LEHRSTUHL 14
SOFTWARE ENGINEERING

Willkommen zur Vorlesung

Methodische Grundlagen des Software-Engineering

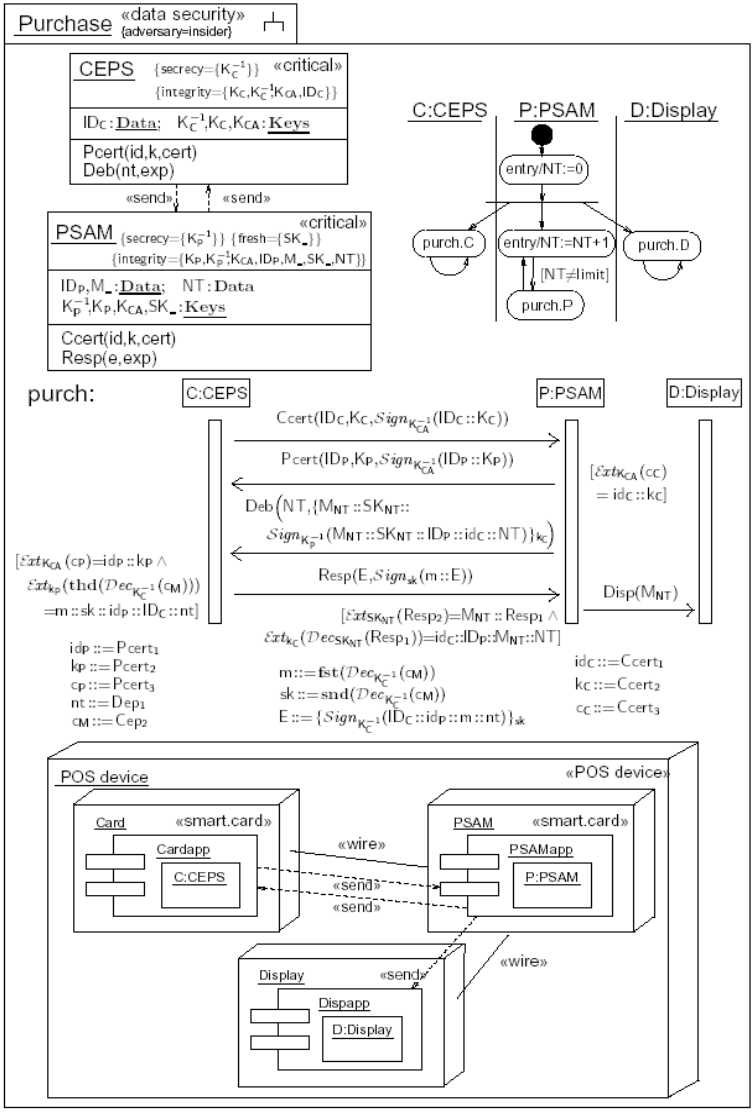
im Sommersemester 2011

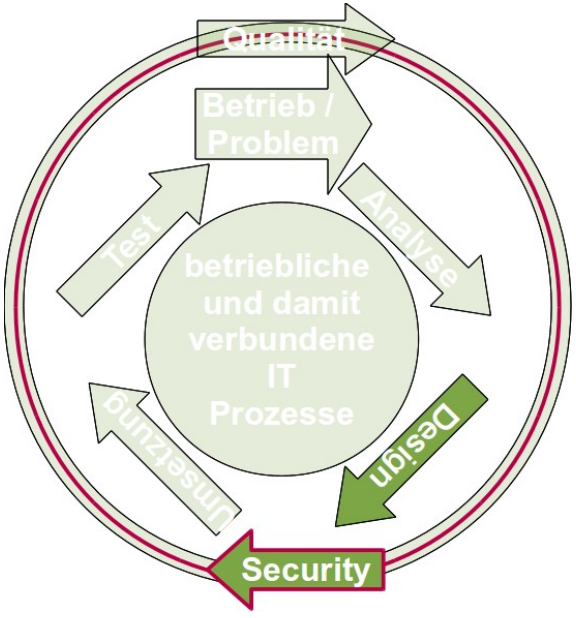
Prof. Dr. Jan Jürjens

TU Dortmund, Fakultät Informatik, Lehrstuhl XIV

25. Elektronische Geldbörsen

Einordnung
Electronic Purse mit UMLsec



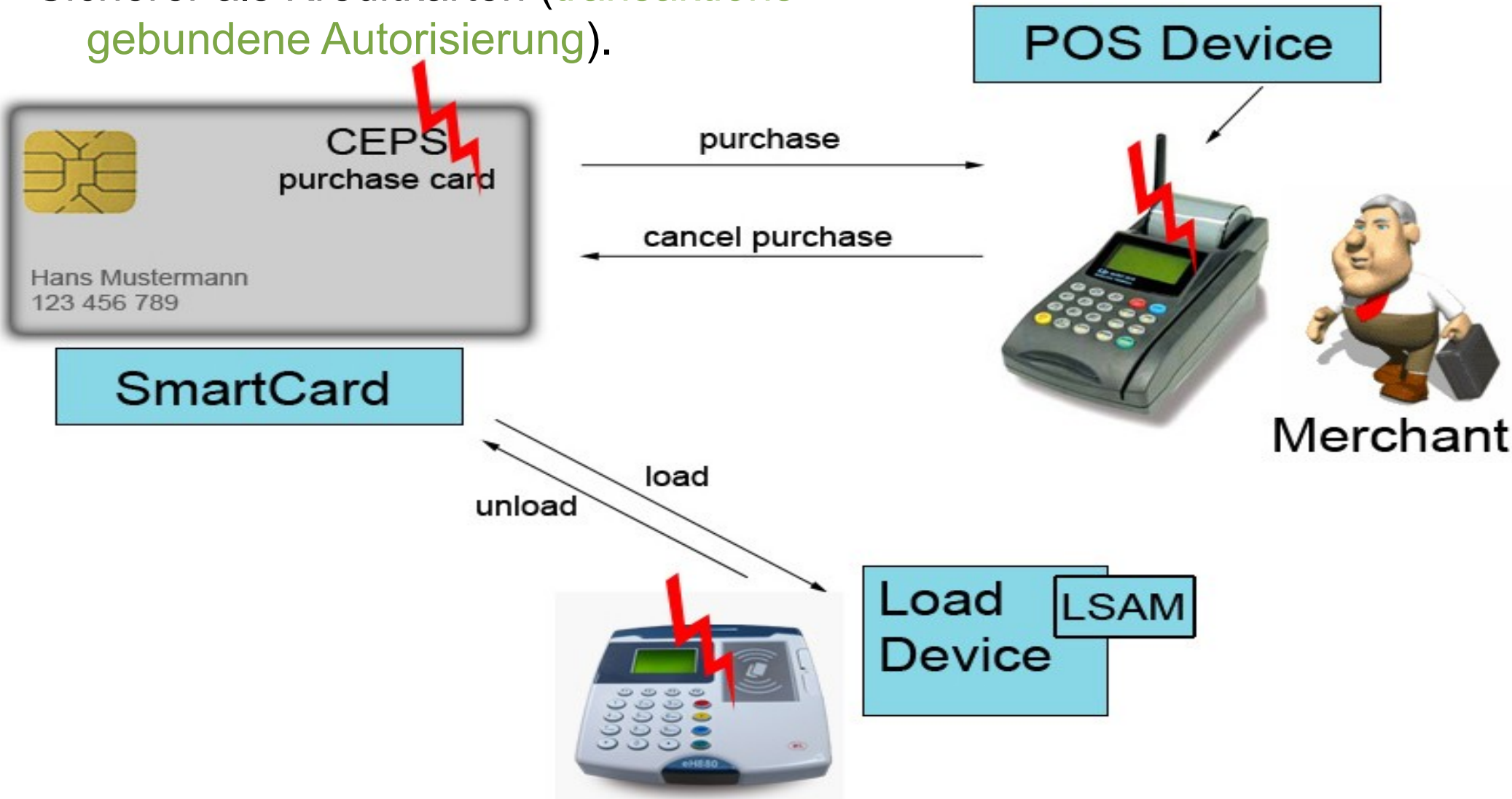


Einordnung
Einführung UML / UMLsec

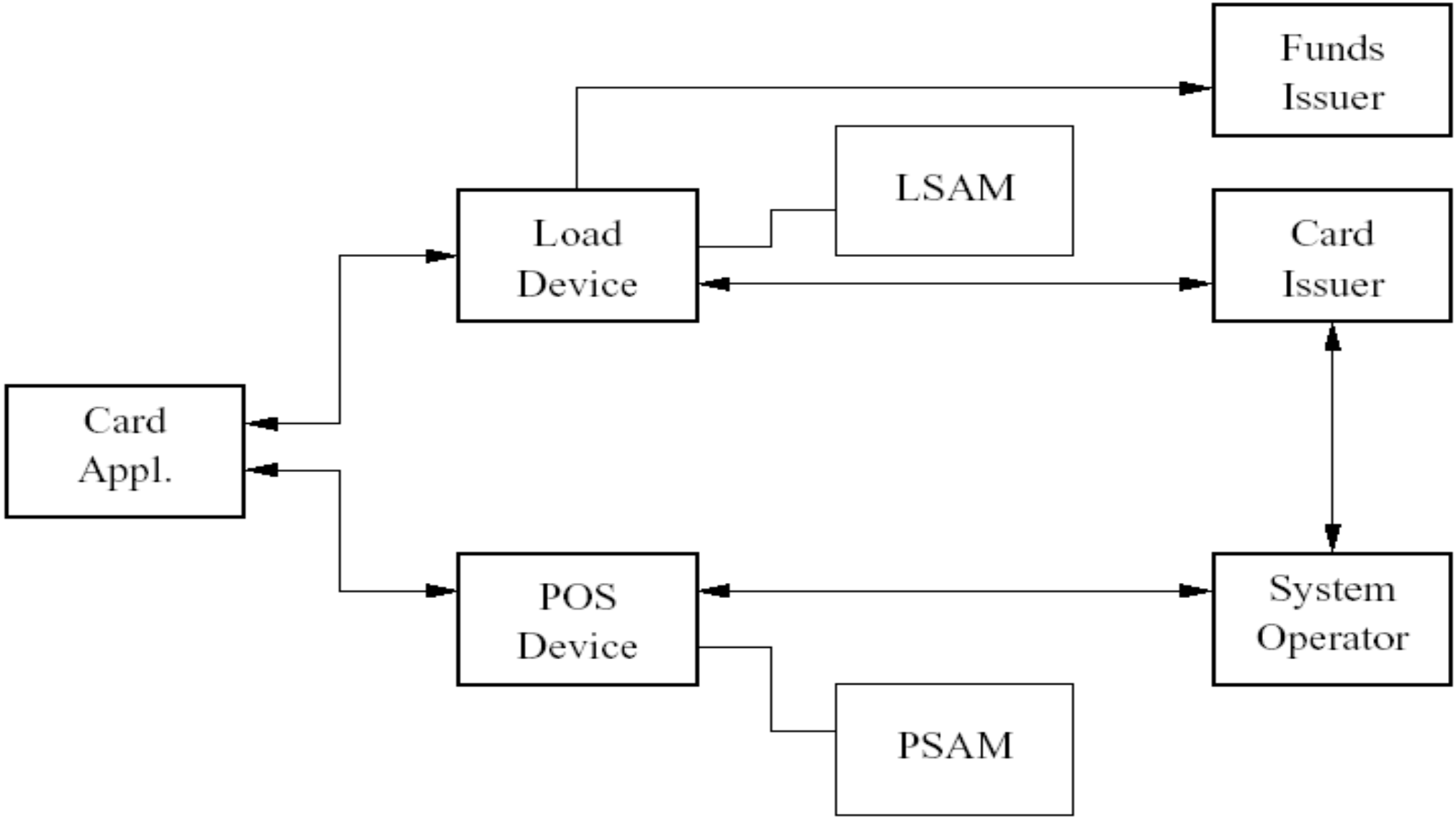
- Business Prozesse
- Qualitätsmanagement
- Testen
- Sicherheit
- Sicheres Software Design
  - Einführung UML / UMLsec
  - Kryptographische Protokolle
  - Biometrische Authentifizierung
  - Elektronische Geldbörse
  - Weitere Anwendungsbeispiele

Common Electronic Purse Specifications

Globaler Standard (90% des Marktes). Smartcard speichert Kontostand.
Kryptographie auf Chip sichert Transaktionen.
Sicherer als Kreditkarten (transaktions-gebundene Autorisierung).



