

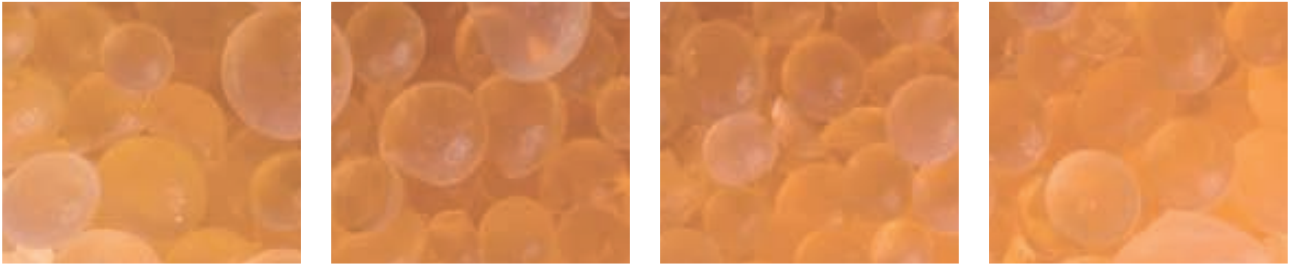
Trocknungsmittel



Index

Thema	Seite
Kapazität	2
Säulendurchmesser	5
Säulenabmessungen	5
Trocknungsverfahren	1, 3
Trocknungsgeschwindigkeit	2
Trocknung, dynamische	4, 5
Trocknung, statische	3, 5
Strömungsgeschwindigkeit	5, 11
Gase, Trocknung von	5
Luftfeuchtigkeit	4
Regenerierung	2
Sicherheitshinweise	2
Lösungsmittel, getrocknete Mengen	10
Lösungsmittel, Trocknung von	7
Lösungsmittel, hohes Wasser- aufnahmevermögen	8, 9
Lösungsmittel, geringes Wasser- aufnahmevermögen	6, 7
Lösungsmittel, mittleres Wasser- aufnahmevermögen	8, 9
Wasseraufnahmegeschwindigkeit	11

Produktbeschreibungen	Seite
Calcium	12
Calciumchlorid	12
Calciumhydrid	13
Calciumoxid	13
Calciumsulfat	13
Kupfersulfat	14
Trockenmittelbeutel	14
Lithiumaluminiumhydrid	14
Magnesium	15
Magnesiumoxid	15
Magnesiumperchlorat	15
Magnesiumsulfat	15
Molekularsiebe	16
Phosphorpentoxid	18
Sicapent®	18
Kaliumcarbonat	19
Kaliumhydroxid	19
Kieselgel	19
Kieselgel, Weißgel	19
Kieselgel, Braungel	19
Kieselgel, Orangegel	19
Natrium	20
Natriumhydroxid	20
Natriumsulfat	20
Schwefelsäure	21



Trocken und sicher – Trocknungsmittel von Merck

Produkte und Waren müssen sowohl auf langen Transportwegen als auch bei der Lagerung häufig vor Feuchtigkeit und Schimmelbildung geschützt werden. Zu diesem Zweck und für viele weitere Anwendungen in Chemielabors bietet Merck zusätzlich (z. B. zur Trocknung von Gasen, Flüssigkeiten und Feststoffen) eine umfassende Auswahl an verschiedenen Trocknungsmitteln in seiner Produktpalette an.

Trocknungsmittel für zahlreiche Anwendungen

Zur Entfernung von Wasser oder anderen (nicht chemisch gebundenen) Flüssigkeiten werden der zu trocknenden Substanz Trocknungsmittel zugegeben. Wir sind uns sicher, dass Sie in der breiten Produktpalette von Merck auch für Ihre individuelle Anwendung die am besten geeigneten Trocknungsmittel finden.

