



# Interaktionen mit Arzneimitteln

Harald Krüger  
Zentralapotheke  
Herz- und Diabeteszentrum NRW  
Bad Oeynhausen

# Einteilung

---

- 1.) Grundlagen
- 2.) Pharmakodynamische Wechselwirkungen
- 3.) Pharmakokinetische Wechselwirkungen
- 4.) Wechselwirkungen Arzneimittel – Lebensmittel
- 5.) einige relevante Interaktionen mit Fallbeispielen
- 6.) Zusammenfassung

# Einteilung

---

- 1.) Grundlagen
- 2.) Pharmakodynamische Wechselwirkungen
- 3.) Pharmakokinetische Wechselwirkungen
- 4.) Wechselwirkungen Arzneimittel – Lebensmittel
- 5.) einige relevante Interaktionen mit Fallbeispielen
- 6.) Zusammenfassung

# Grundlagen

---

## *Definition einer Arzneimittelinteraktion:*

„...Änderung entweder in Pharmakokinetik oder der Pharmakodynamik eines Arzneistoffes, hervorgerufen durch die zeitgleiche Einnahme eines anderen Arzneistoffs, durch Lebensmittel oder Genussmittel wie Tabak oder Alkohol

*(EMA, Europäische Arzneimittelagentur)*

- ➡ Pharmakokinetische Interaktionen
- ➡ Pharmakodynamische Interaktionen

# Grundlagen

---

## WW als Einweisungsgrund, Beispiele:

- Arrhythmien durch entgleistes Serumkalium bei der Kombination von Diuretika und ACE-Hemmern / AT1-Antagonisten
- Delirante Zustände bei Hyponatriämie (z.B. Diuretika + SSRI)
- GI-Blutungen durch Kombinationen von NSAR mit SSRI o.ä.
- Stürze bei Gangunsicherheit infolge von
- Vitamin B12-Mangel durch PPI (Nahrungsmittelinteraktion)
- Delir bei hoher anticholinerger Last (z.B. TCA + Solifenacin)
- Mehrfachverordnungen infolge mangelnder Kommunikation zwischen Haus- und Fachärzten

# Grundlagen

---

Die Gefahr einer Interaktion wächst exponentiell mit:

- der Zahl gleichzeitig eingenommener Arzneimittel
- dem Alter der Patienten
- der Anzahl der verschreibenden Ärzte
- der Anzahl der Apotheken
- Interaktionsspezifische Risikofaktoren (z. B. Leber- oder Nierenfunktionsstörungen)

# Grundlagen

---

## Prädestinierte Patientengruppen für Interaktionen:

- ältere multimorbide Patienten
- nieren-, leber- oder herzinsuffiziente Patienten
- Patienten mit Polymedikation
- Chronisch kranke Patienten (HIV, Immunsuppression, Tumor)

# Grundlagen

---

Wesentliche Kriterien für die klinische Relevanz von Arzneimittelinteraktionen sind:

- Geringe therapeutische Breite
- Steile Konzentrations-Wirkungskurve
- Hohe Wirksamkeit (niedrige Dosierung)
- Auftreten der Interaktion bereits in therapeutischen Dosen
- Klinische Situation des Patienten  
(z.B. Leber- oder Niereninsuffizienz), hohes Lebensalter



# Grundlagen

---

## Arzneistoffe (Auswahl) mit geringer therapeutischer Breite

- Herzwirksame Glykoside
- Theophyllin
- Orale Antikoagulantien
- Antiarrhythmika (z. B. Sotalol, Amiodaron)
- PDE-5-Inhibitoren (z. B. Sildenafil)
- Aminoglykoside
- Lithiumsalze
- Opioid-Analgetika
- Immunsuppressiva (z. B. Ciclosporin, Tacrolimus)
- Zytostatika
- Calcium-Kanalblocker
- Antikonvulsiva
- Antidiabetika
- Antimykotika

# Einteilung

---

- 1.) Grundlagen
- 2.) Pharmakodynamische Wechselwirkungen
- 3.) Pharmakokinetische Wechselwirkungen
- 4.) Wechselwirkungen Arzneimittel – Lebensmittel
- 5.) einige relevante Interaktionen mit Fallbeispielen
- 6.) Zusammenfassung