CEPS Architektur-Überblick



Kauf- (Purchase-)Protokoll

Offline-Transaktion zum Bezahlen von Waren mit vorher aufgeladener Karte.

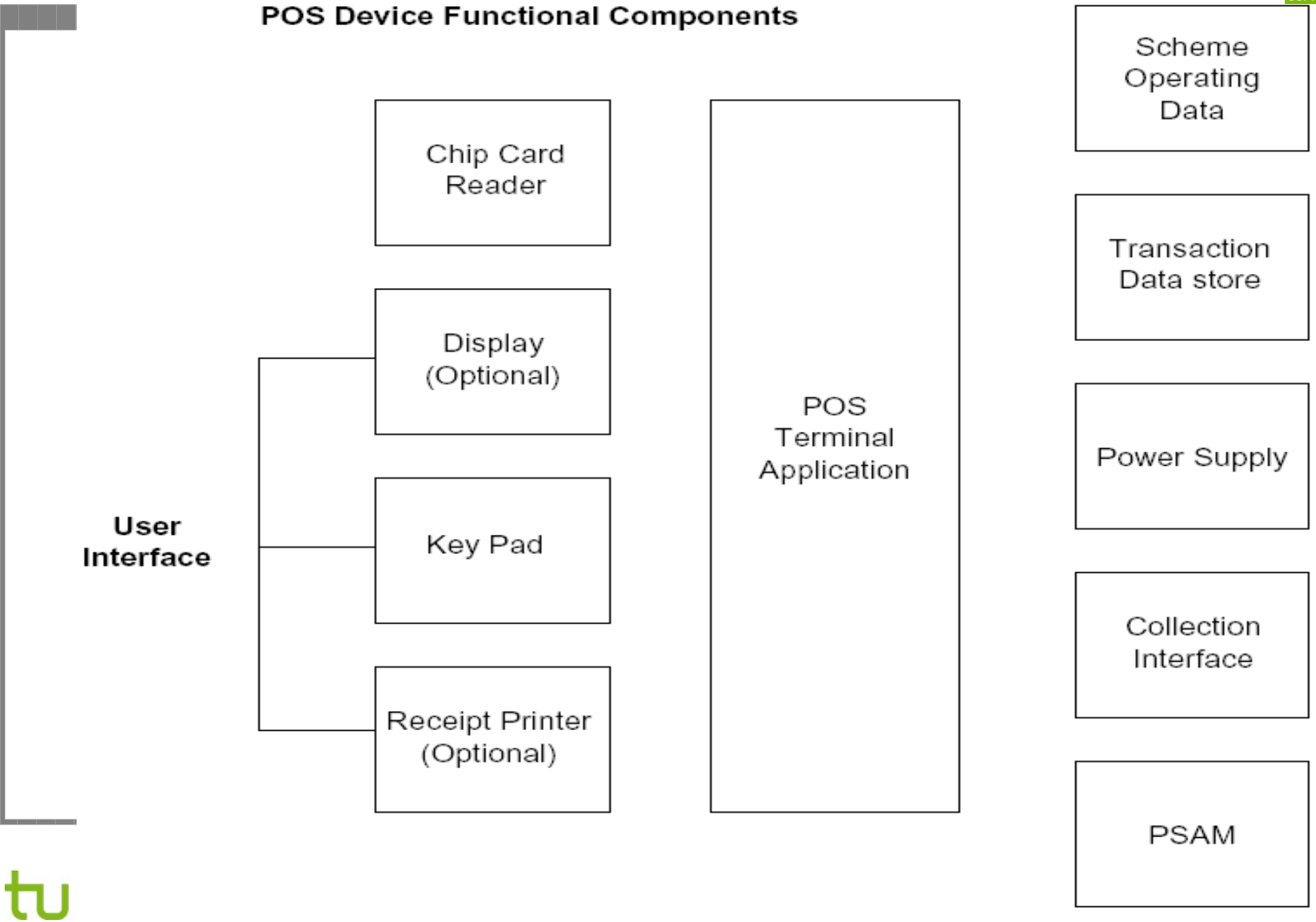
Protokollteilnehmer: Karte des Besitzers, POS-Gerät des Händlers.

POS-Gerät enthält Purchase Security Application Module (PSAM): alle sicherheitskritischen Datenverarbeitungen und Speicher für das POS Gerät.

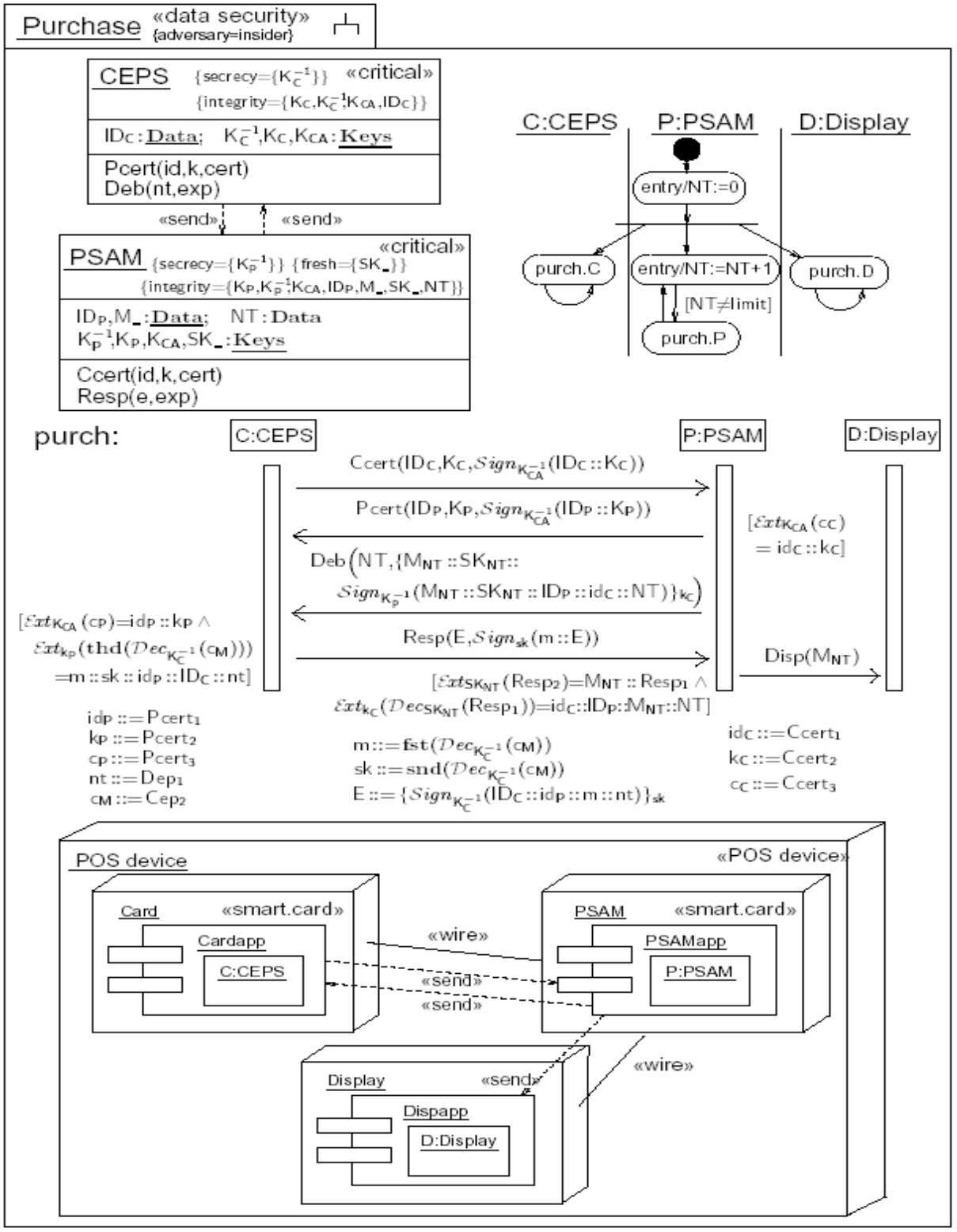
Kartenkontostand wird angepasst, Transaktiondaten werden gelogged und später zur finanziellen Abwicklung an den Kartenausgeber übersendet.

Benutzung an öffentlichen Stationen; Internetbenutzung vorgesehen.

