

Wärmebildgeräte im Kraftfahrzeug zur verbesserten Nachtsicht

Günter Dittmar und Jürgen Nolting (Fachhochschule Aalen)

1. Einleitung

Nachtsicht-Verbesserungssysteme können dem Fahrer eines PKWs oder eines LKWs wichtige Informationen zum Vermeiden von Unfällen liefern. Aktive Systeme konkurrieren mit passiven Systemen. Noch ist nicht abzusehen, welches Funktionsprinzip sich durchsetzen wird. Beide Systemvarianten befinden sich noch in einem frühen Stadium der Entwicklung.

2. Warum ist eine Verbesserung der Nachtsicht notwendig?

Im nächtlichen Straßenverkehr werden in Deutschland jedes Jahr 3.300 Personen getötet und 150.000 Personen verletzt. Obwohl nur 28% aller Fahrten bei Dunkelheit stattfinden, werden dabei 50% aller Verkehrstoten registriert. Bei Fußgängern sind die Zahlen noch dramatischer: 60% aller tödlichen Unfälle ereignen sich bei Fußgängern nachts. Die Ursachen dafür liegen in der geringen Sichtweite der Autofahrer und den viel zu langen Anhaltewegen bei hohen Geschwindigkeiten.

Das Abblendlicht eines PKWs hat eine mittlere Reichweite von ca. 50m. Ältere Kraftfahrer mit der naturgegebenen Minderung der Adaption des Auges erkennen bei Fahrten in der Nacht eine dunkel gekleidete Person erst in einer Entfernung von 30m bis 50m [1]. Laborversuche mit 42 aufmerksamen Versuchspersonen unterschiedlichen Alters zeigten, dass die Erkennbarkeitsentfernung auf 58 m steigt, wenn Xenonlampen für das Abblendlicht eingesetzt werden, [2].

Der Anhalteweg eines PKWs beträgt bei trockener, griffiger Straße 72m, wenn das Auto aus einer Geschwindigkeit von 100km/h abgebremst wurde. Innerhalb der Reaktionszeit fährt das Auto 27m und der Bremsweg beträgt 45m, [3]. Der Anhalteweg ist mit den ausgewiesenen 72m länger als die Entfernung der Erkennbarkeit von ca. 50m. Viele Fußgänger und Radfahrer könnten noch leben oder wären nicht verletzt worden, wenn sie durch den Autofahrer rechtzeitig erkannt worden wären.

Die Verbesserung der Erkennbarkeit von Personen und Hindernissen auf öffentlichen Straßen ist der Einsatzzweck von sogenannten Night Vision Enhancement Systems (NVES).

Eine Vergrößerung der Erkennbarkeitsentfernung von 50m auf 100m würde eine deutliche Reduzierung der Verkehrstoten im nächtlichen Straßenverkehr bringen.

Seit ca. 10 Jahren forschen die Automobilhersteller und Systemlieferanten an aktiven und passiven Systemen zur Verbesserung der Nachtsicht.

Aktive Infrarotsysteme bestehen aus einem NIR-Scheinwerfer-Paar, einer Silizium-CMOS-Kamera mit verbesserter Empfindlichkeit im nahen IR und einem Display zur Darstellung des Bildes. Die Fernscheinwerfer emittieren NIR-Strahlung im Spektralbereich von 800nm bis 1000nm. Ihr Licht wird weitgehend unterdrückt, so dass entgegenkommende Fahrzeuge und Personen nicht geblendet werden. Ein Teil der NIR-Strahlung wird von den Objekten im Strahlungskegel, wie Personen, Autos, Verkehrsschilder, Randstreifen reflektiert. Die Kamera im PKW „sieht“ die Objekte, wenn genügend Strahlungsleistung reflektiert wird. Bei aktiven Systemen muss die Strahlung der NIR-Scheinwerfer die doppelte Entfernung zwischen Scheinwerfer und Kamera zurücklegen. Die Transmission der Atmosphäre bei hoher Luftfeuchtigkeit ist deshalb zu beachten. Für die Erkennbarkeit sind ausreichend große, diffus reflektierende Flächen und hohe Reflektionsgrade im Spektralbereich von 800nm bis 1000nm notwendig.

