtung vorhanden.

² Wird bei hoher Verschmutzung als variable Punktabsaugung betrieben.

5.2 Tunnelklima und Beschlagsgefahr

Nach Auswertung der Klimamessungen in den Tunneln Eggflue [2], Leissigen [3] und Vue-des-Alpes [4] können folgende Erkenntnisse festgehalten werden:

- Die mittlere Temperaturdifferenz (Tunneltemperatur – Aussentemperatur) beträgt in einem Gegenverkehrstunnel von 2 – 3 km Länge ohne Taupunktlüftung ca. 7°C. Die Wochenmitteltemperatur liegt im Tunnel während des ganzen Jahres über der Aussentemperatur. Somit sind auch im Sommer beschlagende Scheiben möglich (vgl. Abbildung 2).

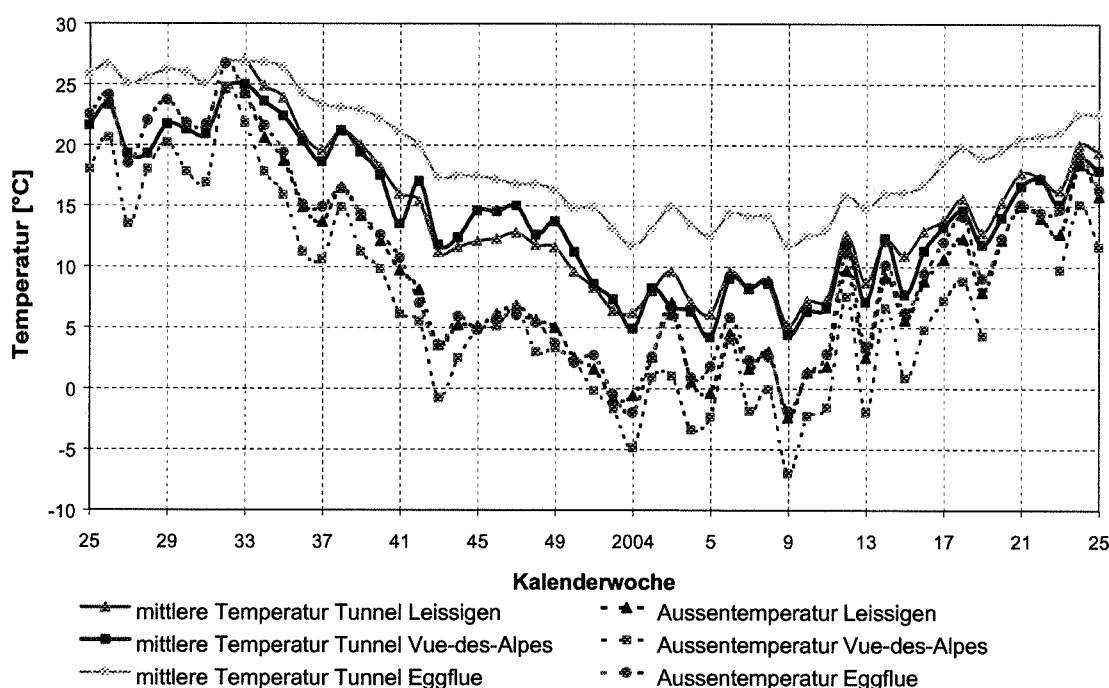


Abbildung 2: Vergleich von Aussentemperatur und der Tunneltemperatur³ (Periode Juli 03 bis Juni 04)

- Das Temperaturprofil längs der Tunnelachse hat ein Maximum ungefähr in der Tunnelmitte. Aufgrund der Einmischung der Aussenluft ist die Temperatur an den Portalen tiefer.
- Bei ausgeschalteter Tunnellüftung und etwa ausgeglichenem Verkehr, ist die Taupunkttemperatur im gesamten Tunnel nahezu konstant. Bei konstanter Tunnelströmung ist mit einer linearen Zunahme der Feuchtigkeit in Strömungsrichtung zu rechnen.
- Die Strömung in den betrachteten Tunneln wird hauptsächlich durch den Verkehr bestimmt. Durch den Gegenverkehr wechselt die Strömungsrichtung zum Teil mehrmals pro Stunde.

A _____

³ Im Tunnel Vue-des-Alpes ist nicht die mittlere Tunneltemperatur, sondern die Temperatur in einer Entfernung von 250 m zum Portal dargestellt

- Im Mittel ist in den Tunneln Eggflue und Vue-des-Alpes in 7 resp. 9% der Zeit mit beschlagenen Scheiben zu rechnen. Der zeitliche Anteil der Beschlagsgefahr variiert infolge der Witterungseinflüsse sehr stark zwischen den einzelnen Wochen (siehe Abbildung 3).
- Im Tunnel Vue-des-Alpes ist die Gefährdung für beschlagende Scheiben gegenüber dem Eggflue Tunnel erhöht. Dies ist auf die geografische Lage (Höhe = 1000 M.ü.M.) und die daraus resultierende tiefere Lufttemperatur sowie den erhöhten Wassereintrag durch Fahrzeuge zurückzuführen.

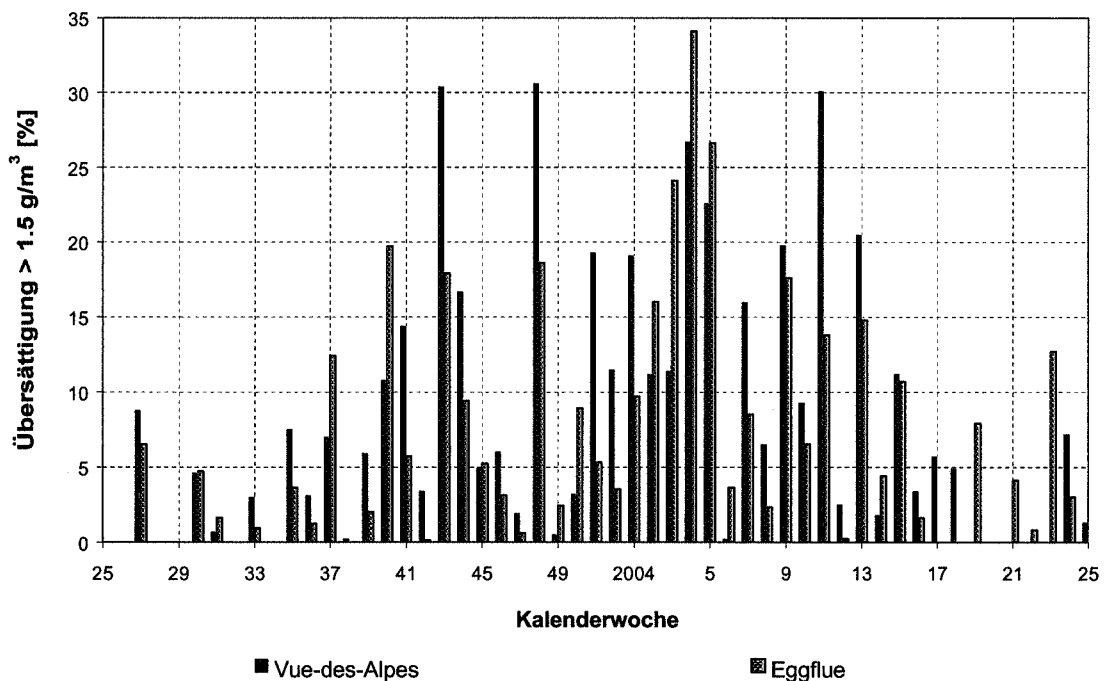


Abbildung 3: Zeitlicher Anteil, in welchem ein Beschlagen der Scheiben zu erwarten ist (Vue-des-Alpes und Eggflue) Periode Juli 03 bis Juni 04

- Bei installierter Taupunktlüftung ist in 5 - 10% der Zeit mit einem Betrieb der Tunnellüftung zu rechnen (Betrachtete Tunneltypen: Tunnelänge = 2 - 3 km, Schwellenwert = 1.5 g/m^3). Gemäss Erfahrungen aus dem Tunnel Leissigen läuft die Tunnellüftung praktisch ausschliesslich auf Grund des Taupunktkriteriums. Die Sichttrübungswerte führen nur noch selten zum Einschalten der Tunnellüftung.

5.3 Beurteilung der Hypothesen

In der Phase I des Forschungsvorhabens [1] wurden, aufbauend auf den physikalischen Grundlagen, bestehenden Erfahrungen und der Tunnelbefragung Schweiz, vier Hypothesen formuliert. Diese werden im Rahmen der Messkampagnen in den Tunneln Eggflue, Leissigen und Vue-des-Alpes (Phase II) genauer untersucht und in diesem Kapitel zusammenfassend beurteilt.

5.3.1 Lüftungssystem

Hypothese 1: Eine in den Tunnel gerichtete Strömung reduziert die Bildung von beschlagenen Scheiben im Portalbereich. Ab einer gewissen Strömungsgeschwindigkeit kann übermässige Bildung von Beschlag ausgeschlossen werden.

Aufgrund der Untersuchungen in den Tunneln Eggflue (Halbquerlüftung) und Leissigen (Mittenabsaugung) können folgende Aussagen gemacht werden:

- Eine in den Tunnel gerichtete Strömung vermindert die Gefahr für schlagartiges Auftreten von beschlagenen Scheiben. Grundsätzlich sind deshalb Lüftungstypen welche Luft aus dem Tunnel absaugen, solchen mit Einblasung von Frischluft vorzuziehen.
- Mit einer Mittenabsaugung wird die Taupunkttemperatur im Portalbereich besonders stark gesenkt (vgl. ↻ in Abbildung 4). Dies verhindert einen abrupten Klimawechsel bei der Tunneleinfahrt und verhindert somit ein schlagartiges Auftreten beschlagener Scheiben. Die Mittenabsaugung ist für eine Bewältigung des Problems ideal.
- Um die Bildung von beschlagenen Scheiben wirksam zu verhindern, muss an den Portalen eine Strömungsgeschwindigkeit $> 0.5 \text{ m/s}$ eingehalten werden⁴.

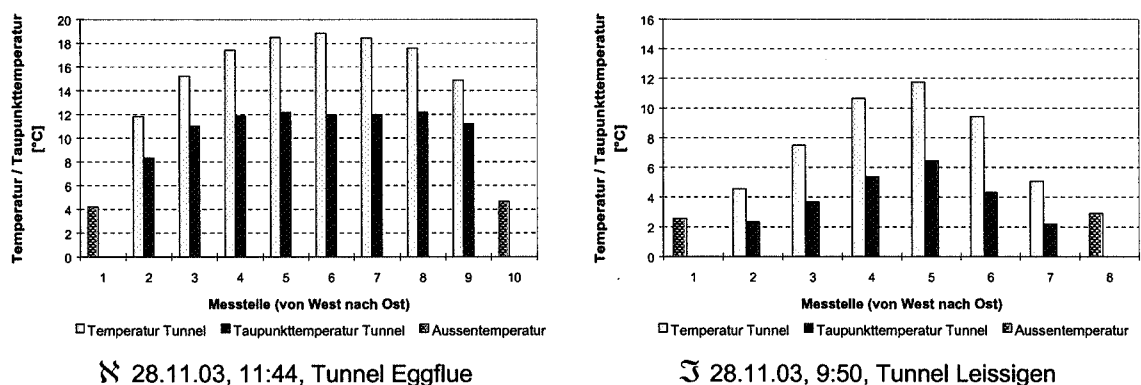


Abbildung 4: Längsprofil Temperatur und Taupunkttemperatur (Tunnellüftung in Betrieb) für Halbquerlüftung (Tunnel Eggflue) und Mittenabsaugung (Tunnel Leissigen). 15-Minuten Mittelwerte

A _____
⁴ Strömung in den Tunnel gerichtet

- Mit einer Halbquerlüftung kann die Beschlagsproblematik mit einer Taupunktsteuerung nur ungenügend und mit grossem Energieaufwand behoben werden. Die Tunnellüftung senkt die Taupunkttemperatur in den Portalbereichen nur schwach (vgl. N in Abbildung 4).

