

# RemoteCenter: Eine Mikrowelt zur Analyse der mentalen Repräsentation von zwei Flughäfen während einer Lotsentätigkeitsaufgabe

Christoph Möhlenbrink, Maik Friedrich und Anne Papenfuß

*Schlüsselwörter: Blickbewegung, mentale Repräsentation, Mikrowelt, Situationsbewusstsein, Wechselkosten*

## Zusammenfassung

Mit der technischen Realisierung der Fernüberwachung von Flughäfen entsteht auch die Möglichkeit, dass ein Lotse zwei kleine Flughäfen gleichzeitig überwacht. Dies führt zu der Frage, welche kognitiven Auswirkungen diese Aufgabe hat. Wechselkosten entstehen bei der Bearbeitung zweier unterschiedlicher Aufgaben, wenn zwischen zwei mentalen Bildern gewechselt werden muss. Die Wechselkosten werden auf eine kognitive Umkonfigurierung zurückgeführt. Im Experiment wird untersucht, inwieweit die zeitgleiche Bearbeitung von zwei Flughäfen zu zwei mentalen Bildern der Verkehrssituation, und damit verbunden zu Wechselkosten führt. Die im Experiment erhobenen Daten lassen darauf schließen, dass bei der Bearbeitung von zwei Flughäfen ein Wechsel zwischen zwei mentalen Bildern stattfindet. Daten zum Situationsbewusstsein (SAGAT) werden herangezogen, um entstandene Wechselkosten zu belegen. Blickbewegungsdaten können zeigen, dass die Darbietungsform der Flughäfen (beide sichtbar, jeweils nur einer sichtbar) Einfluss auf die Wechselfrequenz der visuellen Aufmerksamkeit zwischen beiden Flughäfen hat. Dabei führt ein häufigeres Wechseln zu einer Verringerung der auftretenden Wechselkosten.

## Abstract

Technical solutions for remote control of airports enable the control and surveillance of two small airports by one air traffic controller. The paper studies the cognitive consequences by doing such a task. Switch costs are generated if two different task sets have to be executed in alternating order due to cognitive reconfiguration. The experiment shows to what extent a simultaneous control of two airports results in two mental pictures of the traffic situation. If two mental pictures are generated, switch costs will be the consequence. The results of the experiment support the assumption that subjects switch between two mental pictures. Situation awareness data (SAGAT) are used to account for the switch costs. Eye-data indicate that the representation of the airports (both airports observable, one airport observable at a time) is influenced by the switch-frequency of visual attention between both airports. A higher switch-frequency is apparent, if both airports are observable. Reduced switch costs are the consequence.

## Einleitung

Der Towerlotse ist am Flughafen für die Steuerung und Überwachung des Verkehrs zuständig. Zu seinen Aufgaben gehört die direkte Beobachtung des Flughafens aus der Towerkanzel. Durch die Koppelung seiner Überwachungstätigkeit der Verkehrsprozesse am Flughafen an die direkte Außensicht war es bisher nicht denkbar, dass ein Towerlotse für mehrere Flughäfen verantwortlich ist. Mit dem Ziel der Fernüberwachung von kleinen Flughäfen wurde im DLR-Projekt Remote Airport Tower Operation Research (RApTO) eine Lösung erarbeitet, bei der durch eine Live-Video-Übertragung, dem Towerlotsen die Außensicht auch in der Ferne erschöpfend dargeboten werden soll (Schmidt et al. 2006). Das Fortschreiten dieser neueren

technischen Entwicklungen eröffnet prinzipiell die Möglichkeit, dass ein Towerlotse auch zwei Flughäfen aus einem Kontrollcenter überwachen kann (Fürstenau et al. 2009).

Besonders weil die Überwachung zweier Flughäfen durch einen Lotsen berechnete Bedenken beispielsweise bezüglich Sicherheit und Arbeitsbelastung hervorruft, sollen die kognitiven Ansprüche in einem Mikroweltansatz untersucht werden. In einer Mikroweltsimulation kann einem Probanden die Aufgabe gestellt werden, den Verkehr von zwei Flughäfen zu steuern und überwachen. Von Interesse ist dabei die mentale Repräsentation der beiden Flughäfen. Einerseits ist es vorstellbar, dass die Probanden ein ganzheitliches mentales Bild über zwei Flughäfen haben. Andererseits aber kann jeder Flughafen auch als ein getrenntes mentales Bild abgespeichert sein. Im letzteren Fall muss der Proband zwischen den beiden mentalen Bildern wechseln um beide Flughäfen gleichzeitig zu bearbeiten.