# Pharmakodynamische Wechselwirkungen

---

- Kompetitive Interaktionen: Wirkstoffe verstärken (Synergismus) oder schwächen sich gegenseitig ab (Antagonismus) durch den **direkten** Angriff am **gleichen** Rezeptor
- Funktionelle Interaktionen: Wirkstoffe verstärken (Synergismus) oder schwächen sich **indirekt** gegenseitig ab (Antagonismus) durch den Angriff an **gleichen** oder **unterschiedlichen** Erfolgsorganen und Regelkreisen

# Pharmakodynamische Wechselwirkungen

---

## *Kompetitiver Synergismus*

- Gleichzeitige Gabe von zwei oder mehr Arzneistoffen führt durch die Wirkung an einem gemeinsamen Rezeptor zu einem größeren Gesamteffekt als die Einzelsubstanzen
- Beispiel: additive vasodilatatorische Wirkung von PDE-5-Hemmern (z. B. Sildenafil) und Nitraten/ Molsidomin
- AV-Überleitungsverzögerung durch Ca-Antagonisten vom Verapamil-/Diltiazemtyp und gleichzeitiger Gabe von Betablockern

# Pharmakodynamische Wechselwirkungen

---

## *Kompetitiver Antagonismus*

- Reversibel oder irreversibel verlaufende Verdrängungsreaktion am gleichen Rezeptor
- Beispiele:
  - Flumazenil – Benzodiazepine
  - Naloxon – Opioidanalgetika
  - Vitamin K – Cumarin-Derivate

# Pharmakodynamische Wechselwirkungen

---

## *Funktioneller Synergismus*

- Wirkungsverstärkung durch den Effekt zweier Arzneistoffe an unterschiedlichen Angriffspunkten
- Beispiel: Verstärkung der Herzglykosidwirkung durch gleichzeitige Gabe von Schleifen-/Thiaziddiuretika durch vermehrte Kaliumausscheidung
- Verstärkung des hypoglykämischen Effekts von Insulin sowie von Sulfonylharnstoffen durch  $\beta$  - Sympatholytika

# Pharmakodynamische Wechselwirkungen

---

## *Funktioneller Antagonismus*

- Wirkungsabschwächung durch den Effekt zweier Arzneistoffe an unterschiedlichen Angriffspunkten
- Beispiel: Abschwächung der Herzglykosidwirkung durch kaliumsparende Diuretika durch Erhöhung der Kaliumkonzentration
- Hemmung der Synthese vasodilatatorischer Prostaglandine durch NSAR, Steigerung des peripheren Gefäßwiderstands, Wirkung von ACE-Hemmern und AT1-Antagonisten nimmt ab

# Einteilung

---

- 1.) Grundlagen
- 2.) Pharmakodynamische Wechselwirkungen
- 3.) Pharmakokinetische Wechselwirkungen
- 4.) Wechselwirkungen Arzneimittel – Lebensmittel
- 5.) einige relevante Interaktionen mit Fallbeispielen
- 6.) Zusammenfassung



# Pharmakokinetische Interaktionen

---

## *Interaktionen bei der Resorption*

- Komplexbildung
- Adsorption
- pH-Wert-Änderungen
- Nahrung



# Pharmakokinetische Interaktionen

---

## Interaktionen bei der Resorption – Nahrung



- *Signifikante Reduktion der Resorption*
- *Gabe 30–60 Minuten vor dem Essen*



- *Stark verbesserte Resorption bei Verabreichung während oder sofort nach dem Essen*

# Pharmakokinetische Interaktionen

---

## Interaktionen bei der Resorption – Nahrung

Lercanidipin  Nahrung

- *Stark verbesserte Resorption bei Verabreichung während oder sofort nach dem Essen durch ausgeprägte Lipophilie*
- *Einnahme der Tbl. immer 15 min vor dem Frühstück*