Vorteile für Sie: Sicherheit und Zuverlässigkeit

Die Trocknungsmittel von Merck helfen, Ihre wertvollen Waren z. B. vor Korrosionsschäden zu schützen und so mögliche Folgekosten zu vermeiden. Die Langlebigkeit Ihrer Produkte wird demzufolge verbessert. Durch das Ergreifen von Maßnahmen zur Vermeidung der Auswirkungen von beispielsweise Feuchtigkeit auf ein Material, können dessen Originalzustand bewahrt und somit auch negative Auswirkungen auf die nachfolgenden Bearbeitungsschritte unterbunden werden. In Bezug auf die Anwendungen im Labor bieten die anwenderfreundlichen Trocknungsmittel von Merck eine breite Vielfalt an Korn- und Packungsgrößen. Sie eignen sich gleichermaßen für die klassische Methode der statischen Trocknung und das dynamische Trocknungsverfahren.

Für die dynamische Trocknung eignen sich insbesondere Produkte, die nicht zur Klumpenbildung neigen, wie z. B. Calciumhydrid, Magnesiumperchlorat, Aluminiumoxid, Kieselgel oder Molekularsiebe.

Zu den wichtigsten hochwertigen Trocknungsmitteln gehören unter anderem: Calciumchlorid, Kieselgel, Molekularsiebe, Trockenmittelbeutel.

Die folgenden Abschnitte enthalten weitere Informationen und Details zu den Produkten sowie umfassende Hinweise zu den jeweiligen Anwendungen und Sicherheitsaspekten.

Trocknungsgeschwindigkeit

Die Intensität gibt nur an, welcher Restwassergehalt theoretisch erreichbar ist. Unter Umständen kann es jedoch lange dauern, bis ein Gleichgewicht hergestellt wird. Zum Erzielen einer hohen Wirksamkeit ist deshalb eine schnelle Wasseraufnahme unabdingbar. Die Aufnahmegeschwindigkeit wird in folgenden Schritten bestimmt:

- Die Wassermoleküle müssen aus dem zu trocknenden Material austreten können.
- Die Wassermoleküle müssen einen Weg zum Trocknungsmittel durchlaufen.
- Die Moleküle müssen in die Reaktionszentren des Trocknungsmittels eindiffundieren können.

Während der Benutzer die ersten beiden Punkte mit seinem Versuchsaufbau beeinflussen kann, muss der Hersteller des Trocknungsmittels zur Optimierung des dritten Punktes die folgenden Parameter berücksichtigen:

- Korngröße,
- Porengröße und Porenverteilung,
- Deaktivierung der Oberfläche während des Trocknungsvorgangs verhindern.

Ideal sind Trocknungsmittel, bei denen sich die oben genannten Parameter während der Wasseraufnahme nicht maßgeblich ändern, z. B. Sicapent[®], Magnesiumperchlorat, Molekularsiebe, Kieselgel, Aluminiumoxid und Calciumhydrid. Viele Trocknungsmittel neigen jedoch während der Wasseraufnahme zu Klumpenbildung, Auflösung oder zur Bildung einer sirupartigen Schicht über dem ungenutzten Produkt. Dies stellt einen Nachteil für die Arbeit mit Gasen in Trockentürmen dar, da diese verstopfen oder sich Kanäle bilden können, durch die das Gas unvollständig getrocknet hindurchströmen kann.



Kapazität

Die Kapazität eines Trocknungsmittels wird anhand der Menge des adsorbierten Wassers pro 100 g wasserfreiem Trocknungsmittel bestimmt. Beispiel: 1 kg Trocknungsmittel mit einer Kapazität von 20 % kann 200 g Wasser adsorbieren.

Der Restwassergehalt schwer beladener Trocknungsmittel ist höher als der bei weniger stark beladenen. Andererseits werden Trocknungsmittel durch Gase oder Flüssigkeiten mit höherem Wassergehalt stärker beladen. Ausnahme: Trocknungsmittel wie CuSO_4 , die definierte Hydrate bilden, halten den Wasserdampfpartialdruck bis zur Bildung der nächsten Hydratstufe, unabhängig von der Menge des adsorbierten Wassers, konstant.

Regenerierung

Einige Trocknungsmittel lassen sich regenerieren, indem man:

- durch Erwärmen das Gleichgewicht Wasser + Trocknungsmittel \rightleftharpoons Trocknungsmittel / Wasserverbindung nach links verschiebt;
- das Gleichgewicht des freien gasförmigen Wassers und damit des Trocknungsmittels durch Abpumpen oder Durchleiten von trockenem Gas ändert.

