Untersuchung des Birgen Air - Unglücks vom 06.02.1996 bei Puerto Plata mit Hilfe der Why . . . Because - Analyse

Pia Schuchert, Q.M.Thuy Nguyen, Andreas Mayer-Gürr und Tanja Kämpfe

11. September 1998

Inhaltsverzeichnis

1 Beweis

1.1 Beweis zu 1 - Absturz

[1] /* Absturz */
{1.1} /* Flugzeug sinkt dauernd */

module *[1]_is_explained_causally_sufficient*

instance *Absturz*
instance *Sinken*
CONSTANTS AC

$Hypotheses \triangleq \{1.1\}$
$Procedures \triangleq$ TRUE

THEOREM $(Hypotheses \land \Box TRUE) \ \Box\!\!\Rightarrow \Diamond[1]$

PROOF:
⟨1⟩1. $\{1.1\} \Leftrightarrow Sinkt\_dauernd(AC)$
PROOF:
Wir interpretieren {1.1} als das Zustandsprädikat $Sinkt\_dauernd(AC)$.
⟨1⟩2. $[1] \Leftrightarrow Absturz(AC)$
PROOF:
Wir interpretieren [1] als das Zustandsprädikat $Absturz(AC)$.
⟨1⟩3. $(Hypotheses \land \Box\text{TRUE}) \ \Box\!\!\Rightarrow \Diamond[1]$
PROOF:
⟨2⟩1. *Hypotheses*
PROOF:
⟨3⟩1. $Sinkt\_dauernd(AC)$
PROOF:
Interpretation: Nach der Interpretation von ⟨1⟩1 behaupten wir:
{1.1} ist wahr aus der Quelle.
⟨3⟩2. Q.E.D.
PROOF:
Folgt aus ⟨3⟩1.
⟨2⟩2. $(Hypotheses \land \Box TRUE) \succ \Diamond[1]$
PROOF:
⟨3⟩1. $\vdash_{TLA} Hypotheses \land \Box TRUE \Rightarrow \Diamond[1]$
PROOF:
⟨4⟩1.

$$\left(\begin{array}{ll} \land & \{1.1\} \\ \land & \left(\left(\begin{array}{ll} \land & \{1.1\} \\ \land & AbsturzFlug.Spec \end{array}\right) \Rightarrow \Diamond Absturz(AC)\right) \\ \land & \Diamond AbsturzFlug.Spec \end{array}\right)$$

PROOF:
⟨5⟩1. {1.1}

PROOF:
Durch die Interpretation von $\langle 1\rangle 1$ ist $\{1.1\}$ wahr.
$\langle 5\rangle 2$.
$$\left(\begin{array}{ll} \wedge & \{1.1\} \\ \wedge & \mathit{AbsturzFlug.Spec} \end{array}\right) \Rightarrow \Diamond \mathit{Absturz}(AC)$$
PROOF:
$\langle 6\rangle 1$.
$$\left(\begin{array}{ll} \wedge & \{1.1\} \Rightarrow \mathit{AbsturzFlug}(AC) \\ \wedge & \mathit{AbsturzFlug}(AC) \Rightarrow \Diamond \mathit{Absturz}(AC) \end{array}\right)$$
PROOF:
$\langle 7\rangle 1$. $\{1.1\} \Rightarrow \mathit{AbsturzFlug}(AC)$
PROOF:
Folgt aus $\langle 2\rangle 1$ und *AbsturzFlug.Spec*.
$\langle 7\rangle 2$. $\mathit{AbsturzFlug}(AC) \Rightarrow \Diamond \mathit{Absturz}(AC)$
PROOF:
$\langle 8\rangle 1$. $\mathit{AbsturzFlug}(AC)$
PROOF:
Folgt aus $\langle 2\rangle 1$, $\langle 7\rangle 1$ und Modus Ponens.
$\langle 8\rangle 2$. $\Diamond \mathit{Absturz}(AC)$
PROOF:
Folgt aus $\langle 8\rangle 1$, $\langle 7\rangle 1$ und Modus Ponens.
$\langle 8\rangle 3$. Q.E.D.
PROOF:
Folgt aus $\langle 8\rangle 1$, $\langle 8\rangle 2$, $\Rightarrow$-Intro und nach *AbsturzFlug.Spec*.
$\langle 7\rangle 3$. Q.E.D.
PROOF:
Folgt aus $\langle 7\rangle 1$, $\langle 7\rangle 2$ und $\wedge$-Intro.
$\langle 6\rangle 2$. Q.E.D.
PROOF:
Folgt aus $\langle 6\rangle 1$.
$\langle 5\rangle 3$. $\Diamond \mathit{AbsturzFlug.Spec}$
PROOF:
$\langle 6\rangle 1$. $\Diamond \left(\begin{array}{ll} \wedge & \mathit{Sinkt\_dauernd}(AC) \Rightarrow \mathit{AbsturzFlug}(AC) \\ \wedge & \mathit{AbsturzFlug}(AC) \Rightarrow \Diamond \mathit{Absturz}(AC) \end{array}\right)$
PROOF:
$\langle 7\rangle 1$. $\{1.1\} \Rightarrow \mathit{AbsturzFlug}(AC)$
PROOF:
$\langle 8\rangle 1$. $(\exists z > 0 : \Box |\mathit{VertSpeed}(AC)| > z) \Rightarrow \left(\begin{array}{ll} \wedge & \mathit{Position}(AC) = p \\ \wedge & [a = c - \int \mathit{VertSpeed}(AC)|\text{FALSE}, v] \\ \wedge & \Box |\mathit{VertSpeed}(AC)| > y \end{array}\right)$
PROOF:
$\langle 9\rangle 1$. $\mathit{Position}(AC) = p$
PROOF:
In der Quelle gegeben.
$\langle 9\rangle 2$. $(\exists z > 0 : \Box |\mathit{VertSpeed}(AC)| > z) \Rightarrow [a = c - \int \mathit{VertSpeed}(AC)|\text{FALSE}, v]$
PROOF:

Folgt aus $\langle 2\rangle 1$ und STL2.

$\langle 9\rangle 3$. $(\exists z > 0 : \Box|\mathit{VertSpeed}(AC)| > z) \Rightarrow$
$\Box|\mathit{VertSpeed}(AC)| > y$

PROOF:

Folgt wenn z $\geq$ y.

$\langle 9\rangle 4$. Q.E.D.