# Pharmakokinetische Interaktionen

---

## Cytochrom P 450 (CYP 450)

Entdeckung als Pigment in Lebermikrosomen

Besteht aus 400–500 Aminosäuren

Mediator im oxidativen Prozess

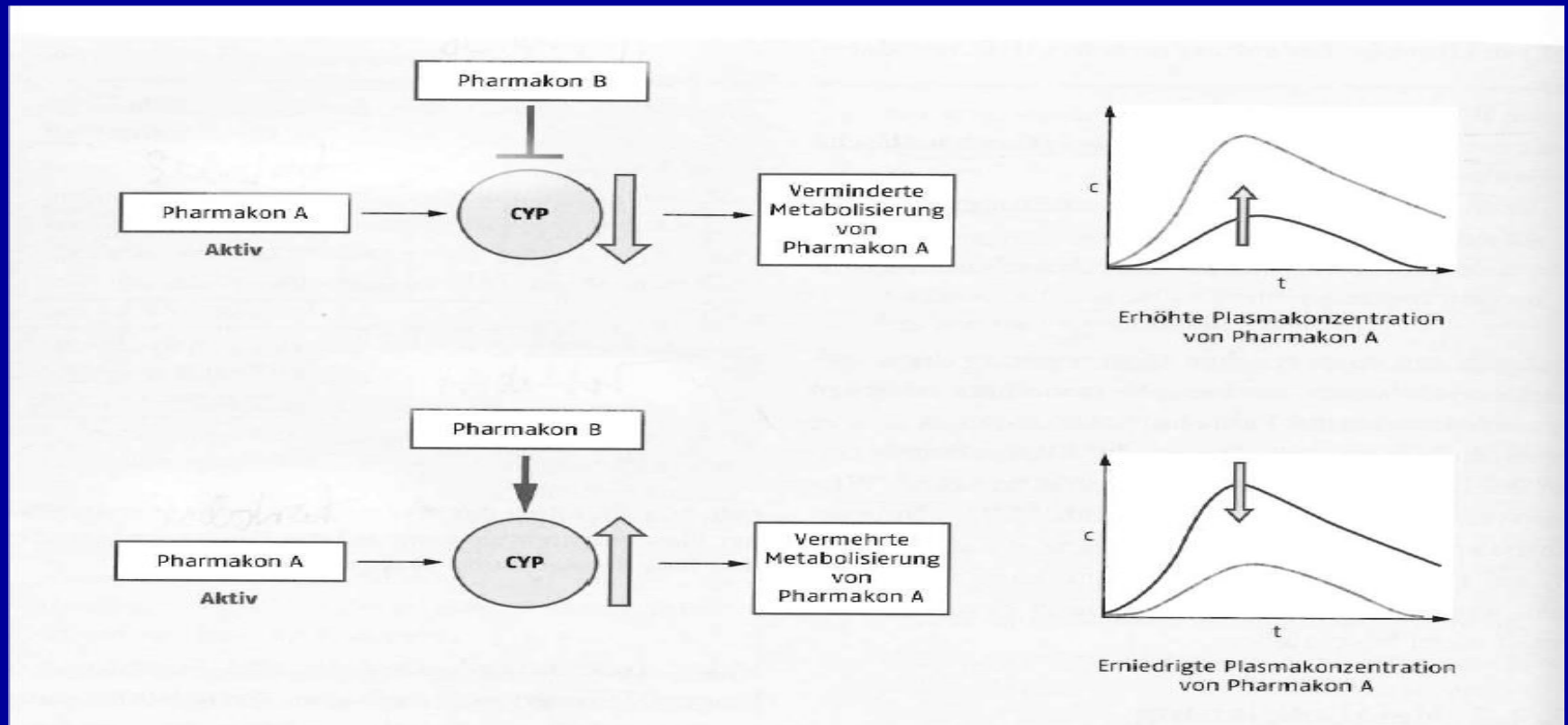
Nomenklatur:

**CY** = Cytochrom

**P** = Pigment

**450** = Peak der UV Absorption 450 nm  
im Komplex CYP 450

# Pharmakokinetische Interaktionen



Veränderung der Arzneistoffmetabolisierung durch Inhibition (oben) und Induktion (unten)