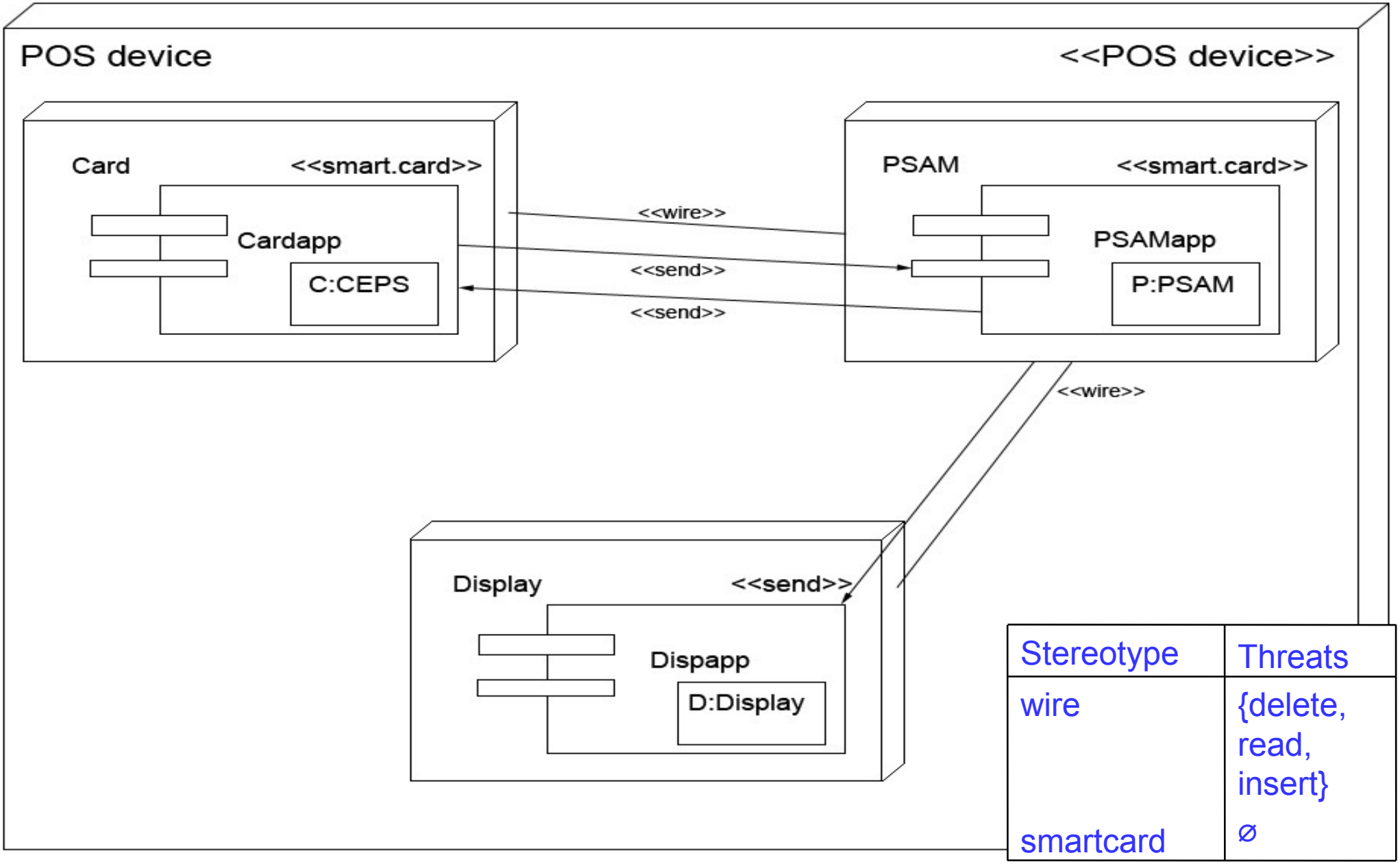
POS Device


POS Device Functional Components
Chip Card Reader
Display (Optional)
Key Pad
Receipt Printer (Optional)
User Interface
POS Terminal Application
Scheme Operating Data
Transaction Data store
Power Supply
Collection Interface
PSAM