Beschlagende Scheiben lassen sich nur mit einer in den Tunnel gerichteten Strömung verhindern. Die Installation einer Taupunktsteuerung ist deshalb nur sinnvoll, falls eine Mittenabsaugung (resp. eine variable Punktabsaugung) vorgesehen ist. Um die Bildung beschlagener Scheiben wirksam zu verhindern, ist an den Portalen eine Strömungsgeschwindigkeit $> 0.5 \text{ m/s}$ einzuhalten.

5.3.2 Tendenz der Beschlagsgefahr

Hypothese 2: Um ein Beschlagen der Scheiben zu verhindern, ist ein minimaler Luftaustausch zu gewährleisten. Der Luftaustausch durch mechanische Belüftung ist wegen dem verminderten Schadstoffausstoss der Fahrzeuge schon seit längerer Zeit rückläufig. Dies führt zu einem vermehrten Auftreten von beschlagenden Scheiben.

Aufgrund der Untersuchungen in den Tunneln Eggflue und Leissigen können folgende Aussagen gemacht werden:

- Je stärker die Tunnelluft mit der Umgebungsluft ausgetauscht wird, desto stärker gleicht sich die absolute Feuchte im Tunnel jener der Aussenluft an. Bei sehr starkem Luftaustausch ist theoretisch kein Beschlagen der Scheiben möglich, da die Taupunkttemperatur nie unter der Aussentemperatur liegt.
- Bei einer Auswertung der Messdaten des Tunnels Eggflue wird eine leichte Abhängigkeit zwischen mittlerer Lüftungsstufe und der Gefährdung für beschlagene Scheiben festgestellt. Bei der installierten Halbquerlüftung führt eine verringerte Lüftungsaktivität jedoch nur zu einem leichten Anstieg der Beschlagsgefahr.
- Gemäss theoretischen Untersuchungen, welche anhand dem Tunnel Leissigen durchgeführt wurden, ist trotz Verkehrszunahme in der Zeitspanne 1990 bis 2010 mit einer Abnahme der erforderlichen Frischluftmenge um ca. 60% zu rechnen. Dies ist auf die stark verminderten Schadstoffemissionen zurückzuführen. Der Luftaustausch durch mechanische Lüftung ist folglich rückläufig.

Die Untersuchungen weisen darauf hin, dass auf Grund der weiter abnehmenden Schadstoffemissionen, auch in Zukunft mit einem verminderten Luftaustausch im Tunnel durch die mechanische Tunnellüftung zu rechnen ist. Da der Wassereintrag durch die Fahrzeuge annähernd konstant bleibt, ist mit einem vermehrten Auftreten von beschlagenden Scheiben zu rechnen.

5.3.3 Regelgrösse für Taupunktlüftung

Hypothese 3: Mit der Übersättigung als Regelgrösse für die Tunnellüftung kann Beschlag auf Fahrzeugscheiben effizient verhindert werden. Insbesondere erlaubt dieser Parameter die Festlegung eines temperaturunabhängigen Schwellenwertes für das Einschalten der Lüftung.

Auf Grund der Erfahrungen aus dem Tunnel Leissigen und den Untersuchungen in den Tunneln Eggflue und Vue-des-Alpes, sowie experimentellen Untersuchungen in einem Windkanal können folgende Aussagen gemacht werden:

- Die Beschlagsbildung ist proportional zu einer Übersättigung, welche der Differenz zwischen absoluter Feuchte im Tunnel und der maximal möglichen Feuchte bei Abkühlung der Tunnelluft auf die Temperatur der Fahrzeugscheibe entspricht.
- Die Gegenüberstellung von Umfrage- mit Messergebnissen zeigt, dass ab einer Übersättigung $> 3 \text{ g/m}^3$ ausschliesslich mittlerer oder starker Beschlag gemeldet wird. Bei einer Übersättigung $< 0 \text{ g/m}^3$ wird grossmehrheitlich kein Beschlag gemeldet. Dazwischen erstreckt sich ein Übergangsbereich, in welchem je nach Situation Beschlag auftreten kann oder auch nicht.
- Wird der prozentuale Anteil der Durchfahrten mit Beschlag mit dem zeitlichen Anteil der Beschlagsgefahr verglichen, so zeigt sich eine gute Abhängigkeit zwischen den beiden Grössen. Die Übersättigung ist über das ganze Jahr ein guter Parameter zur Prognose der Beschlagsgefahr in einem Tunnel. Mit einem Schwellenwert von ca. 1.5 g/m^3 wird die beste Übereinstimmung erzielt.
- Aufgrund von experimentellen Untersuchungen welche in einem Windkanal durchgeführt wurden, kann der Schwellenwert (Übersättigung = 1.5 g/m^3) bestätigt werden.

Die Übersättigung ist proportional zur Beschlagsgefahr in einem Tunnel und kann somit als Regelgrösse für die Taupunktlüftung verwendet werden. Der Schwellenwert beträgt ca. 1.5 g/m^3 .

5.3.4 Indirekte Erfassung und Prognose

Hypothese 4: Mit vorhandenen Klima- und Emissionsmessungen kann die Beschlagsgefahr indirekt erfasst werden. Die Auswertung solcher Daten ermöglicht eine Prognose der zu erwartenden Situation.

Die Untersuchungen in den Tunneln Vue-des-Alpes und Leissigen liefern folgende Ergebnisse:

- Zwischen der Niederschlagsdauer und den Anzahl Stunden mit Beschlagsgefahr ist ein klarer Zusammenhang vorhanden. Das überraschende Auftreten von beschlagenen Scheiben bei trockener Strasse wird mit dieser Messung jedoch nicht erfasst. Die Korrelation ist folglich zur Klärung der vorliegenden Fragestellung ungeeignet.

- Zwischen vorhandenen Klima- und Emissionsmessungen und der Beschlagsgefahr kann kein hinreichend guter Zusammenhang gefunden werden. Eine indirekte Erfassung der Beschlagsgefahr ist deshalb nicht möglich.

Die indirekte Erfassung der Beschlagsgefahr, mit bereits vorhandenen Messgeräten, ist nicht möglich.

6 Massnahmen

6.1 Kriterien zur Beurteilung der Massnahmen

Die Massnahmen werden in Anlehnung an den Schlussbericht der Tunnel Task Force [7] nach folgenden Kriterien geprüft:

- **Wirksamkeit:** Es wird eine Reduktion der Eintretenswahrscheinlichkeit eines Unfalls auf Grund beschlagener Scheiben angestrebt. Die Wirksamkeit einer Massnahme wird mit zwei verschiedenen Kriterien beurteilt: Sowohl durch eine verbesserte Reaktion des Tunnelbenutzers, wie auch durch eine Verminderung des Auftretens beschlagener Scheiben, wird die Sicherheit erhöht.
- **Kosten:** Die Wirtschaftlichkeit einer Massnahme wird beurteilt. Neben den Investitionskosten müssen auch die Betriebs- und Unterhaltskosten berücksichtigt werden.
- **Umsetzbarkeit:** Kurzfristig umsetzbare Massnahmen werden bevorzugt. Es wird der Zeitbedarf und die Erfolgchance des gesetzgeberischen Prozesses beurteilt. Sind bereits rechtliche Grundlagen vorhanden, so ist die Umsetzbarkeit einer Massnahme erhöht. Zusätzlich wird der Zeitbedarf zur effektiven Umsetzung der Massnahme bei gegebener Rechtsgrundlage bewertet.
- **Durchsetzbarkeit:** Es wird beurteilt wie gut eine Massnahme befolgt wird. Eine gute Akzeptanz in der Bevölkerung und einfache Kontrollmöglichkeiten erhöhen die Wirkung einer Massnahme.
- **Technologie:** Die Verfügbarkeit und Verlässlichkeit der eingesetzten Technologie wird beurteilt.

6.2 Katalog möglicher Massnahmen

6.2.1 Schulung der Verkehrsteilnehmer

Beschlagene Scheiben stellen im Strassenverkehr ein relevantes Sicherheitsproblem dar. Um eine möglichst breite Bevölkerungsschicht auf die Problematik aufmerksam zu machen, werden folgende Massnahmen vorgeschlagen:

- Integration der Thematik „Beschlagene Scheiben bei der Einfahrt in Strassentunnels“ in den obligatorischen Verkehrskundeunterricht.
- Durchführen von Aktionen durch die Beratungsstelle für Unfallverhütung (bfu).
- Information der Bevölkerung durch Publikationen in Fachzeitschriften (z.B. TCS, ACS, VCS...) und weiteren Medien (z.B. Tageszeitungen).

Die Massnahme „Schulung der Verkehrsteilnehmer“ wird nicht näher beurteilt. Sie wird als flankierende Massnahme grundsätzlich zur Umsetzung empfohlen.

6.2.2 Statische Warntafeln

Zur Warnung der Tunnelbenutzer wird vor den Portalen des betroffenen Tunnels eine Warntafel installiert. Ein Beispiel für ein solches Schild findet sich in Abbildung 5. Ein Vorschriftensignal (Scheibenwischer ein) oder Hinweissignal (Beschlagende Scheiben bei Tunneleinfahrt) ist in der Signalisationsverordnung nicht vorgesehen. Es besteht jedoch die Möglichkeit das Schild „Andere Gefahren“ mit einer Zusatztafel („Beschlagende Scheiben“) auszurüsten (beachte juristische Stellungnahme in Anhang F).



Abbildung 5: Signal „Andere Gefahren“ mit Zusatztafel. Rechts ein Beispiel vom Tunnel Eggflue.

Diese Massnahme wird wie folgt beurteilt:

- **Wirksamkeit:** Der Tunnelbenutzer wird auf eine potentielle Gefährdung aufmerksam gemacht. dies vermindert den Überraschungseffekt und verbessert somit die Reaktion. Durch den Gewöhnungseffekt ist der Einfluss jedoch eher klein.
- **Kosten:** Es entstehen nur geringfügige Kosten bei der Installation.
- **Umsetzbarkeit:** Gemäss der Signalisationsverordnung, kann das Signal „Andere Gefahren“ mit einer Zusatztafel ausgerüstet werden⁵. Auf der Zusatztafel ist der Text „Beschlagende Scheiben“ anzubringen. Da diese Möglichkeit bereits in der geltenden Verordnung vorgesehen ist, ist die Umsetzbarkeit der Massnahme als sehr gut einzustufen.

⁵ Art. 15, Abs. 1 SSV: Das Signal «Andere Gefahren» (1.30) warnt vor Gefahren auf der Fahrbahn, für die kein besonderes Signal besteht. Die Art der Gefahr wird nötigenfalls auf beigefügter Zusatztafel ... angegeben.

- Durchsetzbarkeit: Von einer hohen Akzeptanz der Massnahme kann ausgegangen werden. Etwas weniger gut sieht es bei der Befolgung der Anweisung aus. Durch den Gewöhnungseffekt wird das Gefahrenschild wenig beachtet. Eine Überladung des Portals mit Signalen ist zu vermeiden [8]. Das Schild ist deshalb nicht direkt am Portal anzubringen.
- Technologie: Verfügbarkeit und Verlässlichkeit der eingesetzten Technologie sind sehr hoch.

Die Wirkung der Massnahme ist eher klein. Da jedoch nur geringfügige Kosten entstehen und die Umsetzung auch sehr kurzfristig erfolgen kann, werden statische Warntafeln als temporäre Massnahme und für Tunnel mit gelegentlichem Auftreten beschlagener Scheiben empfohlen.