PROOF:

$\langle 8\rangle 1$ folgt aus $\langle 2\rangle 1$, $\langle 9\rangle 1$, $\langle 9\rangle 2$, $\langle 9\rangle 3$ und $\wedge$-Intro.

$\langle 8\rangle 2$. Q.E.D.

PROOF:

Folgt aus $\langle 8\rangle 1$.

$\langle 7\rangle 2$. $\mathit{AbsturzFlug}(AC) \Rightarrow \Diamond \mathit{Absturz}(AC)$

PROOF:

$\langle 8\rangle 1$. $\left(\begin{array}{ll} \wedge & \mathit{Position}(AC) = p \\ \wedge & [a = c - \int \mathit{VertSpeed}(AC)|\text{FALSE}, v] \\ \wedge & \Box|\mathit{VertSpeed}(AC)| > y \end{array}\right) \Rightarrow$
$\Diamond \left(\begin{array}{ll} \wedge & \mathit{Flughoehe}(AC) = \mathit{Bodenebene}[x] \\ \wedge & \mathit{Position}(AC) = x \\ \wedge & |\mathit{VertSpeed}(AC) > y \end{array}\right)$

PROOF:

$\langle 9\rangle 1$. $\left(\begin{array}{ll} \wedge & \mathit{Position}(AC) = p \\ \wedge & [a = c - \int \mathit{VertSpeed}(AC)|\text{FALSE}, v] \\ \wedge & \Box|\mathit{VertSpeed}(AC)| > y \end{array}\right) \Rightarrow$
$|\mathit{VertSpeed}(AC)| > y$

PROOF:

Folgt aus $\Box|\mathit{VertSpeed}(AC)| > y$ und STL2.

$\langle 9\rangle 2$. $\left(\begin{array}{ll} \wedge & \mathit{Position}(AC) = p \\ \wedge & [a = c - \int \mathit{VertSpeed}(AC)|\text{FALSE}, v] \\ \wedge & \Box|\mathit{VertSpeed}(AC)| > y \end{array}\right) \Rightarrow$
$\mathit{Position}(AC) = x$

PROOF:

Folgt aus der Quelle.

$\langle 9\rangle 3$. $\left(\begin{array}{ll} \wedge & \mathit{Position}(AC) = p \\ \wedge & [a = c - \int \mathit{VertSpeed}(AC)|\text{FALSE}, v] \\ \wedge & \Box|\mathit{VertSpeed}(AC)| > y \end{array}\right) \Rightarrow$
$\mathit{Flughoehe}(AC) =$ Bodenebene[x]

PROOF:

$[\mathit{Flughoehe}(AC) =$Ausgangsflughoehe$- \int \mathit{VertSpeed}(AC)|\text{FALSE}, v]$
$\Rightarrow \Diamond \mathit{Flughoehe}(AC) =$ Bodenebene[x]

$\langle 9\rangle 4$. Q.E.D.

PROOF:

$\langle 8\rangle 1$ folgt aus $\langle 9\rangle 1$, $\langle 9\rangle 2$, $\langle 9\rangle 3$ und $\wedge$-Intro.

$\langle 8\rangle 2$. Q.E.D.

PROOF:

$\langle 7\rangle 2$ folgt aus $\langle 8\rangle 1$.

$\langle 7\rangle 3$. Q.E.D.

PROOF:
⟨6⟩1 folgt aus ⟨7⟩1, ⟨7⟩2 und ∧-Intro.
⟨6⟩2. Q.E.D.
PROOF:
⟨5⟩3 folgt aus ⟨6⟩1.
⟨5⟩4. Q.E.D.
PROOF:
⟨4⟩1 folgt aus ⟨5⟩1, ⟨5⟩2, ⟨5⟩3 und ∧-Intro.
⟨4⟩2. ◇[1]
PROOF:
Unter der Interpretation von ⟨1⟩2 ist dies eine Tatsache die explizit in der Quelle gegeben ist.
⟨4⟩3. Q.E.D.
PROOF:
⟨3⟩1 folgt aus ⟨4⟩1, ⟨4⟩2 nach Regel 5.
⟨3⟩2. Q.E.D.
PROOF:
Folgt aus der Inferenzregel C.6 nach ⟨3⟩1.
⟨2⟩3. Q.E.D.
PROOF:
⟨1⟩3 folgt aus ⟨2⟩1 und ⟨2⟩2.
⟨1⟩4. Q.E.D.
PROOF:
Folgt aus ⟨1⟩1, ⟨1⟩2 und ⟨1⟩3.

1.2 Beweis zu 1.1 - Flugzeug sinkt dauernd

{1.1} /* Flugzeug sinkt dauernd */
(1.1.1) /* Stromabriss nicht behoben */

module {*1.1*}*_is_explained_causally_sufficient*

instance *Stromab*
CONSTANT AC

Hypotheses $\triangleq$ *(1.1.1)*
Procedures $\triangleq$ *Stromab.Spec*

THEOREM *(Hypotheses* $\wedge$ $\Box$*Procedures)* $\Box\Rightarrow \Diamond\{1.1\}$

Wir führen an dieser Stelle keinen formellen Beweis durch, da nur physikalische Gesetze zu Grunde liegen und die Ereignisse logisch daraus folgen. Es wäre möglich einen ausführlichen Beweis nach dem Muster von [1] zu erstellen, jedoch sehr aufwendig. Wir setzen daher das Vorwissen des Lesers über die allgemeinen physikalischen Gesetze vorraus.
Der Beweis dieses Moduls benötigt den Zusammenhang zwischen nicht behobenem Stromabriß und andauerndem Sinken, der im Modul *Stromab* definiert wird. Denn Stromabriß verursacht ein Sinken des Flugzeugs und wird er nicht behoben, so kann auch das Sinken nicht beendet werden, das Flugzeug sinkt also dauernd.