Aus der kognitiven Grundlagenforschung ist bekannt, dass durch das Hin- und Herwechseln zwischen alternierenden Aufgabensequenzen Wechselkosten hervorgerufen werden. Wechselkosten drücken sich in Leistungsparametern, wie einer verlangsamten Aufgabenbearbeitung und höheren Fehlerraten aus. Sie sind für den Lotsenarbeitsplatz nicht wünschenswert zumal sie nicht durch Training oder Übung auszuschalten sind. Wechselkosten wurden schon von (Jersild 1927)(Jersild 1927) an Listen von Arithmetikaufgaben entdeckt. Gründe für sie werden in der Umkonfigurierung des kognitiven Systems oder auch der Interferenz im Konflikt stehender Antworttendenzen gesehen (z.B.: Rogers und Monsell 1995; Mayr und Keele 2000); Salvucci und Taatgen 2008).

In der hier vorliegenden Studie soll untersucht werden, ob Wechselkosten bei der Steuerung und Überwachung von zwei Flughäfen eine Rolle spielen. Aus den Ergebnissen der Grundlagenforschung abgeleitet, wird die Hypothese aufgestellt, dass, wenn zwei Flughäfen als ein mentales Bild repräsentiert werden, keine kognitive Umkonfigurierung vorgenommen werden muss und folglich keine Leistungseinbußen auftreten. Umgekehrt impliziert die Repräsentation der beiden Flughafenprozesse in zwei mentalen Bildern, dass Wechselkosten auftreten und Leistungseinbußen die Folge sind. Eine differenziertere Betrachtung der mentalen Repräsentation soll erreicht werden, indem zwei unterschiedliche Darbietungsvarianten in der Studie herangezogen werden. In einer Darbietungsvariante sind während der Bearbeitung beide Flughäfen gleichzeitig nebeneinander sichtbar. Für diese Bedingung ist es unklar, ob von einer einheitlichen mentalen Repräsentation beider Flughäfen (einem mentalen Bild) oder von zwei getrennten mentalen Repräsentationen für jeden Flughafen (zwei mentalen Bildern) ausgegangen werden kann. In der zweiten Darbietungsvariante ist immer nur einer von beiden Flughäfen zu einem Zeitpunkt sichtbar. Für diese Darstellungsvariante wird die Hypothese aufgestellt, dass die abwechselnde Betrachtungsweise jedes Flughafens separat das Umschalten zwischen zwei mentalen Bildern erzwingt. Wechselkosten werden anhand von Reaktionszeiten, Fehlerraten und SAGAT-Daten untersucht.

## **Methode**

24 Probanden (12 m, 12 w) im Alter zwischen 21 und 27 Jahren (M=22 Jahre 8 Monate, SD=24 Monate) nahmen an der Studie teil. Probanden waren Studenten/innen der Universität Braunschweig, die mit der Lotsentätigkeit vertraut gemacht wurden und 15 Euro für die Teilnahme erhielten.

Um die mentale Repräsentation von zwei Flughäfen zu untersuchen, wird die Mikrowelt RemoteCenter, eine Erweiterung der Mikrowelt FAirControl (Möhlenbrink et al. 2008) herangezogen. Die Simulationsumgebung erlaubt das parallele Überwachen und Steuern von zwei Flughäfen. Beide Flughäfen weisen eine identische Infrastruktur auf, mit je einer Anflugschleife, einer Start- und Landebahn, sowie Taxiwegen und Parkpositionen. Die Mikrowelt ist in Abbildung 1 dargestellt. Aufgabe der Probanden ist es, den Verkehr auf beiden Flughäfen wie ein Fluglotse im Tower effizient und sicher abzuarbeiten. Zu den Hauptaufgaben von Fluglot-

sen gehört das Erteilen von Freigaben, damit sich Luftfahrzeuge auf dem Flughafen bewegen dürfen. In der Mikrowelt müssen jedem Luftfahrzeug die sechs Freigaben „Land“, „TaxiIn“, „TaxiInApron“, „Pushback“, „TaxiOut“ und „TakeOff“ erteilt werden. Wie der Fluglotse muss der Proband zuerst überprüfen, ob bestimmte Bereiche konfliktfrei sind, bevor er eine Freigabe erteilt.