Passive Infrarotsysteme bestehen aus einer Wärmebildkamera für den Spektralbereich von $7,5\mu\text{m}$ bis $14\mu\text{m}$. Die Temperaturstrahlung der Objekte wird von der Kamera aufgenommen und als Thermografie-Bild dargestellt. Das Hindernis ist erkennbar, wenn es sich in seiner Temperatur oder/und seinem Emissionsgrad vom Untergrund unterscheidet. Die Strahlung braucht nur die einfache Entfernung zu durchlaufen. Durch die größere Wellenlänge der genutzten Strahlung wird die Erkennbarkeitsentfernung bei Dunst größer und damit besser sein als beim aktiven System.

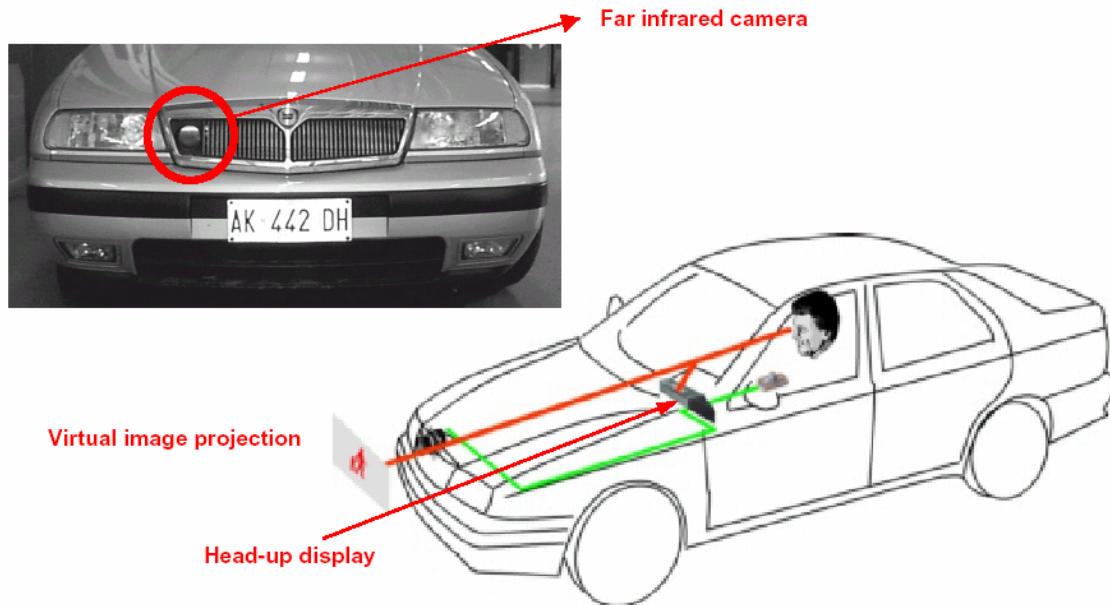


Abb. 1: Passives Nachtsicht-Verbesserungssystem, [6]

Das System besteht aus einer FIR-Kamera (Mikrobolometer-Matrix mit 320×240 Pixel), einer Bedieneinheit und einem Head-up Display. Das virtuelle Bild des Displays befindet sich ca. 3m vor dem Fahrzeug und erleichtert dadurch die Akkomodation des Auges.



Abb. 2: Passives Nachtsichtsystem von Autoliv in einem Volvo Concept Car, [7],

Linkes Bild: Auf der Straße kommt ein Auto mit aufgeblendeten Scheinwerfern entgegen. Auf der rechten Seite ist ein Gartenzahn und links steht eine Person (unsichtbar). Das tiefer gesetzte Display zeigt das FIR-Bild. Die Person ist nur im FIR-Bild deutlich erkennbar,

Rechtes Bild: Das teiltransparente Display ist aus dem Armaturenbrett geklappt.