1.3 Beweis zu 1.1.1 - Stromabriss nicht behoben

(1.1.1)	/* Stromabriss nicht behoben */
[1.1.1.1]	/* Stromabriss */
$< 1.1.1.2 >$	/* Grosser negativer Laengsneigungswinkel */
$< 1.1.1.3 >$	/* Negative Querlage */
$< 1.1.1.4 >$	/* Verwirrung und Unsicherheit im Cockpit */
$\{1.1.1.5\}$	/* Ignorieren und Abschalten der EICAS-Anlage */

module *(1.1.1)_is_explained_causally_sufficient*

instance *Systemeigenschaften*
instance *PARDIA-Axioms*
instance *PARDIA-Norms*

$$
\begin{aligned}
\textit{Hypotheses} \triangleq\ & \wedge\ [1.1.1.1] \\
& \wedge\ < 1.1.1.2 > \\
& \wedge\ < 1.1.1.3 > \\
& \wedge\ < 1.1.1.4 > \\
& \wedge\ \{1.1.1.5\} \\
\textit{Procedures} \triangleq\ & \wedge\ Systemeigenschaften.Spec \\
& \wedge\ PARDIA - Axioms.Spec \\
& \wedge\ PARDIA - Norms.Spec
\end{aligned}
$$

THEOREM $(\textit{Hypotheses} \wedge \Box \textit{True}) \ \Box\!\Rightarrow \Diamond(1.1.1)$

Der Beweis, daß diese Hypothesen sowohl notwendig als auch hinreichend, sind kann nur schwer erfolgen. Die Auswirkungen von Stromabriß, Längsneigungswinkel und Querlage sollten in einem Modul Systemeigenschaften beschrieben werden. Dieses Modul müßte sowohl die physikalischen Zusammenhänge als auch technische Dinge enthalten. Der ungewöhnliche Zustand, in dem sich das Flugzeug befindet, stellt für die Besatzung eine nicht triviale Aufgabe dar. Damit ist diese Besatzung nicht zurecht gekommen. Diese Beobachtung kann jedoch ebenso wie die Auswirkungen von Verwirrung und Unsicherheit und einer Beachtung oder Nichtbeachtung der EICAS-Anlage auch mit Hilfe der PARDIA-Module nur unzureichend nachempfunden werden, da diese zu stark von einzelnen Personen abhängen.
Gründe, warum diese Aufgabe in dieser Situation für diese Besatzung zu schwer war, können aus dem Bericht allerdings nicht ermittelt werden.

1.4 Beweis zu 1.1.1.1 - Stromabriss

[1.1.1.1] /* Stromabriss */
{1.1.1.1.1} /* Funktionsweise des CenterAP */
< 1.1.1.1.2 > /* CAP's Fahrtmesser zeigt hoehere Geschwindigkeit */

module *[1.1.1.1]_is_explained_causally_sufficient*

instance *Systemeigenschaften*

Hypotheses $\triangleq$ $\wedge \{1.1.1.1.1\}$
$\wedge < 1.1.1.1.2 >$

Procedures $\triangleq$ *Systemeigenschaften.Spec*

THEOREM *(Hypotheses* $\wedge \Box$*Procedures)* $\Box\Rightarrow \Diamond[1.1.1.1]$

Es muß gezeigt werden, daß die Hypothesen sowohl hinreichende als auch notwendige Gründe für den Stromabriß sind. Dies kann mit Hilfe physikalischer Regeln und der Verhaltensweise des CenterAP gezeigt werden. Der CenterAP erhält die "Geschwindigkeitsdaten" von dem Fahrtmesser des Kapitäns. Bei zu hoher Geschwindigkeit vergrößert er den Neigungswinkel, um dadurch die Geschwindigkeit zu verringern. Da der Fahrtmesser in diesem Fall zu hohe Werte anzeigt, wird der Neigungswinkel im Verhältnis zu der tatsächlich geringeren Geschwindigkeit zu groß und es kommt zum Stromabriß.
Wir führen an dieser Stelle keinen formellen Beweis durch, da nur physikalische Gesetze zu Grunde liegen und die Ereignisse logisch daraus folgen. Es wäre möglich einen ausführlichen Beweis nach dem Muster von [1] zu erstellen, jedoch sehr aufwendig. Wir setzen daher das Vorwissen des Lesers über die allgemeinen physikalischen Gesetze vorraus.

1.5 Beweis zu 1.1.1.2 - Grosser negativer Laengsneigungswinkel

[1.1.1.2] /* Grosser negativer Laengsneigungswinkel */
[1.1.1.1] /* Stromabriss */
[1.1.1.2.1] /* Reduktion der Triebwerksleistung */
< 1.1.1.2.2 > /* Physikalische Regeln */

module *[1.1.1.2]_is_explained_causally_sufficient*

instance *Systemeigenschaften*

Hypotheses $\triangleq$ $\wedge$ *[1.1.1.1]*
$\wedge$ *[1.1.1.2.1]*
$\wedge$ < 1.1.1.2.2 >

Procedures $\triangleq$ *Systemeigenschaften.Spec*

THEOREM *(Hypotheses* $\wedge$ $\Box$*Procedures)* $\Box\Rightarrow$ $\Diamond$[1.1.1.2]

Der Beweis, daß Stromabriß und Reduktion der Triebwerksleistung notwendige und hinreichende Gründe für den großen negativen Längsneigungswinkel sind, kann auf der Basis physikalischer Axiome gezeigt werden.
Wir führen an dieser Stelle keinen formellen Beweis durch, da nur physikalische Gesetze zu Grunde liegen und die Ereignisse logisch daraus folgen. Es wäre möglich einen ausführlichen Beweis nach dem Muster von [1] zu erstellen, jedoch sehr aufwendig. Wir setzen daher das Vorwissen des Lesers über die allgemeinen physikalischen Gesetze vorraus.
Aus diesem Grund wird das Modul < 1.1.1.2 > als korrekt angenommen.

1.6 Beweis zu 1.1.1.3 - Negative Querlage

$< 1.1.1.3 >$ /* Negative Querlage */
$< 1.1.1.3.1 >$ /* Ungleiche Triebwerksleistung */
$< 1.1.1.2.2 >$ /* Physikalische Regeln */

module $< 1.1.1.3 >$*_is_explained_causally_sufficient*

instance *Systemeigenschaften*

Hypotheses $\triangleq$ $\wedge < 1.1.1.3.1 >$
$\wedge < 1.1.1.2.2 >$

Procedures $\triangleq$ *Systemeigenschaften.Spec*

THEOREM *(Hypotheses* $\wedge \Box$*Procedures)* $\Box\Rightarrow \Diamond < 1.1.1.3 >$

Die negative Querlage des Flugzeugs folgt allein aus der ungleichen Triebwerksleistung und auf Grund physikalischer Vorgänge.
Wir führen an dieser Stelle keinen formellen Beweis durch, da nur physikalische Gesetze zu Grunde liegen und die Ereignisse logisch daraus folgen. Es wäre möglich einen ausführlichen Beweis nach dem Muster von [1] zu erstellen, jedoch sehr aufwendig. Wir setzen daher das Vorwissen des Lesers über die allgemeinen physikalischen Gesetze vorraus.
Aus diesen Gründen nehmen wir den Zusammenhang zwischen der negativen Querlage und der ungleichen Triebwerksleistung ohne formellen Beweis als korrekt an.