6.2.3 Dynamische Warneinrichtungen

Die statischen Warntafeln haben den Nachteil, dass sich regelmässige Benutzer daran gewöhnen und sie nicht mehr beachten (besonders nach einer längeren Periode ohne Beschlag). Um dies zu vermeiden können die Warntafeln vor den Portalen mit Blinklichtern ausgerüstet werden. Diese warnen die Tunnelbenutzer, wenn gemäss Klimamessung Beschlagsgefahr vorhanden ist. Bei der Festlegung des Schwellenwertes soll vermieden werden, dass die Lampe zu früh anspricht und sie folglich von vielen Tunnelbenutzern nicht mehr wahrgenommen wird (Gewöhnungseffekt), andererseits darf die Lampe auch nicht zu spät ansprechen (Beschlag bei ausgeschalteter Warnlampe).

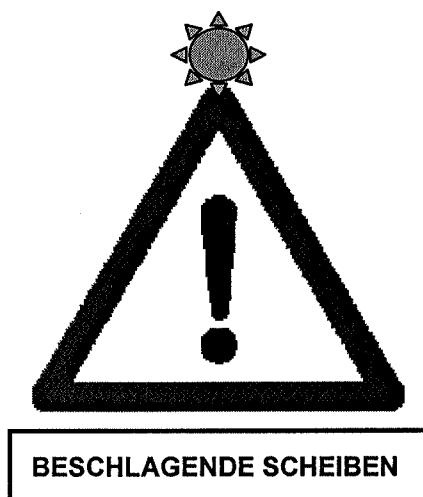


Abbildung 6: Beispiel für eine dynamische Warneinrichtung

Als Einschaltwert wird eine Übersättigung von 1.0 g/m^3 empfohlen. Temperatur- und Feuchtefühler sind gemäss Anhang D anzubringen. Erfolgt keine Installation einer Taupunktsteuerung, so können die Messstellen in Tunnelmitte weggelassen werden.

Die Massnahme wird wie folgt beurteilt:

- **Wirksamkeit:** Der Tunnelbenutzer wird auf eine potentielle Gefährdung aufmerksam gemacht. Dies vermindert den Überraschungseffekt und verbessert somit die Reaktion. Der Gewöhnungseffekt ist bei guter Wahl des Einschaltwertes gering.
- **Kosten:** Durch die Installation der Messgeräte und einer entsprechenden Steuerung entstehen Kosten in mittlerer Höhe. Die Kosten für den Unterhalt sind klein.
- **Umsetzbarkeit:** Das Anbringen eines allgemeinen Gefahrensignals ist gemäss Kapitel 6.2.2 in der Signalisationsverordnung vorgesehen. Zusätzlich kann gelbes Blinklicht bei Auftreten besonderer Gefahren eingesetzt werden⁶. Trotzdem wird empfohlen, vor der Umsetzung dieser Massnahme generell für alle Tunnel die Haftungsfrage, bei einem Unfall mit ausgeschalteter Warnlampe, zu klären (vgl. Anhang F). Die Umsetzbarkeit der Massnahme wird als gut eingestuft.
- **Durchsetzbarkeit:** Da nicht bei allen Fahrzeugen Beschlag auftritt, wenn die Warneinrichtung aktiviert ist, ist vom einer mittleren Akzeptanz der Massnahme auszugehen. Die Befolgung der Anweisung ist durch das Ausbleiben des Gewöhnungseffektes jedoch gut. Eine Überladung des Portals mit Signalen ist zu vermeiden [8]. Das Schild ist deshalb nicht direkt am Portal anzubringen.
- **Technologie:** Wie die Erfahrungen im Tunnel Leissigen zeigen, sind Verfügbarkeit und Verlässlichkeit der Messeinrichtung sehr hoch.

Die Installation einer dynamischen Warneinrichtung hat durch das Ausbleiben des Gewöhnungseffektes eine gute Wirksamkeit. Da beschlagene Scheiben weiterhin auftreten und mit der Installation von Messgeräten und Steuerung nicht unerhebliche Kosten anfallen, wird die Massnahme nur zur Ausführung empfohlen, falls keine Taupunktlüftung installiert werden kann.

6.2.4 Statische Geschwindigkeitsreduktion

Als zusätzliche Sicherheitsmassnahme kann eine Geschwindigkeitsreduktion (z.B. von 80 km/h auf 60 km/h) angeordnet werden.

Die Massnahme wird wie folgt beurteilt:

- **Wirksamkeit:** Durch die Geschwindigkeitsreduktion wird die zur Verfügung stehende Reaktionszeit erhöht und die Geschwindigkeit der Beschlagsbildung verringert. Die Eintretenswahrscheinlichkeit eines Unfalls kann somit gesenkt werden. Zudem ist durch die Geschwindigkeitsreduktion bei einem Unfall ein geringeres Schadenausmass zu erwarten.
- **Kosten:** Es entstehen nur geringfügige Kosten bei der Installation.

⁶ Art. 68, Abs. 6 SSV: Gelbes Blinklicht mahnt den Führer zu besonderer Vorsicht. Gemäss Art. 70 Abs. 1, lit. f. ist gelbes Blinklicht „am Rand von Autobahnen bei Unfällen, Verkehrsstockungen, Nebel, Glatteis und ähnlichen Gefahren“ zulässig.

- **Umsetzbarkeit:** Die allgemeine Höchstgeschwindigkeit darf reduziert werden, falls eine Gefahr nur schwer oder nicht rechtzeitig erkennbar, und nicht anders zu beheben ist⁷. Da die Gefahr auch durch eine andere Massnahmen (Taupunktlüftung) behoben werden kann, ist die Umsetzbarkeit nicht gesichert. Bei einer generellen (statischen) Geschwindigkeitsreduktion ist die geforderte Verhältnismässigkeit⁸ nicht gegeben.
- **Durchsetzbarkeit:** Geschwindigkeitsbegrenzungen sind generell unpopuläre Massnahmen. Falls die Vorschrift schlecht eingehalten wird, sind Kontrollen anzuordnen. Die Befolgung der Anweisung ist in Gegenverkehrstunneln (eine Fahrspur ohne Überholmöglichkeit) sehr gut. Da bei Tunnelportalen immer Geschwindigkeitsvorschriften angebracht sind, bleibt die Signaldichte im Portalbereich unverändert.
- **Technologie:** Verfügbarkeit und Verlässlichkeit der eingesetzten Technologie sind sehr hoch.

Trotz geringer Kosten und einer guten Wirksamkeit der Geschwindigkeitsreduktion, wird die Umsetzung nur als temporäre Massnahme empfohlen. Angesichts der Tatsache, dass in einem Tunnel mit regelmässigem Auftreten beschlagener Scheiben nur ca. 6% der Durchfahrten von Beschlag betroffen sind, ist die permanente Reduktion der Geschwindigkeit für alle Durchfahrten unverhältnismässig.

6.2.5 Dynamische Geschwindigkeitsreduktion mittels Lichtsignalanlage

Ab einer bestimmten Übersättigung wird die bestehende Lichtsignalanlage des Tunnels auf „Gelbblinken“ geschaltet. Gleichzeitig wird eine reduzierte Geschwindigkeit signalisiert (Wechselsignale). Als Einschaltwert wird eine Übersättigung von 1.0 g/m^3 empfohlen. Temperatur- und Feuchtefühler sind gemäss Anhang D anzubringen. Erfolgt keine Installation einer Taupunktsteuerung, so können die Messstellen in Tunnelmitte weggelassen werden.

Die Massnahme wird wie folgt beurteilt:

- **Wirksamkeit:** Der Tunnelbenutzer wird auf eine potentielle Gefährdung aufmerksam gemacht. Dies vermindert den Überraschungseffekt und verbessert somit die Reaktion. Durch die Geschwindigkeitsreduktion wird zusätzlich die zur Verfügung stehende Reaktionszeit erhöht und die Beschlagsbildung verringert. Der Gewöhnungseffekt ist bei einer guten Wahl des Einschaltwertes klein. Die meisten Autofahrer rechnen jedoch mit Hindernissen auf der Fahrbahn; der direkte Bezug zur Bildung beschlagener Scheiben ist nicht vorhanden.
- **Kosten:** Durch die Installation der Messgeräte und einer entsprechenden Steuerung entstehen Kosten in mittlerer Höhe. Die Kosten für Betrieb und Unterhalt sind klein.

⁷ Art. 108, Abs. 2 SSV: Die allgemeinen Höchstgeschwindigkeiten können herabgesetzt werden, wenn: Eine Gefahr nur schwer oder nicht rechtzeitig erkennbar und anders nicht zu beheben ist;

⁸ Art. 108, Abs. 4 SSV: Vor der Festlegung von abweichenden Höchstgeschwindigkeiten wird durch ein Gutachten (Art. 32 Abs. 4 SVG) abgeklärt, ob die Massnahme nötig (Art.108, Abs. 2 SSV), zweck- und verhältnismässig ist oder ob andere Massnahmen vorzuziehen sind.

- **Umsetzbarkeit:** Gemäss Signalisationsverordnung, kann Gelbes Blinklicht bei Auftreten besonderer Gefahren eingesetzt werden (siehe Kapitel 6.2.3). Für die Geschwindigkeitsreduktion gelten die in Kapitel 6.2.4 aufgeführten Argumente. Da die Geschwindigkeit jedoch nur bei Beschlagsgefahr reduziert wird, bleibt die Verhältnismässigkeit gewahrt. Die Umsetzbarkeit der Massnahme ist folglich als gut einzustufen.
- **Durchsetzbarkeit:** Die Befolgung der Anweisung ist in Gegenverkehrstunneln (eine Fahrspur ohne Überholmöglichkeit) sehr gut. Da bei Tunnelportalen immer Geschwindigkeitsvorschriften angebracht sind, bleibt die Signaldichte im Portalbereich unverändert.
- **Technologie:** Wie die Erfahrung im Tunnel Leissigen zeigt, sind Verfügbarkeit und Verlässlichkeit der Messeinrichtung hoch.

Mit der Umschaltung auf Gelbblinken und gleichzeitiger Reduktion der Geschwindigkeit (Wechselsignale) steht eine Massnahme zur Verfügung, welche auf eine in vielen Tunneln bereits bestehende Infrastruktur zurückgreift. Da beschlagene Scheiben weiterhin auftreten und mit der Installation von Messgeräten und Steuerung nicht unerhebliche Kosten anfallen, wird die Massnahme nur zur Ausführung empfohlen, falls keine Taupunktlüftung installiert werden kann.

6.2.6 Taupunktlüftung

Eine Taupunktsteuerung ist nur bei Lüftungssystemen sinnvoll, bei welchen Aussenluft in die Portale einströmt (Mittenabsaugung, variable Punktabsaugung⁹, vgl. Kapitel 5.3.1). Bei einer Taupunktsteuerung ist die Tunnellüftung nach den drei Werten Sichttrübung, CO-Konzentration und Übersättigung zu regeln, wobei die Grenzwerte aller Regelgrössen gleichzeitig einzuhalten sind. In Anhang D finden sich Angaben zu Positionierung der Messgeräte, Vorgaben zur Berechnung der Regelgrösse "Übersättigung" und Hinweise zur Wahl der Regelungskriterien. Zusätzlich ist ein Beispiel zur Parametrisierung der Taupunktsteuerung dargestellt.

Die Massnahme wird wie folgt beurteilt:

- **Wirksamkeit:** Wie Untersuchungen im Tunnel Leissigen zeigen, kann das Auftreten beschlagener Scheiben durch diese Massnahme deutlich vermindert werden. Eine Verbesserung der Reaktion der Tunnelbenutzer ist nicht mehr notwendig. Die Wirksamkeit der Massnahme ist sehr gut.
- **Kosten:** Es entstehen erhöhte Kosten bei der Installation von Messeinrichtung und Steuerung. Im Betrieb entstehen Kosten durch den erhöhten Energieverbrauch.
- **Umsetzbarkeit:** Der zeitliche Bedarf zur Umsetzung ist je nach Ausgangslage unterschiedlich, in den meisten Fällen ist er eher hoch einzuschätzen. Von der rechtlichen Seite gibt es keine Einschränkungen für die Umsetzung dieser Massnahme.