Mitte der 90iger Jahre begannen die Entwicklungsarbeiten der Automobilindustrie für passive Systeme. Es waren erstmals ungekühlte FIR-Bildsensoren für den Spektralbereich oberhalb von $8\mu\text{m}$ zu Preisen verfügbar, die den Einsatz im Serien-PKW ermöglichten. Ab 1999 wurde beispielsweise der PKW Cadillac DeVille in den USA mit einem passiven Nachtsicht-Verbesserungssystem zum Aufpreis von nur 1700 US \$ angeboten. Dem Fahrer werden warme Objekte, wie Menschen und Tiere auf dem Display hell dargeboten. Kalte Objekte und ein kalter Hintergrund erscheinen auf dem Display schwarz. Zum Einsatz kommt ein Matrixsensor aus 320×240 pyroelektrischen Elementen. Das Material ist Barium-Strontium-Titanat (BST). Eine Chopperscheibe bewirkt den notwendigen Szenenwechsel mit einer Frequenz von 30Hz und ermöglicht eine Mittelwertbildung über das Bild. Ein thermoelektrischer Kühler sorgt für eine stabile Temperatur im Sensorgehäuse. Die etwa faustgroße FIR-Kamera befindet sich im Kühlergrill und liefert an das Auswertesystem ein digitales Videosignal. Die Bilder werden auf einem Head Up Display dem Fahrer dargeboten. Eine Weiterentwicklung des Systems verschiebt bei Kurvenfahrten den Bildausschnitt in Fahrtrichtung (panning). Dabei werden Pixelbereiche dazugeschaltet, die das System bei Geradeausfahrt nicht nutzt, [4].

3. Welche Eigenschaften sollte ein leistungsfähiges passives Nachtsicht-Verbesserungssystem aufweisen?

Beim Einsatz im Kraftfahrzeug muss ein passives Nachtsicht-Verbesserungssystem alle Merkmale eines robusten, wartungsfreien, zuverlässigen und preiswerten Massenproduktes erfüllen. Bewegte mechanische Teile sollten aus Gründen der Systemzuverlässigkeit vermieden werden. Folgende Kenngrößen können als Eckwerte bei der Entwicklung eines passiven Systems genutzt werden.

Abmessungen der Kamera mit Objektiv: kleiner als $5\text{cm} \times 5\text{cm} \times 5\text{cm}$

Versorgungsspannung: Netzspannung des KFZ: 12V, 24V bzw. 48V

Betriebsbereitschaft: $< 30\text{s}$

Temperaturmessbereich: -40°C bis $+75^\circ\text{C}$

Temperaturauflösung: $< 1\text{K}$

Spektralbereich: $8\mu\text{m}$ bis $14\mu\text{m}$

Bildfolgefrequenz: $>25\text{Hz}$

Bereich scharfer Abbildung: 25m bis 150m

Horizontaler Bildfeldwinkel: 20° , Bei einer Entfernung von 100m beträgt die Bildbreite 36m.

Vertikaler Bildfeldwinkel: 8° , Bei einer Entfernung von 100m beträgt die Bildhöhe 14m.

Pixelzahl: horizontal: > 320 Pixel, vertikal: >125 Pixel.

Für Kurvenfahrten ist ein elektronisches Panning (Blick in die Kurve ohne mechanisches Schwenken der Kamera) wünschenswert. Demzufolge müsste die horizontale Pixelzahl etwa verdoppelt werden.

Erkennbarkeit:

Beispiel: Ein Fußgänger geht nach Sonnenuntergang eines sonnenreichen Tages auf der asphaltierten Landstraße einem herannahenden Auto entgegen. Nur das Gesicht und die Hände sind nicht durch Kleidung verdeckt. Die Haut hat eine Oberflächentemperatur von ca. 33°C . Der Asphalt hat eine Temperatur von 31°C . Der spektrale Emissionsgrad von beiden



Objekten beträgt 0,98.

Nach [5] sind für eine Erkennungswahrscheinlichkeit von 50% eines geübten Beobachters 3 Linienpaare pro Objektbreite erforderlich. Bei einer Breite des Gesichtes von 15cm und einer Distanz von 100m ergibt sich eine Ortsfrequenz von 2 Linienpaaren pro mrad. Wenn die Erkennungswahrscheinlichkeit auf 90% bei gleichen Bedingungen gesteigert werden soll, ist eine Ortsfrequenz von 3,8 Linienpaaren pro mrad notwendig.


4. Passive und aktive Nachtsicht-Verbesserungssystem im Vergleich


Im Folgenden werden die Vor- und Nachteile passiver Nachtsicht-Verbesserungssysteme im Vergleich zu aktiven Systemen dargestellt. Vor allem die Unterschiede zwischen den beiden Systemen werden herausgestellt, die sich durch die Kamera- und Strahlertechnik ergeben, denn bezüglich der Bildarstellungsmöglichkeiten sind beide Varianten vergleichbar.

