# IT-Security Tutorübung 04

Dorian Zedler

13. November 2023

Technische Universität München

# Inhalt der Tutorübung

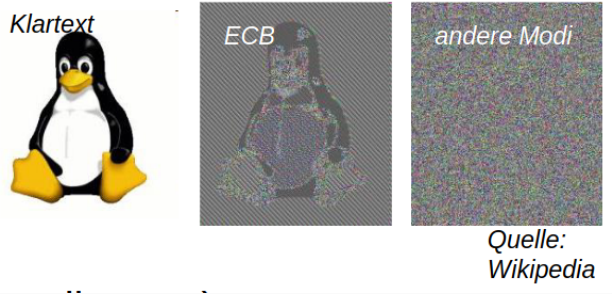
Aufgaben

# Aufgaben

# Aufgabe 1a - Betriebsmodi für Blockchiffren

a) Erklären Sie, warum Betriebsmodi für Blockchiffren notwendig sind!

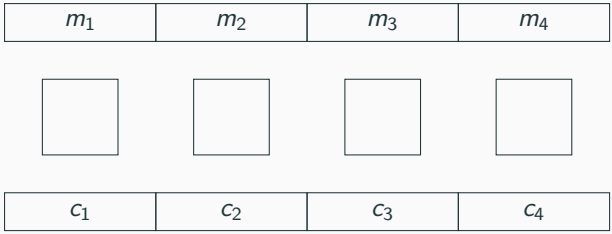
- Blockchiffren können nur einzelne Blöcke verschlüsseln
- Bei der unabhängigen Verschlüsselung mehrerer Blöcke kommt es zu Problemen (siehe TU03)
- Es gibt verschiedene Betriebsmodi, die diese Probleme lösen



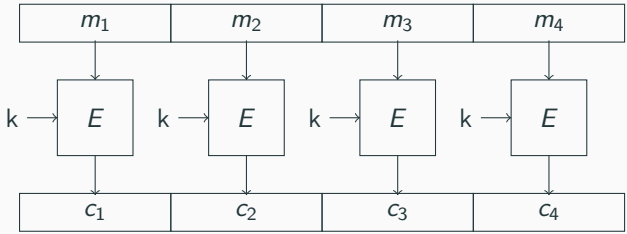
# Aufgabe 1b - Betriebsmodi für Blockchiffren

b) Skizzieren Sie nun die Verschlüsselung für folgenden Betriebsmodi und nennen Sie jeweils einige Eigenschaften:

- Electronic Code Book (ECB)
- Cipher Block Chaining (CBC)
- Counter (CTR)



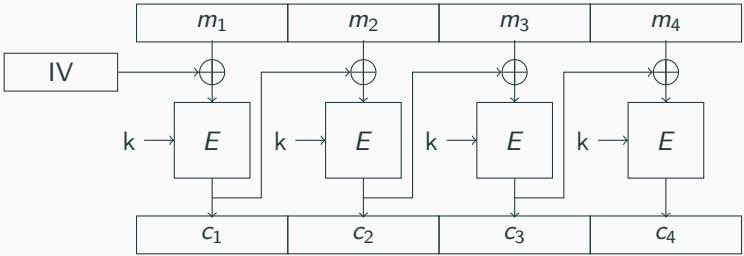
# Aufgabe 1b - Electronic Code Book (ECB)




Typische Probleme mit ECB:

- Muster sichtbar
- Teile entschlüsselbar falls Klartext - Ciphertext Paare bekannt
- Ciphertext blockweise vertauschbar

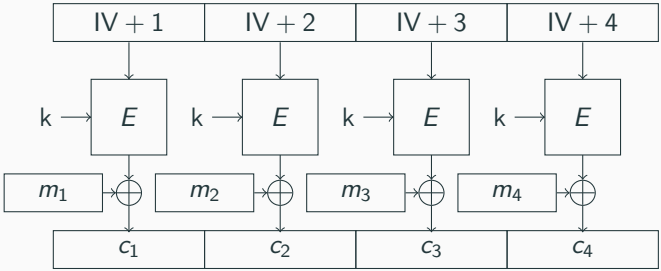
# Aufgabe 1b - Cipher Block Chaining (CBC)




Eigenschaften CBC

- Muster nicht erkennbar
- Keine parallele Verarbeitung von Blöcken mehr möglich, aber auch kein Ändern der Reihenfolge
- Bitfehler in Chiphertextblock i wirken sich an der gleichen Stelle in Klartextblock i+1 aus (Siehe später: Padding Oracle)

# Aufgabe 1b - Counter (CTR)




Eigenschaften CTR

- Blockchiffre ist nur zur Erzeugung von Schlüsselstrom
- Schlüsselstrom kann schon im Vorhinein berechnet werden
- Man muss nicht beim ersten Block anfangen

# Aufgabe 2 - WEP

- WEP wurde früher für die WLAN-Verschlüsselung eingesetzt
  - Stromchiffre RC4 erzeugt Schlüsselstrom für jede Nachricht: $RC4(IV|K)$
  - K: symmetrischer Schlüssel, IV: Initialisierungsvektor mit 24 Bit
  - Verschlüsselung geschieht mit $c = m \oplus RC4(IV|K)$
  - bei Verschlüsselung von vielen Nachrichten wird irgendwann der IV wiederverwendet!