Mikrowelt RemoteCenter

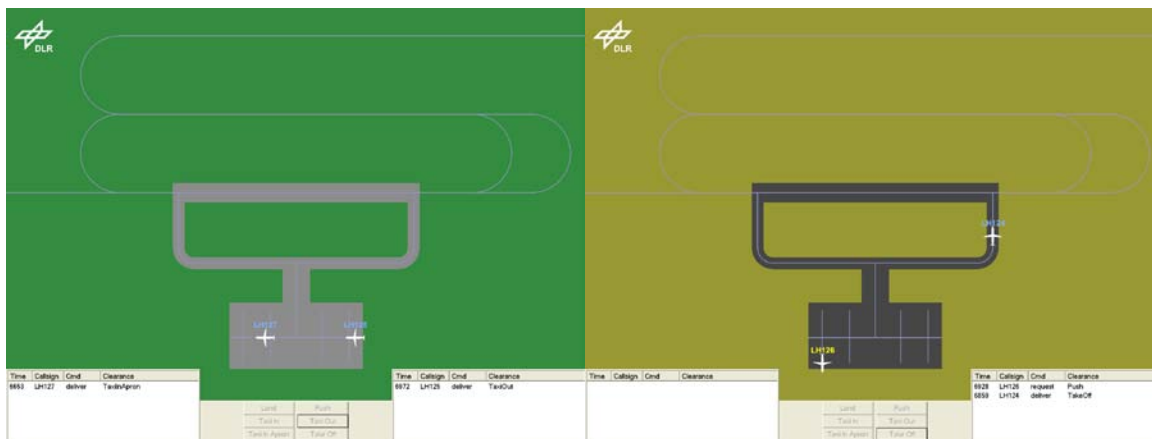


Abb.1: Die Simulationsumgebung RemoteCenter wurde als 660\*1700cm Projektion dargeboten

Nachdem die Probanden die Instruktionen gelesen hatten, absolvierten sie einen 15 Minuten dauernden Übungsdurchgang, bei dem sie zunächst einen Flughafen steuern und überwachen mussten. Außerdem musste jeder Proband ein weiteres Mal das Verkehrsszenario an einem Flughafen als Referenzbedingung (Ref) bearbeiten. Die Darbietungsvarianten „offene Centerüberwachung“ (OC) und „maskierte Centerüberwachung“ (MC) sind die unabhängigen Variablen. Unter der OC-Bedingung wurden beide Flughäfen gleichzeitig nebeneinander dargeboten, während unter der MC-Bedingung ein Flughafen durch eine schwarze Maske ausgeblendet wurde. Per Mausklick musste entschieden werden, welcher Flughafen (Fh) sichtbar sein soll. Dieses 2\*3 faktorielle Versuchsdesign wurde mit Darbietungsvariante als within-Faktor (Ref, OC, MC) und Darbietungsreihenfolge (A, B) als between-Faktor durchgeführt, um Reihenfolgeeffekte auszuschließen. Es ist in Tabelle 1 übersichtlich dargestellt.

Tab.1: Versuchsdesign

		Szenario 1		Szenario 2		Szenario 3
Versuchsreihe A	Übung	2 Flughäfen Offen	Pause	1 Flughafen Referenz	Pause	2 Flughäfen Maskiert
Versuchsreihe B	Übung	1 Flughafen Referenz		2 Flughäfen Offen		2 Flughäfen Maskiert

Während der Versuche wurden die Durchsatzzeiten der Luftfahrzeuge und Verletzungen der Regeln aufgezeichnet. Jedes Szenario wurde zweimal randomisiert unterbrochen um den SAGAT (Endsley 2000) durchzuführen. Nach Abschluss der drei Szenarien wurde ein abschließender Fragebogen ausgefüllt. Außerdem wurden während der Datenerhebung Blickbewegungsdaten mit dem kopfbasierten System iViewX von SMI aufgezeichnet (Senso Motoric Instruments, 2007). Für das Aufzeichnen der Kopfbewegungen wurde ein optisches Tracking-system der Firma A.R.-Tracking verwendet (Advanced Realtime Tracking, 2009).

