

# Biologiearbeit Klasse 10

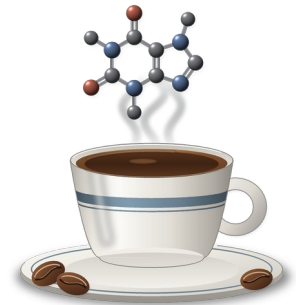
**Thema:** Macht Kaffee süchtig? Adenosin und Coffein

*Hilfsmittel: keine. Lies zuerst die Materialien M1 bis M4.*

Name: \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_

Punkte: \_\_\_\_\_ / 40 Note: \_\_\_\_\_

Unterschrift: \_\_\_\_\_



**Viel Erfolg!**

## M1 Coffein in Lebensmitteln (Richtwerte)

| Lebensmittel         | Portion          | Coffein in mg |
|----------------------|------------------|---------------|
| Filterkaffee         | 1 Tasse (200 ml) | 90            |
| Espresso             | 1 Tasse (60 ml)  | 80            |
| Schwarzer Tee        | 1 Tasse (220 ml) | 50            |
| Grüner Tee           | 1 Tasse (220 ml) | 30            |
| Cola                 | 1 Dose (330 ml)  | 35            |
| Energydrink          | 1 Dose (250 ml)  | 80            |
| Zartbitterschokolade | 1 Riegel (50 g)  | 25            |

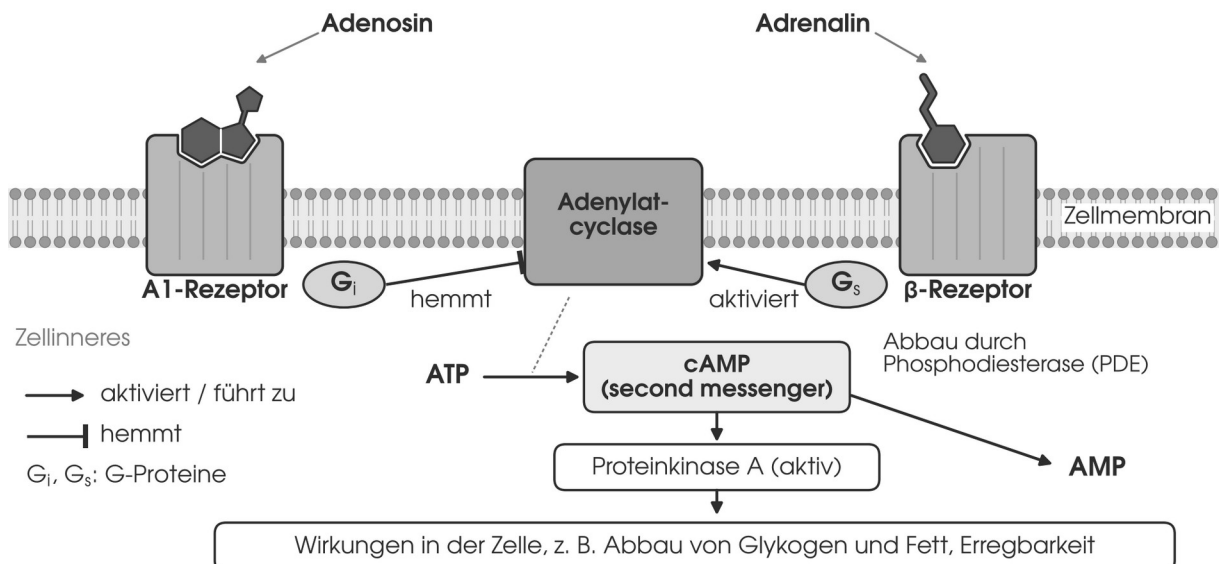
Für gesunde Erwachsene gelten bis zu 400 mg Coffein am Tag als unbedenklich (höchstens 200 mg auf einmal), für Kinder und Jugendliche etwa 3 mg pro Kilogramm Körpermasse am Tag.