1.7 Beweis zu 1.1.1.4 - Verwirrung und Unsicherheit im Cockpit

$< 1.1.1.4 >$ /* Verwirrung und Unsicherheit im Cockpit */
$[1.1.1.1]$ /* Stromabriss */
$< 1.1.1.4.1 >$ /* Besatzung nicht optimal einsatzbereit */
$< 1.1.1.4.2 >$ /* Unverstaendliche Anzeige der EICAS-Anlage */

module $< 1.1.1.4 >$*_is_explained_causally_sufficient*

CONSTANTS *AC, CRW, EICAS*
instance *Physical*
instance *Mensch*
instance *Stromab*

$$\begin{aligned} \textit{Hypotheses} \triangleq\ & \wedge\ [1.1.1.1] \\ & \wedge\ < 1.1.1.4.1 > \\ & \wedge\ < 1.1.1.4.2 > \\ \textit{Procedures} \triangleq\ & \wedge\ \textit{Physical.Spec} \\ & \wedge\ \textit{Mensch.Spec} \\ & \wedge\ \textit{Stromab.Spec} \end{aligned}$$

THEOREM $(\textit{Hypotheses} \wedge \Box \textit{Procedures}) \ \Box\!\!\Rightarrow \Diamond < 1.1.1.4 >$

⟨1⟩1. [1.1.1.1] ⇔ *Stromabriss*(*AC*)
PROOF:
Stomabriss(*AC*) ist eine passende Interpretation von [1.1.1.1].
⟨1⟩2. <1.1.1.4.1> ⇔ *Nicht_optimal_einsatzbereit*(*CRW*)
PROOF:
Nicht_optimal_einsatzbereit(*CRW*) ist eine passende Interpretation von < 1.1.1.4.1 >.
⟨1⟩3. <1.1.1.4.2> ⇔ *Unverstaendliche_Anzeige*(*CRW*, *EICAS*)
PROOF:
Unverstaendliche_Anzeige(*CRW*, *EICAS*) ist eine passende Interpretation von
< 1.1.1.4.2 >.
⟨1⟩4. <1.1.1.4> ⇔ *Verwirrung_und_Unsicherheit*(*CRW*)
PROOF:
Verwirrung_und_Unsicherheit(*CRW*) ist eine passende Interpretation von < 1.1.1.4 >.
⟨1⟩5. (*Hypotheses* ∧ □*Procedures*) □⇒ ◇ < 1.1.1.4 >
PROOF:
⟨2⟩1. *Hypotheses*
PROOF:
⟨3⟩1. *Stromabriss*(*AC*)
PROOF:
Unter der Interpretation von ⟨1⟩1 ist *Stromabriss*(*AC*) wahr.
⟨3⟩2. *Nicht_optimal_einsatzbereit*(*CRW*)
PROOF:
Unter der Interpertation von ⟨1⟩2 ist *Nicht_optimal_einsatzbereit*(*CRW*)
wahr.
⟨3⟩3. *Unverstaendliche_Anzeige*(*CRW*, *EICAS*)
PROOF:
Unter der Interpretation von ⟨1⟩3 ist *Unverstaendliche_Anzeige*(*CRW*, *EICAS*)
wahr.
⟨3⟩4. Q.E.D.
PROOF:
Hypotheses folgt aus ⟨3⟩1, ⟨3⟩2 und ⟨3⟩3 nach ∧-Intro, und ist damit
korrekt.
⟨2⟩2. □*Procedures*
PROOF:
⟨3⟩1. *Physical.Spec*
PROOF:
Wir setzen die allgemeinen physikalischen Gesetze als gegeben vorraus
und beweisen sie daher nicht explizit.
⟨3⟩2. *Mensch.Spec*
PROOF:
Individuelle Eigenschaften und Verhaltensweisen einzelner Personen sind
nur schwer zu verifizieren. Wir setzen sie daher als gegeben vorraus.
⟨3⟩3. *Stromab.Spec*
PROOF:
Das Modul *Stromab* folgt physikalischen Gesetzen, daher beweisen wir es
nicht explizit.

⟨3⟩4. Q.E.D.
PROOF:
Procedures folgt aus ⟨3⟩1, ⟨3⟩2 und ⟨3⟩3 nach ∧-Intro, und ist damit korrekt.

⟨2⟩3. $(Hypotheses \wedge \Box Procedures) \succ \Diamond < 1.1.1.4 >$
PROOF:
⟨3⟩1. $\vdash_{TLA} Hypotheses \wedge \Box Procedures \Rightarrow \Diamond < 1.1.1.4 >$
PROOF:
⟨4⟩1.
PROOF:
$$\left(\begin{array}{ll} \wedge & [1.1.1.1] \\ \wedge & < 1.1.1.4.1 > \\ \wedge & < 1.1.1.4.2 > \\ \wedge & \Box Physical.Spec \\ \wedge & \Box Mensch.Spec \\ \wedge & \Box Stromab.Spec \end{array}\right) \Rightarrow \Diamond Verwirrung\_und\_Unsicherheit(CRW)$$

⟨4⟩2. Q.E.D.
PROOF:
An dieser Stelle ist es sehr schwierig den Beweis korrekt fortzusetzen, denn wir wissen wie schon gesagt, daß wir hier viele Behauptungen, die wir für passend halten, haben und hier spielen viele menschliche wie physikalische Aspekte mit. So können wir nur durch unser Vorwissen, unsere Intuition und unsere Schlußfolgerung aus dem Text sagen, daß alle diese Punkte wahr sind.

⟨3⟩2. Q.E.D.
PROOF:
Gilt nach Regel 5.

⟨2⟩4. $\Diamond < 1.1.1.4 >$
PROOF:
Unter der Interpretation von ⟨1⟩4 ist $\Diamond < 1.1.1.4 >$ wahr.

⟨2⟩5. Q.E.D.
PROOF:
Folgt aus der Inferenzregel C.6 nach ⟨2⟩1, ⟨2⟩2, ⟨2⟩3 und ⟨2⟩4.

⟨1⟩6. Q.E.D.
PROOF:
Gilt nach ∧-Intro aus ⟨1⟩1, ⟨1⟩2, ⟨1⟩3, ⟨1⟩4 und ⟨1⟩5.