# Aufgabe 2a - Probleme mit WEP

a) Welche Folgen hat die Wiederverwendung des IV für die Sicherheit der Verschlüsselung?

- Key ist statisch (WLAN-Passwort)
  $\rightarrow$bei identischem IV wird für verschiedene Pakete der gleiche Schlüsselstrom verwendet

# Aufgabe 2b - Angriff auf WEP

- Ein Angreifer hat die verschlüsselte Nachricht $c_1$ abgehört
- Später hat er die ihm bekannte Nachricht $M_2$ zu $c_2$ verschlüsselt
- Mit WEP gilt:
  - $c_1 = M_1 \oplus RC4(IV|K)$
  - $c_2 = M_2 \oplus RC4(IV|K)$

b) Wie kann der Angreifer nun $M_1$ berechnen?

- `XOR` ist selbstinvers, $\rightarrow A = A \oplus B \oplus B$
- Schlüsselstrom lässt sich mit $c_2$ und $M_2$ berechnen:
  $c_2 \oplus M_2 = (M_2 \oplus \text{RC4}(IV|K)) \oplus M_2 = \text{RC4}(IV|K)$
- Mit dem Schlüsselstrom kann man $c_1$ zu $M_1$ entschlüsseln:
  $c_1 \oplus \text{RC4}(IV|K) = (M_1 \oplus \text{RC4}(IV|K)) \oplus RC4(IV|K) = M_1$

# Aufgabe 3 - PKCS#7

- Padding wird verwendet, um die Länge des Klartextes auf ein Vielfaches der Blocklänge zu bringen
- Wenn `k` Bytes gepaddet werden müssen, werden `k` Bytes mit dem Wert `k` angehängt
- Beispiel:

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| I | T | - | S | i | c | h | e | r | h | e | i | t | \x03 | \x03 | \x03 |
| I | T | - | S | i | c | h | e | r | h | e | i | \x04 | \x04 | \x04 | \x04 |

- Wird beim Padding-Oracle zur Schwachstelle

# Aufgabe 3a - PKCS#7

a) Die Nachricht M = "Foobar" soll mit AES (Blockgröße 16 Byte) verschlüsselt werden. Wie sieht diese Nachricht mit *PKCS#7*-Padding aus?

- Die Nachricht hat Länge 6, somit müssen 10 Bytes gepadded werden.
- ASCII: `foobar\n\n\n\n\n\n\n\n\n\n`
- Hex: `666f6f6261720a0a0a0a0a0a0a0a0a0a`

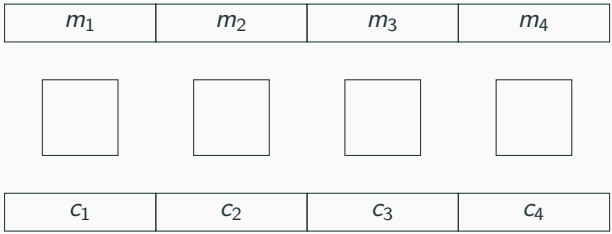
# Aufgabe 3b - PKCS#7

b) Wie sieht die Nachricht M = "Das ist ein Test" mit *PKCS#7*-Padding aus? Wie kann ein Empfänger entscheiden, ob es sich am Ende der Nachricht um Padding handelt oder nicht?

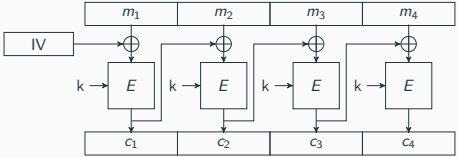
- ASCII: `Das ist ein Text\x10\x10\x10\x10\x10\x10 \x10\x10\x10\x10\x10\x10\x10\x10\x10\x10`
- Hex: `44617320697374206569652054657874 10101010101010101010101010101010`

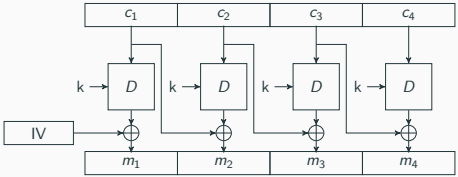
# Aufgabe 3c - Entschlüsselung von CBC

c) Mit der Verschlüsselung im CBC-Modus haben Sie sich bereits vertraut gemacht. Skizzieren Sie nun auch die Entschlüsselung!