# Pharmakokinetische Interaktionen

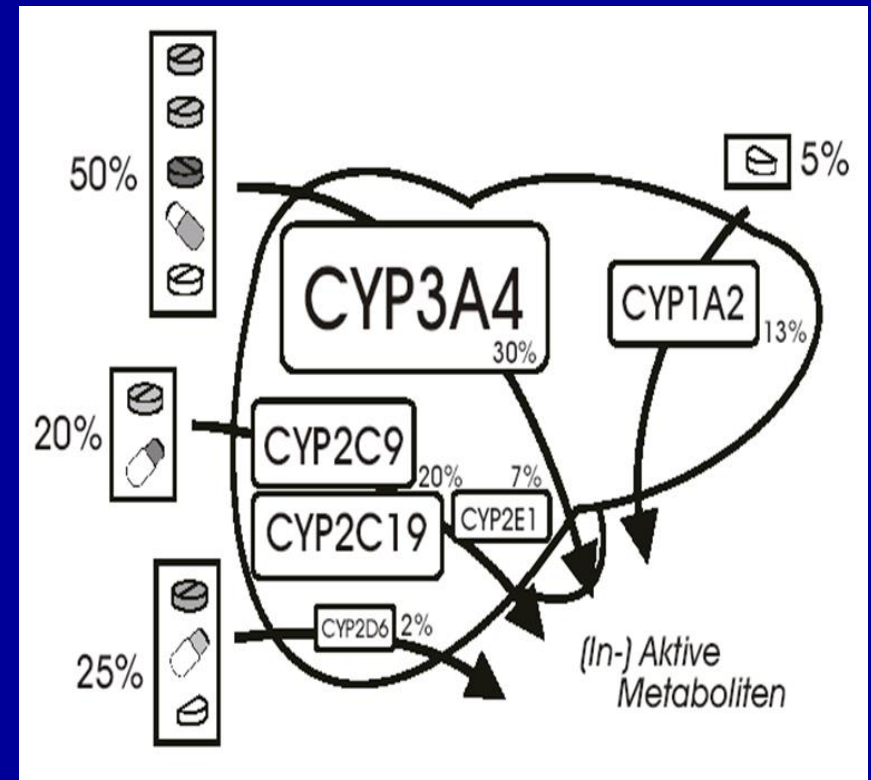
## CYP mit klinischer Relevanz

CYP 3A4  
CYP 2D6  
CYP 2C9

Metabolisieren  
80 – 90% der  
Arzneistoffe

CYP 1A2  
CYP 2C19  
CYP 2E1

Signifikante Rolle bei  
einigen  
Medikamenten



# Pharmakokinetische Interaktionen

## Induktoren von CYP P450

INDUCERS						
1A2	2B6	2C19	2C9	2D6	2E1	3A,4,5,7
<a href="#">broccoli</a> <a href="#">brussel sprouts</a> <a href="#">char-grilled meat</a> <a href="#">insulin</a> <a href="#">methyl cholanthrene</a> <a href="#">modafinil</a> <a href="#">nafcillin?</a> <a href="#">beta-naphthoflavone</a> <a href="#">omeprazole</a> <a href="#">tobacco</a>	<a href="#">phenobarbital</a> <a href="#">fenytoin</a> <a href="#">rifampin</a>	<a href="#">carbamazepine</a> <a href="#">norethindrone</a> <a href="#">NOT pentobarbital</a> <a href="#">prednisone</a> <a href="#">rifampin</a>	<a href="#">rifampin</a> <a href="#">secobarbital</a>	<a href="#">dexamethasone</a> <a href="#">rifampin?</a>	<a href="#">ethanol</a> <a href="#">isoniazid</a>	<p>HIV Antivirals:</p> <a href="#">rifabutin</a> <a href="#">efavirenz</a> <a href="#">nevirapine</a>  <a href="#">barbiturates</a> <a href="#">carbamazepine</a> <a href="#">glucocorticoids</a> <a href="#">modafinil</a> <a href="#">phenobarbital</a> <a href="#">phenytoin</a> <a href="#">pioglitazone</a> <a href="#">rifampin</a> <a href="#">St. John's wort</a> <a href="#">troglitazone</a>

**Achtung:**  
 Induktionseffekte treten grundsätzliche zeitverzögert auf  
 - Synthesedauer CYP-Enzyme 24 – 48 h  
 - CYP Abbau HWZ ca 30 h

<http://medicine.iupui.edu/clinpharm/DDIs/table.asp> -- „Flockhart Table“ - Auszug

# Pharmakokinetische Interaktionen

---

Die Induktion der CYP-Enzyme führt zu einer vermehrten Bildung des jeweiligen Enzyms. Der Effekt tritt nicht sofort ein: Die maximale CYP-Induktion wird erst nach 2 bis 3 Wochen beobachtet und kann über 4 Wochen nach dem Absetzen des Induktors andauern!