1.8 Beweis zu 1.1.1.5 - Ignorieren und Abschalten des Warntons der EICAS-Anlage

$\{1.1.1.5\}$ /* Ignorieren und Abschalten des Wartons der EICAS-Anlage */
$< 1.1.1.4 >$ /* Verwirrung und Unsicherheit im Cockpit */
$< 1.1.1.4.2 >$ /* Unverstaendliche Anzeige der EICAS-Anlage */

module $\{1.1.1.5\}$*_is_explained_causally_sufficient*

instance *PARDIA-Axioms*
instance *PARDIA-Norms*
CONSTANTS *CRW, EICAS*

$$\begin{aligned} \textit{Hypotheses} &\triangleq \ \wedge < 1.1.1.4 > \\ &\quad\ \wedge < 1.1.1.4.2 > \\ \textit{Procedures} &\triangleq \ \wedge PARDIA - Axioms.Spec \\ &\quad\ \wedge PARDIA - Norms.Spec \end{aligned}$$

THEOREM $(\textit{Hypotheses} \wedge \Box \textit{Procedures}) \ \Box\!\!\Rightarrow \Diamond\{1.1.1.5\}$

⟨1⟩1. <1.1.1.4> ⇔ *Verwirrung_und_Unsicherheit*(*CRW*)
PROOF:
Verwirrung_und_Unsicherheit(*CRW*) ist eine passende Interpretation von < 1.1.1.4 >.
⟨1⟩2. <1.1.1.4.2> ⇔ *Unverstaendliche_Anzeige*(*CRW*, *EICAS*)
PROOF:
Unverstaendliche_Anzeige(*CRW*, *EICAS*) ist eine passende Interpretation von < 1.1.1.4.2 >.
⟨1⟩3. {1.1.1.5} ⇔ *Ignorieren_und_Abschalten_des_Warntons*(*CRW*, *EICAS*)
PROOF:
Ignorieren_und_Abschalten_des_Wartons(*CRW*, *EICAS*) ist eine passende Interpretation von {1.1.1.5}.
⟨1⟩4. (*Hypotheses* ∧ □*Procedures*) □⇒ ◇{1.1.1.5}
PROOF:
⟨2⟩1. *Hypotheses*
PROOF:
⟨3⟩1. *Verwirrung_und_Unsicherheit*(*CRW*)
PROOF:
Unter der Interpretation von ⟨1⟩1 ist *Verwirrung_und_Unsicherheit*(*CRW*) wahr.
⟨3⟩2. *Unverstaendliche_Anzeige*(*CRW*, *EICAS*)
PROOF:
Unter der Interpretation von ⟨1⟩2 ist *Unverstaendliche_Anzeige*(*CRW*, *EICAS*) wahr.
⟨3⟩3. Q.E.D.
PROOF:
Hypotheses folgt aus ⟨3⟩1 und ⟨3⟩2 nach ∧-Intro.
⟨2⟩2. □*Procedures*
PROOF:
⟨3⟩1. *PARDIA* − *Axioms.Spec*
PROOF:
Ist wahr durch die *PARDIA* − *Axioms*.
⟨3⟩2. *PARDIA* − *Norms.Spec*
PROOF:
Ist wahr durch die *PARDIA* − *Norms*.
⟨3⟩3. Q.E.D.
PROOF:
□*Procedures* folgt aus ⟨3⟩1 und ⟨3⟩2 nach ∧-Intro.
⟨2⟩3. (*Hypotheses* ∧ □*Procedures*) ≻ ◇{1.1.1.5}
PROOF:
⟨3⟩1. $\vdash_{TLA}$ *Hypotheses* ∧ □*Procedures* ⇒ ◇{1.1.1.5}
PROOF:
⟨4⟩1. $\begin{pmatrix} \wedge & < 1.1.1.4 > \\ \wedge & < 1.1.1.4.2 > \\ \wedge & \Box PARDIA - Axioms.Spec \\ \wedge & \Box PARDIA - Norms.Spec \end{pmatrix}$
$\Rightarrow \Diamond Ignorieren\_und\_Abschalten\_des\_Warntons(CRW, EICAS)$

PROOF:
An dieser Stelle ist es sehr schwierig den Beweis korrekt fortzusetzen, denn wir wissen wie schon gesagt, daß wir hier viele Behauptungen, die wir für passend halten, haben und hier spielen viele menschliche wie physikalische Aspekte mit. So können wir nur durch unser Vorwissen, unsere Intuition und unsere Schlußfolgerung aus dem Text sagen, daß diese Punkte wahr sind.

⟨4⟩2. Q.E.D.
PROOF:
⟨4⟩1 folgt aus der informellen Beschreibung.

⟨3⟩2. Q.E.D.
PROOF:
Gilt nach Regel 5.

⟨2⟩4. ◇{1.1.1.5}
PROOF:
Unter der Interpretation von ⟨1⟩3 ist {1.1.1.5} wahr.

⟨2⟩5. Q.E.D.
PROOF:
Folgt aus der Inferenzregel C.6 nach ⟨2⟩1, ⟨2⟩2, ⟨2⟩3 und ⟨2⟩4.

⟨1⟩5. Q.E.D.
PROOF:
Gilt nach ∧-Intro aus ⟨1⟩1, ⟨1⟩2, ⟨1⟩3 und ⟨1⟩4.

1.9 Beweis zu 1.1.1.1.1 - Arbeitsweise des CenterAP

{1.1.1.1.1} /* Arbeitsweise des CenterAP */
[1.1.1.1.1.2] /* CenterAP ist eingeschaltet */
$< 1.1.1.1.1.1 >$ /* Design des B757 AP_System */

module *[1.1.1.1]_is_explained_causally_sufficient*

instance *CenterAutopilot*
instance *B757_AP_Design*

$$\begin{aligned} \textit{Hypotheses} &\triangleq \wedge\ \textit{[1.1.1.1.1.2]} \\ &\quad\ \wedge < 1.1.1.1.1.1 > \\ \textit{Procedures} &\triangleq \wedge\ \textit{CenterAutopilot.Spec} \\ &\quad\ \wedge\ \textit{B757\_AP\_Design.Spec} \end{aligned}$$

THEOREM $(\textit{Hypotheses} \wedge \Box\ \textit{Procedures}) \ \Box\!\Rightarrow \Diamond[1.1.1.1.1]$

Der CenterAP sollte sich, falls er angeschaltet ist, so verhalten, wie es das Design des Autopilotensystems der B757 vorschreibt.
Viele Beweise werden durch eine Zustandsmaschine in TLA, die durch logische Spezifikationen definiert ist, erbracht. Ein formeller Beweis würde dieser Maschine folgen. Er wird daher hier nicht ausformuliert.