⁹ Variable, abschnittsweise Längslüftung mit Punktabsaugung gemäss Kapitel 3.3.2 in [6]

- Durchsetzbarkeit: Da vom Tunnelbenutzer keine Verhaltensänderung verlangt wird, ist die Durchsetzbarkeit sehr gut.
- Technologie: Wie die Erfahrungen im Tunnel Leissigen zeigen, sind Verfügbarkeit und Verlässlichkeit der eingesetzten Technologie hoch.

Wie die Erfahrung im Tunnel Leissigen zeigt, steht mit der Taupunktlüftung eine effiziente Massnahme zur Verfügung, um das Auftreten beschlagener Scheiben deutlich zu vermindern. Der einzige negative Punkt der Massnahme sind die Investitions- und Betriebskosten. Die Planung einer Taupunktlüftung wird bei Gegenverkehrstunneln mit einer Länge > 1800 m und allen Tunneln, bei denen im Betrieb regelmässig beschlagene Scheiben auftreten, empfohlen.

7 Hilfsmittel zur Prognose

In der ersten Phase des Forschungsvorhabens wurde im Rahmen einer Befragung aller Tunnelbetreiber in der Schweiz die Rahmenbedingungen erfasst, unter welchen mit beschlagenden Scheiben bei der Tunneleinfahrt zu rechnen ist. Im Laufe der Untersuchungen konnten folgende Einflussfaktoren identifiziert werden:

- **Verkehrsführung:** Das Phänomen ist in Tunneln, welche im Gegenverkehr betrieben werden relevant. Der Gegenverkehr induziert eine häufig wechselnde Strömungsrichtung und führt somit zu einer längeren Aufenthaltszeit der Luft im Tunnel. Dadurch kann mehr Wasser aufgenommen werden.
- **Tunnellänge:** Mit einer grösseren Tunnellänge steigt auch die Wahrscheinlichkeit, dass Scheibenbeschlag auftritt. Eine grobe Beurteilung der Beschlagsgefahr kann anhand des Diagramms in Abbildung 7 vorgenommen werden.

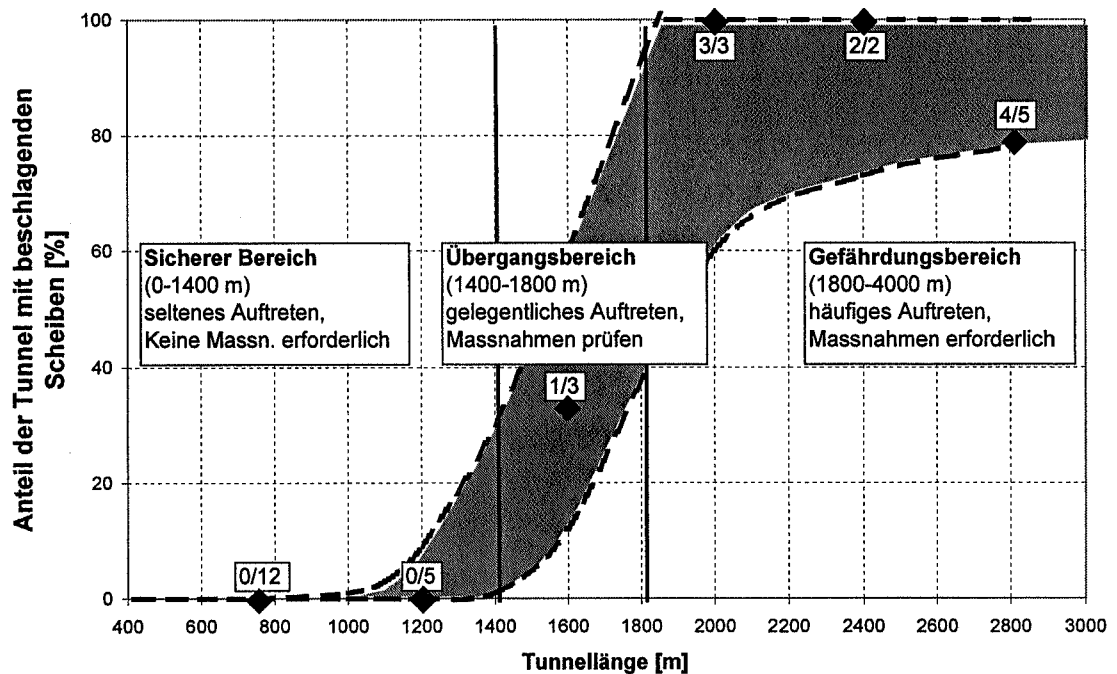


Abbildung 7: Beurteilung der Gefährdung von Gegenverkehrstunneln in Planung. Für die Auswertung wurden alle Tunnel auf Schweizer Nationalstrassen berücksichtigt, welche eine Länge von 0.5 bis 5 km aufweisen¹⁰. Die gestrichelten Linien zeigen an, wie hoch die Gefährdung eines Tunnels in Funktion seiner Länge eingeschätzt werden muss (obere und untere Grenze).

- **Verkehrsmenge:** Mit einer grösseren Verkehrsmenge steigt auch der Wassereintrag durch die Fahrzeuge an. Da Tunnels ab einer relevanten Länge normalerweise nur auf Strecken mit

¹⁰ Lesebeispiel: Der mit 1/3 beschriftete Punkt bei einer Tunnellänge von 1600 m bedeutet, dass von total 3 Tunneln, welche eine Länge von 1400 – 1800 m aufweisen, in einem Tunnel beschlagene Scheiben auftreten. Der erste Punkt (0/12) beinhaltet alle Tunnel mit einer Länge von 500 – 1000 m. Der letzte (4/5) jene mit einer Länge von 2600 – 5000 m.

entsprechendem Verkehrsaufkommen gebaut werden, konnte dieser Zusammenhang mit Hilfe der Befragungen nur bedingt untersucht werden.

- **Verkehrsaufteilung:** Eine asymmetrische Verkehrsaufteilung (z.B. starker Pendelverkehr) führt zu einer verkehrsinduzierten gerichteten Tunnelströmung. Für einen Grossteil der Tunnelbenutzer führt dies zu einer Reduktion der Beschlagsgefahr. Da in einem Gegenverkehrstunnel jedoch immer auch Fahrzeuge entgegen der Hauptfahrtrichtung den Tunnel durchqueren, bleibt die Problematik beschlagender Scheiben bestehen.
- **Steigung:** Einerseits führt ein Tunnel mit Gefälle zu einem erhöhten Treibstoffverbrauch und somit zu erhöhtem Feuchtigkeitseintrag durch Fahrzeuge, andererseits ist bei Tunneln mit grosser Steigung mit einem verstärkten natürlichen Luftaustausch durch Auftrieb zu rechnen. Im relevanten Bereich von 0.5% - 5% Tunnelsteigung heben sich die beiden Effekte gegenseitig mehr oder weniger auf, der Einfluss der Steigung kann deshalb vernachlässigt werden. Beide Effekte werden in Anhang C genauer beschrieben.
- **Höhenlage:** Die Höhenlage beeinflusst die Effizienz der Verbrennung. Bei höher gelegenen Tunneln ist deshalb mit einem erhöhten Wassereintrag durch den Verbrennungsprozess zu rechnen. Dies begünstigt die Bildung beschlagener Scheiben.

8 Eckwerte für Richtlinien

8.1 Gegenverkehrstunnel in Planung

Die Gefährdungsstufe für den Tunnel wird gemäss Kapitel 7 , Abbildung 7 festgelegt. Je nach Gefährdungsstufe werden die unten aufgeführten Massnahmen zur Ausführung empfohlen. Bei Richtungsverkehrstunneln sind keine Massnahmen erforderlich.

Sicherer Bereich: Länge < 1400 m

Es sind keine Massnahmen notwendig.

Übergangsbereich: 1400 < Tunnellänge < 1800 m

- Eine variable Punktabsaugung¹¹ (bzw. Mittenabsaugung) ist einer Halbquer- oder einer Längslüftung ohne Absaugung vorzuziehen.
- Bei Installation einer variablen Punktabsaugung sind Standorte für Messstellen gemäss Anhang D zu definieren und Vorkehrungen für eine einfache Datenübermittlung in die Tunnelzentrale zu treffen. Die Steuerung der Tunnellüftung ist so zu gestalten, dass die spätere Integration einer Taupunktsteuerung ohne grössere Schwierigkeiten ermöglicht wird.
- Wird eine Halbquer- oder Längslüftung realisiert, so sind Messstellen für die Installation einer dynamischen Geschwindigkeitsreduktion mittels Lichtsignalanlage (vgl. Kapitel 6.2.5) oder für eine dynamische Warneinrichtung (vgl. Kapitel 6.2.3) vorzusehen.

Gefährdungsbereich: 1800 m < Tunnellänge < 4000 m

- Um eine von beiden Portalen in den Tunnel gerichtete Strömung sicherzustellen, ist in den Portalbereichen eine abschnittsweise Längslüftung (z.B. Punktabsaugung über die Zwischendecke) vorzusehen. Eine Taupunktsteuerung (vgl. Anhang D) ist zu realisieren.

Lange Tunnel: Länge > 4000 m

Für die Festlegung von Massnahmen ist eine separate Abklärung erforderlich. Im Portalbereich ist eine in den Tunnel gerichtete Strömung vorzuziehen.

¹¹ gemäss Kapitel 3.3.2 in [6]

8.2 Tunnel in Betrieb

Bei Tunneln in Betrieb sind der Häufigkeit des Auftretens angepasste Massnahmen umzusetzen. Bei Gegenverkehrstunneln mit einer Länge > 1400 m sind zur Beurteilung des zeitlichen Anteils mit Beschlagsgefahr einfache Messungen durchzuführen. Genauere Angaben zu Durchführung und Auswertung der Messungen sind in Anhang E festgehalten.

Bei einem zeitlichen Anteil der Beschlagsgefahr < 1% (seltenes Auftreten) sind keine Massnahmen notwendig. Liegt die Beschlagsgefahr zwischen 1 und 4%, so sind die unter „gelegentliches Auftreten“ beschriebenen Massnahmen zu prüfen. Beträgt der zeitliche Anteil der Beschlagsgefahr mehr als 4%, so sind die Massnahmen gemäss der Kategorie „regelmässiges Auftreten“ umzusetzen.

Seltenes Auftreten beschlagener Scheiben (< 1%)

Es sind keine Massnahmen notwendig.

Gelegentliches Auftreten beschlagener Scheiben (1 - 4%)

- Bei Tunneln, in welchen beschlagene Scheiben gelegentlich auftreten, ist vor beiden Portalen eine statische Warntafel (vgl. Kapitel 6.2.2) anzubringen.

Regelmässiges Auftreten beschlagener Scheiben (> 4%)

- Wird der Tunnel mit einer Mittenabsaugung (oder einer variablen Punktabsaugung) betrieben, so ist eine Taupunktsteuerung (vgl. Anhang D) zu installieren.
- Bei den übrigen Tunneln ist zu prüfen, ob die Umstellung des Lüftungssystems auf eine Mittenabsaugung oder eine variable Punktabsaugung mit einer Anpassung der Lüftungssteuerung möglich ist. Sind keine grösseren baulichen Eingriffe notwendig, so ist eine Taupunktlüftung (vgl. Anhang D) zu installieren.
- Im Zuge einer umfassenden Sanierung der Tunnellüftung sind auch bauliche Eingriffe durchzuführen, um das Lüftungssystem auf eine variable Punktabsaugung umzustellen. Es ist eine Taupunktlüftung (vgl. Anhang D) zu installieren.
- Kann keine Taupunktlüftung installiert werden, so ist eine dynamische Geschwindigkeitsreduktion mittels Lichtsignalanlage (vgl. Kapitel 6.2.5) oder eine dynamische Warneinrichtung (vgl. Kapitel 6.2.3) anzubringen.