Den anregenden Stoff im Tee nannte man früher „Teein“. Es handelt sich um dasselbe Molekül wie Coffein. Im Schwarztee ist ein Teil des Coffeins an Gerbstoffe gebunden und wird erst im Darm nach und nach freigesetzt.

## M2 Schema: Signalübertragung über den second messenger cAMP (vereinfacht)

*A1- und  $\beta$ -Rezeptoren kommen z. B. gemeinsam in Herzmuskel- und Fettzellen vor.*

außen (Zellumgebung)



### M3 Sachtext: Wie Adenosin und Coffein im Körper wirken

#### Adenosin: ein Müdigkeitssignal

Jede Zelle bezieht die Energie für ihre Arbeit aus ATP (Adenosintriphosphat). Wird ATP verbraucht, entstehen schrittweise ADP, AMP und schließlich Adenosin. Nervenzellen sind besonders aktiv und verbrauchen viel ATP. Deshalb steigt während eines langen Tages die Konzentration von Adenosin in der Flüssigkeit zwischen den Nervenzellen des Gehirns an. Im Schlaf wird Adenosin abgebaut; seine Konzentration sinkt wieder.

#### Adenosin-Rezeptoren

Adenosin bindet an Adenosin-Rezeptoren in der Zellmembran. Im Gehirn ist vor allem der A1-Rezeptor wichtig. Er kommt aber auch in anderen Organen vor, etwa im Herzen, wo er den Herzschlag verlangsamt. Bindet Adenosin an einen A1-Rezeptor, aktiviert dieser im Zellinneren ein hemmendes G-Protein ( $G_i$ ). Dieses hemmt das Enzym Adenylatcyclase, sodass weniger cAMP entsteht (M2). Außerdem wird die Nervenzelle schwerer erregbar und gibt an ihren Synapsen weniger erregende Transmitter ab. Je mehr A1-Rezeptoren besetzt sind, desto stärker wird die Aktivität im Gehirn gedämpft: Wir werden müde, und die Konzentration lässt nach.

Zellen können die Zahl ihrer Rezeptoren anpassen. Werden Rezeptoren über längere Zeit kaum aktiviert, baut die Zelle zusätzliche Rezeptoren in ihre Membran ein. Werden sie dauerhaft stark aktiviert, verringert sie deren Zahl. Eine solche Umstellung dauert einige Tage bis Wochen.

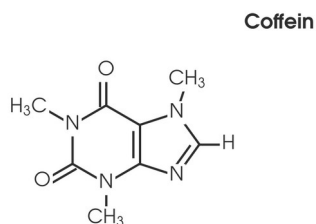
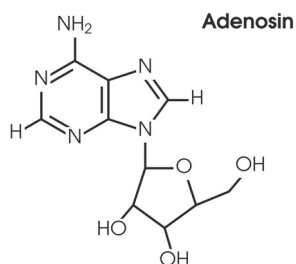
#### Adrenalin und der second messenger cAMP

Das Hormon Adrenalin wird bei Stress und körperlicher Belastung vom Nebennierenmark ausgeschüttet. Es kann die Zellmembran nicht durchdringen, sondern bindet an  $\beta$ -Rezeptoren. Diese aktivieren über ein stimulierendes G-Protein ( $G_s$ ) die Adenylatcyclase. Sie bildet aus ATP das cAMP (zyklisches AMP). cAMP gibt als zweiter Botenstoff (second messenger) das Signal im Zellinneren weiter: Es aktiviert die Proteinkinase A, die ihrerseits viele Enzyme aktiviert. So bauen Leber- und Muskelzellen Glykogen zu Glucose ab, Fettzellen geben Fettsäuren ins Blut ab, und das Herz schlägt schneller und kräftiger. Das Enzym Phosphodiesterase (PDE) baut cAMP laufend zu AMP ab und beendet so das Signal.