1.10 Beweis zu 1.1.1.1.2 - CAP's Fahtmesser zeigt hoehere Geschwindigkeit an

$< 1.1.1.1.2 >$ /* CAP's Fahrtmesser zeigt hoehere Geschwindigkeit an */
$< 1.1.1.1.2.1 >$ /* Fahrtmesser verhaelt sich als ob Pitotrohr verstopft ist */
$\{1.1.1.1.2.2\}$ /* Flugzeug steigt */

module $< 1.1.1.1.2 >$*_is_explained_causally_sufficient*

instance *Systemeigenschaften*
instance *Verschlossen*

$$\begin{aligned} \textit{Hypotheses} &\triangleq \wedge < 1.1.1.1.2.1 > \\ &\quad \wedge \{1.1.1.1.2.2\} \\ \textit{Procedures} &\triangleq \wedge \mathit{Systemeigenschaften.Spec} \\ &\quad \wedge \mathit{Verschlossen.Spec} \end{aligned}$$

THEOREM $(\textit{Hypotheses} \wedge \Box \textit{Procedures}) \ \Box\Rightarrow \Diamond < 1.1.1.1.2 >$

Viele Beweise werden durch eine Zustandsmaschine in TLA, die durch logische Spezifikationen definiert ist, erbracht. Ein formeller Beweis würde dieser Maschine folgen. Er wird daher hier nicht ausformuliert.

1.11 Beweis zu 1.1.1.1.2.1 - Fahrtmesser verhaelt sich als ob Pitotrohr verstopft

$< 1.1.1.1.2.1 >$ /* Fahrtmesser verhaelt sich als ob Pitotrohr verstopft */
$< 1.1.1.1.2.1.1 >$ /* Flugzeug in Flugposition */
$< 1.1.1.1.2.1.2 >$ /* BEHAUPTUNG: Pitotrohr ist verstopft */

module $< 1.1.1.1.2.1 >$*_is_explained_causally_sufficient*

instance *Verschlossen*
instance *Systemeigenschaften*
CONSTANT AC

definitions

$$Fliegt(AC) \triangleq \land\ Geschwindigkeit(AC) > 0 \land\ Flughoehe(AC) > 0$$

$$Hypotheses \triangleq \land\ < 1.1.1.1.2.1.1 > \land\ < 1.1.1.1.2.1.2 >$$

$$Procedures \triangleq \land\ Systemeigenschaften.Spec \land\ Verschlossen.Spec$$

THEOREM $(Hypotheses \land \Box Procedures)\ \Box\Rightarrow \Diamond < 1.1.1.1.2.1 >$

⟨1⟩1. $< 1.1.1.1.2.1.2 > \Leftrightarrow Verstopft(PR)$
PROOF:
$Verstopft(PR)$ ist eine passende Interpretation von $< 1.1.1.1.2.1.2 >$.
⟨1⟩2. $< 1.1.1.1.2.1 > \Leftrightarrow Fahrtm\_falsch(AC)$
PROOF:
$Fahrtm\_falsch(AC)$ ist eine passende Interpretation von $< 1.1.1.1.2.1 >$.
⟨1⟩3. $< 1.1.1.1.2.1.1 > \Leftrightarrow Fliegt(AC)$
PROOF:
$Fliegt(AC)$ ist eine passende Interpretation von $< 1.1.1.1.2.1.1 >$.
⟨1⟩4. $(Hypotheses \wedge \Box Procedures) \ \Box\!\!\Rightarrow \Diamond < 1.1.1.1.2.1 >$
PROOF:
⟨2⟩1. *Hypotheses*
PROOF:
⟨3⟩1. $< 1.1.1.1.2.1.2 >$
PROOF:
$< 1.1.1.1.2.1.2 >$ ist unter der Interpretation von ⟨1⟩1 wahr.
⟨3⟩2. $< 1.1.1.1.2.1.1 >$
PROOF:
$< 1.1.1.1.2.1.1 >$ ist unter der Interpretation von ⟨1⟩3 wahr.
⟨3⟩3. Q.E.D.
PROOF:
⟨2⟩1 folgt aus ⟨3⟩1 und ⟨3⟩2 nach ∧-Intro.
⟨2⟩2. *Procedures*
PROOF:
⟨3⟩1. *Systemeigenschaften.Spec*
PROOF:
Systemeigenschaften.Spec ist auf Grund physikalischer Regeln und der Angaben in der Quelle wahr.
⟨3⟩2. *Verschlossen.Spec*
PROOF:
Verschlossen.Spec ist auf Grund physikalischer Regeln und der Angaben in der Quelle wahr.
⟨3⟩3. Q.E.D.
PROOF:
⟨2⟩2 folgt aus ⟨3⟩1 und ⟨3⟩2 nach ∧-Intro.
⟨2⟩3. (Hypotheses $\wedge \Box Procedures$) $\succ \Diamond < 1.1.1.1.2.1 >$
PROOF:
⟨3⟩1. $\vdash {}_{TLA} Hypotheses \wedge \Box Procedures \Rightarrow \Diamond < 1.1.1.1.2.1 >$
PROOF:
$$\left(\begin{array}{ll} \wedge & Verstopft(PR) \\ \wedge & Fliegt(AC) \\ \wedge & \Box Systemeigenschaften.Spec \\ \wedge & \Box Verschlossen.Spec \end{array}\right) \Rightarrow \Diamond < 1.1.1.1.2.1 >$$

⟨3⟩2.
PROOF:
Viele Beweise werden durch eine Zustandsmaschine in TLA, die durch logische Spezifikationen definiert ist, erbracht. Ein formeller Beweis würde dieser Maschine folgen und wird daher hier nicht ausformuliert.
⟨3⟩3. Q.E.D.
PROOF:
Gilt nach Regel 5.
⟨2⟩4. $\Diamond <$ 1.1.1.1.2.1 $>$
PROOF:
$<$ 1.1.1.1.2.1 $>$ ist gegeben in der Quelle.
⟨2⟩5. Q.E.D.
PROOF:
Folgt aus der Inferenzregel C.6 nach ⟨2⟩1, ⟨2⟩2, ⟨2⟩3 und ⟨2⟩4.
⟨1⟩5. Q.E.D.
PROOF:
Gilt nach $\wedge$-Intro aus ⟨1⟩1, ⟨1⟩2, ⟨1⟩3 und ⟨1⟩4.