## **Auswertung Blickbewegungsdaten**

Die Auswertung der Blickbewegungsdaten soll herangezogen werden, um die Aufmerksamkeitsverteilung zwischen der OC- und MC-Bedingung besser zu verstehen. Dazu wird die simulierte Außensicht jedes Flughafens in 7 unterschiedliche Interessensbereiche (AOIs) aufgeteilt. Ein Bereich repräsentiert zum Beispiel die Start- und Landebahn, ein anderer die Parkbereiche. Verweilzeiten werden herangezogen um Unterschiede der Aufmerksamkeitsverteilung zwischen Bedingungen und Flughäfen zu bestimmen. Außerdem werden die mittleren Verweilzeiten auf jedem Flughafen für beide experimentellen Bedingungen berechnet.

## **Ergebnisse**

### **Simulationsdaten**

Die Durchlaufzeiten der 26 Luftfahrzeuge vom Einfliegen in die Kontrollzone, bis zum Verlassen der Kontrollzone nach dem Start, betragen in der Referenzbedingung im Mittel 1:58 Minuten. In der OC-Bedingung betrug die Durchlaufzeit im Mittel 1:31 Minuten und in der maskierten Centerbedingung 1:28 Minuten. Außerdem wurden die Verzögerungszeiten berechnet, wann die Luftfahrzeuge ihre Freigaben erhielten. Hier zeigten sich in den 1\*3 faktoriellen Varianzanalyse hochsignifikante Unterschiede für die Pushback-Freigabe und die TakeOff-Freigabe ( $F_{(2,65)} = 7,67$ ;  $p < .001$ ). Die Pushback-Freigabe wurde in der Referenzbedingung im Mittel 16,20 Sekunden, in der OC-Bedingung 4,87 Sekunden und in der der MC-Bedingung 5,09 Sekunden verzögert erteilt. Post-hoc Tests zeigen hoch signifikante Unterschiede nur zwischen der Referenzbedingung und den beiden experimentellen Bedingungen ( $p < .001$ ). Zwischen den beiden experimentellen Bedingungen gibt es keinen signifikanten Unterschied. Für die TakeOff-Freigabe zeigt sich das gleiche Bild mit einem sehr signifikanten Effekt ( $F_{(2,65)} = 5,95$ ;  $p < .01$ ) und den folgenden Verzögerungszeiten: Ref: 7,07 Sekunden; OC: 4,09 Sekunden; MC: 3,97 Sekunden.

### **Situationsbewusstsein**

Die Daten zum Situationsbewusstsein zeigen, dass in allen drei Bedingungen die Anzahl an Luftfahrzeugen richtig wiedergegeben werden kann. In der Referenzbedingung wurden im Mittel 96,67%, in der offenen Centerbedingung 95,67% und in der maskierten Centerbedingung 96,97% erinnert. Betrachtet man aber die Genauigkeit, mit der die Luftfahrzeugpositionen eingetragen wurden und akzeptiert Luftfahrzeuge nur als richtig erinnert, wenn sie in einem Radius von 10cm von der wirklichen Position abweichen, zeigen sich in den gepaarten T-Tests hoch signifikante Unterschiede zwischen allen Gruppenvergleichen ( $n=23$ ,  $p < .001$ ): In der Referenzbedingung wurden 89% ( $std=17,13$ ) der Luftfahrzeuge richtig eingetragen, gegenüber 58% ( $std=17,39$ ) in der offenen Centerbedingung und 48% ( $std=19,29$ ) in der maskierten Centerbedingung. Daher lässt sich festhalten, dass die erinnerte Positionsgenauigkeit der einzelnen Luftfahrzeuge in beiden Centerlösungen schlechter war, als in der Referenzbedingung. Darüber hinaus wurden die Luftfahrzeugpositionen in der maskierten Centerbedingung noch schlechter erinnert, als in der offenen Centerbedingung.