UMLsec Spezifikation: Vogelperspektive

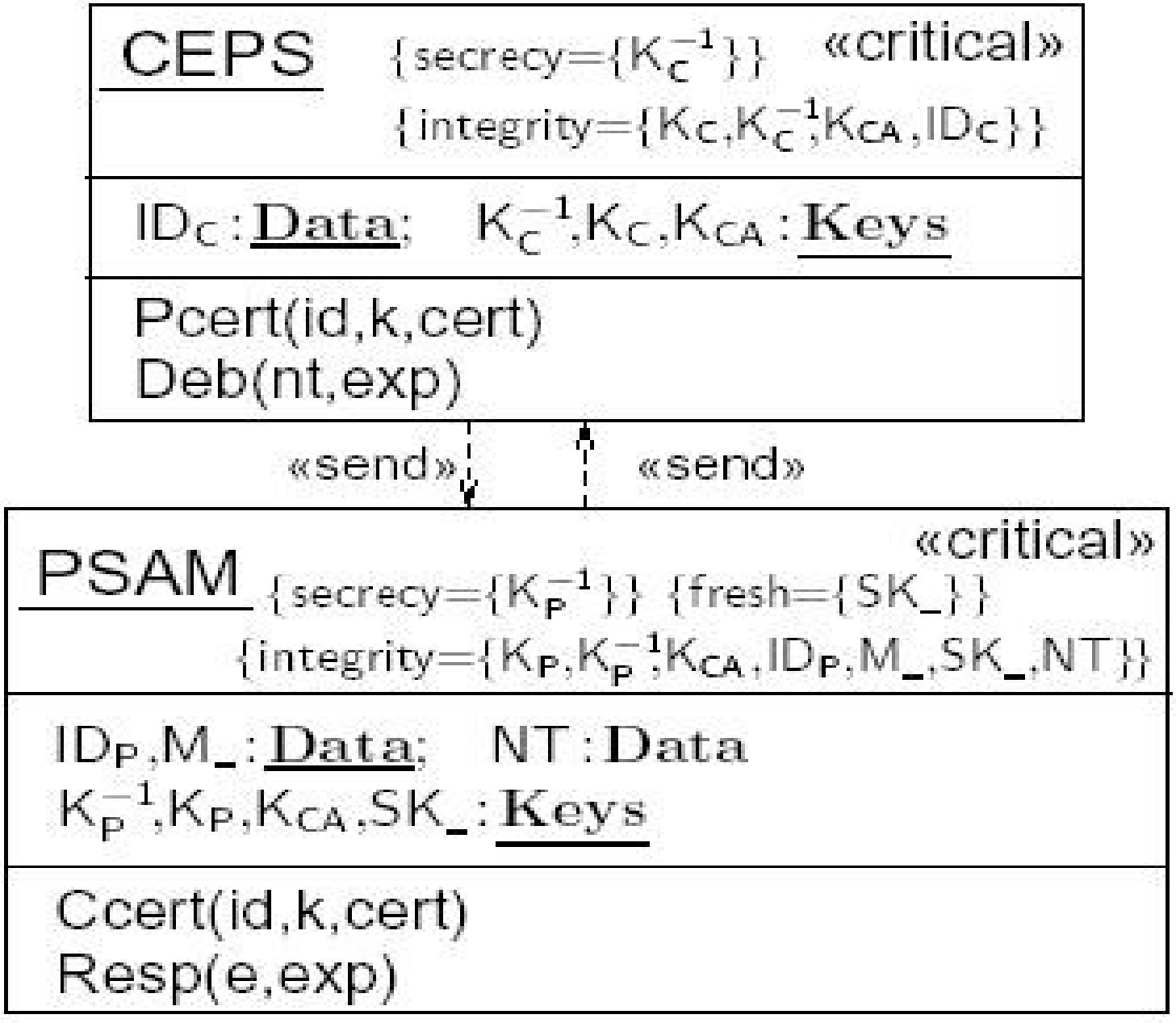


Purchase-Protokoll: Architektur

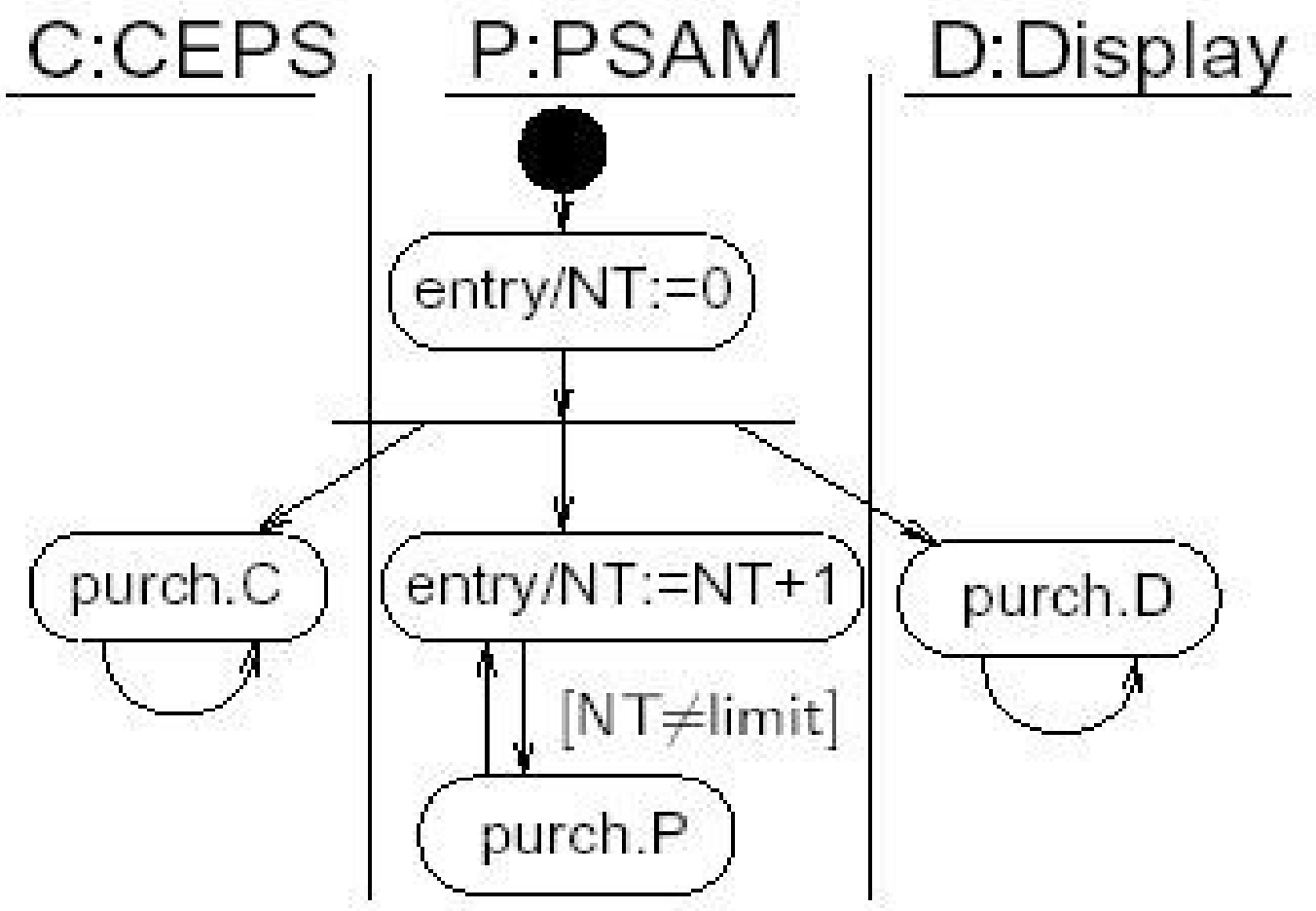


Stereotype	Threats
wire	{delete, read, insert}
smartcard	∅

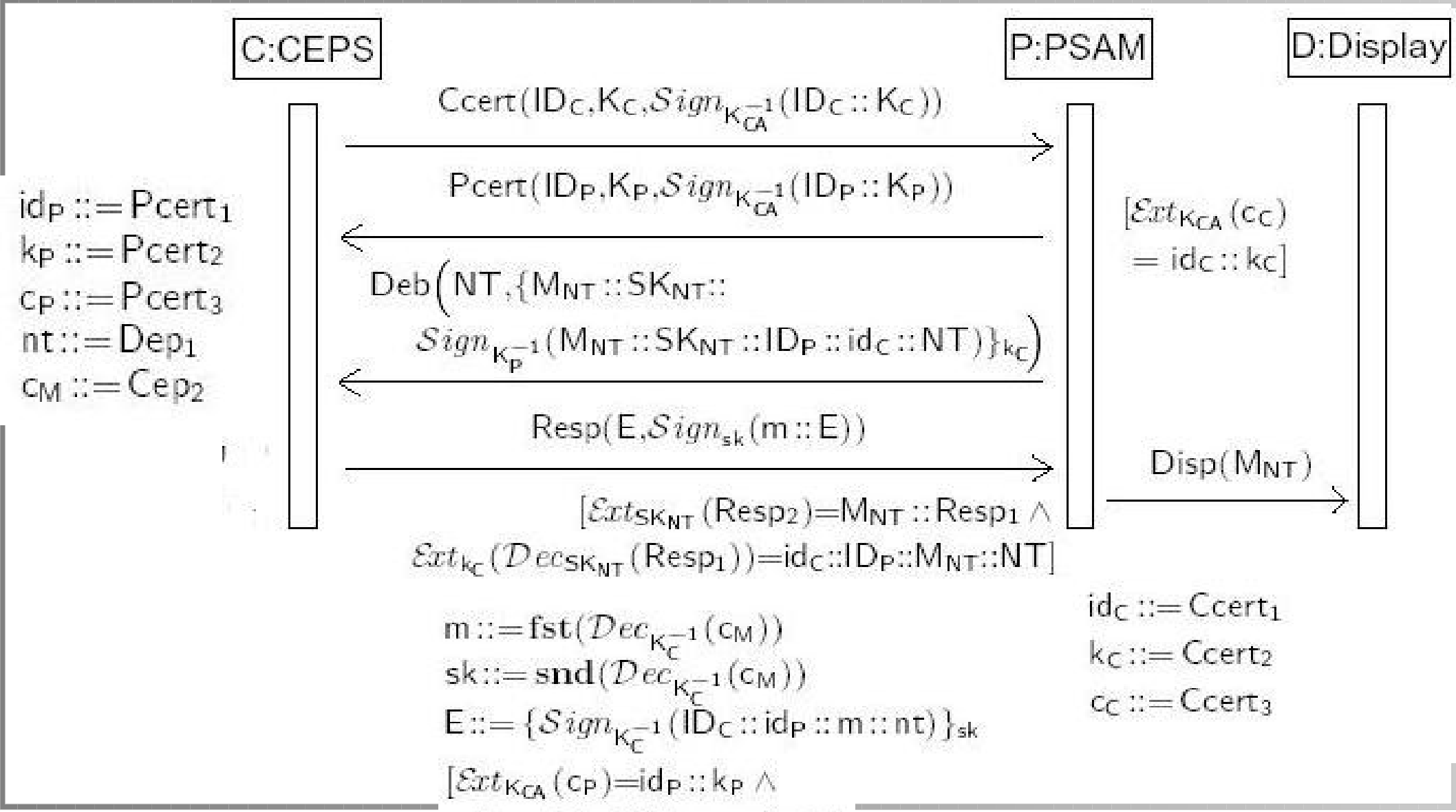
Klassendiagramm



Aktivitätsdiagramm



Interaktion



Sicherheitsbedrohungsmodell

Soll Karten-Authentisierung zwischen Station und Karte liefern.

Annahme: Karte und PSAM sind manipulationssicher.

Manipulieren von Kommunikationsverbindungen, Ersetzen von Komponenten.

Mögliche Angriffsmotivationen (Beispiele):

- **(Kein-)Karteninhaber**: Kauf ohne Bezahlung.
- **Angestellter des Geschäfts**: Kaufen von digitalem Inhalt mit der Karte des Kunden.
- **Angestellter des Kartenbetreibers**: Geldbetrag auf eigenes Konto umleiten.

Die Rollen können jeweils zusammenarbeiten oder sogar in einer Person übereinstimmen.

Sicherheitsanalyse

Keine direkte Kommunikation zwischen Karte und Inhaber. Manipulation der Aufladestation möglich.

➔ Post-Transaktions-Abrechnungsystem.

➔ Gespeicherte Transaktionsdaten sicherheitskritisch.

➔ Modell-basierte Analyse dieses System-Teiles.

Sicherheitsbedingungen (informell)

Kartenbesitzer-Sicherheit: Verkäufer hat nur Anspruch auf den Geldbetrag, der auf der Karte nach der Transaktion registriert ist.

Verkäufer-Sicherheit. Verkäufer bekommt Bestätigung der Transaktion im Austausch für verkaufte Waren (um Geld zurückfordern zu können).

Kartenemittent-Sicherheit. Summe des Kontostandes der gültigen Karten und PSAMs unverändert durch Transaktion.

Verkäufer-Sicherheit: Technisch

Spezifikation der Verkäufer-Sicherheit mit Bezug auf Protokollnachrichten:

Jedes Mal, wenn das Display einen Wert M_{NT} , erhält, ist P in Besitz der zugehörigen Signaturen $Sign_{K_{CA}^{-1}}(ID_C::K_C)$ und $Sign_{K_C^{-1}}(ID_C::ID_P::M_{NT}::NT)$ für die relevanten Werte ID_C, K_C^{-1} und einen bislang unbenutzten Wert NT.

Analyse ergibt: Eigenschaft nicht erfüllt (!).

Angriff nutzt die Tatsache aus, dass das POS Gerät nicht manipulationssicher ist:

Leite Nachrichten zwischen Karten und PSAM zu einem anderen PSAM um (z.B. zum Kauf von digitalen Inhalt seitens eines Angestellten, auf Kosten des Kartenbesitzers).

Angriffsszenario

$$C \xrightarrow{\mathsf{Ccert}(\mathsf{ID_C},\mathsf{K_C},\mathcal{S}ign_{\mathsf{K_{CA}^{-1}}}(\mathsf{ID_C}::\mathsf{K_C}))} A \xrightarrow{\mathsf{Ccert}(\mathsf{ID_C},\mathsf{K_C},\mathcal{S}ign_{\mathsf{K_{CA}^{-1}}}(\mathsf{ID_C}::\mathsf{K_C}))} P'$$

$$C \xleftarrow{\mathsf{Pcert}(\mathsf{ID_{P'}},\mathsf{K_{P'}},\mathcal{S}ign_{\mathsf{K_{CA}^{-1}}}(\mathsf{ID_{P'}}::\mathsf{K_{P'}}))} A \xleftarrow{\mathsf{Pcert}(\mathsf{ID_{P'}},\mathsf{K_{P'}},\mathcal{S}ign_{\mathsf{K_{CA}^{-1}}}(\mathsf{ID_{P'}}::\mathsf{K_{P'}}))} P'$$

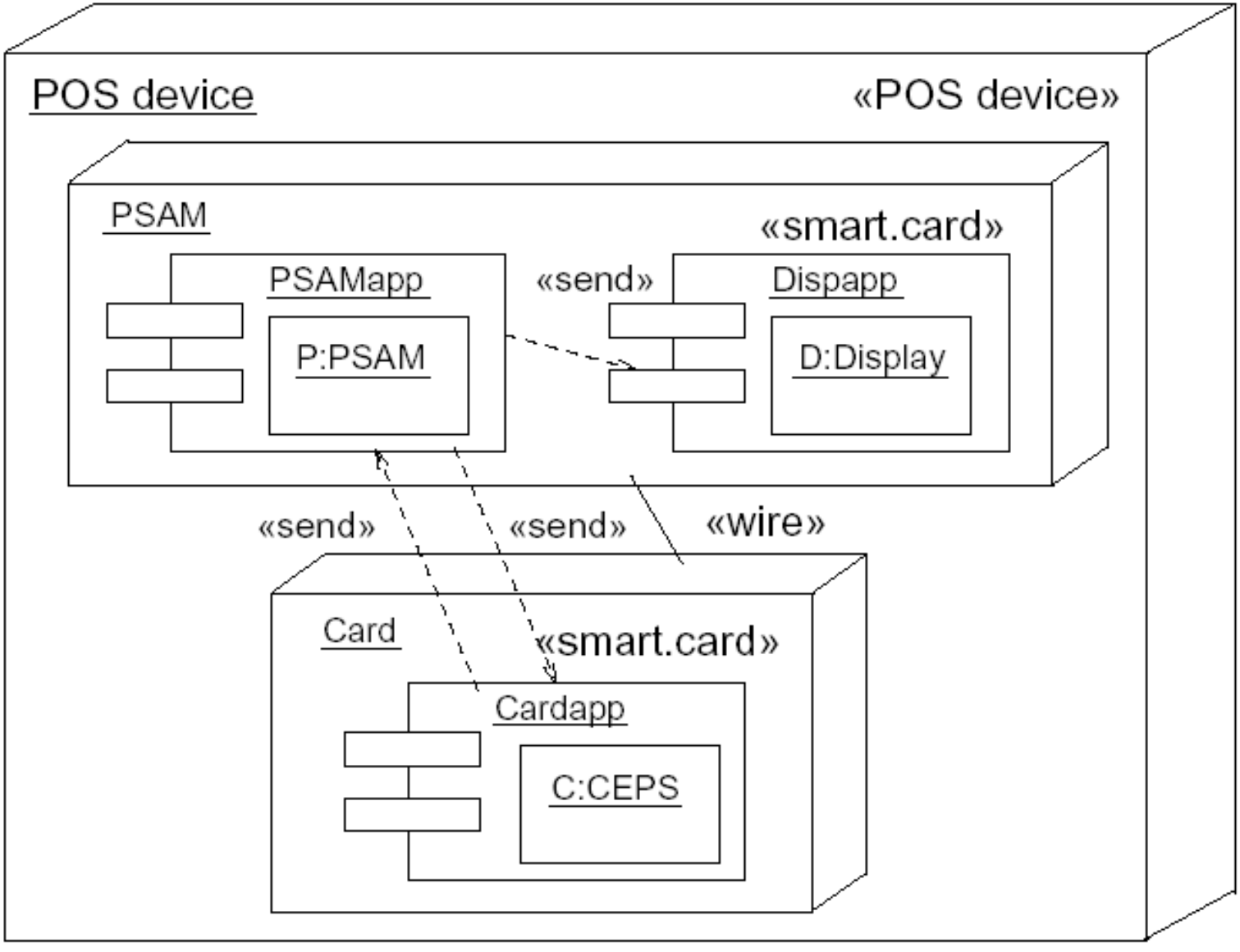
$$A \xleftarrow{\mathsf{Deb}(\mathsf{NT},\{\mathsf{M_{NT}}::\mathsf{SK_{NT}}::\mathcal{S}ign_{\mathsf{K_{P'}^{-1}}}(\mathsf{M_{NT}}::\mathsf{SK_{NT}}::\mathsf{ID_{P'}}::\mathsf{id_C}::\mathsf{NT})\}_{\mathsf{k_C}})} P'$$

$$C \xleftarrow{\mathsf{Deb}(\mathsf{NT},\{\mathsf{M_{NT}}::\mathsf{SK_{NT}}::\mathcal{S}ign_{\mathsf{K_{P'}^{-1}}}(\mathsf{M_{NT}}::\mathsf{SK_{NT}}::\mathsf{ID_{P'}}::\mathsf{id_C}::\mathsf{NT})\}_{\mathsf{k_C}})} A$$

$$C \xrightarrow{\mathsf{Resp}(\mathsf{E},\mathcal{S}ign_{\mathsf{sk}}(\mathsf{m}::\mathsf{E}))} A \xrightarrow{\mathsf{Resp}(\mathsf{E},\mathcal{S}ign_{\mathsf{sk}}(\mathsf{m}::\mathsf{E}))} P'$$

$$A \xrightarrow{\mathsf{Disp}(\mathsf{M_{NT}})} D$$

Verbesserung: Kommunikationsverbindung zwischen PSAM und Display absichern



Ladeprotokoll (Load Protocol)