1.12 Beweis zu 1.1.1.1.2.1.2 - BEHAUPTUNG: Pitotrohr bleibt vertopft

$< 1.1.1.1.2.1.2 >$	/* BEHAUPTUNG: Pitotrohr bleibt verstopft */
$[1.1.1.1.2.1.2.1]$	/* BEHAUPTUNG: Pitotrohr ist am Boden verstopft */
$< 1.1.1.1.2.1.2.2 >$	/* Pitotrohr wurde nicht gereinigt */

module $< 1.1.1.1.2.1.2 >$*_is_explained_causally_sufficient*

CONSTANTS *AC, PR*

Hypotheses $\triangleq$ $\wedge$ *[1.1.1.1.2.1.2.1]*
$\wedge < 1.1.1.1.2.1.2.2 >$

THEOREM *(Hypotheses* $\wedge$ $\Box$TRUE*)* $\Box\Rightarrow \Diamond < 1.1.1.1.2.1.2 >$

Dieses Theorem folgt der Annahme im Modul *Verstopfung*. Ein Beweis kann daher entsprechend formuliert werden.

2 Die Module in alphabetischer Reihenfolge

2.1 Absturz

module *Absturz*

extends *Sinken*
CONSTANTS C
VARIABLES $p,\ a$

definitions

$Ausgangsflughoehe(AC) \triangleq C$

$Flughoehe(AC) \triangleq a$

$$AbsturzFlug(AC) \triangleq \begin{array}{l} \wedge\ Position(AC) = p \\ \wedge\ [a = C - \int VertSpeed(AC) | \text{FALSE}, v] \\ \wedge\ \Box | VertSpeed(AC)| > Y \end{array}$$

$$Spec \triangleq \begin{array}{l} \wedge\ Sinkt\_dauernd(AC) \Rightarrow AbsturzFlug(AC) \\ \wedge\ AbsturzFlug(AC) \Rightarrow \Diamond Absturz(AC) \end{array}$$

2.2 B757_AP_Design

module *B757_AP_Design*

definitions

$Funktionsweise \triangleq$ *folgt aus den Dokumentationen der B757 (z.B. CenterAP bekommt Flugdaten von CAP's Fahrtmesser)*

$Spec \triangleq Funktionsweise$

2.3 CenterAutopilot

module *CenterAutopilot*

extends *B757_AP_Design*
CONSTANTS *CenterAP*

definitions

$Init \triangleq Angeschaltet(CenterAP)$

$Spec \triangleq Init \wedge \Box Funktionsweise$

2.4 Mensch

module *Mensch*

definitions

$$
\begin{aligned}
\mathit{Human} \triangleq\ & \wedge\ \mathit{Gefühle} \\
& \wedge\ \mathit{Verhalten} \\
& \wedge\ \mathit{mentale\ Zustände} \\
& \wedge\ \mathit{Kultur} \\
& \wedge\ \mathit{Denkweisen} \\
& \wedge\ \ldots
\end{aligned}
$$

$$\mathit{Spec} \triangleq \mathit{Human}$$

2.5 Physical

module *Physical*

extends *NaturalNumbers*
extends *HybridSystems*
instance *Systemeigenschaften*

definitions

$$
\begin{aligned}
\mathit{Physics} \triangleq\ & \wedge\ \mathit{Systemeigenschaften.Spec} \\
& \wedge\ \mathit{physikalische\ Gesetze} \\
& \wedge\ \mathit{Wetterverhältnisse} \\
& \wedge\ \mathit{Umweltbedingungen} \\
& \wedge\ \mathit{Temperatur}
\end{aligned}
$$

$$\mathit{Spec} \triangleq \mathit{Physics}$$

2.6 Sinken

module *Sinken*

extends *NaturalNumbers*
extends *HybridSystems*
CONSTANTS $X,\ Y,\ AC$

definitions

$Sinkt\_dauernd(AC) \triangleq \exists z > 0 : \Box|VertSpeed(AC)| > z$

$Absturz(AC) \triangleq \land\ Flughoehe(AC) = BodenEbene[X]$
$\land\ Position(AC) = X$
$\land\ |VertSpeed(AC)| > Y$

$Spec \triangleq Sinkt\_dauernd(AC) \leadsto Absturz(AC)$

2.7 Stromab

module *Stromab*

axioms

$Stromabriss(AC) \Rightarrow Sinkt(AC)$
$\Box Stromabriss(AC) \Rightarrow Sinkt\_dauernd(AC)$

$Spec \triangleq \Box Stromabriss(AC)$

2.8 Systemeigenschaften

module *Systemeigenschaften*

extends *NaturalNumbers*
extends *HybridSystems*

definitions

$$\begin{aligned} System \triangleq\ & \wedge\ Messgeraete\_korrekt(AC) \\ & \wedge\ Motoren\_arbeiten(AC) \\ & \wedge\ Zusammenarbeit\_korrekt(AC) \\ & \wedge\ \ldots \end{aligned}$$

Auch physikalische Zusammenhänge zwischen den Eigenschaften und Arbeitsweisen der verschiedenen Systeme, wie die gleiche Anzeige eines verstopften Pitotrohrs und eines Höhenmessers, sollten definiert werden.

$$Spec \triangleq System$$

2.9 Verschlossen

module *Verschlossen*

CONSTANTS *AC, PR, StatD, StauD, C*

assumptions

$Verstopft(PR, AC) \Rightarrow (StatD = StauD)$
$statD = stauD \Rightarrow Fahrtm(AC) = C \cdot Flughoehe(AC)$

definitions

$$Fahrtm\_falsch \triangleq Verstopft(PR, AC)$$

2.10 Verstopfung

module *Verstopfung*

CONSTANTS $PR,\ AC$

actions

$$\begin{aligned} Reinigen(\alpha,\beta) \triangleq\ & \wedge\ Verstopft(\alpha,\beta) \\ & \wedge\ \neg Verstopft'(\alpha,\beta) \\ Verstopfen(\alpha,\beta) \triangleq\ & \wedge\ \neg Verstopft(\alpha,\beta) \\ & \wedge\ Verstopft'(\alpha,\beta) \end{aligned}$$

assumptions

$$Verstopft(PR,AC) \wedge \Box\neg Reinigen(PR,AC) \Rightarrow \Box\, Verstopft(PR,AC)$$