8.3 Temporäre Massnahmen

Für kurzfristige Überbrückungen bis zur Umsetzung der definitiven Massnahmen oder wenn ein Tunnel wegen Unterhaltsarbeiten nur kurzfristig im Gegenverkehr betrieben wird, sind folgende Massnahmen umzusetzen:

- Installation statischer Warntafeln gemäss Kapitel 6.2.2 .
- Anordnung einer Geschwindigkeitsreduktion gemäss Kapitel 6.2.4 .

9 Ausblick

In Zukunft ist auf Grund der sinkenden Schadstoffemissionen der Fahrzeuge von einer weiteren Akzentuierung der Problematik beschlagender Scheiben auszugehen (siehe Kap. 5.3.2). Soll das Phänomen mit Hilfe einer angepassten Tunnellüftung behoben werden, so ist teilweise mit erhöhten Investitionskosten (Mittenabsaugung über Stollen) und/oder erhöhten Betriebskosten (zusätzlicher Energieverbrauch durch Absaugung über Zwischendecke und höhere Anzahl Betriebsstunden der Tunnellüftung) zu rechnen.

Für die Prognose des Auftretens beschlagener Scheiben bei Tunneln, welche sich in der Planungsphase befinden, konnten mit Verkehrsführung (Gegenverkehr) und Tunnellänge zwei wichtige Einflussfaktoren identifiziert werden. Für eine gut abgestützte Festlegung des unteren Wertes für die Übergangzone (1400 m), ist die Datenbasis jedoch schwach. Durch eine Ausweitung der Erhebung der Tunnel, bei welchen beschlagene Scheiben bekannt sind, auf weitere Länder, könnte eine genauere Bestimmung der Einflussfaktoren erreicht werden.

Auf Grund der umfangreichen Messprogramme, wird in Kapitel 6 ein Katalog möglicher Massnahmen zusammengestellt. Gegebenenfalls können die einzelnen Massnahmen einer Kosten-Nutzen-Analyse unterworfen werden, um die Kostenwirksamkeit im Vergleich mit anderen Massnahmen zur Erhöhung der Tunnelsicherheit (nicht im Zusammenhang mit Scheibenbeschlag) zu verifizieren. Bei den folgenden Massnahmen sind noch offene Punkte vorhanden:

- Schulung der Verkehrsteilnehmer: Die Integration der Thematik beschlagender Scheiben in den obligatorischen Verkehrskundeunterricht wird empfohlen. Eine entsprechende Unterrichtsvorlage ist zu erstellen. Parallel dazu ist die Bevölkerung zu informieren.
- Dynamische Warneinrichtung: Vor der Umsetzung dieser Massnahme wird empfohlen, die Haftungsfrage, bei einem Unfall mit ausgeschalteter Warnlampe, zu klären. Auf Grund des in der Signalisationsverordnung enthaltenen Artikels, wonach gelbes Blinklicht am Rande von Autobahnen bei Unfällen, Verkehrsstockungen, Nebel, Glatteis und ähnlichen Gefahren zulässig ist, wird die Umsetzbarkeit dieser Massnahme jedoch als gut eingestuft (vgl. Anhang F). Durch die Installation einer dynamischen Warneinrichtung bei den Portalen des Tunnels Eggflue, könnten Erfahrungen bei der Umsetzung der Massnahme gesammelt werden.

Auf Grund der vorliegenden Erkenntnisse wurden Eckwerte für Richtlinien vorgeschlagen. Zu einem späteren Zeitpunkt wird die Integration dieser Empfehlungen in die bestehende Richtlinie „Lüftung der Strassentunnel“ angestrebt. Da beschlagene Scheiben nicht nur in der Schweiz ein Problem der Verkehrssicherheit darstellen, ist eine internationale Abstimmung der Empfehlungen wünschenswert. Um die Tragweite der Empfehlungen besser abzuschätzen, wird die Überprüfung der Auswirkung ergänzender Vorgaben auf die Tunnel in Planung, in Bau und in Betrieb empfohlen.

Es bleibt anzumerken, dass im vorliegenden Forschungsprogramm nur tunnelseitige Massnahmen untersucht wurden. Da das Phänomen das System Auto-Tunnel betrifft, sind auch fahrzeugseitige Massnahmen von grossem Interesse. Erste Kontakte mit DaimlerChrysler könnten zur weiteren Verfolgung dieses Lösungsansatzes intensiviert werden.

Gruner AG



Rudolf Bopp
Leiter Abteilung
Sicherheit/Tunnellüftung



Andreas Peter
Projektingenieur

Anhang A

Literaturverzeichnis

Literaturverzeichnis

- [1] R. Bopp, S. Haag: „Beschlagende Scheiben in Strassentunneln, Phase I, Problemerkennung“, Bericht R 200'662'000-5, 09.05.2003, Gruner AG, Basel
- [2] R. Bopp, S. Haag, A. Peter: Beschlagende Scheiben in Strassentunneln, Phase II, Systematische Untersuchung Tunnel Eggflue, Bericht R 200'662'006, 23.07.2004, Gruner AG, Basel
- [3] R. Bopp, S. Haag, A. Peter: Beschlagende Scheiben in Strassentunneln, Phase II, Systematische Untersuchung Tunnel Leissigen, Bericht R 200'662'007, 23.07.2004, Gruner AG, Basel
- [4] R. Bopp, S. Haag, A. Peter: Beschlagende Scheiben in Strassentunneln, Phase II, Systematische Untersuchung Tunnel Vue-des-Alpes / Mont-Sagne, Bericht R 200'662'008, 31.08.2004, Gruner AG, Basel
- [5] R. Bopp, S. Haag, A. Peter: Beschlagende Scheiben in Strassentunneln, Phase II, Experimentelle Untersuchung der Beschlagsbildung, Bericht R 200'662'010, 23.07.2004, Gruner AG, Basel
- [6] Bundesamt für Strassen: Richtlinie Lüftung der Strassentunnel, Systemwahl, Dimensionierung und Ausstattung, 19.12.2003 (Entwurf)
- [7] Bundesamt für Strassen: Tunnel Task Force, Schlussbericht, 23.05.2000, Ittigen bei Bern
- [8] Gerhard Eberl: Psychologische Aspekte der Tunnelsicherheit. Publiziert am 2. Internationalen Fachkongress Verkehr und Sicherheit in Strassentunneln, Hamburg, 2003

Anhang B

Unfallmeldungen

© Basler Zeitung, 26.02.2003, bea

Tunnel-Phänomen als Gerichtsfall

«Im Eggfluchtunnel gab es bei der Belüftung offensichtlich ein arges Defizit.» Zu diesem Schluss kommt Gerichtspräsident Beat Lanz in einem Zivilprozess nach einem Unfall wegen beschlagener Autoscheiben.

Laufen/Liestal. bea. «Es war, als hätte jemand ein Tuch über meine Frontscheibe geworfen», sagte der Automobilist gestern vor dem Bezirksgericht Laufen aus. Seine Autoscheibe (das war am 2. März 2002) sei kurz nach dem Befahren des Eggfluchtunnels innert Sekunden derart beschlagen gewesen, dass er die Orientierung verlor und mit dem PW auf die Gegenfahrbahn geriet. Dass er die Sicherheitslinie überfuhr, habe er in diesem Moment nicht wahrgenommen. «Ich war wie gelähmt.»

Dann habe es einen Knall gegeben: Sein linker Aussenspiegel war mit dem Spiegel eines entgegenkommenden Personenwagens kollidiert. Dessen Lenker hatte die Gefahr auf sich zukommen sehen und versucht, nach rechts auszuweichen. «Ich hatte bis zuletzt gehofft, der fehlbare Automobilist würde seinen Wagen wieder auf seine Fahrbahn lenken», gab er als Zeuge zu Protokoll. Trotz Knall sind beide weiter gefahren, der Mann im touchierten Auto bis zum Ende des Tunnels, der Mann im «Blindflug» weiter ins Tunnelinnere. Sekunden später streifte sein Wagen das nächste entgegenkommende Auto - diesmal auf der ganzen Seite. Während der betroffene Automobilist - auch er sagte als Zeuge aus - sofort bremste, fuhr der Unfallverursacher weiter.

Der dritte Automobilist, auf den er zusteuerte, war «derart perplex», dass auch er zuerst nach rechts auswich, bevor er bremste. Eine «Vollbremsung» habe er eingeleitet. Doch zu spät. Er kollidierte mit dem Vorderwagen. Der Mann, dessen Sicht getrübt war, fuhr indessen noch ein paar Meter weiter. Nachdem sowohl er als auch der Automobilist, der mit dem Vorderwagen kollidiert war, einen Strafbefehl wegen Nichtbeherrschen des Fahrzeugs erhalten und akzeptiert hatten, stritten sie sich nun vor Gericht um die Schadenersatzfrage. Während der Lenker, der auf die Gegenfahrbahn geraten war, jegliche Schuld von sich wies («es war höhere Gewalt»), verlangte der Mann, der mit seinem PW die Auffahrkollision hatte, von ihm 2500 Franken an seinen Schaden von 4700 Franken. Der Kausalzusammenhang zwischen dem Auffahrnfall und der Streifkollision sei unmittelbar, begründete Anwalt Thomas Klein. «Ganz und gar nicht», entgegnete Beat Schultheiss, Anwalt des Beklagten. «Es sind zwei voneinander losgelöste Unfälle. Der Automobilist, der zu spät bremst, muss dafür selbst die Schuld tragen.» Und dass sein Mandant seinen Wagen touchiert habe, sei nicht bewiesen.

Gerichtspräsident Beat Lanz kam zum Schluss, dass der unmittelbare Zusammenhang gegeben sei. Die Schuldkomponente des Mannes, dessen Sicht getrübt war, stufte er allerdings als geringfügig ein. «Zum Vorwurf kann man ihm nur machen, dass er die Scheibenwischer nicht betätigte.» Lanz verringerte den Forderungsbetrag deshalb auf 940 Franken. Er zeigte sich davon überzeugt, «dass im Eggfluchtunnel bei der Belüftung offensichtlich ein arges Defizit

bestand». Seither habe sich im Tunnel wohl etwas geändert. Das Phänomen der beschlagenen Scheiben würde nicht mehr so oft auftreten.

In der Tat ist die Ventilationseinstellung verändert worden, wie Christian Scholer, Strasseninspektor des Kantons Basel-Landschaft, gegenüber der BaZ einräumt. «Allerdings marginal.» Als Sofortmassnahmen seien ein Warnsignal aufgestellt und die Tempolimit reduziert worden. Parallel dazu sei unter der Federführung des Bundesamts für Strassen ein Forschungsprojekt lanciert worden. Von den Resultaten erhoffe man sich Daten zur Optimierung von Tunnelsteuerungen, erklärt Scholer, der als Vertreter des Kantons Basel-Landschaft mitwirkt. Forschungsstelle sei ein privates Ingenieurbüro. Das Phänomen der beschlagenen Scheiben «innert Sekundenfrist» trete in 20 Tunnels der Schweiz auf. Den Kanton Basel-Landschaft deswegen zu verklagen, hatte der Automobilist nach seiner Streifkollision im Eggfluchtunnel in Erwägung gezogen, doch wieder fallen lassen. «Zum einen aus Kostengründen, zum anderen ist es schwierig, gegen den Kanton vorzugehen», begründete er.