Weiter wurde mit dem SAGAT erfasst, welchen Luftfahrzeugen die letzten drei Freigaben erteilt wurden und welches Luftfahrzeug die nächste Freigabe erhalten sollte. Bezogen auf die Frage nach der nächsten Freigabe gab es in der Referenzbedingung 27%, in der offenen Centerbedingung 25% und in der maskierten Centerbedingung 10% richtige Antworten. Der  $\chi^2$ -Test auf Unabhängigkeit nach Pearson zeigt, dass der Prozentsatz zur richtigen Angabe der nächsten Freigabe aber nicht von der Versuchsbedingung abhängt ( $p = .091$ ). Anders zeigen die Ergebnisse der Erinnerung der letzten Freigabe im  $\chi^2$ -Test, dass eine hoch signifikante Abhängigkeit der Anzahl richtiger Antworten von den Versuchsbedingungen besteht ( $p < .001$ ): In

der Referenzbedingung konnte die letzte Freigabe in 55% der Fälle, in der offenen Centerbedingung zu 34% und in der maskierten Centerbedingung zu 11% erinnert werden. Die drittletzte Freigabe wurde maximal in 36% der Fälle richtig erinnert und weist keine signifikanten Gruppenabhängigkeiten auf. Im abschließenden Fragebogen wurde erhoben, ob Versuchspersonen es als hinderlich empfanden, dass in der maskierten Centerbedingung nur ein Flughafen zu einem Zeitpunkt sichtbar war. 17% der Probanden gaben an, dass es hinderlich war und 83% empfanden es als nicht hinderlich.

## **Blickbewegungsdaten**

Für die Blickbewegung konnten die Datensätze von 18 der 24 Probanden ausgewertet werden. Es wurde eine 2\*7 (Flughafen, AOIs) faktorielle Varianzanalyse für die OC- und MC-Bedingung berechnet, die aufzeigte, dass es hochsignifikante Unterschiede bei den Verweilzeiten der AOIs in der OC-Bedingung ( $F_{(6,182)}=5,81$ ;  $p < .001$ ) und sehr signifikante Unterschiede in der MC-Bedingung ( $F_{(6,182)}=3,18$ ;  $p < .01$ ) gab, um anhand von Post-hoc Analysen zu identifizieren, ob ein Bereich auf Flughafen 1 gleichviel Aufmerksamkeit bekommt, wie ein entsprechender Bereich auf Flughafen 2. Die Post-hoc Tests für diese gepaarten Analysen wiesen für keine Bedingung signifikante Ergebnisse auf.

Weiter wurde eine 2\*2 faktorielle Varianzanalyse mit dem Faktoren Flughafen (Fh1, Fh2) und Darstellungsvariante (OC, MC) für die Verweilzeiten durchgeführt. Es zeigt sich ein hoch signifikanter Haupteffekt für die Darstellungsvariante ( $F_{(1,68)}=19,61$ ;  $p < .001$ ). In der maskierten Centerbedingung ist ein bewusster Mausclick notwendig, um den anderen Flughafen einzusehen. Hier liegt die mittlere Verweilzeit bei einem Flughafen bei 3,30 Sekunden, in der offenen Centerbedingung liegt der Wechsel im Mittel bei 2,20 Sekunden. Um den Bildschirmwechsel über das Blickziel zu bestimmen wurden Fixationen mit einer Mindestdauer von 100ms verwendet.

## **Diskussion**

Die empirische Studie zielte darauf ab, zu untersuchen, ob bei der Überwachung von zwei Flughäfen Wechselkosten eine Rolle spielen. Die Autoren gehen davon aus, dass zwei Flughäfen als zwei getrennte mentale Bilder gespeichert werden und ein kognitives Umkonfigurieren notwendig ist, wenn zwischen Aufgaben auf einem Flughafen und Aufgaben auf dem anderen Flughafen gewechselt wird.

Zunächst zeigen die Ergebnisse, dass die Bearbeitungszeiten der Freigaben nicht als Maß für Wechselkosten in der Mikroweltsimulation herangezogen werden können. Die längere mittlere Durchlaufzeit von Luftfahrzeugen in der Referenzbedingung sowie erhöhte Verzögerungszeiten für die Pushback- und TakeOff-Freigabe sind auf Ressourcenengpässe zurückzuführen, die nur in der Referenzbedingung auftreten.

Kognitive Leistungsunterschiede, die auf die experimentellen Bedingungen zurückzuführen sind, zeigen sich aber in den Daten zum Situationsbewusstsein. Die größten kognitiven Defizite konnten über den SAGAT in der MC-Bedingung aufgedeckt werden. Sowohl für die Angaben der Positionsgenauigkeit als auch in der Antizipation der nächsten Freigabe waren die Leistungseinbußen noch größer als in der OC-Bedingung. Doch auch die OC-Bedingung zeigte bereits signifikante Defizite gegenüber dem Referenzszenario.