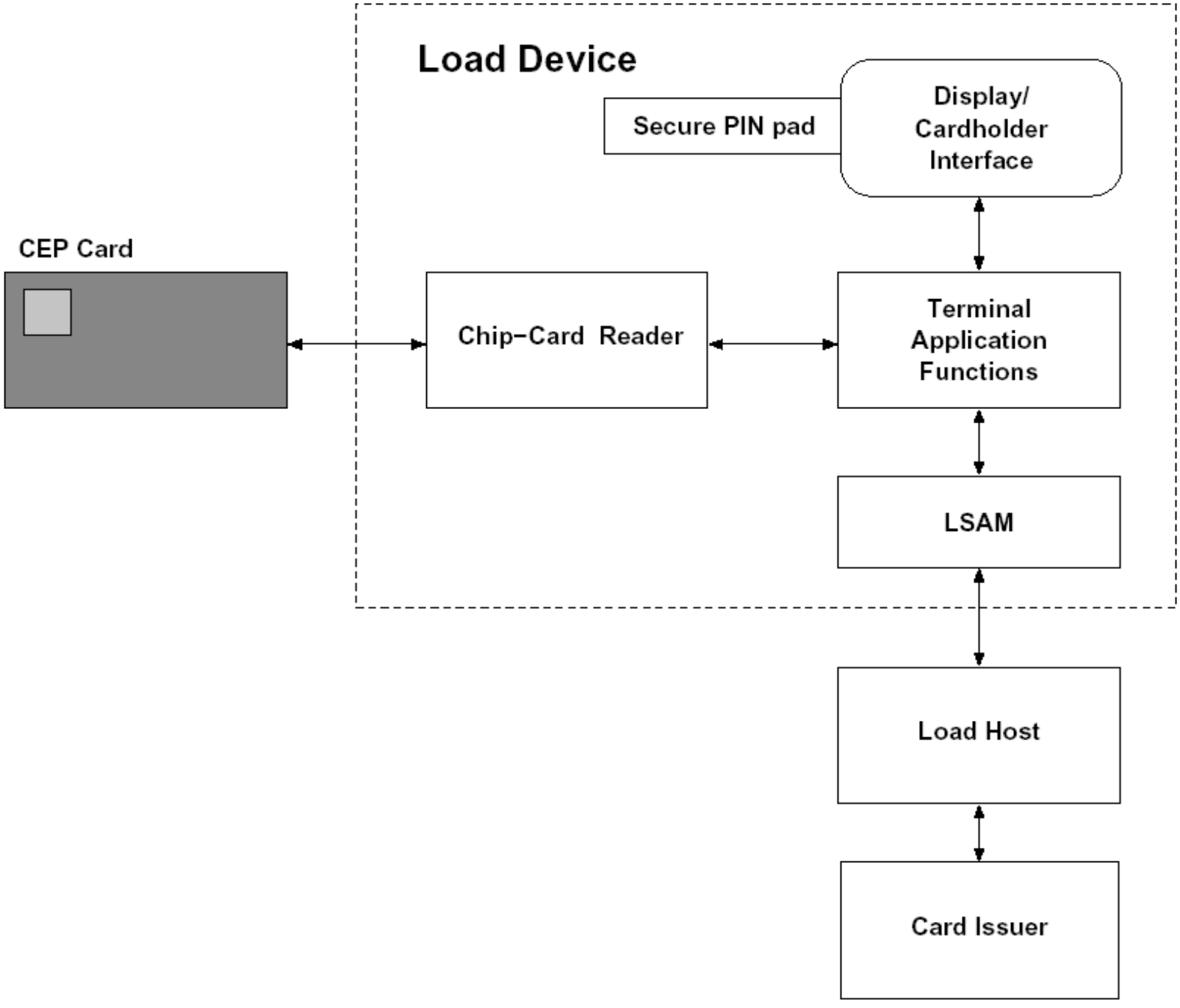
Karte mit Bargeld an Aufladestation laden (on-line).

Load Security Application Module (LSAM) speichert Transaktionsdaten.

Schickt Daten an Kartenemittent, der finanzielle Abwicklung übernimmt.

Symmetrische Verschlüsselung / Signatur.

CEPS Ladegerät



CEPS Lade-Protokoll: UMLsec-Spezifikation

Load
«data security»

Card «critical»
{secrecy={K_{CI}}}
{integrity={K_{CI},cep,nt,rc_{nt}}}

cep, nt, rc_{nt} : Data; K_{CI} : Keys

Init(lda,m)
Credit(s2,rl)

LSAM «critical»
{secrecy={K_{LI}}}
{integrity={K_{LI},lda,n,rl_n,$r2l_n$,r_n,m_n}}

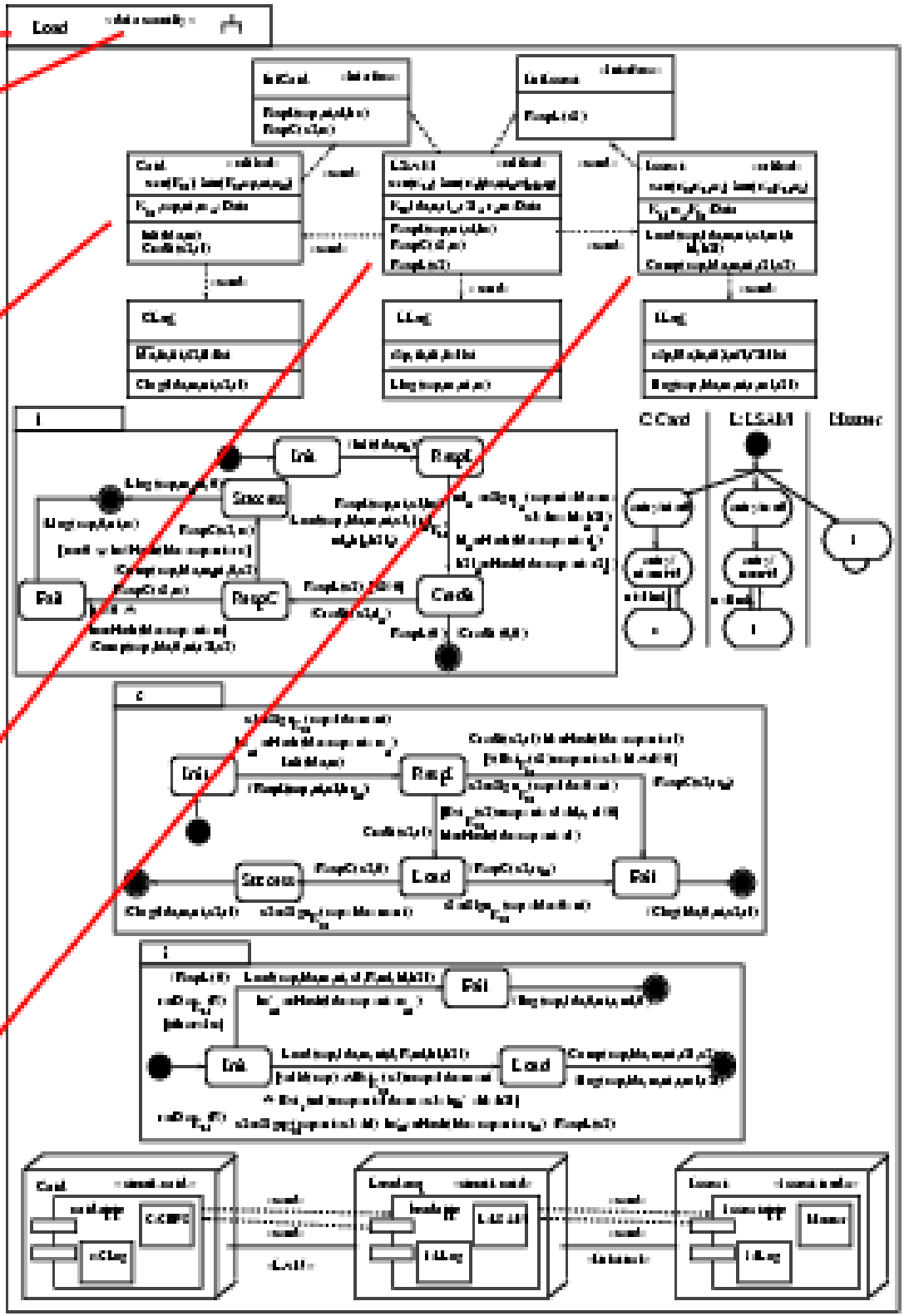
lda, n, rl_n, $r2l_n$, m_n : Data
K_{LI}, r_n : Keys

RespI(cep,nt,sl,hc)
RespC(s3,rc)
RespL(s2)

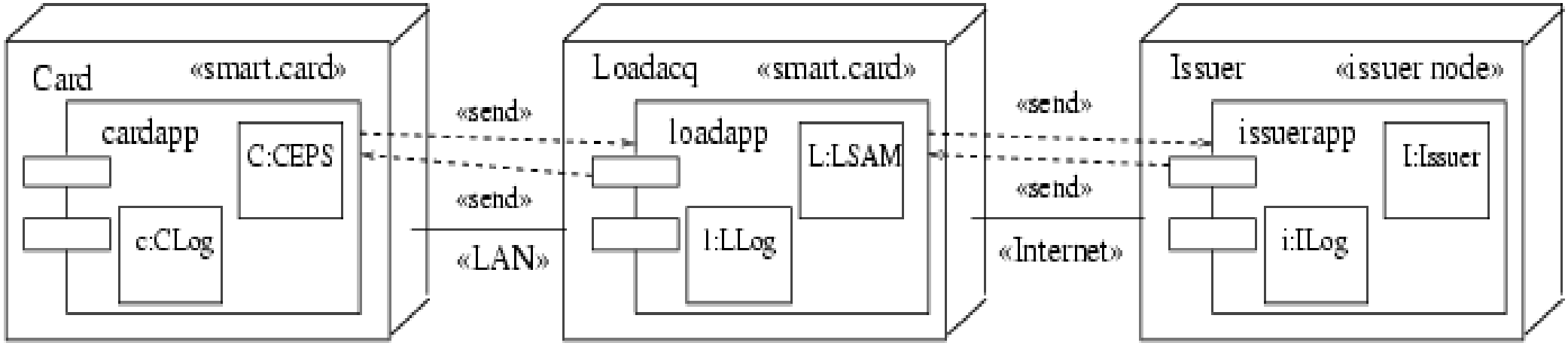
Issuer «critical»
{secrecy={K_{CI},K_{LI},rc_{nt}}}
{integrity={K_{CI},K_{LI},rc_{nt}}}