© Bündner Tagblatt; 18.11.2003

Vier Fahrzeuge in Unfall im Tunnel verwickelt

Vier Fahrzeuge sind am gestern Morgen in einen Verkehrsunfall im Tunnel in Trin verwickelt worden. Verletzt wurde niemand. Der Sachschaden ist laut Polizeiangaben erheblich. Ein von Chur Richtung Flims fahrender Autolenker geriet über die Fahrbahnmittlinie hinaus, weil sich die Frontscheibe bei der Einfahrt in den Tunnel beschlagen hatte. Er kollidierte seitlich mit einem Lastwagen, riss einem nachfolgenden PW den linken Seitenspiegel ab und stiess danach seitlich gegen einen Jeep, der stark beschädigt wurde. Für die Bestandaufnahme des Unfalls und die Räumungsarbeiten musste der Tunnel für rund eineinhalb Stunden gesperrt werden. (sda)

© Die Südostschweiz; 16.07.2003

Mehr Sicherheit im Isla-Bella-Tunnel

Nach den schweren Verkehrsunfällen im Isla-Bella-Tunnel auf der A13 wollen das kantonale Tiefbauamt und die Kantonspolizei handeln. Mit dem Einbau von Reflektoren auf der Mittellinie soll der Tunnel für die Automobilisten etwas sicherer gemacht werden.

• VON DARIO MORANDI

Gemäss einer Statistik der Kantonspolizei Graubünden haben sich in den letzten vierinhalb Jahren im Isla-Bella-Tunnel auf der A13 zwischen Reichenau und Röttenbrunnen 20 Verkehrsunfälle ereignet. Dabei wurden 20 Personen zum Teil schwer verletzt. Todesopfer sind in dieser Zeitspanne zwei zu beklagen, das letzte bei einer Frontalkollision am vergangenen Wochenende.

Angelaufene Scheiben

Als primäre Unfallursachen gelten, wie Feldweibel René Ambüss von der Kantonspolizei Graubünden auf Anfrage erklärt, Schwächeanfänge, Übermüdung und zu dichtes Aufschliessen im Tunnel. Unfälle sind ferner auf schlechte Sichtbedingungen unter anderem wegen angelaufener Windschutzscheiben zurückzuführen. Letzteres stellt sich meist im Winter ein, wenn ein hoher Temperaturunterschied zwischen der Luft im Tunnelinnern und der Aussenluft besteht.

Wechsel auf zwei Spuren

Mitverantwortlich für schwere Unfälle dürfte aber auch der Wechsel von den vier Spuren der Autobahn auf die zwei Spuren im Tunnel sein, wie Heinz Dicht, der Oberingenieur des kantonalen Tiefbauamtes, auf Anfrage ausführt. Ist der Isla-Bella-Tunnel somit eine latente Gefahrenquelle? Dicht verneint. Er muss aber gleichzeitig

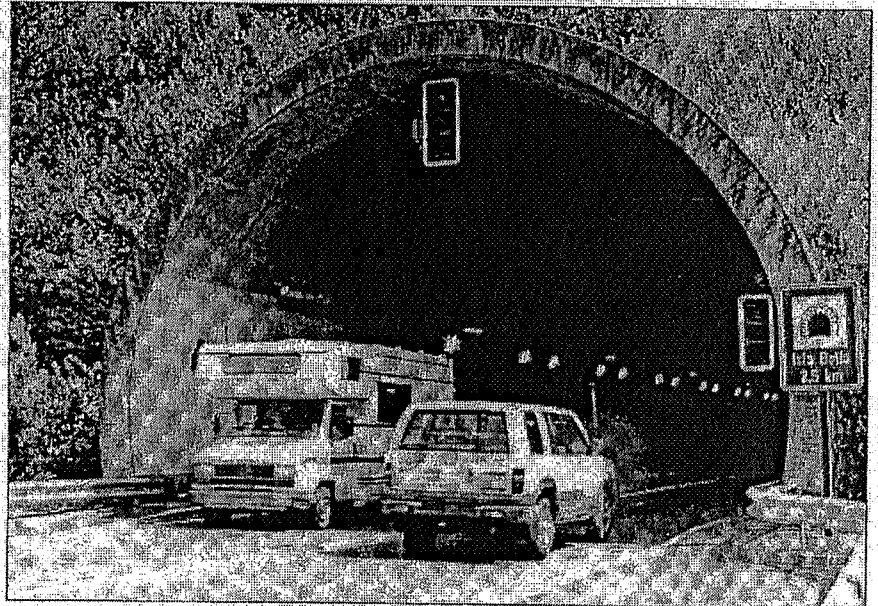
eingestehen, dass die 1963 eröffnete Röhre nicht mehr ganz so tauffrisch ist. Die Probleme mit den beschlagenen Scheiben und mit den nicht eben optimalen Sichtverhältnissen sind im Tiefbauamt zwar erkannt worden. Dabei wird es vorerst aber auch bleiben. Denn für eine Sanierung bzw. Modernisierung der Lüftungs- und Lichtanlage fehlt momentan das Geld. Und für den Bau einer Leitplanke auf der Mittellinie sei der Tunnel viel zu eng. Dennoch soll etwas getan werden, um den Isla-Bella-Tunnel für die Automobilisten und Automobilisten sicherer zu machen. Und zwar mittels der Installation von Reflektoren auf der Mittellinie, ähnlich wie im Crapfeig-Tunnel zwischen Thusis und Illegallen. Diese Massnahme sei angesichts der schweren Unfälle in der Vergangenheit bereits vor der Frontalkollision von Wochenende in Betracht gezogen worden, erklärt Dicht.

Fahrzeug nach rechts lenken
Das Funktionsprinzip der Reflektoren ist einfach: Werden die reflektierenden «Tügel» aus Unachtsamkeit überfahren, hört der betreffende Automobilist ein Rumpeln. Und dieses Geräusch sollte ihn dazu veranlassen, sein Fahrzeug rechtzeitig von der

Gefahrenzone nach rechts wegzulenken.

Keine Häufung der Tunnelunfälle feststellbar

Mit Blick auf die 20 Unfälle, die sich innerhalb von vierinhalb Jahren im Isla-Bella-Tunnel ereignet haben, wollen aber weder Dicht noch Ambüss von einer Häufung der Tunnelunfälle sprechen. Zwar sei jeder Verkehrsunfall einzeln zu viel. Im Vergleich mit den Unfallzahlen auf dem übrigen Strassennetz sei das aber nicht übermässig viele, gibt Ambüss in diesem Zusammenhang zu bedenken.



Gefahrenquelle etwas entschärfen: Im Isla-Bella-Tunnel werden zwecks Vermeidung von Frontalkollisionen Reflektoren im Mittelstreifen eingebaut.

Del. Silvio Mucchi

Anhang C

Analyse der Einflussgrösse Tunnelsteigung

Effekt der Steigung auf den Wassereintrag der Fahrzeuge

Es wurde abgeschätzt, welchen Einfluss die Tunnelsteigung auf die Wassermenge hat, die durch die Fahrzeuge eingetragen wird. Dabei wurde angenommen, dass sich die Wassermenge, die bei der Verbrennung entsteht, proportional zur CO-Emission verhält. Der Proportionalitätsfaktor wurde aus einem Vergleich der CO-Basisemissionswerte (siehe Entwurf ASTRA Richtlinie Lüftung der Strassentunnel [6]) ermittelt.

In Tabelle 1 sind die Faktoren dargestellt, um die sich die CO-Basisemissionswerte von Benzin- und Diesel-Personenwägen (PW Benzin, PW Diesel) und von Lastwägen (LW) bei Bergauf- oder Bergabfahrt im Vergleich zur Fahrt in einem ebenen Tunnel ändern. Die Tunnelsteigung beträgt 5 %.

Tabelle 1: Zunahmefaktoren der CO- Basisemissionswerte bei Bergauf- und Bergabfahrt im Vergleich zum ebenen Tunnel

Tunnelst. [%]	PW Benzin		PW Diesel		LW	
	bergab	bergauf	bergab	bergauf	bergab	bergauf
0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
0.0625	0.99	1.08	1.00	1.00	0.99	1.02
0.125	0.98	1.16	0.99	1.01	0.99	1.03
0.25	0.97	1.32	0.99	1.01	0.98	1.06
0.5	0.95	1.65	0.98	1.03	0.96	1.12
1.0	0.90	2.3	0.95	1.05	0.92	1.24
1.5	0.85	1.95	0.93	1.08	0.88	1.36
2.0	0.80	3.60	0.90	1.10	0.84	1.48
2.5	0.75	4.31	0.90	1.20	0.82	1.53
3.0	0.70	4.02	0.90	1.30	0.81	1.58
3.5	0.65	5.73	0.90	1.40	0.79	1.63
4.0	0.60	6.44	0.90	1.50	0.77	1.68
4.5	0.56	7.16	0.90	1.68	0.72	1.75
5.0	0.52	7.88	0.90	1.85	0.66	1.82

Tabelle 1 zeigt, dass der Wassereintrag durch Fahrzeuge in einem Tunnel mit Steigung zum Teil deutlich grösser ist als in einem ebenen Tunnel. So entsteht bei den PW mit Benzinmotor ca. achtmal soviel Wasser bei der Bergfahrt wie bei der Fahrt durch einen ebenen Tunnel.

Effekt der Steigung auf den Auftrieb

Anhand von 1D-Simulationsrechnungen wurde abgeschätzt, welche Auswirkungen eine pendelnde Luftsäule im Tunnel auf den Feuchtegehalt der Luft hat. Pendelt die Luft im Tunnel,

z.B. aufgrund des wechselnden Verkehrs, so ist ein ausreichender Luftwechsel nicht gewährleistet.

Als Modelltunnel wurde der Tunnel Eggflue gewählt. Die durch den Verkehr induzierte, wechselnde Strömung im Tunnel beträgt ca. 1 m/s. Die Intervalldauer für die Strömungsumkehr beträgt 30 min. Die Tunneltemperatur betrug zu Beginn 12°C bei einer relativen Feuchte von 50%. Die Temperatur der einströmenden Luft beträgt ca. -3°C bei einer relativen Feuchte von 94% (Messwerte Tunnel Eggflue).

Anschliessend wurde der Parameter Tunnelsteigung (Tst.) variiert, um dessen Einfluss auf den Feuchtegehalt abzuschätzen. In Abbildung 1 sind die Ergebnisse dargestellt.

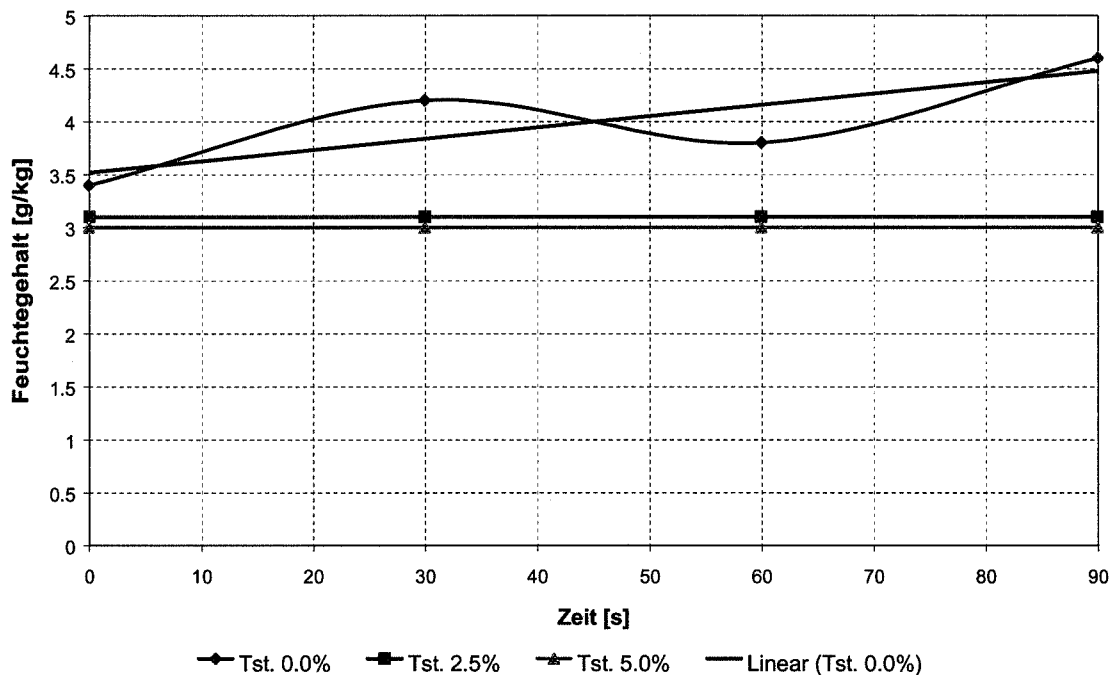


Abbildung 1: Zeitlicher Verlauf des Feuchtegehaltes der Tunnelluft in der Tunnelmitte bei unterschiedlicher Tunnelsteigung

Im ebenen Tunnel (Tst. = 0%) kann ein Anstieg des Feuchtegehaltes aufgrund der pendelnden Luftsäule festgestellt werden (vgl. Abbildung 1). Verändert man die Tunnelsteigung, so stellt sich eine natürliche Auftriebsströmung ein. Ein Aufschaukeln des Feuchtegehaltes der Luft im Tunnel kann dann nicht mehr festgestellt werden. Ein ausreichender Luftwechsel ist vorhanden.