Passive Systeme

	<p>System:</p> <ul style="list-style-type: none">• Augensicherheit gewährleistet• Leistungsaufnahme gering• Mehrere Einbauorte für Kamera möglich <p>Leistungsfähigkeit:</p> <ul style="list-style-type: none">• Reichweite nicht an Scheinwerferreichweite gebunden• Gute Erkennbarkeit von Personen, lebenden Tieren (Kühe, Schweine, Wild) und Fahrzeugen, wenn sich ihre Temperatur oder/und ihr Emissionsgrad vom Hintergrund unterscheiden.• Da die Erkennbarkeit der Fahrbahn nicht signifikant verbessert wird, ist nicht mit einer unbewussten Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit zu rechnen.• Das System ist durch entgegenkommende Fahrzeuge nicht blendbar.• Gute Sicht in Kurven hinein• Gute Dunstdurchdringung, bei Nebel u.U. noch ausreichende Reichweite
	<p>System</p> <ul style="list-style-type: none">• Einbauort der Kamera nur hinter IR-transmittierendem Material (nicht Glas)• Einbauort möglichst nicht in Nachbarschaft starker Wärmequellen (Streustrahlung)• Potentiell höherer Systempreis <p>Leistungsfähigkeit</p> <ul style="list-style-type: none">• Ungewohnter Bildeindruck, evtl. durch Bildverarbeitung kompensierbar• Erkennbarkeit „toter“ Szenerie bei Regen und Kälte verschlechtert• Keine Erkennbarkeit von Lichtern• Bildauflösung (Schärfe) wesentlich geringer als bei aktiven Systemen• Keine Erkennung von Beschriftungen und Markierungen

Aktive Systeme

	<p>System:</p> <ul style="list-style-type: none">• Der NIR-Strahler ist in die bestehende Scheinwerfer-Baugruppe integrierbar.• Die Kamera kann hinter der Frontscheibe im Fahrgastraum montiert sein. Sie ist damit weitgehend geschützt. Das Blickfeld wird vom Scheibenwischer bei Bedarf gereinigt.• Silizium-CMOS-Kameras haben einen niedrigeren Preis Wärmebildkameras. <p>Leistungsfähigkeit:</p> <ul style="list-style-type: none">• Bildeindruck vergleichbar mit visuellem Eindruck
---	--

	<ul style="list-style-type: none"> • Hohe Pixelzahl (Bildschärfe) problemlos möglich (günstig für die Panning-Funktion)
	<p>System</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nicht zu vernachlässigende Leistungsaufnahme der Scheinwerfer bei Halogenlampen • Der IR-Scheinwerfer muss einen großen Bereich ausleuchten, damit der Fahrer einen Geschwindigkeitseindruck vermittelt bekommt. • Potentielle Augengefährdung (technische Schutzmaßnahmen notwendig) <p>Leistungsfähigkeit</p> <ul style="list-style-type: none"> • CMOS-Kamera mit gesteigerter NIR-Epfindlichkeit und nichtlinearer Kennlinie erforderlich. • Eventuell sind auch neue IR-Scheinwerfer erforderlich, die gepulste IR-Strahlung oder IR-Strahlung in einem schmalen Spektralbereich aussenden. • Erkennbarkeit bei nassen Objekten mit Wasserfilm (z.B. Fahrbahn) ist reduziert. • Die Erkennbarkeit von Haarwild und behaarten Haustieren ist nicht geklärt. • Die Reaktion (Flucht, Panik, Aggression) von Wild auf NIR-Strahlung ist noch nicht geklärt. • Der Sichtbereich der Kamera ist an Ausleuchtungsbereich des Scheinwerfers gebunden, daher keine Sicht in Kurven hinein, abseits der Straße oder in Entfernungen über 150 m. • Gegenüber visueller Sicht nur leicht verbesserte Dunstdurchdringung. Keine Sichtverbesserung bei Nebel.