Aufgrund der sehr schnellen Wasseraufnahme müssen regenerierte Trocknungsmittel unter Feuchtigkeitsausschluss abgefüllt und aufbewahrt werden.

Sicherheitshinweise

Beim Einsatz von Trocknungsmitteln müssen die Gefahren beachtet werden, die sie mit sich bringen. So besteht sowohl bei sauren als auch basischen Trocknungsmitteln Verätzungsgefahr, Magnesiumperchlorat kann genau wie Natrium oder Kalium in Verbindung mit bestimmten organischen Stoffen bzw. Wasser oder Chlorkohlenwasserstoffen explodieren. Bei Trocknungsmitteln, die während des Trocknungsvorgangs Wasserstoff bilden, muss die Trocknung in einem gut belüfteten Abzug durchgeführt werden.

Blaugel kann aufgrund des enthaltenen Cobaltchlorids krebserregend wirken (R-Satz 49 – kann beim Einatmen Krebs erzeugen). Daher sollte das Abfüllen und Entleeren stets im Abzug erfolgen.

Trocknungsverfahren

Unempfindliche Feststoffe können bei höheren Temperaturen in einem Trockenschrank getrocknet werden. Schonender ist es jedoch, die Trocknung bei Raumtemperatur im Exsikkator oder bei etwas höheren Temperaturen mittels einer Trockenpistole vorzunehmen. Durch Anlegung eines Vakuums wird die Diffusion der Wassermoleküle vom Feststoff zum Trocknungsmittel erleichtert und somit auch die Trocknungsgeschwindigkeit gesteigert.

Statische Trocknung

Bei der klassischen Trocknung von Flüssigkeiten wird das Trocknungsmittel hinzugegeben, die Mischung stehen gelassen, anschließend gerührt (z. B. mit einem Magnetrührer), geschüttelt oder unter Rückfluss gekocht (Einzelheiten hierzu können Sie den entsprechenden Fachbüchern der organischen Chemie entnehmen). Wichtig ist, die Flüssigkeit so zu bewegen, dass sie vollständig mit dem Trocknungsmittel in Kontakt kommt. Anschließend wird die Flüssigkeit filtriert bzw. dekantiert. Falls sich durch die Reaktion mit dem Wasser Verbindungen gebildet haben, müssen diese durch Destillation entfernt werden.

Die häufig eingesetzten Trocknungsmittel Calciumchlorid, Natriumsulfat und Calciumsulfat üben bei statischer Anwendung nur eine mittlere Trocknungswirkung aus. Doch auch Trocknungsmittel wie Natrium oder die Erdalkalioxide sind nicht so wirksam wie vielfach angenommen, da deren reaktive Oberfläche klein und mit einer Schicht überzogen ist, die den Zugang für die Wassermoleküle erschwert. Da es durch die Verwendung dieser Substanzen immer wieder zu Laborunfällen kommt, sollten diese nicht mehr zu diesem Zweck benutzt werden.



Dynamische Trocknung

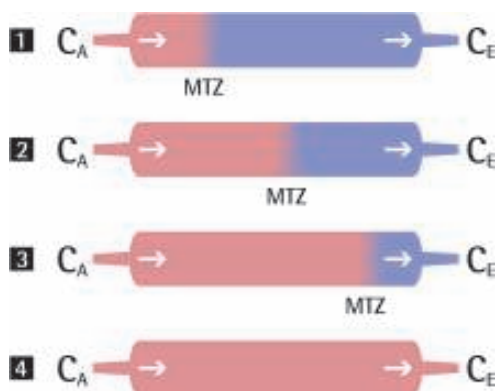
Zur Erhöhung der Trocknungsgeschwindigkeit und zur besseren Ausnutzung des Trocknungsmittels lässt man Flüssigkeiten und Gase durch Trockentürme oder Trockenrohre strömen, die mit einem Trocknungsmittel gefüllt sind. Damit die Diffusion und die Strömungsgeschwindigkeit nicht behindert werden, dürfen die eingesetzten Trocknungsmittel nicht anfällig für Klumpenbildung oder Zerfließen sein.