#### Coffein

Coffein kommt in Kaffeebohnen, Teeblättern, Kolanüssen und Guarana vor. Sein Molekül ist ähnlich gebaut wie Adenosin (M4). Coffein bindet an die Adenosin-Rezeptoren, aktiviert sie aber nicht. Es regt außerdem das Nebennierenmark an, mehr Adrenalin auszuschütten. In sehr hohen Konzentrationen hemmt es zusätzlich die Phosphodiesterase.

### M4 Strukturformeln von Adenosin und Coffein



## 1 Wie Coffein wirkt

Nutze für die Teilaufgaben die Materialien M1 bis M4.

- a) Erkläre, warum Kaffee wach macht. Verwende dabei den Fachbegriff „kompetitive Hemmung“. Ergänze außerdem die Skizze: Zeichne ein, was an der Bindungsstelle des A1-Rezeptors geschieht, wenn Adenosin und Coffein gleichzeitig vorhanden sind, und beschrifte. (5 P.)



- b) Coffein kann auch die körperliche Leistungsfähigkeit steigern. Erläutere mithilfe von M2 und M3, welche Rolle dabei Adrenalin und der second messenger cAMP spielen. Gehe auch auf die Phosphodiesterase ein. (4 P.)

---

---

---

---

---

- c) Wer täglich mehrere Tassen Kaffee trinkt, spürt nach einigen Wochen kaum noch eine Wirkung und braucht mehr Kaffee, um wach zu werden. Erkläre diese Toleranz. (3 P.)

---

---

---

---

- d) Verzichtet ein solcher Kaffeetrinker plötzlich ganz auf Kaffee, ist er einige Tage lang besonders müde und unkonzentriert. Erkläre. (3 P.)

---

---

---

- e) Eine Bekannte sagt: „Abends trinke ich nur Schwarztee. Der beruhigt mich, ganz im Gegensatz zu Kaffee.“ Beurteile diese Aussage mithilfe von M1. (3 P.)

---

---

---

---

---

\_\_\_ / 18

## 2 Ein Schlafmittel aus Baldrian?

Ein Pharmaunternehmen sucht ein Schlafmittel, das die Wirkung von Adenosin nachahmt. Untersucht werden zwei Stoffgruppen:

- Adenosin-Derivate: im Labor abgewandelte Adenosin-Moleküle. Sie werden langsamer abgebaut als Adenosin, binden an A1-Rezeptoren und aktivieren diese ebenso stark wie Adenosin.
- Lignane: Inhaltsstoffe der Baldrianwurzel. Sie binden ebenfalls an A1-Rezeptoren, aktivieren den einzelnen Rezeptor aber nur schwach. Eine deutliche Wirkung entsteht deshalb nur in Geweben, deren Zellen sehr viele A1-Rezeptoren besitzen. Das ist in bestimmten Bereichen des Gehirns der Fall; Herzmuskelzellen besitzen deutlich weniger A1-Rezeptoren.

- a) Erläutere, warum Adenosin-Derivate als Schlafmittel gefährlich sein könnten. (3 P.)

---

---

---

---

- b) Beurteile, ob Lignane als Schlafmittel besser geeignet wären. (3 P.)

---

---

---

---

\_\_\_ / 6

### 3 Coffein im Sport

Bis Ende 2003 stand Coffein auf der Liste der verbotenen Dopingmittel. Als Doping galt eine Konzentration von mehr als 12 Mikrogramm Coffein pro Milliliter Urin. Seit 2004 ist Coffein im Wettkampf erlaubt. Die Welt-Anti-Doping-Agentur (WADA) beobachtet seinen Gebrauch aber weiterhin in einem Überwachungsprogramm.

- a) „Müdigkeit ist eine Schutzfunktion des Körpers.“ Erläutere diese Aussage. (2 P.)

---

---

---

- b) Erläutere, warum Coffein vor allem für Ausdauersportler interessant ist. (3 P.)

---

---

---

---

---

- c) Erläutere zwei Gefahren, die eine hohe Coffeindosis vor einem Wettkampf mit sich bringen kann. (3 P.)