rc_{nt} : Data; K_{LI}, K_{CI} : Keys

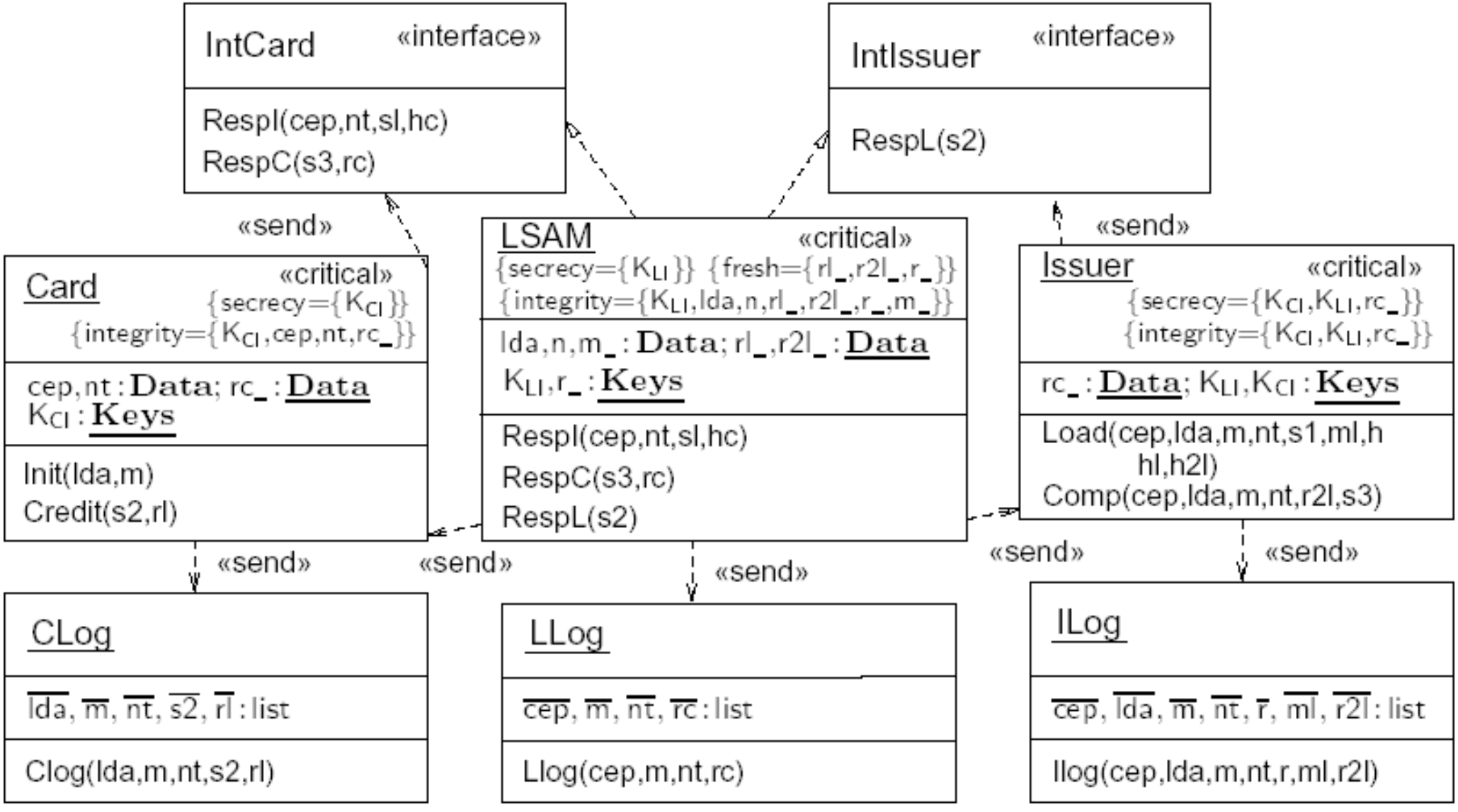
Load(cep,lda,m,nt,s1,ml,h
hl,h2l)
Comp(cep,lda,m,nt,r2l,s3)