# Pharmakokinetische Interaktionen

---

- Patient, 61 (m)
- Status: Herztransplantation vor 11 Monaten
- Immunsuppressiva
  - Ciclosporin 2 x 125 mg
  - Azathioprin 1 x 125 mg
  - Prednisolon 1 x 7,5 mg
- Beginn mit Jarsin 3 x 300 mg

Ciclosporin Substrat CYP 3A4

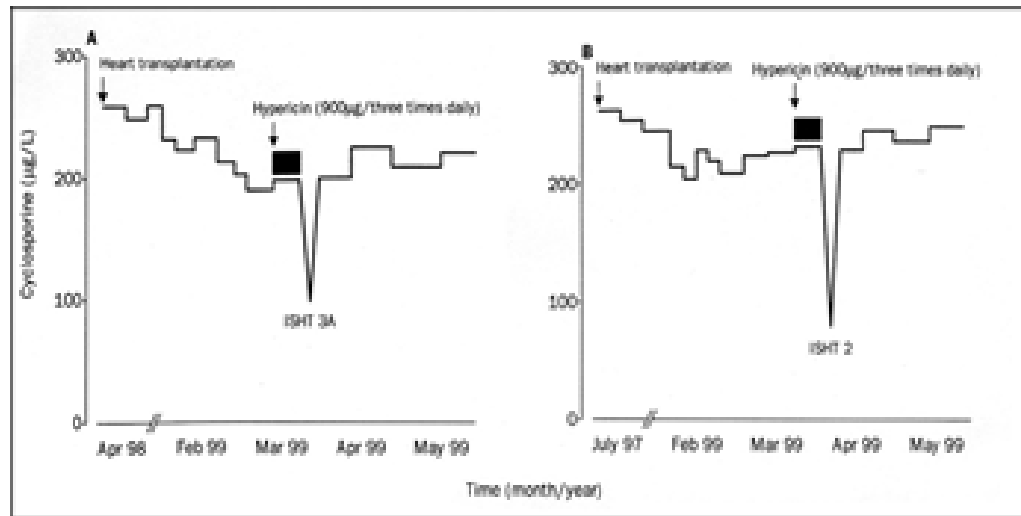
Hypericum Induktor CYP 3A4

# Pharmakokinetische Interaktionen

## Acute heart transplant rejection due to Saint John's wort

Frank Ruschitzka, Peter J Meier, Marko Turina,  
Thomas F Lüscher, Georg Noll

THE LANCET • Vol 355 • February 12, 2000



Ruschitzka et al, Lancet, 355: 548-549, 2000

# Pharmakokinetische Interaktionen

## Inhibitoren von CYP P450

INHIBITORS (KI)						
1A2	2B6	2C19	2C9	2D6	2E1	3A4,5,7
<a href="#">amiodarone</a> <a href="#">cimetidine</a> <a href="#">fluoroquinolones</a> <a href="#">fluvoxamine</a> <a href="#">furafylline</a> <a href="#">interferon?</a> <a href="#">methoxsalen</a> <a href="#">mibefradil</a> <a href="#">ticlopidine</a>	<a href="#">thiotepa</a>	<a href="#">cimetidine</a> <a href="#">felbamate</a> <a href="#">fluoxetine</a> <a href="#">fluvoxamine</a> <a href="#">indomethacin</a> <a href="#">ketoconazole</a> <a href="#">lansoprazole</a> <a href="#">modafini</a> <a href="#">omeprazole</a> <a href="#">paroxetine</a> <a href="#">probenicid</a> <a href="#">ticlopidine</a> <a href="#">topiramate</a>	<a href="#">amiodarone</a> <a href="#">fluconazole</a> <a href="#">fluvastatin</a> <a href="#">fluvoxamine</a> <a href="#">isoniazid</a> <a href="#">lovastatin</a> <a href="#">paroxetine</a> <a href="#">phenylbutazone</a> <a href="#">probenicid</a> <a href="#">sertraline</a> <a href="#">sulfamethoxazole</a> <a href="#">sulfaphenazole</a> <a href="#">teniposide</a> <a href="#">trimethoprim</a> <a href="#">zafirlukast</a>	<a href="#">amiodarone</a> <a href="#">celecoxib</a> <a href="#">chlorpromazine</a> <a href="#">chlorpheniramine</a> <a href="#">cimetidine</a> <a href="#">clomipramine</a> <a href="#">cocaine</a> <a href="#">doxorubicin</a> <a href="#">fluoxetine</a> <a href="#">halofantrine</a> <a href="#">red-haloperidol</a> <a href="#">levomepromazine</a> <a href="#">metoclopramide</a> <a href="#">methadone</a> <a href="#">mibefradil</a> <a href="#">moclobemide</a> <a href="#">paroxetine</a> <a href="#">quinidine</a> <a href="#">ranitidine</a> <a href="#">ritonavir</a> <a href="#">sertraline</a> <a href="#">terbinafine</a>	<a href="#">diethyl- dithiocarbamate</a> <a