---

---

---

---

---

#### 4 Macht Kaffee süchtig?

Nach der Klassifikation der Weltgesundheitsorganisation (WHO, ICD-10) liegt eine Abhängigkeit vor, wenn innerhalb eines Jahres mindestens drei der folgenden Merkmale gleichzeitig auftreten:

- 1 starker Wunsch oder eine Art Zwang, die Substanz zu konsumieren
- 2 verminderte Kontrolle über Beginn, Ende und Menge des Konsums
- 3 körperliche Entzugserscheinungen, wenn der Konsum beendet oder verringert wird
- 4 Toleranz: Für die gleiche Wirkung sind immer größere Mengen nötig.
- 5 Vernachlässigung anderer Interessen und Pflichten zugunsten des Konsums
- 6 fortgesetzter Konsum trotz eindeutig schädlicher Folgen

Nikotin und Kokain erhöhen im Belohnungssystem des Gehirns die Konzentration des Transmitters Dopamin stark. Coffein in üblichen Mengen tut dies kaum.

- a) Prüfe anhand der WHO-Merkmale, ob der Kaffeetrinker aus Aufgabe 1 c und d als abhängig gelten müsste. (3 P.)

---

---

---

---

- b) Erläutere, warum Nikotin und Kokain ein viel höheres Abhängigkeitspotenzial haben als Coffein. (3 P.)

---

---

---

---

- c) Beantworte die Frage „Macht Kaffee süchtig?“ in einer kurzen, begründeten Stellungnahme. (2 P.)

---

---

---

---

# Lösung: Biologiearbeit Klasse 10

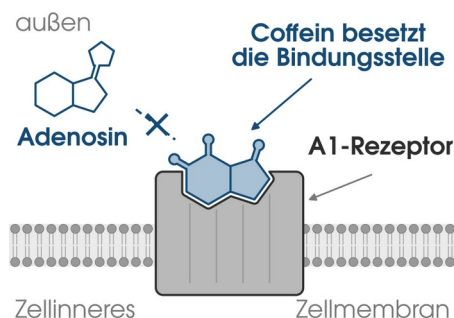
Insgesamt sind 40 Punkte erreichbar, halbe Punkte sind möglich.

| Note 1   | Note 2     | Note 3     | Note 4     | Note 5     | Note 6    |
|----------|------------|------------|------------|------------|-----------|
| 40–36 P. | 35,5–32 P. | 31,5–26 P. | 25,5–20 P. | 19,5–12 P. | 11,5–0 P. |

## 1 Wie Coffein wirkt

Nutze für die Teilaufgaben die Materialien M1 bis M4.

- a) Erkläre, warum Kaffee wach macht. Verwende dabei den Fachbegriff „kompetitive Hemmung“. Ergänze außerdem die Skizze: Zeichne ein, was an der Bindungsstelle des A1-Rezeptors geschieht, wenn Adenosin und Coffein gleichzeitig vorhanden sind, und beschrifte. (5 P.)



- Coffein ist ähnlich gebaut wie Adenosin (gleiches Grundgerüst aus Sechs- und Fünfring, M4). Es passt deshalb in die Bindungsstelle des A1-Rezeptors. (1 P.)
- Coffein bindet, aktiviert den Rezeptor aber nicht (Antagonist). Adenosin und Coffein konkurrieren um dieselbe Bindungsstelle: kompetitive Hemmung. Je mehr Coffein vorhanden ist, desto weniger Rezeptoren stehen für Adenosin zur Verfügung. (1,5 P.)
- Das hemmende Signal bleibt aus: Das G-Protein  $G_i$  wird nicht aktiviert, die Adenylatcyclase nicht gehemmt; die Nervenzellen bleiben erregbar und geben weiter erregende Transmitter ab. Die Müdigkeit wird nicht gespürt, man fühlt sich wach. (1,5 P.)
- Skizze (oben): Coffein sitzt in der Bindungsstelle, Adenosin kann nicht binden; beschriftet. (1 P.)