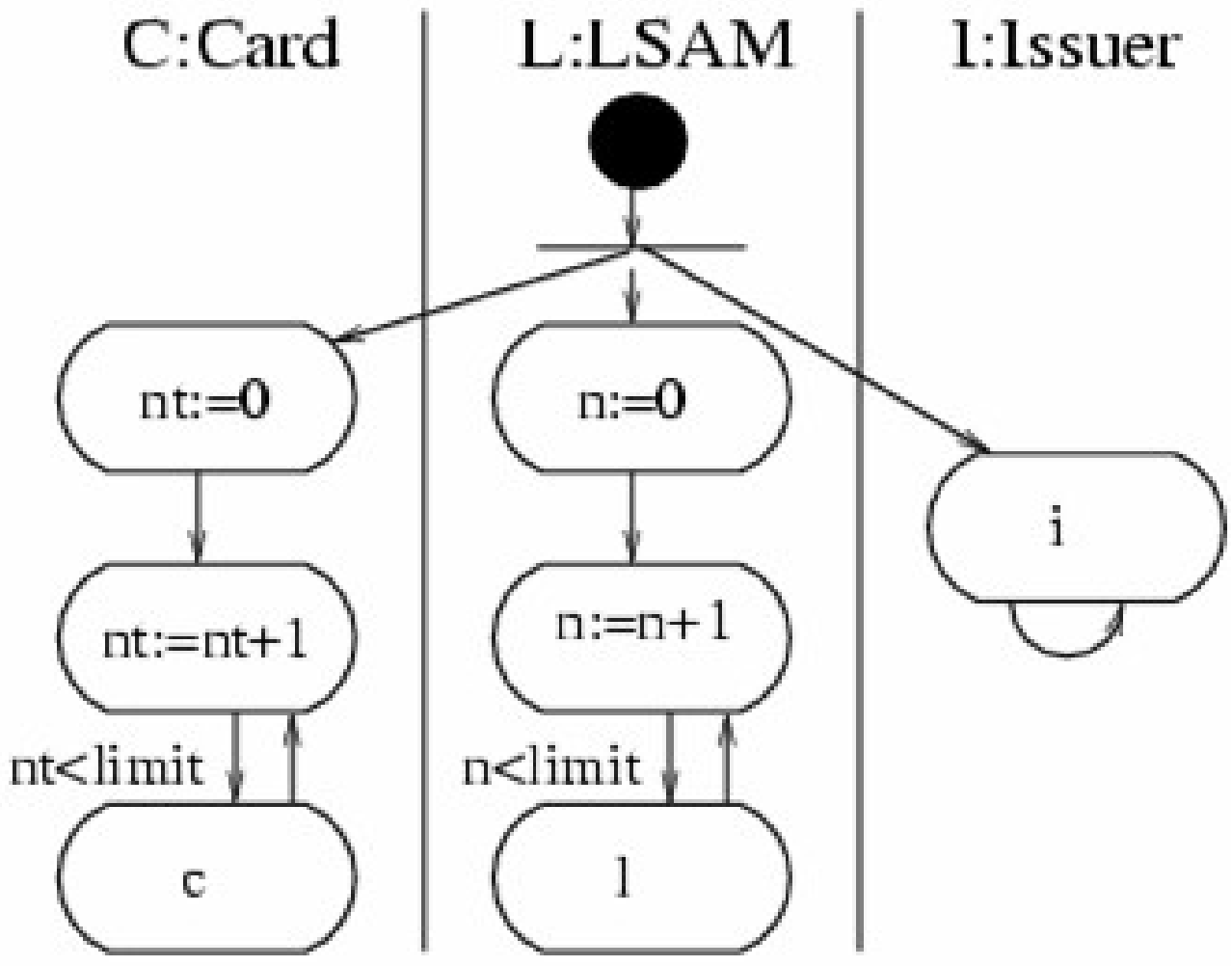
Lade-Protokoll: Verteilungsdiagramm



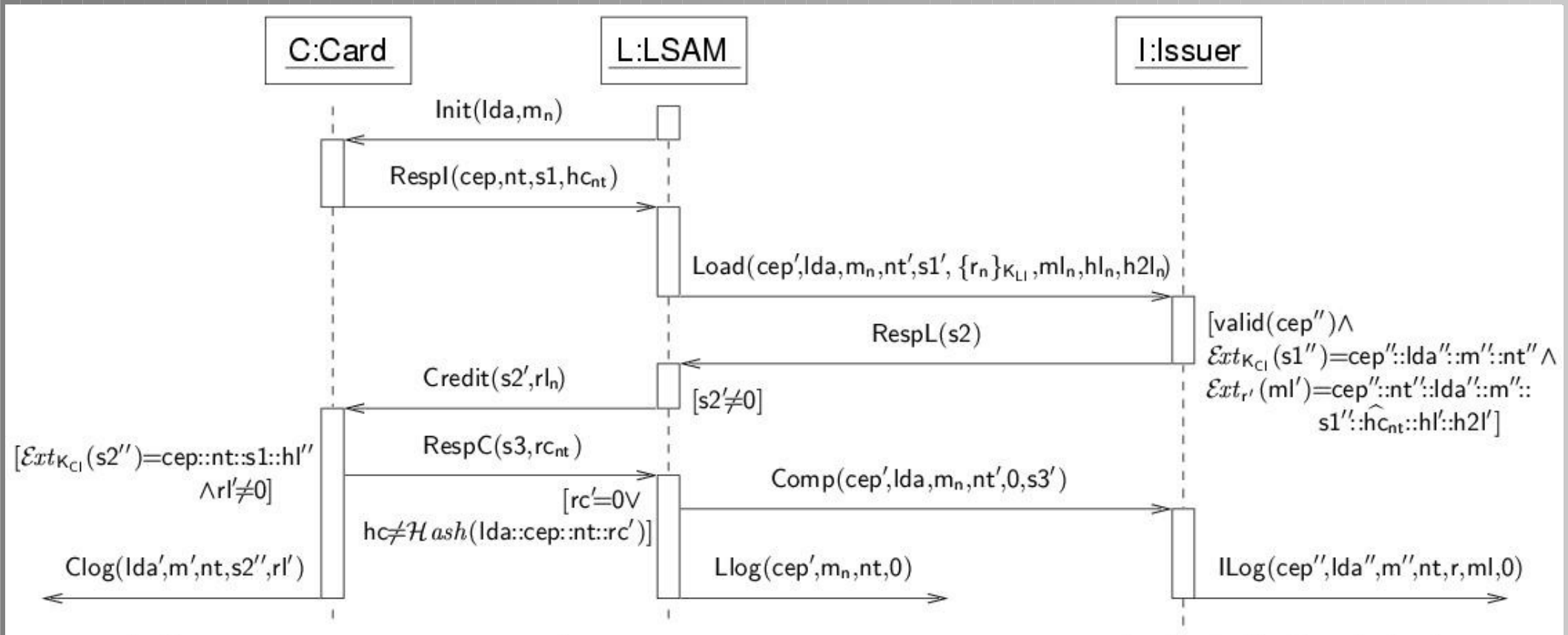
Lade-Protokoll: Klassendiagramm



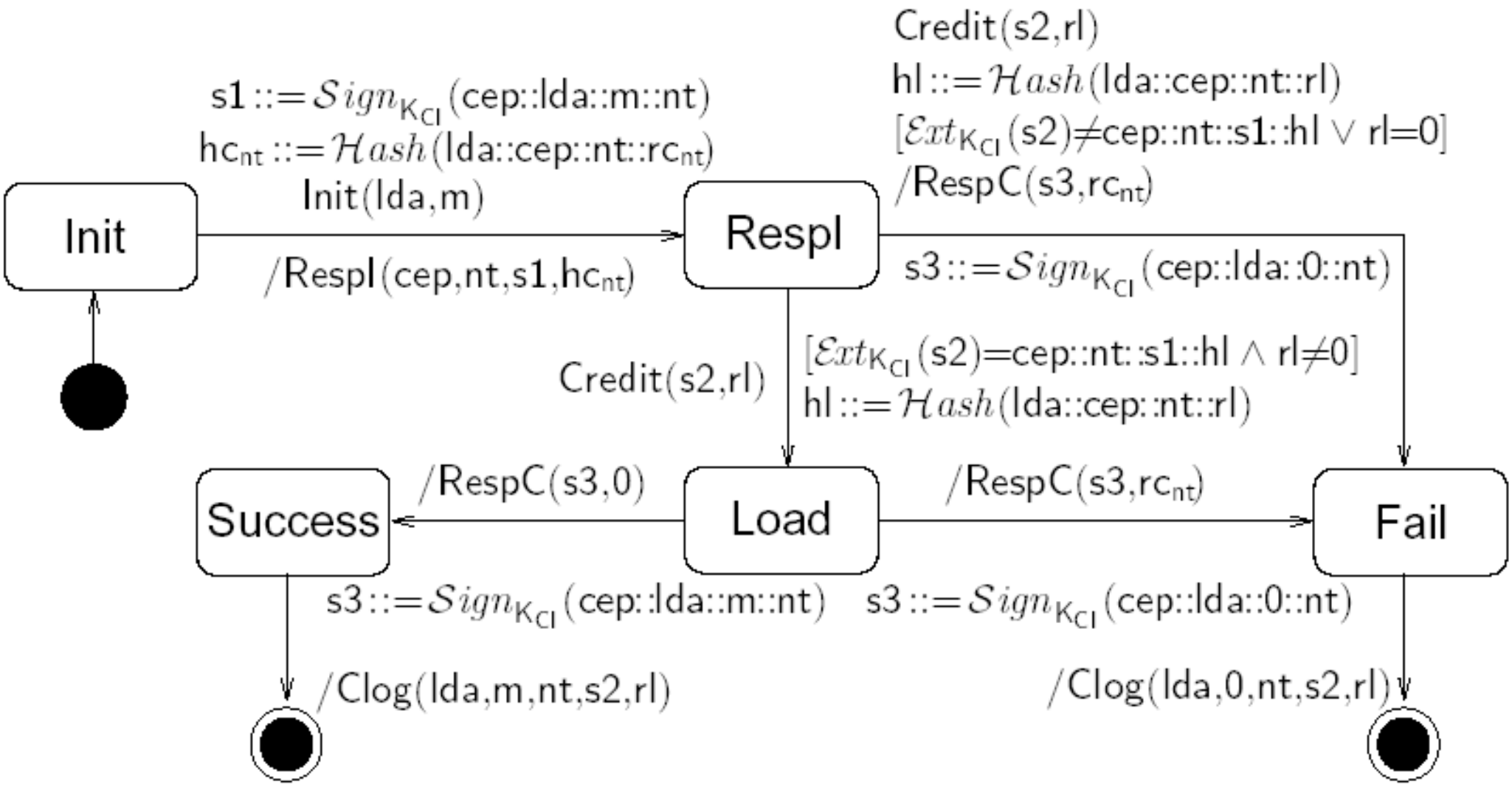
Lade-Protokoll: Koordination



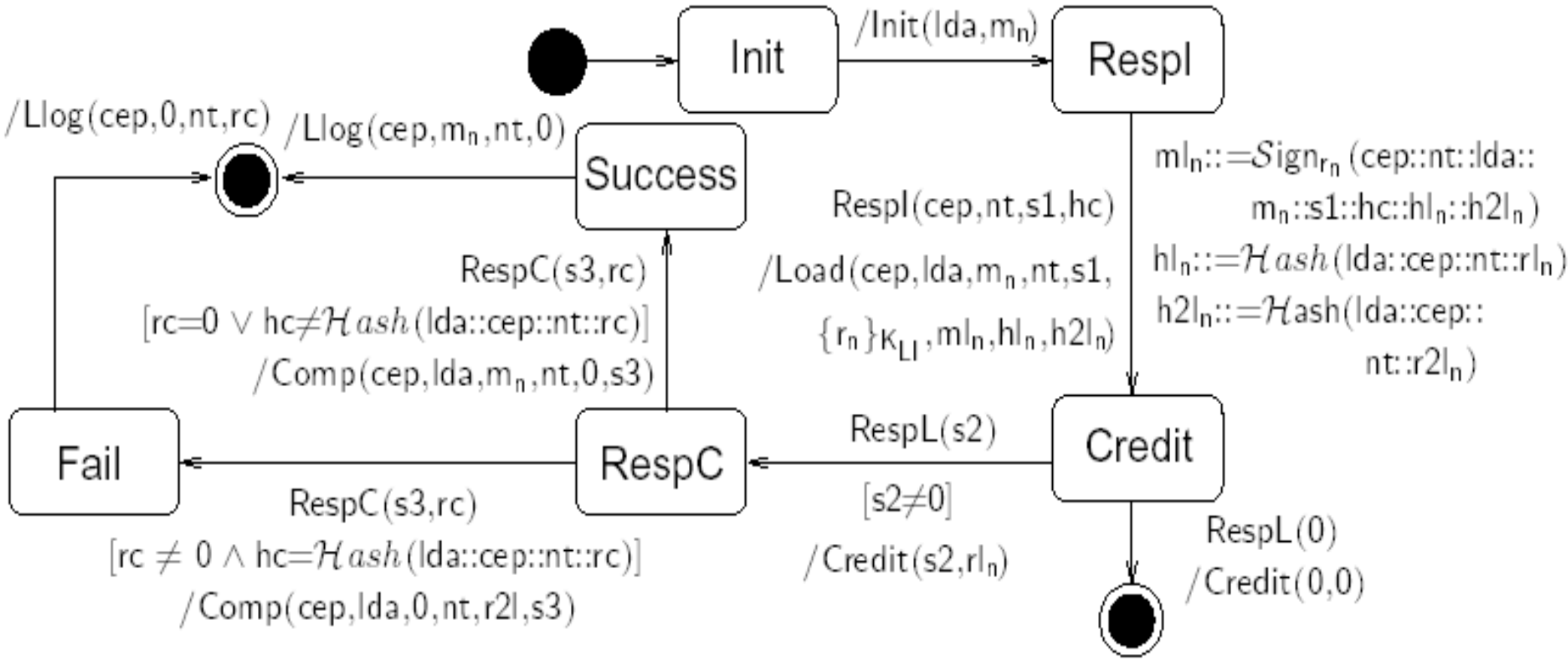
Lade-Protokoll: Interaktion



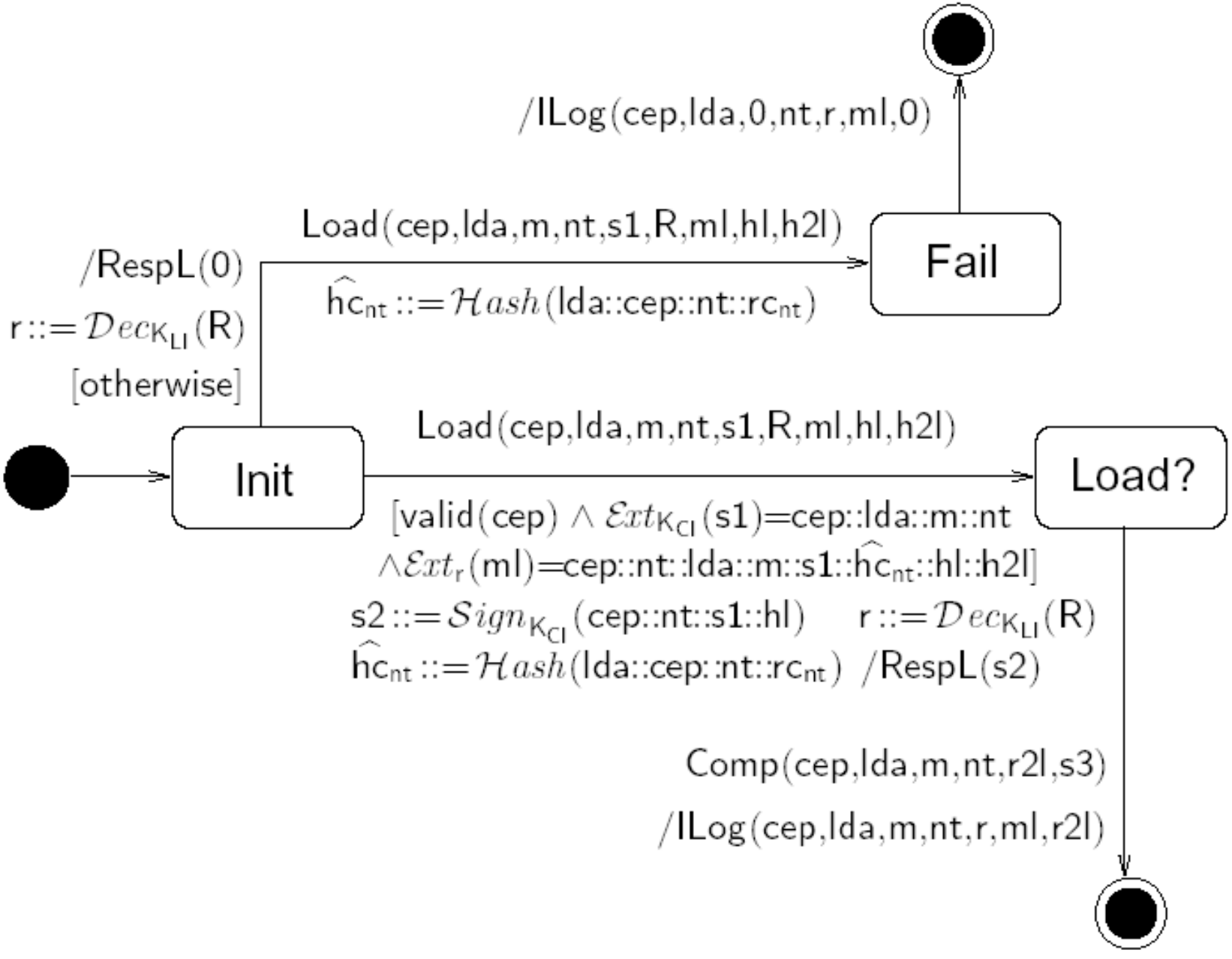
CEPS-Karte: Statechart



CEPS-LSAM: Statechart



CEPS-Kartenemittent: Statechart



Übersicht Daten-werte

Variable	Explanation
C	card
L	LSAM
I	card issuer
rc_{nt}	secret random values shared between card and issuer
rl_n, $r2l_n$	random numbers of LSAM
r_n	symmetric keys of LSAM
m_n	transaction amounts
m, rl, hl	m_n, rl_n, hl_n as received at card issuer
nt	card transaction number
n	acquirer-generated identification number
lda	load device identifier
cep	card identifier
s1	card signature: $\mathcal{S}ign_{K_{CI}}(\mathsf{cep} :: \mathsf{lda} :: \mathsf{m} :: \mathsf{nt})$
hc_{nt}	card hash value: $\mathcal{H}ash(\mathsf{lda} :: \mathsf{cep} :: \mathsf{nt} :: rc_{nt})$
$\widehat{hc}_{nt}$	hc_{nt} as created at issuer
rc, hc	rc_{nt}, hc_{nt} as received at load acquirer
K_{CI}	key shared between card and issuer
K_{LI}	key shared between LSAM and issuer
ml_n	$\mathcal{S}ign_{r_n}(\mathsf{cep} :: \mathsf{nt} :: \mathsf{lda} :: m_n :: \mathsf{s1} :: \mathsf{hc} :: hl_n :: h2l_n)$ (signed by LSAM)
hl_n	hash of transaction data: $\mathcal{H}ash(\mathsf{lda} :: \mathsf{cep} :: \mathsf{nt} :: \mathsf{rl})$
$h2l_n$	hash of transaction data: $\mathcal{H}ash(\mathsf{lda} :: \mathsf{cep} :: \mathsf{nt} :: \mathsf{r2l})$
s2	issuer signature: $\mathcal{S}ign_{K_{CI}}(\mathsf{cep} :: \mathsf{nt} :: \mathsf{s1} :: \mathsf{hl})$
s3	card signature of the form $\mathcal{S}ign_{K_{CI}}(\mathsf{cep} :: \mathsf{lda} :: \mathsf{m} :: \mathsf{nt})$

Bedrohungsszenarien

Annahme: Karte und LSAM manipulationssicher.

Mögliche Angreiferaktionen: Kommunikation abhören, Komponenten ersetzen.

Mögliche Motive (Beispiele):

Kartenbesitzer: Aufladen, ohne zu bezahlen.

Ladestation Betreiber: Geld des Kartenbesitzers einbehalten.

Kartenemittent: Unberechtigt Geld vom Ladestation-Betreiber verlangen.

Gemeinsamer Angriffsversuch denkbar.

Sicherheitsanforderungen (informell)

Kartenbesitzer: Wenn Karte laut Log-Daten mit dem Betrag *m* aufgeladen wurde, kann der Kartenbesitzer dem Karten-Emittenten beweisen, dass der Ladestation-Betreiber ihm *m* schuldet.