href="#">disulfiram</a>	<b>HIV Antivirals:</b> <a href="#">delaviridine</a> <a href="#">indinavir</a> <a href="#">nelfinavir</a> <a href="#">ritonavir</a> <a href="#">saquinavir</a>  <a href="#">amiodarone</a> <a href="#">NOT azithromycin</a> <a href="#">cimetidine</a> <a href="#">ciprofloxacin</a> <a href="#">clarithromycin</a> <a href="#">diethyl- dithiocarbamate</a> <a href="#">diltiazem</a> <a href="#">erythromycin</a> <a href="#">fluconazole</a> <a href="#">fluvoxamine</a> <a href="#">gestodene</a> <a href="#">grapefruit juice</a> <a href="#">itraconazole</a> <a href="#">ketoconazole</a> <a href="#">mifepristone</a> <a href="#">nefazodone</a> <a href="#">norfloxacin</a> <a href="#">norfluoxetine</a> <a href="#">mibefradil</a> <a href="#">troleandomycin</a>

<http://medicine.iupui.edu/clinpharm/DDIs/table.asp> -- „Flockhart Table“ - Auszug

# Pharmakokinetische Interaktionen

## Interaktionen mit Grapefruitsaft

	Zunahme $c_{\max}$	Zunahme AUC
Simvastatin	1200%	1340%
Felodipin	430%	310%
Diazepam	150%	320%
Saquinavir	100%	100%
Amiodaron	50%	80%
Cisaprid	50%	70%
Ciclosporin A	-	40%

# Pharmakokinetische Interaktionen

---

## CYP-Inhibition

Der Effekt setzt schneller ein; lässt aber auch relativ schnell nach Absetzen wieder ab (ca 4 HWZ nach Absetzen)

# Einteilung

---

- 1.) Grundlagen
- 2.) Pharmakodynamische Wechselwirkungen
- 3.) Pharmakokinetische Wechselwirkungen
- 4.) Wechselwirkungen Arzneimittel – Lebensmittel
- 5.) einige relevante Interaktionen mit Fallbeispielen
- 6.) Zusammenfassung

# Wechselwirkungen Arzneimittel - Lebensmittel

	Ballaststoffe	Schwarz-Tee/Kaffee	Milch/Milchprodukte	Mineralwasser	Eiweißreiche LM
Antiarrhythmika		X			
Antidepressiva		X			
Bisphosphonate		X	X	X	
Calciumpräparate		X			
Eisenpräparate		X	X	X	
Gyrasehemmer			X	X	
Levodopa					X
Levothyroxin	X	X	X	X	
MTX		X			
Antipsychotika		X			
Tetracycline			X	X	

aus: Smollich/Podlogar: Wechselwirkungen zwischen Arzneimitteln und Lebensmitteln (WVG)

## Grundsätzliche Hinweise

- die gleichzeitige Zufuhr von Alkohol und Arzneimitteln sollte vermieden werden
- Grapefruit mit dem Inhaltsstoff Naringin interagiert als CytochromP450-Enzyminhibitor mit zahlreichen Arzneistoffen
- die Einnahme fester oraler Darreichungsformen sollte mit aufrechtem Oberkörper und einem Glas Leitungswasser erfolgen
- bei gleichzeitiger Aufnahme mit der Nahrung ist in der Regel mit einer verzögerten systemischen Anflutung des Wirkstoffs zu rechnen