- b) Coffein kann auch die körperliche Leistungsfähigkeit steigern. Erläutere mithilfe von M2 und M3, welche Rolle dabei Adrenalin und der second messenger cAMP spielen. Gehe auch auf die Phosphodiesterase ein. (4 P.)

- Coffein regt das Nebennierenmark an, mehr Adrenalin auszuschütten. (0,5 P.)
- Adrenalin bindet an  $\beta$ -Rezeptoren; über  $G_s$  wird die Adenylatcyclase aktiviert, es entsteht mehr cAMP (second messenger). Weil Coffein die A1-Rezeptoren blockiert, fällt zugleich deren Hemmung der Adenylatcyclase weg. (1,5 P.)
- cAMP aktiviert die Proteinkinase A: Glykogen wird zu Glucose abgebaut, Fettsäuren werden frei, das Herz schlägt schneller und kräftiger. Den Muskeln steht mehr Energie zur Verfügung. (1 P.)
- Die PDE beendet das Signal, indem sie cAMP zu AMP abbaut. Hemmt Coffein (in hoher Konzentration) die PDE, bleibt cAMP länger erhalten; die Wirkung des Adrenalins wird verstärkt und verlängert. (1 P.)

- c)** Wer täglich mehrere Tassen Kaffee trinkt, spürt nach einigen Wochen kaum noch eine Wirkung und braucht mehr Kaffee, um wach zu werden. Erkläre diese Toleranz. (3 P.)
- Durch das regelmäßig aufgenommene Coffein sind viele A1-Rezeptoren dauerhaft blockiert und werden kaum noch aktiviert. **(1 P.)**
  - Die Nervenzellen bauen deshalb zusätzliche A1-Rezeptoren in ihre Membran ein. **(1 P.)**
  - Bei gleicher Coffeinmenge bleiben nun genug freie Rezeptoren, an die Adenosin binden kann: Das Müdigkeitssignal wirkt wieder. Für die gleiche Wirkung ist mehr Coffein nötig. **(1 P.)**
- d)** Verzichtet ein solcher Kaffeetrinker plötzlich ganz auf Kaffee, ist er einige Tage lang besonders müde und unkonzentriert. Erkläre. (3 P.)
- Die Nervenzellen besitzen noch die erhöhte Zahl an A1-Rezeptoren. **(1 P.)**
  - Ohne Coffein sind alle Rezeptoren frei; Adenosin bindet an mehr Rezeptoren als vor der Gewöhnung, das hemmende Signal ist stärker als normal: Man ist besonders müde (Entzugerscheinung). **(1 P.)**
  - Erst wenn die Zellen die Zahl der Rezeptoren nach einigen Tagen wieder verringert haben, verschwinden die Beschwerden. **(1 P.)**
- e)** Eine Bekannte sagt: „Abends trinke ich nur Schwarztee. Der beruhigt mich, ganz im Gegensatz zu Kaffee.“ Beurteile diese Aussage mithilfe von M1. (3 P.)
- Die Aussage ist falsch: Schwarztee enthält ebenfalls Coffein („Teein“ ist dasselbe Molekül). Er wirkt also anregend und nicht beruhigend. **(1 P.)**
  - Eine Tasse Tee enthält weniger Coffein als eine Tasse Filterkaffee (etwa 50 mg statt 90 mg). **(0,5 P.)**
  - Das an Gerbstoffe gebundene Coffein wird erst im Darm nach und nach frei: Die Wirkung setzt später ein, ist milder und hält länger an. **(1 P.)**
  - Tee kann deshalb am Abend ebenfalls den Schlaf stören; er wirkt nur sanfter als Kaffee. **(0,5 P.)**

## 2 Ein Schlafmittel aus Baldrian?

Ein Pharmaunternehmen sucht ein Schlafmittel, das die Wirkung von Adenosin nachahmt. Untersucht werden zwei Stoffgruppen:

- Adenosin-Derivate: im Labor abgewandelte Adenosin-Moleküle. Sie werden langsamer abgebaut als Adenosin, binden an A1-Rezeptoren und aktivieren diese ebenso stark wie Adenosin.
- Lignane: Inhaltsstoffe der Baldrianwurzel. Sie binden ebenfalls an A1-Rezeptoren, aktivieren den einzelnen Rezeptor aber nur schwach. Eine deutliche Wirkung entsteht deshalb nur in Geweben, deren Zellen sehr viele A1-Rezeptoren besitzen. Das ist in bestimmten Bereichen des Gehirns der Fall; Herzmuskelzellen besitzen deutlich weniger A1-Rezeptoren.

a) Erläutere, warum Adenosin-Derivate als Schlafmittel gefährlich sein könnten. (3 P.)

- Adenosin-Derivate wirken stark und lange an allen A1-Rezeptoren im Körper, nicht nur im Gehirn. **(1 P.)**
- A1-Rezeptoren gibt es auch im Herzen; dort verlangsamen sie den Herzschlag (M3). **(1 P.)**
- Folgen: stark verlangsamter Herzschlag, Herzrhythmusstörungen und Blutdruckabfall bis hin zum Herzstillstand. **(1 P.)**

b) Beurteile, ob Lignane als Schlafmittel besser geeignet wären. (3 P.)

- Lignane aktivieren A1-Rezeptoren nur schwach; spürbar wirken sie nur dort, wo sehr viele Rezeptoren sind, also im Gehirn: Sie dämpfen die Nervenzellen und fördern den Schlaf. **(1 P.)**
- Das Herz mit seinen wenigen A1-Rezeptoren wird kaum beeinflusst; die gefährlichen Nebenwirkungen der Derivate bleiben weitgehend aus. **(1 P.)**
- Urteil: besser geeignet, allerdings mit schwächerer Wirkung, die in Studien belegt werden müsste. Coffein schwächt die Wirkung ab, weil es um dieselben Rezeptoren konkurriert. **(1 P.)**

6 / 6

## 3 Coffein im Sport

Bis Ende 2003 stand Coffein auf der Liste der verbotenen Dopingmittel. Als Doping galt eine Konzentration von mehr als 12 Mikrogramm Coffein pro Milliliter Urin. Seit 2004 ist Coffein im Wettkampf erlaubt. Die Welt-Anti-Doping-Agentur (WADA) beobachtet seinen Gebrauch aber weiterhin in einem Überwachungsprogramm.

a) „Müdigkeit ist eine Schutzfunktion des Körpers.“ Erläutere diese Aussage. (2 P.)

- Müdigkeit (Anstieg von Adenosin) zeigt an, dass Energiereserven verbraucht sind und Gehirn und Körper Erholung brauchen. **(1 P.)**
- Sie zwingt zu Pausen und Schlaf, verhindert so Überlastung und Erschöpfung und ermöglicht die Regeneration. **(1 P.)**

- b)** Erläutere, warum Coffein vor allem für Ausdauersportler interessant ist. (3 P.)
- Coffein blockiert die Adenosin-Rezeptoren: Die Ermüdung wird später gespürt, die Anstrengung erscheint geringer. **(1 P.)**
  - Über Adrenalin und cAMP gelangen mehr Glucose und Fettsäuren ins Blut. Werden Fettsäuren verstärkt als Energiequelle genutzt, reichen die Glykogenvorräte länger. **(1 P.)**
  - Herzschlag, Konzentration und Reaktionsfähigkeit bleiben über die lange Belastung hinweg erhöht. **(1 P.)**
- c)** Erläutere zwei Gefahren, die eine hohe Coffeindosis vor einem Wettkampf mit sich bringen kann. (3 P.)
- Die Schutzfunktion der Müdigkeit ist ausgeschaltet: Der Sportler überschreitet unbemerkt seine Belastungsgrenze; Erschöpfung, Verletzungen oder ein Kreislaufzusammenbruch drohen. **(1,5 P.)**
  - Belastung des Herzens: Herzrasen, Herzrhythmusstörungen und erhöhter Blutdruck. Ebenfalls möglich (je eine Gefahr genügt): Nervosität, Zittern, Magen-Darm-Beschwerden, Schlafstörungen und damit schlechtere Erholung. **(1,5 P.)**