Ladestation-Betreiber: Ladestation-Betreiber muss Betrag *m* dem Kartenemittenten nur zahlen, nachdem er den Betrag vom Kartenbesitzer erhalten hat.

Karten-Emittent: Summe der Guthaben von Karten-inhaber und Ladestation-Betreiber nach Transaktion unverändert.

Ladestationbetreiber-Sicherheit: Technisch

Definiere Sicherheitsanforderung des Ladestationsbetreibers mit Bezug auf die Protokollnachrichten:
Nehme an, dass Kartenemittent *I* die Signatur $ml_n = Sign_m(cep::nt::lda::m_n::s1::hc_{rt}::hl_n::h2ln)$ besitzt und dass Karte *C* die Zufallszahl rl_n besitzt, wobei $hl_n = Hash\ (lda::cep::nt::rl_n)$.

Dann gilt nach der Transaktion eine der folgenden Aussagen:

- Llog(cep,lda,m_n,nt) wurde zu I:LLog gesendet (also hat der Ladegerätbetreiber L den Betrag m_n in bar bekommen) oder
- Llog $(cep, lda, 0, nt)$ wurde zu I:LLog gesendet (also hat der Ladegerätbetreiber L den Betrag m_n dem Kartenbesitzer zurück-gegeben) und L hat die Zufallszahl rc_{rt} erhalten (die den Wert m_{ln} negiert), wobei $hc_{rt} = Hash(lda::cep::nt::rc_{rt})$.

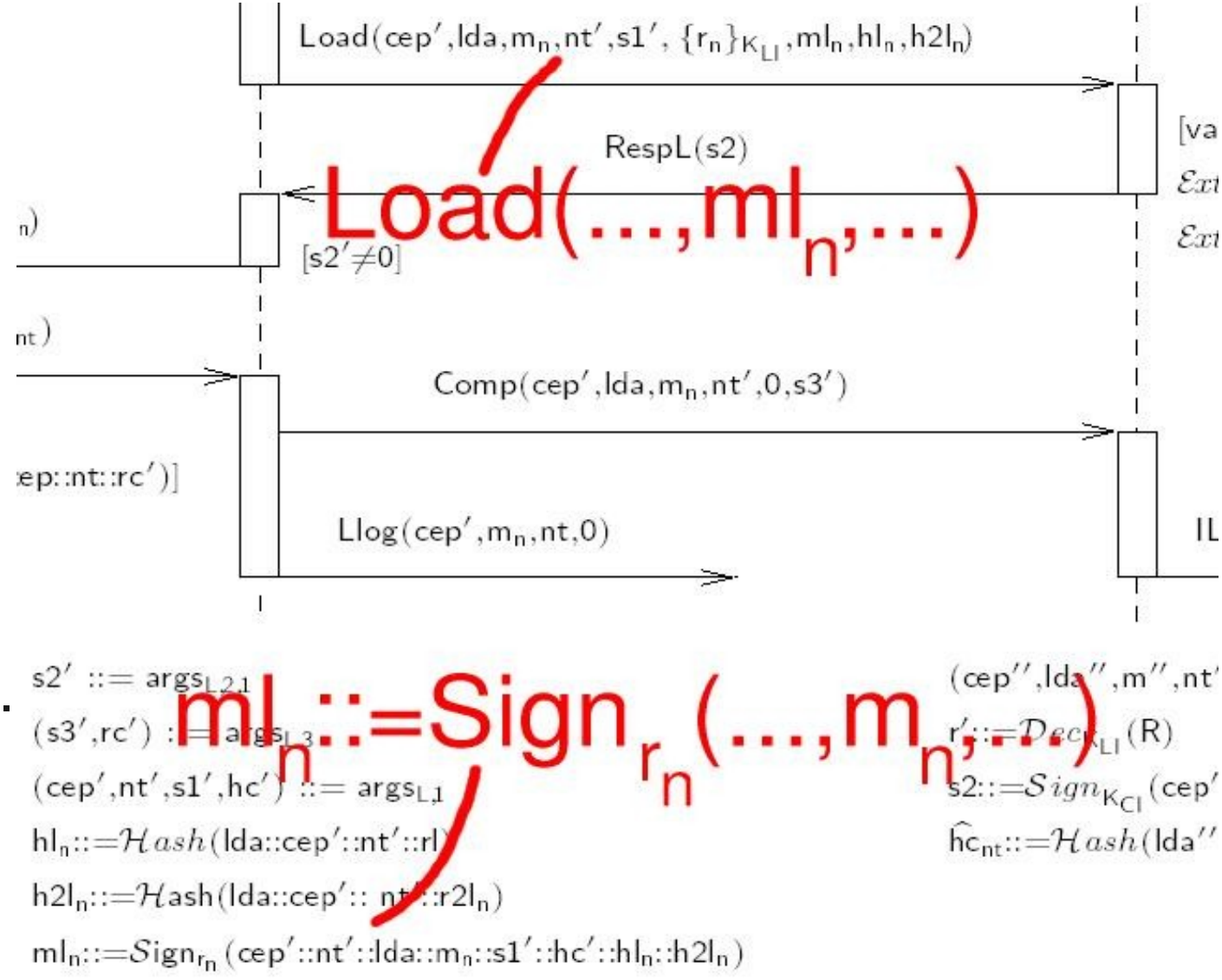
Ladegerätbetrieber-Sicherheit

"m_{In} gewährt die Garantie, dass der Ladegerätbetreiber den Transaktionsbetrag dem Kartenemittenten schuldet" (Zitat CEPS-Spezifikation)

Überraschung

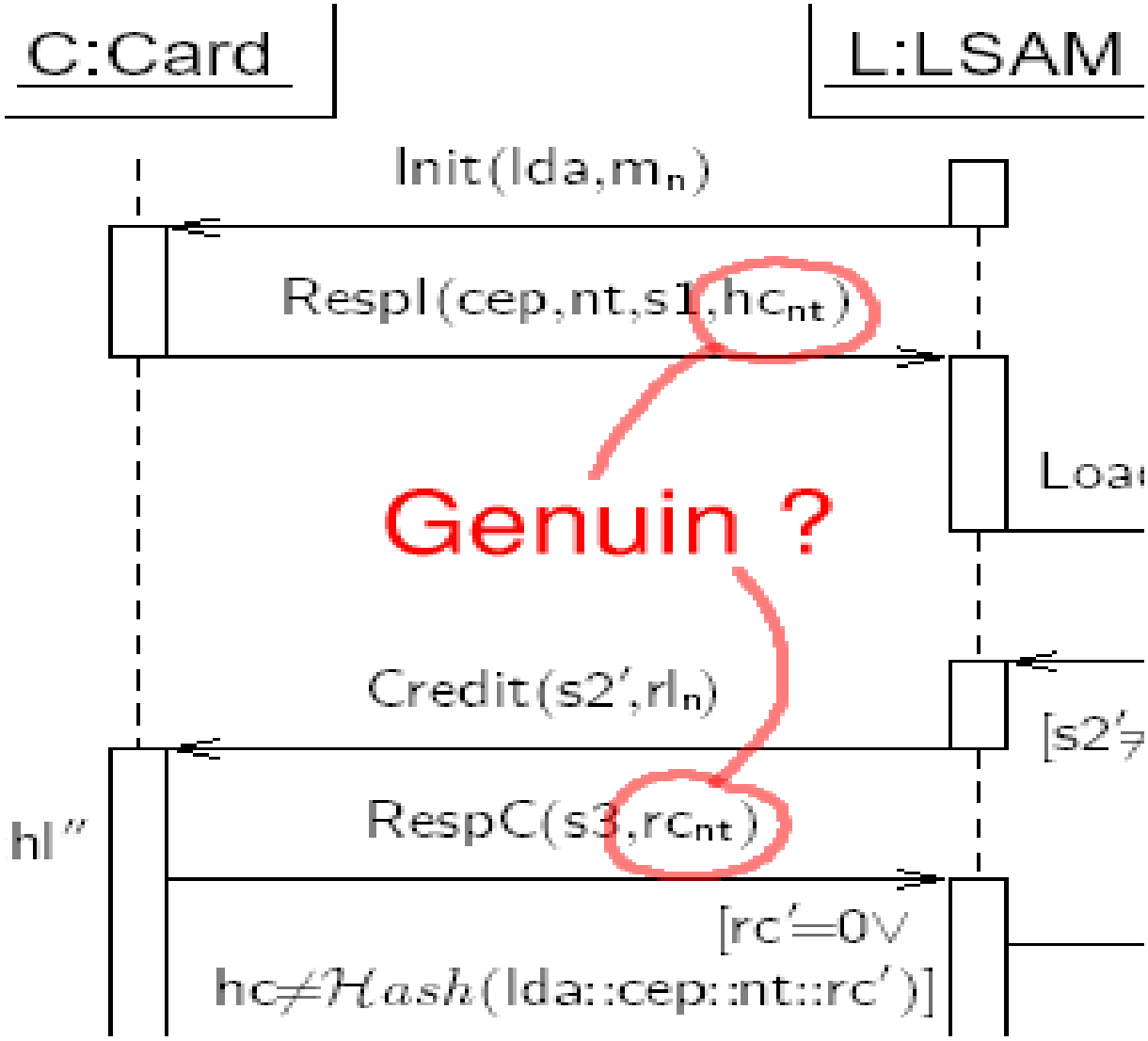
ml_n: „Beweis“ für Bank, dass Lade-gerät Geld erhielt.

Aber: r_n geteilt zwischen Bank und Ladegerät (symmetrisch).



Überraschung (2)

rc_{rt}: „Beweis“ für LSAM, dass Ladegerät nur Betrag m_n erhielt.
Aber: LSAM kann Validität von rc_{rt} nicht beweisen.



Schwachstelle

Analyse: Keine Sicherheit für Ladestation gegen interne Angreifer.

Änderung: asymmetrischer Schlüssel in ml_n , Signatur für hc_{nt}.

Modifizierte Version sicher laut Analyse.

Kartenbesitzer-Sicherheit

Kartenbesitzer-Sicherheit:

1) Für jede Nachricht Clog*(lda,m,nt,s2,rl)*, die an c : Clog gesendet wird, wenn $m \neq 0$ (d.h. wenn es scheint, dass Karte mit m geladen wurde), dann $rl \neq 0$ und es gilt:

$$Ext_{K_{\mathfrak{C}}}(s2) = cep :: nt :: Sign_{K_{\mathfrak{C}}}(cep :: lda :: m :: nt) :: Hash(lda :: cep :: nt :: rl)$$

(wobei der Kartenemittent bestätigt, dass *rl* ein geprüfter Nachweis der Transaktion ist). Und:

2) Für jede zwei Nachrichten Clog*(lda,m,nt,s2,rl)* und *Clog(lda',m',nt',s2',rl')* die zu c : Clog gesendet wurden, haben wir $n \neq nt'$.

Kartenemittent-Sicherheit:

Für jede Nachricht Clog*(lda,m,nt,s2,rl)*, die an c : Clog gesendet wird, wenn $m \neq 0$ und

$$Ext_{K_{CI}}(s2) = cep :: nt :: Sign_{K_{CI}}(cep :: lda :: m :: nt) :: Hash(lda :: cep :: nt :: rl)$$

für einen Wert lda gilt, dann hat der Kartenemittent eine gültige Signatur m_{ln} gemäß der Transaktion.

Zusammenfassung

- Aufbau Common Electronic Purse Specifications
- Protokoll
- Schwachstellen-Analyse
- Verbesserung