# Einteilung

---

- 1.) Grundlagen
- 2.) Pharmakodynamische Wechselwirkungen
- 3.) Pharmakokinetische Wechselwirkungen
- 4.) Wechselwirkungen Arzneimittel – Lebensmittel
- 5.) einige relevante Interaktionen mit Fallbeispielen
- 6.) Zusammenfassung

# Einige relevante Interaktionen mit Fallbeispielen

- 1.) ASS – Ibuprofen: Inaktivierung der ASS-Wirkung >> ASS ca. 30 min vor Ibuprofen einnehmen
- 2.) „Tripel Whammy“: Gefahr des akuten Nierenversagens durch gleichzeitige Gabe von NSAR, Diuretikum und RAAS-Blocker
- 3.) Betablocker und Betamimetikum (in der Asthmatherapie): strenge Indikationsstellung mit einem kardioselektiven Betablocker
- 4.) ACE-Hemmer und Allopurinol: Gefahr schwerer immunologischer Reaktionen >> selten, tritt nur innerhalb der ersten 8 Wochen nach Therapiebeginn ein
- 5.) Funktioneller Synergismus (QTc-Zeitverlängerung) bei der gleichzeitigen Gabe von QTc-Zeit-verlängernden Arzneistoffen (z. B. Citalopram und Clarithromycin)

# Einige relevante Interaktionen mit Fallbeispielen

- 6.) Wechselwirkungen bei Arzneimitteln mit Einfluss auf den Kaliumspiegel (z. B. Ramipril, Spironolacton)
- 7.) WW Antidiabetika- Glucocorticoide: Gefahr des Entgleisens des Diabetes>> bei längerfristiger Gabe Überwachung des Blutzuckerspiegels
- 8.) Antidiabetika-Betablocker: fehlende Wahrnehmung einer Hypoglycämie, Hemmung der Gluconeogenese>>Schulung der Patienten
- 9.) Cyp-Interaktionen (insb. mit Statinen)>> Wechsel des Statins auf z. B. Rosuvastatin
- 10.) Anticholinerge NW durch gleichzeitige Gabe von Anticholinergika>> ggf. anticholinerge Last berechnen (ACB-Calulator)  
Wechsel auf weniger anticholinerg wirkende Arzneistoffe

# Einteilung

---

- 1.) Grundlagen
- 2.) Pharmakodynamische Wechselwirkungen
- 3.) Pharmakokinetische Wechselwirkungen
- 4.) Wechselwirkungen Arzneimittel – Lebensmittel
- 5.) einige relevante Interaktionen mit Fallbeispielen
- 6.) Zusammenfassung

# Zusammenfassung

---

- Arzneimittelinteraktionen können zu einer Wirkungsverstärkung bis hin zur Intoxikation oder zu einer Wirkungsabschwächung bis hin zur Wirkungslosigkeit führen
- Arzneimittelinteraktionen können z.T. therapeutisch gezielt eingesetzt werden
- Mit der Zahl der eingenommenen Arzneimittel nimmt die Häufigkeit der Nebenwirkungen überproportional zu
- Art und Zahl der wirklich klinisch relevanten Interaktionen sind bei Kenntnis der prinzipiellen Mechanismen und der problematischen Arzneimittelgruppen überschaubar

# Zusammenfassung

---

- Vermeidung nicht notwendiger Kombinationen
- Kontinuierliche Reevaluation der Indikation für jedes Präparat, insb. bei älteren Patienten
- Erkennung potentieller Interaktionen bereits vor der Verordnung, ggf. Ausweichen auf Alternative ohne WW
- Zeitlich versetzte Einnahme vom Arzneimitteln bei WW – Resorption
- Dosisanpassungen
- Kontrolle der Plasmakonzentrationen bei Arzneimitteln mit enger therapeutischer Breite
- Aufklärung/Sensibilisierung des Patienten über eventuelle Interaktionen



Herzlichen Dank  
für Ihre Aufmerksamkeit !

# 2slides 4future

Climate action begins by making your voice heard

[www.2slides4future.com](http://www.2slides4future.com)



2slides  
4future

# Arzneimittel – richtig entsorgt!

Glasflaschen mit Resten von Flüssigarzneimitteln wie z.B. Antibiotikaft für Kinder, Tabletten, Pillen, Tropfen, Zäpfchen, Sprays, Spritzen und Verbandsmaterial zu entsorgen.