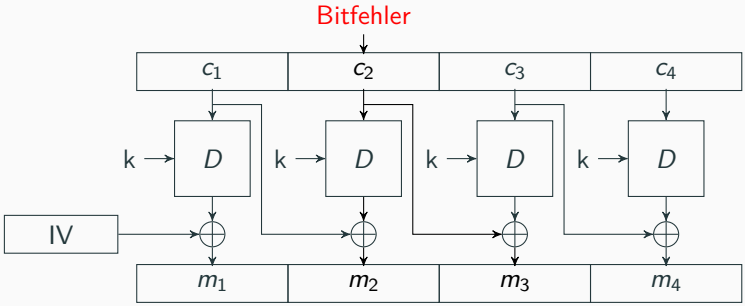
# Aufgabe 3c - Entschlüsselung von CBC



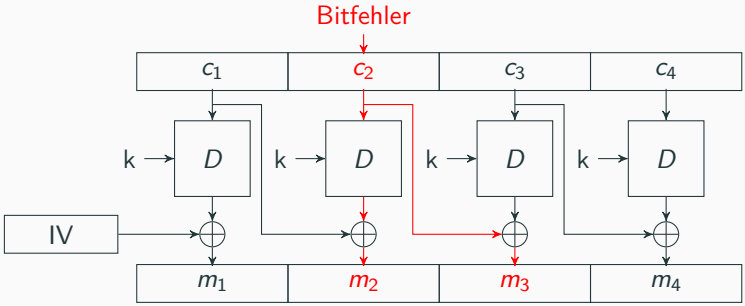
# Aufgabe 3d - Bitfehler im CBC-Modus

d) Wie wirken sich im CBC-Modus Bitfehler im Ciphertext auf den entschlüsselten Klartext aus?



# Aufgabe 3d - Bitfehler im CBC-Modus

d) Wie wirken sich im CBC-Modus Bitfehler im Ciphertext auf den entschlüsselten Klartext aus?



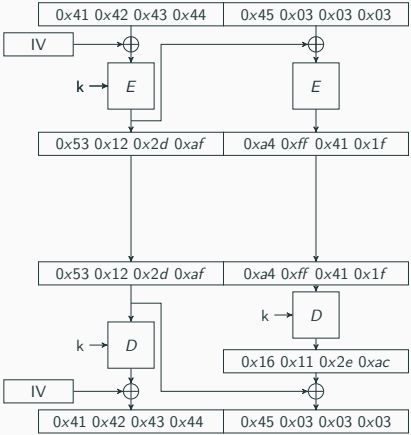

- Wegen Konfusion und Diffusion ist m2 komplett verändert
- Bei m3 ist nur das in c2 veränderte Bit verändert

# Aufgabe 3e - Padding-oracle

e) Skizzieren Sie nun einen Padding-Oracle-Angriff: Wie könnte ein Angreifer die Fehlerausbreitung im CBC-Modus nutzen, um beliebige Nachrichten von einem *Padding-Oracle* entschlüsseln zu lassen?

# Aufgabe 3e - Padding-oracle

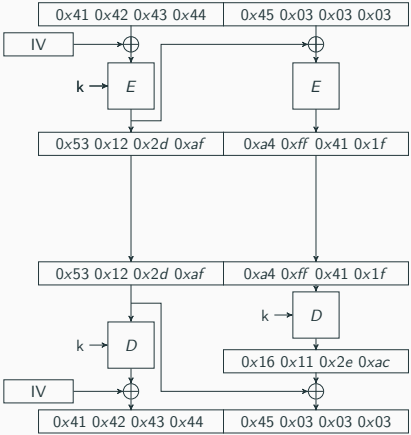
Verschlüsselung und Entschlüsselung im CBC-Modus



# Aufgabe 3e - Padding-oracle

Blockgröße: 4 Byte

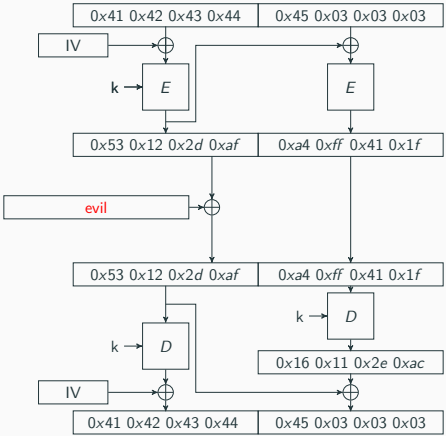
Klartext: "ABCDE"