Die Ergebnisse unterstützen die Annahme, dass in beiden Fällen der Wechsel zwischen zwei mentalen Bildern zu kognitiven Leistungseinbußen geführt hat. Die Ergebnisse der Blickbewegungsdaten können für eine Erklärung der unterschiedlichen Leistungseinbußen in der OC- und der MC-Bedingung herangezogen werden. Ein häufigerer Wechsel der visuellen Aufmerksamkeit zwischen den beiden Aufgabensituationen an beiden Flughäfen führt zu besseren Leistungen in den SAGAT-Daten. Dieser Sachverhalt zeigt, dass über häufigere Wechsel zwischen

den beiden Flughäfen, das kognitive Umkonfigurieren und damit die Wechselkosten minimiert werden können.

Das eindeutige Ergebnis im abschließenden Fragebogen, dass nur 17% der Probanden das Ausblenden als hinderlich betrachteten spricht auch für die Hypothese von 2 mentalen Bildern. Die Probanden konzentrieren sich auf einen Flughafen und die dort anliegenden Aufgaben und brauchen während dieser Zeit nicht die Information des anderen Flughafens in der Peripherie.

Die Autoren wollten mit dieser Studie zeigen, dass es nützlich ist, kognitive Mechanismen, die für den Fluglotsenarbeitsplatz relevant sind, in einem Mikroweltansatz zu untersuchen. Fluglotsen müssen nicht nur schnell auf Freigaben reagieren, sondern auch ein genaues aktuelles Situationsbild von den ablaufenden Verkehrsprozessen haben. Deshalb wurde in dieser Studie vorgeschlagen, Daten zum Situationsbewusstsein zur Quantifizierung von Wechselkosten heranzuziehen. Die Ergebnisse zeigen, dass Wechselkosten bei der Überwachung von zwei Flughäfen auftreten und negative Einflüsse auf die kognitive Leistung haben können.

## Literatur

- Advanced Realtime Tracking (2009) *Eye-tracking*. Verfügbar unter: <http://www.ar-tracking.de/Eyetracking.234+B6Jkw9.0.html> [03. August 2009]
- Endsley, M. (2000). Direct measurement of situation awareness: Validity and use of SAGAT. In M. Endsley & D. J. Garland (Hrsg.) *Situation awareness analysis and measurement*. (S. 73-112). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Fürstenau, N., M. Schmidt, M. Rudolph, C. Möhlenbrink, A. Papenfuß, S. Kaltenhäuser (2009) Steps towards the Virtual Tower: Remote Airport Traffic Control Center (RAiCe). *Proceedings EnRI Int. Workshop on ATM/CNS*. Tokyo.
- Jersild, A. T. (1927). Mental set and shift. *Achieves of Psychology*, (89) 5-82.
- Mayr, U. und S. Keele (2000). Changing internal constraints on action: The role of backward inhibition. *Journal of Experimental Psychology: General* (129) 4-26.
- Möhlenbrink, C., H. Oberheid, B. Werther (2008). A Model Based Approach to Cognitive Work Analysis and Work Process Design in Air Traffic Control. In D. de Waard, F. O. Flemisch, B. Lorenz, H. Oberheid and K. A. Brookhuis (Hrsg), *Human Factors for assistance and automation*(S. 401-414). Shaker Publishing
- Rogers, R. D. und S. Monsell (1995). Costs of a predictable switch between simple cognitive tasks. *Journal of Experimental Psychology: General* (124): 207-231.
- Salvucci, D. D. und N. A. Taatgen (2008). Threaded Cognition: An integrated theory of concurrent multitasking. *Psychological Review* (115): 101-130.
- Schmidt, M, M. Rudolph, B. Werther, N. Fürstenau (2006). Remote Airport Tower Operation with Augmented Vision Video Panorama HMI. *Proceedings 2<sup>nd</sup> Int. Conf. on Research in Air Traffic Management (ICRAT)*, Belgrad.
- SensoMotoricInstruments (2007). *SMI Eye & Gaze Tracking Systems*. Verfügbar unter: <http://www.smivision.com> [03.August 2009].