5. Bildvergleich: Straßenszene im VIS-Bereich, NIR-Bereich und FIR-Bereich

Wetter: Himmel bedeckt, Temperatur im Freien: -3°C, Tageszeit 11 Uhr, Blickrichtung nach Süden,

VIS- Bereich: Kamera: CCD-Kamera Sony DSC-S50 , mit v-Lamda-Filter, Spektralbereich der Kamera: 400nm bis 700nm, Auflösung 1600 x 1200 Pixel,

NIR-Bereich: Kamera: CCD-Kamera Sony DSC-S50 mit Absorptionsfilter RG 780, Spektralbereich der Kamera: 780nm bis 1000nm, Auflösung 1600 x 1200 Pixel,

FIR-Bereich: Kamera: Infratec GmbH Dresden, Varioscan high resolution, 300 x 200 Pixel, Spektralbereich der Kamera: 8µm bis 13µm,

Standpunkt der Kameras: 15 m über dem Parkplatz



Abb. 3: Farbbild-Aufnahme im VIS (sichtbarer Spektralbereich)



Abb. 4: Bildaufnahme im NIR, Darstellung: Schwarz-Weiß-Bild,



Abb. 5: Bildaufnahme im FIR (Wärmebild), Darstellung: Weiß- Schwarz-Bild



Abb. 6: Bildaufnahme im FIR (Wärmebild), Darstellung: Schwarz- Weiß-Bild



Abb. 7: Bildaufnahme im FIR (Wärmebild), Falschfarben-Darstellung (Glühfarben)

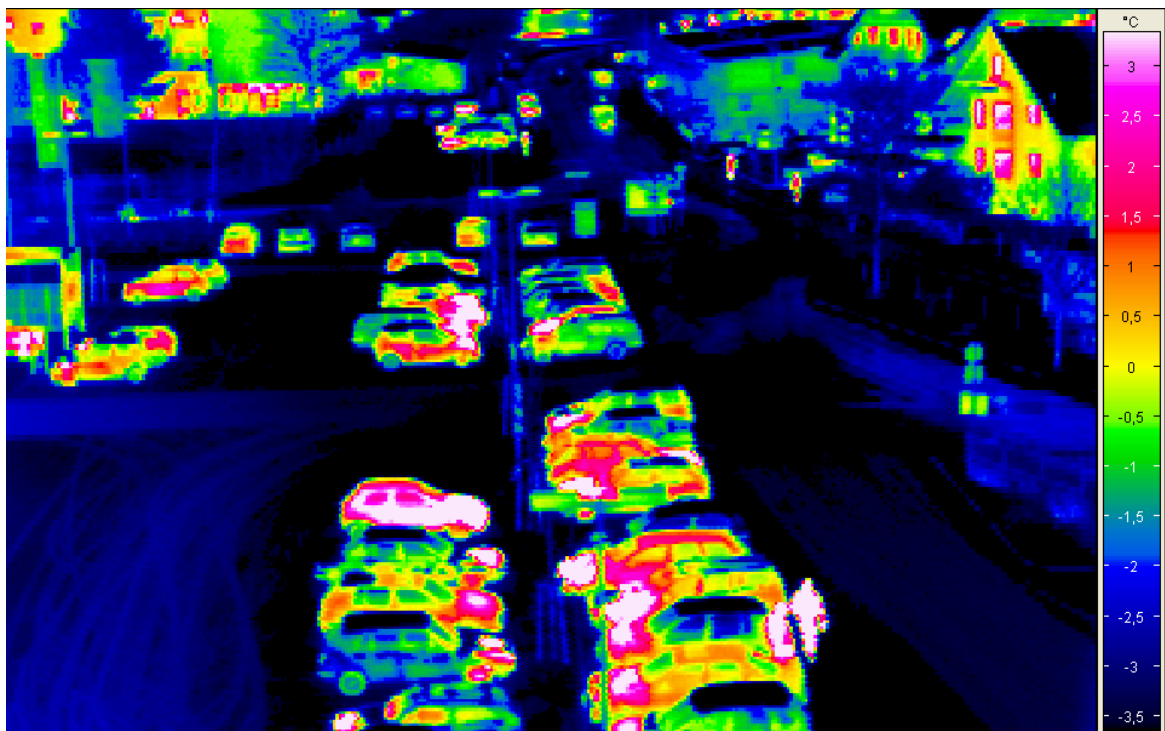
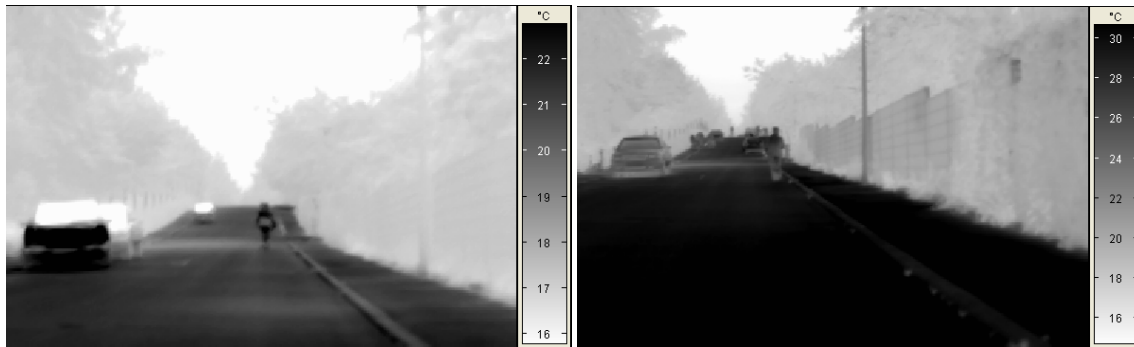