# Aufgabe 3e - Padding-oracle

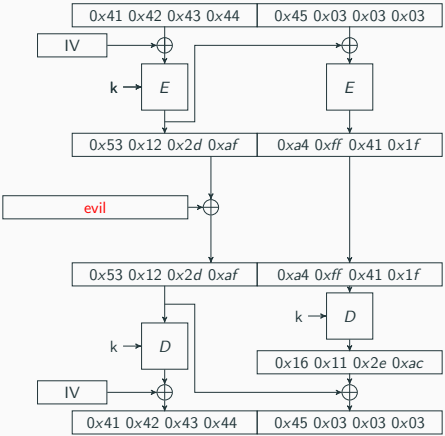
Blockgröße: 4 Byte

Klartext: "ABCDE"



# Aufgabe 3e - Padding-oracle

Korrektes Padding, falls
$m'_2 = ?$



# Aufgabe 3e - Padding-oracle

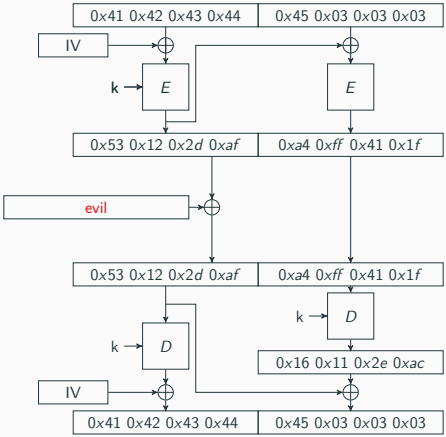
Korrektes Padding, falls $m'_2 = ?$

0x04 0x04 0x04 0x04

0x__ 0x03 0x03 0x03

0x__ 0x__ 0x02 0x02

0x__ 0x__ 0x__ 0x01



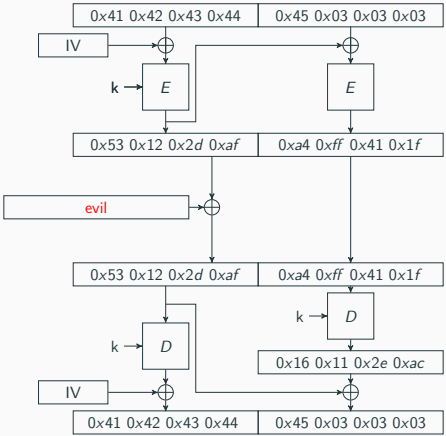
# Aufgabe 3e - Padding-oracle

Korrektes Padding, falls

$m_2' = ?$

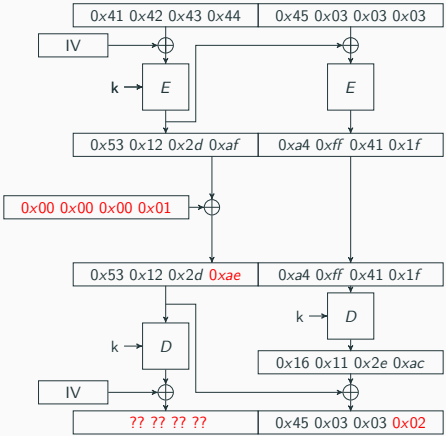
```
0x04 0x04 0x04 0x04
0x__ 0x03 0x03 0x03
0x__ 0x__ 0x02 0x02
0x__ 0x__ 0x__ 0x01
```

$\Rightarrow$ **Bruteforce**



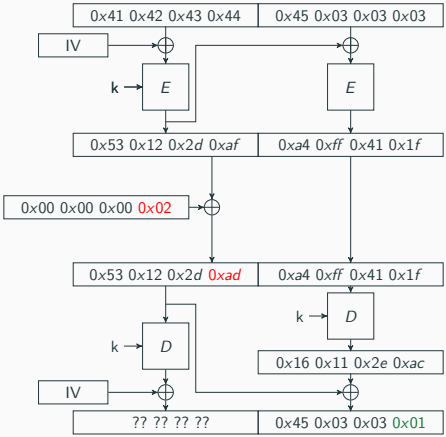
# Aufgabe 3e - Padding-oracle

Bruteforce:
$m_2'[3] = 0x01$



# Aufgabe 3e - Padding-oracle

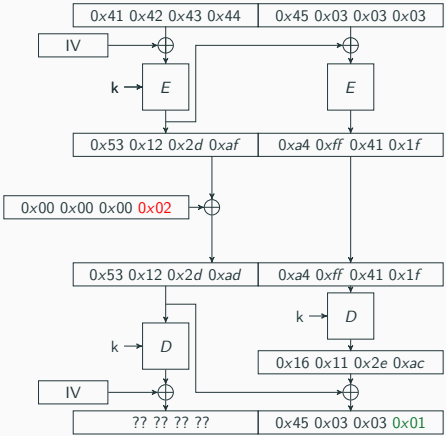
Bruteforce:
$m_2'[3] = 0x01$



# Aufgabe 3e - Padding-oracle

Padding korrekt:

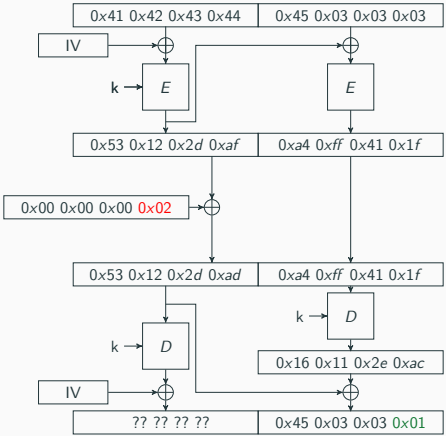
$m_2'[3] = 0x01$



# Aufgabe 3e - Padding-oracle

Padding korrekt:
$m_2'[3] = 0x01$

$m_2[3] = 0x01 \oplus 0x02 =$
$0x03$



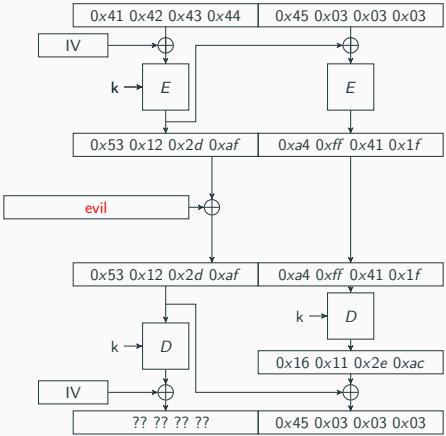
# Aufgabe 3e - Padding-oracle

Bruteforce:

$m_2'[2:3] = 0x02\ 0x02$

Wann gilt

$m_2'[3] = 0x02$?



# Aufgabe 3e - Padding-oracle

Wann gilt
$m_2'[3] = 0x02$?

XOR propagiert:

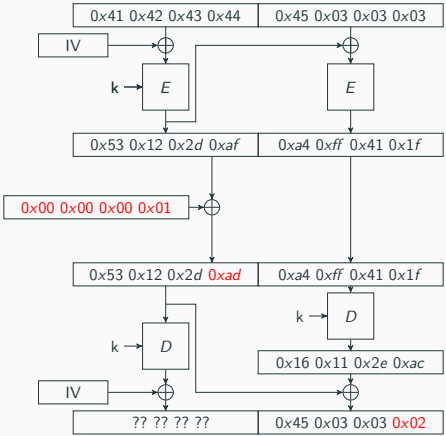
$c_1' = c_1 \oplus e$

$\rightarrow m_2' = m_2 \oplus e$

$\rightarrow e[3] = m_2[3] \oplus m_2'[3]$

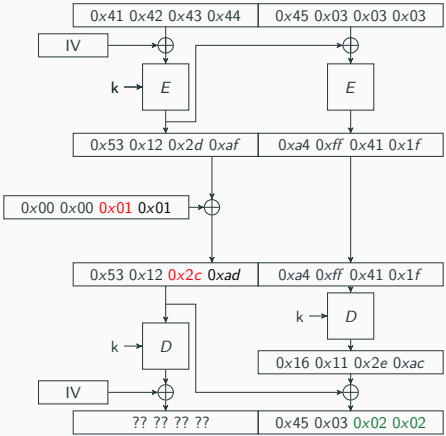
$= 0x03 \oplus 0x02$

$= 0x01$



# Aufgabe 3e - Padding-oracle

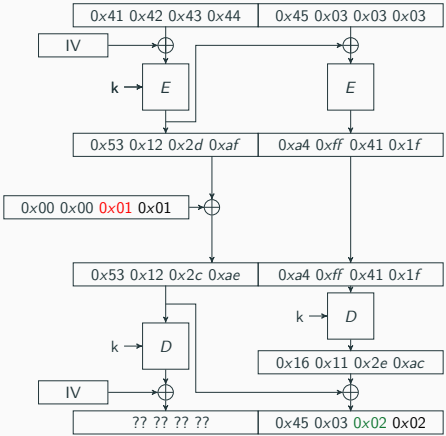
Bruteforce:
$m_2'[2] = 0x02$



# Aufgabe 3e - Padding-oracle

Padding korrekt:

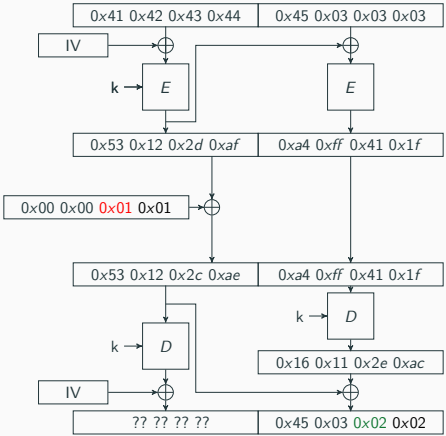
$m_2'[2] = 0x02$



# Aufgabe 3e - Padding-oracle

Padding korrekt:
$m_2'[2] = 0x02$

$m_2[2] = 0x02 \oplus 0x01 = 0x03$



# Aufgabe 3e - Padding-oracle

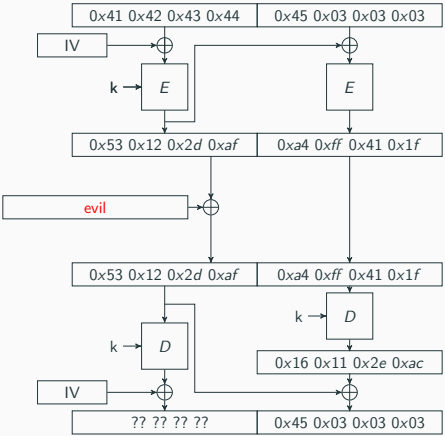
Bruteforce:

$m_2'[1:3] = 0x03\ 0x03\ 0x03$

Wann gilt

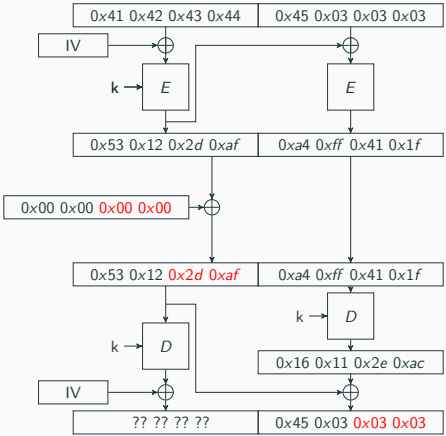
$m_2'[3] = 0x03$?

$m_2'[2] = 0x03$?



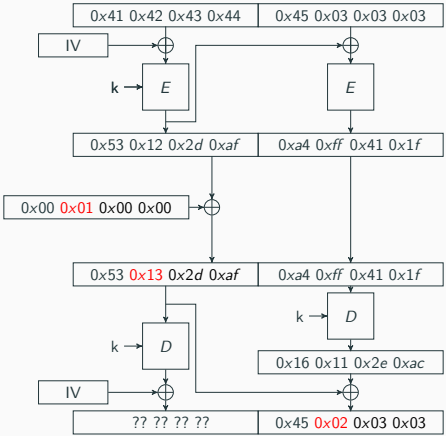
# Aufgabe 3e - Padding-oracle

$$
\begin{aligned}
e[3] &= 0x03 \oplus 0x03 \\
&= 0x00 \\
e[2] &= 0x03 \oplus 0x03 \\
&= 0x00
\end{aligned}
$$