Überlagerung der Steigungseffekte

Wie dargestellt hat die Tunnelsteigung einen Einfluss auf den Wassereintrag durch die Fahrzeuge und den natürlichen Luftwechsel. Im Folgenden wurde die Überlagerung dieser Steigungseffekte untersucht.

Als Modelltunnel diente wiederum der Tunnel Eggflue. In einem ersten Schritt wurde für unterschiedliche Tunnelsteigungen die Strömung berechnet, die sich bei einer mittleren Temperaturdifferenz von Tunnelinnen- zu Tunnelaußentemperatur von 5°C (Jahresmittelwert) einstellt. Die Auftriebsberechnungen wurden gemäss des Entwurfs der ASTRA Richtlinie zur Lüftung der Strassentunnel [6] durchgeführt.

Der Wassereintrag durch Fahrzeuge wurde gemäss der oben dargestellten Beziehungen abgeschätzt. Der MSV wurde mit 1100 Fz/h bei einem LKW-Anteil von 8% veranschlagt (typ. Werte Tunnel Eggflue). Der Dieselanteil an den PW beträgt 13%, die Richtungsaufteilung wurde zur Vermeidung einer verkehrsinduzierten Strömung zu 50 : 50 angenommen.

Berechnet man aus diesen Daten und bei einer relativen Luftfeuchte der Aussenluft von 94% die absolute Feuchte im Tunnel, ergibt sich die in Abbildung 2 dargestellte Beziehung.

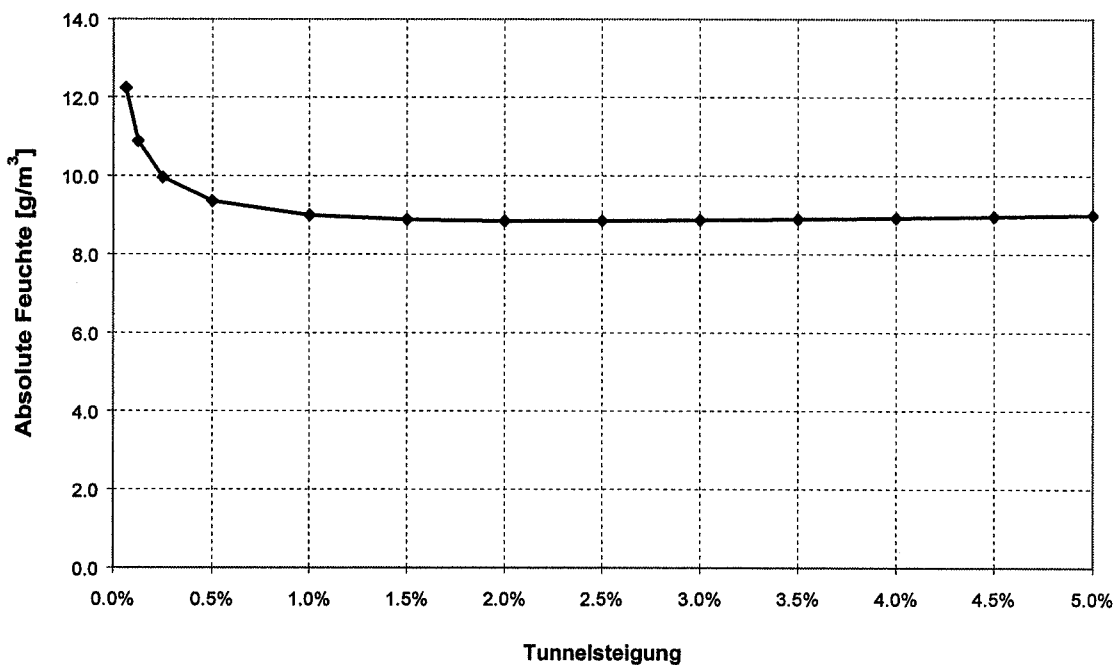


Abbildung 2: Absolute Feuchte im Tunnel unter Berücksichtigung der Tunnelsteigung und der davon abhängigen Grössen Auftriebsströmung und Wassereintrag durch Fahrzeuge

Der für die Betrachtung relevante Abschnitt liegt im Bereich von 0.5% – 5.0% Tunnelsteigung (minimaler unterer Grenzwert und maximaler oberer Richtwert SIA 198/2). In diesem Bereich verläuft die Kurve relativ flach. Der erhöhte Wassereintrag durch die Bergfahrt der Fahrzeuge wird durch den erhöhten Luftwechsel aufgrund des natürlichen Auftriebs kompensiert.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Tunnelsteigung für das Auftreten von Scheibenbeschlag nicht massgebend ist.

Anhang D

Taupunktöffnung

1 Taupunktlüftung

1.1 Lüftungssystem

Eine Taupunktsteuerung ist nur bei Lüftungssystemen sinnvoll, bei welchen Aussenluft in die Portale einströmt (Mittenabsaugung, variable Punktabsaugung¹, abschnittsweise Längslüftung). Bei einer variablen Punktabsaugung ist der Absaugeort so zu wählen, dass eine möglichst symmetrische Zuströmung von beiden Seiten erzielt wird. Der optimale Absaugeort kann variabel festgelegt werden (mittels Strömungsmessung im Tunnel).

1.2 Taupunktsteuerung

Bei einer Taupunktsteuerung ist die Tunnellüftung nach den drei Werten Sichttrübung, CO-Konzentration und Übersättigung zu regeln, wobei die Grenzwerte aller Regelgrössen gleichzeitig einzuhalten sind. Die Übersättigung ist ein Mass für die Beschlagsgefahr und wird wie folgt berechnet:

Übersättigung (ΔF): Differenz zwischen absoluter Feuchte im Tunnel und der maximal möglichen Feuchte bei Abkühlung der Tunnelluft auf Aussentemperatur. Die Abkühlung der Tunnelluft führt zu einer Übersättigung der Luft mit Wasserdampf und somit zu Beschlagsbildung auf den Fahrzeugscheiben.

Die Übersättigung errechnet sich aus den beiden Messwerten Temperatur (T) und relative Feuchte (φ) wie folgt:

$$\Delta F = f_{\text{TUNNEL}} - f_{\text{MAX,AUSSEN}} \quad f_{\text{TUNNEL}} = \frac{10 \cdot \varphi \cdot P_s(T_{\text{TUNNEL}})}{R_D \cdot (T_{\text{TUNNEL}} + 273.15)}$$
$$f_{\text{MAX,AUSSEN}} = \frac{1000 \cdot P_s(T_{\text{AUSSEN}})}{R_D \cdot (T_{\text{AUSSEN}} + 273.15)}$$

T =	Temperatur	[°C]
φ =	relative Feuchte im Tunnel	[%]
R_D =	spezifische Gaskonstante	[J/kgK] = 461.5
$P_s(T)$ =	Sättigungsdampfdruck	[Pa]
f =	absolute Feuchte	[g/m ³]
ΔF =	Übersättigung	[g/m ³]

¹ Variable, abschnittsweise Längslüftung mit Punktabsaugung gemäss Kapitel 3.3.2 in der Richtlinie „Lüftung der Strassentunnel“ (Bundesamt für Strassen, Entwurf, 19.12.2003)

Der Sättigungsdampfdruck kann in einer Annäherung mit der Magnusformel berechnet werden:

$$P_s(T) = 610.7 \cdot 10^{\frac{a \cdot T}{b+T}}$$

wobei: $a = 7.5$, $b = 235.0$ falls $T \geq 0^\circ\text{C}$

$a = 7.6$, $b = 240.7$ falls $T < 0^\circ\text{C}$

1.2.1 Messgeräte

Für die Erfassung der Temperatur ausserhalb des Tunnels sind entsprechende Messgeräte vor jedem Tunnelportal zu installieren. Mit einem genügenden Abstand vom jeweiligen Portal ist sicherzustellen, dass die Temperaturmessung nicht durch abströmende Tunnelluft beeinflusst wird. Wird die Messstelle am Rande der Fahrbahn eingerichtet, so wird ein Abstand von mindestens 100 m zum Tunnelportal empfohlen.

Die absolute Feuchte kann über die gleichzeitige Messung von Temperatur und relativer Luftfeuchtigkeit bestimmt werden. Entsprechende Geräte, die beide Grössen simultan messen, sind auf dem Markt erhältlich. Bei einer Mittenabsaugung empfehlen wir eine Installation der Messgeräte im Tunnel jeweils 150 bis 200 m vom Portal entfernt und auf beiden Seiten der Absaugstelle (Tunnelmitte) auf einer Höhe von ca. 3 m. Bei einer variablen Punktabsaugung sind die Messstellen ebenfalls jeweils 150 bis 200 m vom Portal entfernt und dazwischen alle ca. 500 m vorzusehen.

Für den Abstand der Messgeräte im Tunnel ist der Gradient der Feuchtigkeit der Tunnelluft bestimmend. Da gemäss Auswertung der Tunnelmessungen entlang der Strömungsrichtung immer mit einer monoton steigenden Taupunkttemperatur zu rechnen ist, wird bei einem vorgängig definierten Absaugeort (Mittenabsaugung), mit Messgeräten auf beiden Seiten der Absaugstelle die maximale Feuchtigkeit erfasst. Wird die Absaugstelle variabel festgelegt (variable Punktabsaugung), so sind die Messgeräte analog den Messstellen für die Sichttrübungsmessung im Abstand von ca. 500 m zu installieren.

Zusammenfassend werden folgende Messwerte benötigt:

- 2 x Temperatur ausserhalb des Tunnels
- 2 x Temperatur und relative Feuchte im Tunnel (150 bis 200 m vom Portal entfernt)

Zusätzlich je nach Lüftungssystem:

- Mittenabsaugung: 2 x Temperatur und relative Feuchte im Tunnel (Messung auf beiden Seiten des Absaugeortes)
- Variable Punktabsaugung: Temperatur und relative Feuchte im Tunnel im Abstand von ca. 500 m

Die Messgeräte haben folgende Anforderungen zu erfüllen:

- Messbereich: Temperatur -20°C bis +40°C, relative Feuchte 0% bis 100%
- Messgenauigkeit: Temperatur +/-1°C, relative Feuchte +/-1%
- Bei den Geräten im Tunnel ist ein Spritzwasserschutz anzubringen. Der überdurchschnittlichen Verschmutzung und dem aggressiven Tunnelklima sind Rechnung zu tragen².
- Die Geräte ausserhalb des Tunnels sind gemäss den Standards der WMO³ zu installieren.
- Der Aufwand für Unterhalt der Messgeräte im Betrieb soll sich auf ein Minimum beschränken.