Abb. 8: Bildaufnahme im FIR (Wärmebild), Darstellung: Blau-Weiß-Skala

Die folgenden Bilder zeigen die Grenzen der Wärmebild-Technik, wenn keine Bildnachbearbeitung erfolgt. Eine Person auf einer warmen, ansteigenden Straße ist ein sehr ungünstiger Fall. Die warme Straße und nicht der kalte Himmel bildet den Hintergrund für die zu erkennende Person. Damit ist der Kontrast zwischen der Person und der Straße sehr gering.

Wesentlich bessere Verhältnisse herrschen bei ebenen oder abfallenden Straßen. Die günstigsten Bedingungen sind im Winter zu erwarten.



Nacht um 23 Uhr, Himmel bedeckt

Tag um 14 Uhr, Himmel bedeckt

Abb. 9: FIR-Aufnahmen: Vergleich „Nacht – Tag“ einer Straßenszene, 19.Juni 2003, Hier wurden ungünstige Verhältnisse dargestellt, weil sich die Person auf einer stark erwärmtem Straße steht.



NIR: Nacht um 23 Uhr,

NIR: Tag um 14 Uhr,

VIS: Tag um 14 Uhr

Abb. 10: NIR-Aufnahmen (links und Mitte) und VIS-Aufnahme einer Straßenszene, 19.Juni 2003, Himmel bedeckt. Kleidung mit Kunststoffanteil und grüne Blätter leuchten bei Bestrahlung im NIR hell.

6. Literatur

- [1] Rumar, Kare; Night Vision Enhancement Systems, The University of Michigan Transport Research Institute, UMTRI-2002-12, June 2002
- [2] Locher, J.; Völker, S.; Bierleutgeb, G.; Kleinkes, M.; Night Vision: Erhöhung der Verkehrssicherheit durch Infrarot-Systeme, VDI Berichte Nr. 1731, 2003, S. 173- 183
- [3] Grönqvist, Helena; Vision Enhancement Systems, The Importance of Field of View, Linköping University September 2002, Cognitive Science Program, LIU-KOGVET-D-02/09-SE
- [4] Klapper, St.; Büttner. Ch.; Einsatz von Nachtsichtsystemen auf der Basis Infrarottechnologie in der Fahrzeuganwendung, VDI Berichte Nr. 1731, 2003, S. 315- 322
- [5] Nolting, J.; Dittmar, G.; Leistungsbewertung von Wärmebildgeräten, Thermografie-Kolloquium 2003, Stuttgart 25.9.2003, Deutsche Gesellschaft für zerstörungsfreie Prüfung
- [6] Europäisches Förderprojekt DARWIN; „Thermal Infrared Technology for Driving in Poor Visibility Conditions“ www.elios.dibe.unige.it und www.crf.it, 2000
- [7] Firmeninformation Autoliv: „Autoliv Develops Night Vision Systems“, www.autoliv.com, 2001
- [8] Knoll, P.M.; Eschler, J.; Grimm, D.; Verbesserung der Nachtsicht mit nahmen Infrarot – Siumulation und Realisierung, VDI Berichte Nr. 1731, 2003, S. 173- 183