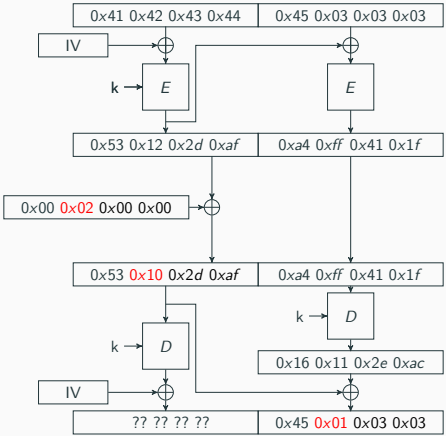
# Aufgabe 3e - Padding-oracle

Bruteforce: $m_2'[1] = 0x03$



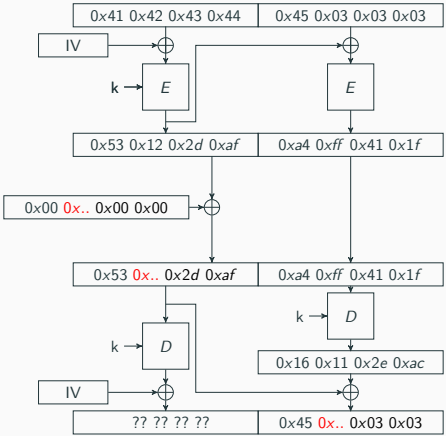
# Aufgabe 3e - Padding-oracle

Bruteforce: $m_2'[1] = 0x03$



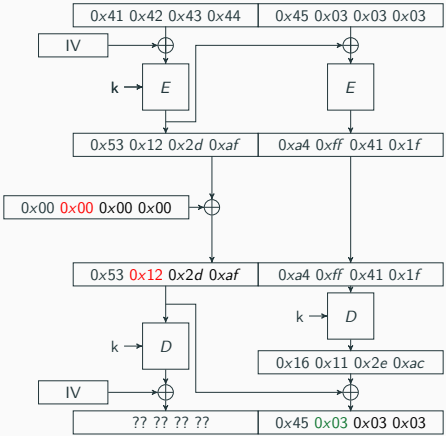
# Aufgabe 3e - Padding-oracle

Bruteforce: $m_2'[1] = 0x03$



# Aufgabe 3e - Padding-oracle

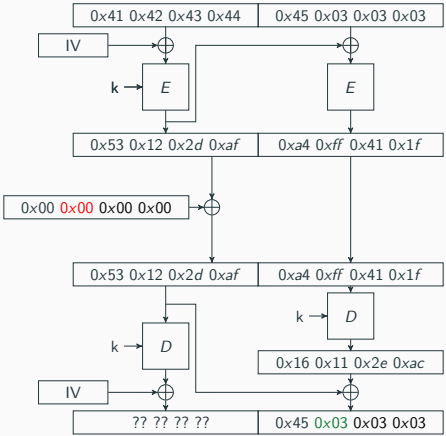
Bruteforce: $m_2'[1] = 0x03$



# Aufgabe 3e - Padding-oracle

Padding korrekt:

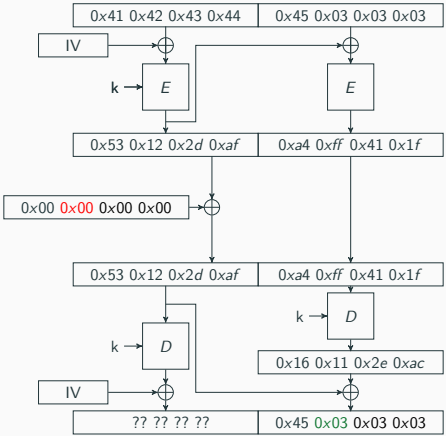
$m_2'[1] = 0x03$



# Aufgabe 3e - Padding-oracle

Padding korrekt:
$m_2'[1] = 0x03$

$m_2[1] = 0x03 \oplus 0x00 =$
$0x03$



# Aufgabe 3e - Padding-oracle

Bruteforce:

$m_2'[0:3] =$

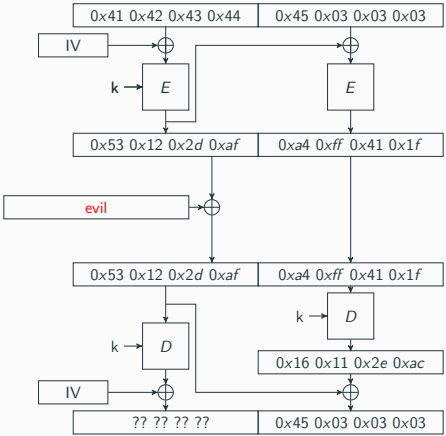
$0x04\ 0x04\ 0x04\ 0x04$

Wann gilt

$m_2'[3] = 0x04$?

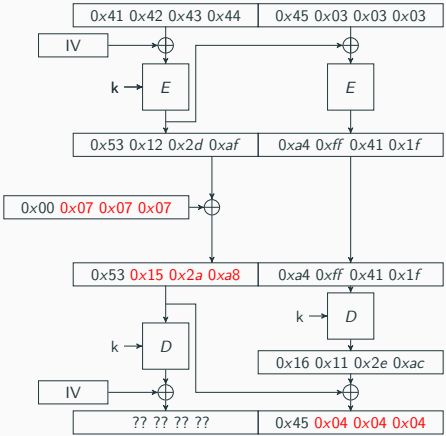
$m_2'[2] = 0x04$?

$m_2'[1] = 0x04$?