1.2.2 Regelungskriterien

Bei einer Übersättigung grösser 0 g/m³ kann Beschlag theoretisch auftreten. Es ist jedoch erst nach Überschreiten eines gewissen Schwellenwertes mit einer starken Bildung von beschlagenen Scheiben zu rechnen. Als Regelungskriterien werden Ein-, Hoch-, Rück-, und Ausschaltkriterien festgelegt.

Die Schwellenwerte sind für alle Messstellen getrennt festzulegen. Startwerte sind für Tunnel mit Mittenabsaugung bis zu einer Länge von maximal 3 km in Kapitel 2 dargestellt. Um eine zweckmässige Funktionsweise der Taupunktsteuerung sicherzustellen, ist eine Optimierung der Parameter im Betrieb erforderlich.

Die Einschaltstufe ist so zu wählen, dass an beiden Portalen eine in den Tunnel gerichtete Strömung von ca. 0.5 m/s erreicht wird (symmetrische Anströmung). Gemäss Untersuchungen im Tunnel Eggflue kann ab dieser Strömungsgeschwindigkeit die Bildung von Beschlag wirksam verhindert werden. Für die Änderung der Lüftungsstufe bei Überschreiten der Hochschaltkriterien, resp. dem Unterschreiten der Rückschaltkriterien sind in Kapitel 2 Richtgrössen aufgeführt. Die Festlegung der Volumenströme muss jedoch für jeden Tunnel individuell in Abhängigkeit der Tunnellänge (Zeitkonstanten) erfolgen.

² Im Tunneleinsatz haben sich folgende Messgeräte bewährt: VAISALA HMP 231 der Firma Kelag und Thygan VTP6 der Firma Meteolabor AG

³ Word Meteorological Organization: Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation, Geneva, 1996

2 Beispiel Parametrisierung der Taupunktsteuerung

Beispiel für einen Tunnel mit Mittenabsaugung und einer Länge von maximal 3 km

2.1 Regelungskriterien

Der Volumenstrom der Tunnellüftung ist so festzulegen, dass die erforderliche Strömungsgeschwindigkeit in beiden Portalen eingehalten wird.

Das **Einschaltkriterium** $\Delta F_{\text{EINSCHALT}}$ wird für jede Messstelle separat festgelegt. Die Lüftungsstufe, welche beim Erreichen des Einschaltkriteriums an einer Messstelle eingestellt wird, ist so zu wählen, dass die in den Tunnel gerichtete Strömung bei jedem Portal mindestens 0.5 m/s beträgt.

Steigt die Übersättigung nach Einschalten der Tunnellüftung über den als **Hochschaltkriterium** $\Delta F_{\text{HOCHSCHALT}}$ festgelegten Wert, so wird die Lüftung so weit verstärkt, bis die Strömungsgeschwindigkeit an beiden Portalen um 0.5 m/s zugenommen hat. Durch die starke Erhöhung werden auftretende Spitzen rasch behoben.

Sinkt die Übersättigung nach Einschalten der Tunnellüftung unter den als **Rückschaltkriterium** $\Delta F_{\text{RÜCKSCHALT}}$ festgelegten Wert, so wird die Lüftung so weit gesenkt, bis die Strömungsgeschwindigkeit an beiden Portalen um 0.25 m/s abgenommen hat. Das langsame Zurückfahren der Tunnellüftung sorgt für stabile Strömungsverhältnisse und verhindert ein rasches Hoch- und Rückschalten der Ventilatoren.

Erst wenn die Übersättigung an allen drei Messstellen unter den als **Ausschaltkriterium** $\Delta F_{\text{AUSSCHALT}}$ definierten Wert gesunken ist, wird die Lüftung ausgeschaltet.

2.2 Schwellenwerte / Parametrisierung

Um eine zweckmässige Funktionsweise der Taupunktbelüftung sicherzustellen, ist eine Optimierung der Parameter im Betrieb erforderlich. In Tabelle 1 sind für die verschiedenen Regelungskriterien Richtwerte zusammengestellt. Es handelt sich dabei um Startwerte, welche im Betrieb überprüft und angepasst werden müssen.

Tabelle 1: Startwerte zur Parametrisierung der Taupunktbelüftung

Messstelle	$\Delta F_{\text{EINSCHALT}}$	$\Delta F_{\text{HOCHSCHALT}}$	$\Delta F_{\text{RÜCKSCHALT}}$	$\Delta F_{\text{AUSSCHALT}}$
1	1 g/m ³	2 g/m ³	1 g/m ³	-1 g/m ³
2 (Tunnelmitte)	2 g/m ³	3 g/m ³	2 g/m ³	0 g/m ³
3 (Tunnelmitte)	2 g/m ³	3 g/m ³	2 g/m ³	0 g/m ³
4	1 g/m ³	2 g/m ³	1 g/m ³	-1 g/m ³

Bei der Optimierung der Parameterwerte ist auf ein Verhindern von schlagartiger Bildung beschlagener Scheiben bei gleichzeitiger Minimierung des Energieverbrauchs zu achten. Die Werte an den Messstellen 1 und 4 bewirken eine rechtzeitige Reaktion der Tunnellüftung auf Situationen mit akuter Beschlagsgefahr. Die Werte an der Messstelle 2 und 3 sorgen für eine längerfristige Behebung des Problems und verhindern somit das wiederholte, kurzzeitige Anspringen und Abschalten der Tunnellüftung. Im Einzelfall sind bei der Optimierung jedoch auch die Ein-, Hoch- und Rückschaltstufen in die Betrachtungen einzubeziehen.

Anhang E

Messung zur Beurteilung der Beschlagsgefahr

Zur Beurteilung der Beschlagsgefahr ist an einem Portal ein einfaches Messsystem zur Erfassung folgender Grössen zu installieren:

- Relative Feuchte und Temperatur Im Tunnel (150 bis 200 m vom Portal entfernt)
- Temperatur ausserhalb des Tunnels (ca. 100 m vom Portal entfernt)

Bei allen drei Messgrössen sind die 15-Minuten-Mittelwerte aufzuzeichnen. Die Übersättigung wird gemäss den Angaben in Anhang D bestimmt. Ist die Übersättigung $> 1.5 \text{ g/m}^3$, so ist Beschlagsgefahr vorhanden. Der zeitliche Anteil der Beschlagsgefahr [%] wird bestimmt, indem die Anzahl der 15-Minuten-Mittelwerte mit Übersättigung $> 1.5 \text{ g/m}^3$ durch die Anzahl der 15-Minuten-Mittelwerte der gesamten Betrachtungsperiode dividiert werden.

$$\text{Beschlagsgefahr[\%]} = 100 * \frac{\text{Anzahl(Übersättigung} > 1.5 \text{ g/m}^3)}{\text{Messperiode[h]} \cdot 4}$$

Die Auswahl des Portals, an welchem die Messung durchgeführt werden soll, ist anhand folgender Anforderungen vorzunehmen:

- Höher gelegenes Portal,
- Portal, bei welchem kein vorgelagerter Tunnel vorhanden ist.

Anhang F

Juristische Stellungnahme zu den Warnsignalen

Bern, 17. August 2004

Synthesebericht „Beschlagende Scheiben in Strassentunneln“

Stellungnahme zu den Ziff. 6.2.2 und 6.2.3 des Berichts

Es ist verständlich und kann grundsätzlich zweckmässig sein, die Tunnelbenutzer vor den Portalen von speziell betroffenen Tunneln auf die Beschlagsgefahr aufmerksam zu machen. Wie im Synthesebericht zutreffend ausgeführt wird, kann nach Art. 15 Abs. 1 der Signalisationsverordnung (SSV) mit dem Signal „Andere Gefahren“ vor Gefahren auf der Fahrbahn gewarnt werden, für die kein besonderes Signal besteht. Die Art der Gefahr wird nötigenfalls auf beigefügter Zusatztafel angegeben.

Eine Signalisation muss jedoch immer klar und unmissverständlich sein, d.h. sie muss einerseits gesehen bzw. gelesen und andererseits verstanden werden.

- Damit eine Schrift **gelesen** werden kann, muss sie auf Strassen mit schnellem Verkehr eine Mindesthöhe von 17.5 cm aufweisen
- Damit etwas Geschriebenes **verstanden** wird, müssen allgemein bekannte Begriffe verwendet werden. Die Formulierung „Beschlagende Scheiben“ dürfte insbesondere auch von Fremdsprachigen nicht verstanden werden.

Die in Abbildung 5 des Syntheseberichts dem Gefahrensignal beigefügte Zusatztafel ist unseres Erachtens nicht oder kaum lesbar, unklar und missverständlich; wir fragen uns, ob im vorliegenden Fall nicht allenfalls das allgemein bekannte Wort „Nebel“ verwendet werden sollte.

Das ebenfalls in Abbildung 5 des Syntheseberichts gezeigte blau/grau/schwarze Plakat mit dem Text „Beschlag? Scheibenwischer ein!“ wurde zu Unrecht aufgestellt, sind doch nach Art. 101 Abs. 1 SSV „*in dieser Verordnung nicht vorgesehene Signale und Markierungen unzulässig*“. Das allfällige Argument, es handle sich nicht um ein Signal, sondern um eine Ankündigung mit unfallverhütendem Charakter sticht nicht; sind doch auch derartige Ankündigungen nach geltendem Recht nicht erlaubt. (nach der zurzeit laufenden SSV-Revision sollen neu „Ankündigungen mit verkehrserzieherischem oder unfallverhütendem Charakter“ zugelassen werden, doch ist der Vorschlag nicht ganz unbestritten). Es kann grundsätzlich nicht angehen, in konkreten Situationen Gefahrenpunkte durch Plakate verdeutlichen zu wollen. Die Gefahr, dass die Scheiben beschlagen, tritt übrigens sehr häufig auch in Einstellhallen auf. Auch dort könnte ein spezieller Hinweis damit begründet werden, dass u.a. die in einer Einstellhalle zirkulierenden Fussgänger übersehen und angefahren werden könnten. Mit derartigen Tafeln werden unerwünschte Präjudize geschaffen, die – wie die Erfahrung zeigt – den Bestrebungen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit abträglich sind.

Wir sind der Auffassung, dass die unter Ziffer 6.2.3 aufgeführten Elemente am Besten geeignet sind, alle Fahrzeuglenkenden auf die speziell an diesem Ort bestehende Gefahr aufmerksam zu machen und zwar mit dem Signal „Andere Gefahren“

ohne Zusatztafel (oder allenfalls mit dem Wort „Nebel“), ergänzt mit dem gelben Blinklicht, welches bei erhöhter Beschlagsgefahr aktiv wird. Für den Einsatz des gelben Blinklichts, das nach Art. 70 Abs. 1 Bst. f SSV „am Rand von Autobahnen bei Unfällen, Verkehrsstockungen, Nebel, Glatteis und ähnlichen Gefahren zulässig ist“ besteht somit eine klare Rechtsgrundlage.

Die Frage, ob bei einem ausfallenden gelben Blinklicht (insbesondere auch im Zusammenhang mit dem Signal „Schleudergefahr“) eine Sorgfaltspflichtverletzung der Behörde vorliegt und ob zwischen dem nicht funktionierenden Blinklicht und einem Unfall ein Kausalzusammenhang besteht, müsste letztlich – was unseres Wissens bis heute nicht der Fall war – durch das Gericht entschieden werden. Unseres Erachtens gehen in diesen Situationen grundsätzlich die allgemeinen Verhaltensregeln (ständiges Beherrschen des Fahrzeugs) und die Signalisation (wie das Signal „Schleudergefahr“ oder „Andere Gefahren“) dem Blinklicht vor. Letzteres hat lediglich eine verdeutlichende Warnfunktion.

Abteilung Strassenverkehr
Bereich Verkehrsregeln

sig. Peter Friedli

Anhang G

CD mit Berichten und Messdaten