8 / 8

#### 4 Macht Kaffee süchtig?

Nach der Klassifikation der Weltgesundheitsorganisation (WHO, ICD-10) liegt eine Abhängigkeit vor, wenn innerhalb eines Jahres mindestens drei der folgenden Merkmale gleichzeitig auftreten:

- 1 starker Wunsch oder eine Art Zwang, die Substanz zu konsumieren
- 2 verminderte Kontrolle über Beginn, Ende und Menge des Konsums
- 3 körperliche Entzugserscheinungen, wenn der Konsum beendet oder verringert wird
- 4 Toleranz: Für die gleiche Wirkung sind immer größere Mengen nötig.
- 5 Vernachlässigung anderer Interessen und Pflichten zugunsten des Konsums
- 6 fortgesetzter Konsum trotz eindeutig schädlicher Folgen

Nikotin und Kokain erhöhen im Belohnungssystem des Gehirns die Konzentration des Transmitters Dopamin stark. Coffein in üblichen Mengen tut dies kaum.

- a)** Prüfe anhand der WHO-Merkmale, ob der Kaffeetrinker aus Aufgabe 1 c und d als abhängig gelten müsste. (3 P.)
- Erfüllt sind Toleranz (Merkmal 4, Aufgabe 1 c) und körperliche Entzugserscheinungen wie Müdigkeit (Merkmal 3, Aufgabe 1 d); ein Wunsch nach der Tasse am Morgen kann hinzukommen (Merkmal 1). **(1 P.)**
  - Kontrollverlust, Vernachlässigung anderer Interessen und Konsum trotz schädlicher Folgen treten bei üblichen Mengen in der Regel nicht auf. **(1 P.)**
  - Ergebnis: Meist sind höchstens zwei bis drei Merkmale erfüllt; im Sinne der WHO liegt in der Regel keine Abhängigkeit vor, sondern eine Gewöhnung. **(1 P.)**

- b)** Erläutere, warum Nikotin und Kokain ein viel höheres Abhängigkeitspotenzial haben als Coffein. (3 P.)
- Dopamin im Belohnungssystem erzeugt Wohlbefinden und ein Gefühl der Belohnung. **(1 P.)**
  - Das Gehirn verknüpft die Droge mit diesem Gefühl und lernt, sie immer wieder zu verlangen: starkes Verlangen (Merkmal 1), Kontrollverlust (Merkmal 2) und Vernachlässigung anderer Dinge (Merkmal 5) werden wahrscheinlich. **(1 P.)**
  - Coffein aktiviert das Belohnungssystem kaum; es fehlt dieser starke Antrieb zum erneuten Konsum. Seine Wirkung beruht vor allem auf der Blockade der Adenosin-Rezeptoren. **(1 P.)**
- c)** Beantworte die Frage „Macht Kaffee süchtig?“ in einer kurzen, begründeten Stellungnahme. (2 P.)
- Beispiel: Kaffee führt zu einer körperlichen Gewöhnung mit Toleranz und leichten, nach wenigen Tagen abklingenden Entzugserscheinungen. **(1 P.)**
  - Süchtig im Sinne einer Abhängigkeit wie bei Nikotin oder Kokain macht er aber nicht, weil das Belohnungssystem kaum aktiviert wird und kein Kontrollverlust entsteht. In Maßen (Erwachsene bis 400 mg am Tag, Jugendliche deutlich weniger) gilt Kaffee als unbedenklich. **(1 P.)**