## Entsorgung über den Hausmüll

In den meisten Fällen können Medikamente und Arzneimittel in der Restmülltonne entsorgt werden. Dieser Entsorgungsweg ist mit wenig Aufwand verbunden, gleichzeitig aber umweltbewusst und sicher.



**Der Umwelt und uns zuliebe:  
Arzneimittel niemals über Toilette  
oder Spüle entsorgen.**

# Arzneimittel – richtig entsorgt.

In Deutschland gibt es verschiedene Wege, verschreibungspflichtige und freiverkäufliche Arzneimittel, wie z.B. Tabletten, Pillen, Tropfen, Zäpfchen, Sprays, Spritzen und Verbandsmaterial zu entsorgen.

## So geht es:

Die verschiedenen Entsorgungswege für Medikamente und Arzneimittel sind umweltbewusst und sicher. Unser Müll wird heute nicht mehr unbehandelt auf Deponien gelagert, sondern verbrannt oder mechanisch-biologisch behandelt. Durch die Verbrennung werden die Arzneiwirkstoffe zerstört oder inaktiviert und können nicht mehr in unsere Umwelt gelangen. Bei einer mechanisch-biologischen Vorbehandlung ist dies nicht bei allen Wirkstoffen vollständig der Fall. Daher werden dann vor allem die Entsorgungswege Schadstoffmobil, Recyclinghof oder Apotheke empfohlen.



### Entsorgung über den Hausmüll

In den meisten Fällen können Medikamente und Arzneimittel in der Restmülltonne entsorgt werden. Dieser Entsorgungsweg ist mit wenig Aufwand verbunden, gleichzeitig aber umweltbewusst und sicher.



### Entsorgung über Schadstoffmobile

Viele Gemeinden bieten eine Entsorgung von Medikamenten und Arzneimitteln an speziell dafür vorgesehenen mobilen Schadstoff-Sammelstellen an.



### Entsorgung über Recyclinghöfe

Viele Gemeinden betreiben Recyclinghöfe und bieten dort eine Möglichkeit zur Entsorgung von Medikamenten und Arzneimitteln an.



### Entsorgung über Apotheken

Ein Teil der Apotheken bietet die Rücknahme von Medikamenten auf freiwilliger Basis an.



**Der Umwelt und uns zuliebe:  
Arzneimittel niemals über Toilette  
oder Spüle entsorgen.**

## Zusätzliche Sicherheitshinweise

Gefährliche Gegenstände im Haushalt sollten nicht in die Hände von Unbefugten oder Kindern gelangen. Dies gilt insbesondere auch für Medikamente und Arzneimittel. Daher ist es wichtig, Medikamente und Arzneimittel sicher zu lagern und zu entsorgen.

Spezielle Arzneimittel, wie z.B. Mittel zur Behandlung von Krebs (Zytostatika), dürfen nicht über den Hausmüll entsorgt werden. Halten Sie in diesem Fall Rücksprache mit Ihrem Arzt/Ihrer Ärztin.

# Wir überschreiten zahlreiche planetare Belastungsgrenzen

Unsere heutige Lebensweise verhindert

- die Einhaltung des Pariser Klimaziels
- die Einhaltung der Aichi – Biodiversitätsziele
- die Einhaltung von 75 % der SDGs

Quelle: adaptiert Cornelia Buldmann  
[https://www.youtube.com/watch?v=gALKHJ6x5aQ&ab\\_channel=ScientistsforFuture](https://www.youtube.com/watch?v=gALKHJ6x5aQ&ab_channel=ScientistsforFuture)  
[FGSchulehttps://www.bmu.de/themen/nachhaltigkeit-digitalisierung/nachhaltigkeit/integriertes-umweltprogramm-2030/planetare-belastbarkeitsgrenzen](https://www.bmu.de/themen/nachhaltigkeit-digitalisierung/nachhaltigkeit/integriertes-umweltprogramm-2030/planetare-belastbarkeitsgrenzen)

## Ökologische Belastungsgrenzen

nach Will Steffen et al. 2015 / Linn Persson et al. 2022 / Wang-Erlandsson et al. 2022