2.11 Behauptungen

module *Behauptungen*

assumptions

$$\begin{aligned} Behauptungen \triangleq\ & \wedge\ Verwirrung\_und\_Unsicherheit\_im\_Cockpit \\ & \wedge\ Physikalische\_Regeln \\ & \wedge\ Besatzung\_nicht\_optimal\_einsatzbereit \\ & \wedge\ Unverstaendliche\_Anzeige\_der\_EICAS\_Anlage \\ & \wedge\ Pitotrohr\_ist\_verstopft \\ & \wedge\ Fahrtmesser\_verhaelt\_sich\_als\_ob\_Pitotrohr\_verstopft\_ist \\ & \wedge\ Pitotrohr\_bleibt\_verstopft \\ & \wedge\ Pitotrohr\_ist\_am\_Boden\_verstopft \\ & \wedge\ Pitotrohr\_wurde\_nicht\_gereinigt \end{aligned}$$

3 Diskussion

3.1 Über den Bericht

- zu wenig bzw. nicht ausreichende Informationen
- wird nur das gesagt, was man für richtig hält und nicht das was man für die WB-Analyse braucht
- wurde nicht neutral ausgewertet
- technische, mathematische, physikalische und psychische Daten wurden nicht ausführlich und präzise genug angegeben

3.2 Über die WBA-Methode

- Notation für die Behauptungen, die in den Graphen zu finden sind, fehlen
- viele Module, die sehr umfangreich sein könnten, die man für den TLA-Beweis braucht, um den Beweis korrekt ausführen zu können, werden benötigt. Diese sind manchmal nicht einfach zu erstellen, denn man braucht dafür umfangreiches Vorwissen.

3.3 Allgemein

Wir konnten den Beweis nur anhand des Berichts durchführen, deswegen spiegeln unsere Knoten in den Graphen dem Bericht wieder. Wir haben versucht die Kausalitäten zwischen den Knoten in den Beweis so weit wie möglich zu bestätigen. Aus den oben genannten Schwierigkeiten konnten wir nicht alle Teilbeweise formell durchführen. Aus diesen Gründen entstanden bei uns drei Arten von informellem Beweis:

- über physikalische Gesetze
- über menschlich bedingte Faktoren
- über eine Zustandsmaschine in TLA, die durch logischen Spezifikationen aufgebaut ist

Diese Methode ermöglicht unserer Meinung nach einen an und für sich sehr übersichtlichen und leicht durchschaubaren Beweis, denn sie beinhaltet einerseits die textuelle Form und andererseits die graphische Form, so kann der Leser sie sehr leicht verstehen.

Der Bericht enthält für eine WB-Analyse zu wenig Informationen. Technische und physikalische Daten sind nur unzureichend aufgeführt und auch die Angaben über physische und psychische Zustände der Besatzung sind nicht ausreichend.
Ein subjektiver Bericht, der lediglich die Schlußfolgerungen des Autors ausführt, ist als Grundlage für Verifikation durch eine WB-Analyse nicht geeignet. Es können so lediglich Fehler oder Lücken in der Ursachenforschung aufgezeigt werden, diese aber nur schwer behoben werden.
Zur WB-Anlayse bleibt anzumerken, daß eine Notation für das Aufstellen von Behauptungen fehlt. Außerdem muß oft auf physikalische Gesetzmäßigkeiten zurückgegriffen werden, die in eigenen Modulen formuliert werden sollten. Diese sollten sinnvollerweise von physikalisch vorgebildeten Personen erstellt werden, da die Zusammenhänge nicht immer trivial sind. Auf solche Module könnte dann auch in weiteren Untersuchungen nach der WB-Analyse zurückgegriffen werden.
Wir konnten den Beweis nur anhand des Berichts durchführen, deswegen spiegeln unsere Module bzw. die Knoten des Graphen die Behauptungen des Berichts wieder. Wir haben versucht, die Kausalitäten zwischen den Knoten so weit wie möglich zu bestätigen. Wir haben jedoch nicht alle Teilbeweise vollständig formell ausgeführt. Teilweise weil wir an die Grenzen des Berichtes stießen und keine Möglichkeit hatten, an weitere Fakten zu gelangen, teilweise weil die Vorgänge physikalischen Gesetzmäßigkeiten folgten und ein expliziter Beweis verhältnismäßig aufwendig geworden wäre und teilweise weil der Beweis einer TLA-Zustandsmaschine genügte und daher offensichtlich war.
Aus diesen Gründen entstanden drei Arten von informellen Beweisen:

- Bemerkungen zu Faktoren, die nicht ausreichend untersucht wurden
- Hinweise auf physikalische Gesetzmäßigkeiten
- Hinweise auf eine TLA-Zustandsmaschine, die durch logischen Spezifikationen aufgebaut ist

Diese Methode ermöglicht unserer Meinung nach einen an und für sich sehr übersichtlichen und leicht durchschaubaren Beweis, denn sie beinhaltet einerseits die textuelle Form und andererseits die graphische Form, so kann der Leser sie sehr leicht verstehen.

4 Konstanten und Prädikate

4.1 Konstanten

AC	(Aircraft) Flugzeug
C	reelle Zahl
CenterAP	Center Autopilot
CRW	(Crew) Besatzung
EICAS	EICAS-Anlage
PR	Pitotrohr
StatD	statischer Druck
StauD	Staudruck
X, Y	reelle Zahl

4.2 Prädikate

Absturz(AC)
AbsturzFlug(AC)
Angeschaltet(CenterAP)
Ausgangsflughoehe(AC)
Fahrtm(AC)
Fahrtm_falsch(AC)
Fliegt(AC)
Flughoehe(AC)
Geschwindigkeit(AC)
Ignorieren_und_Abschalten_des_Warntons(CRW,EICAS)
Messgeraete_korrekt(AC)
Motoren_arbeiten(AC)
Nicht_optimal_einsatzbereit(CRW)
Position(AC)
Reinigen(PR,AC)
Sinkt(AC)
Sinkt_dauernd(AC)
Stromabriss(AC)
Unverständliche_Anzeige(CRW,EICAS)
Verstopfen(PR,AC)
Verstopft(PR,AC)
VertSpeed(AC)
Verwirrung_und_Unsicherheit(CRW)
Zusammenarbeit_korrekt(AC)