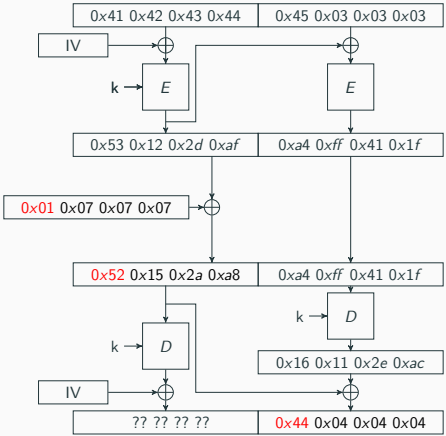
# Aufgabe 3e - Padding-oracle

$$
\begin{aligned}
e[3] &= 0x03 \oplus 0x04 \\
&= 0x07 \\
e[2] &= 0x03 \oplus 0x04 \\
&= 0x07 \\
e[1] &= 0x03 \oplus 0x04 \\
&= 0x07
\end{aligned}
$$



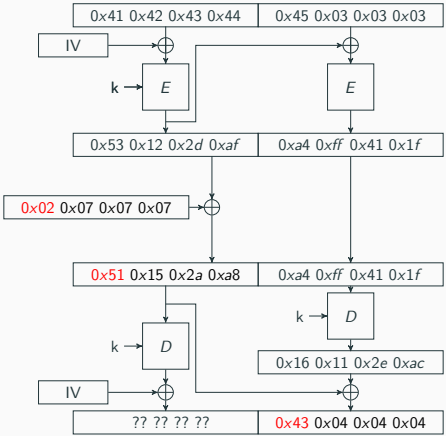
# Aufgabe 3e - Padding-oracle

Bruteforce: $m_2'[0] = 0x04$



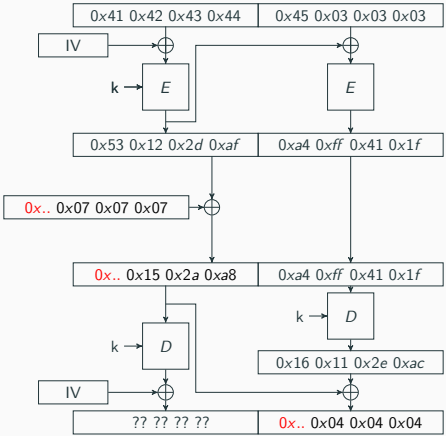
# Aufgabe 3e - Padding-oracle

Bruteforce: $m_2'[0] = 0x04$



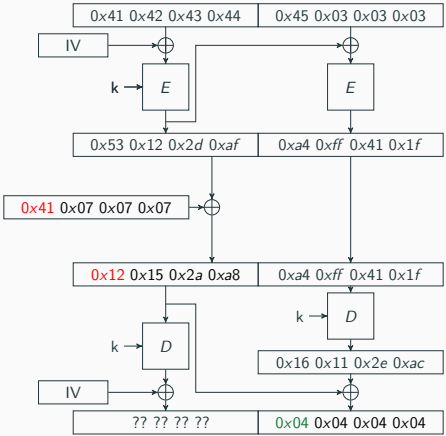
# Aufgabe 3e - Padding-oracle

Bruteforce: $m_2'[0] = 0x04$



# Aufgabe 3e - Padding-oracle

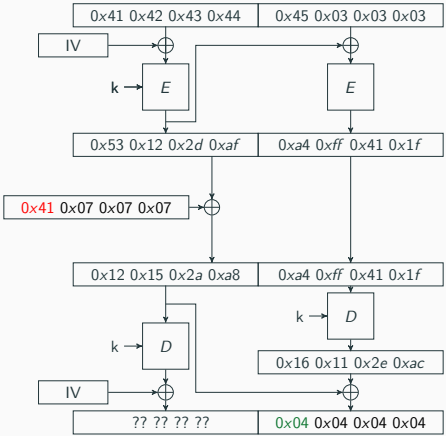
Bruteforce: $m_2'[0] = 0x04$



# Aufgabe 3e - Padding-oracle

Padding korrekt:

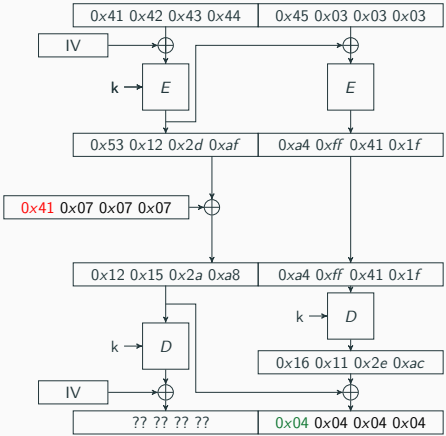
$m_2'[0] = 0x04$



# Aufgabe 3e - Padding-oracle

Padding korrekt:
$m_2'[0] = 0x04$

$m_2[0] = 0x04 \oplus 0x41 = 0x45$



# Aufgabe 3e - Padding-oracle

- Wenn der $n$-te Block fertig entschlüsselt ist, wird er weggelassen
  $\rightarrow$So kann der Angreifer den $n-1$-ten Block entschlüsseln, indem er den $n-2$-ten manipuliert
- So wird immer weiter gemacht, bis alle Blöcke entschlüsselt sind
- Beim 0-ten Block wird der IV manipuliert