Aus diesem Grund sind Trocknungsmittel wie Calciumhydrid, Magnesiumperchlorat, Kieselgel und Molekularsiebe besonders geeignet. Unbehandeltes Phosphorpentoxid neigt bei Wasseraufnahme zur Klumpenbildung und eignet sich daher normalerweise nicht für eine dynamische Trocknung.

Mit Sicapent® wurde dagegen durch das Aufbringen von P_2O_5 auf einen inerten Trägerstoff ein Trocknungsmittel geschaffen, das auch bei 100%iger Beladung rieselfähig bleibt und Gase ungehindert durchströmen lässt.

Der Trocknungsvorgang kann durch den Einsatz von Trocknungsmitteln mit kleiner Korngröße noch optimiert werden. Dadurch kann die Oberfläche um ein Vielfaches vergrößert und somit die Säulenlänge und die Füllmenge verringert werden. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass sich die Strömungsgeschwindigkeit durch den größeren Fließwiderstand in der Säule reduziert.

Die nachfolgende Grafik zeigt eine Gastrocknung mit Kieselgel in der Trockensäule: Ein Orangegel wird bei der Beladung mit Wasser farblos.



Das feuchte Gas tritt auf der linken Seite mit dem Wassergehalt C_A in die Säule ein und verlässt diese auf der rechten Seite trocken mit dem Gehalt C_E , der jedoch über dem minimalen Restwassergehalt liegt, der mit dem entsprechenden Trocknungsmittel zu erzielen ist. Das Trocknungsmittel im linken Teil der Säule ist bereits maximal mit Wasser beladen und befindet sich im Gleichgewicht mit dem feuchten einströmenden Gas.

Der eigentliche Trocknungsvorgang – die Übertragung des Wassers vom Gas auf das Kieselgel – findet in dem Abschnitt statt, der als »Mass Transfer Zone – MTZ« bekannt ist. Im Laufe des Trocknungsvorgangs wandert die Mass Transfer Zone auf die rechte Seite der Säule (Schritte 2, 3, 4), bis sie das Ende erreicht und das feuchte Gas die Säule verlässt. Um das Entweichen des Gases zu vermeiden, wird der Gasstrom rechtzeitig unterbrochen mit der Folge, dass ein kleiner Teil der Säule ungenutzt bleibt.

Dennoch nutzt die dynamische Trocknung das Trocknungsmittel in den meisten Fällen besser aus als die statische Trocknung. Dies zeigt die folgende allgemeine Berechnung:

Relative Luftfeuchtigkeit

Die Aufnahmefähigkeit der Luft für Feuchtigkeit steigt mit der Temperatur bis zur Sättigung.

1 m³ Luft ist bei 11 °C mit 10,0 g Wasser gesättigt, bei 20 °C mit 17,3 g, bei 30 °C mit 30,4 g und bei 40 °C mit 51,2 g.

Berechnung der benötigten Menge an Trocknungsmittel:

1.000 l Gas mit einem Wassergehalt von 10 mg/l müssen bei 25 °C bis zu einem Restwassergehalt von 1 mg H₂O/l getrocknet werden.

$$\begin{aligned} & 1.000 \text{ l} \times 10 \text{ mg H}_2\text{O/l} \\ & - 1.000 \text{ l} \times 1 \text{ mg H}_2\text{O/l} \\ \hline & = 9 \text{ g H}_2\text{O sind zu adsorbieren} \end{aligned}$$

Berechnung der benötigten Menge an Trocknungsmittel für die statische Trocknung:

Am Ende des Trocknungsvorgangs befindet sich der Restwassergehalt des Gases im Gleichgewicht mit dem Trocknungsmittel. Die zum Erreichen des gewünschten Restwassergehaltes nötige Beladung des Kieselgels können Sie der Tabelle in der Produktbeschreibung zum Kieselgel auf Seite 23 entnehmen:

1 mg H₂O/l Restwasser
≙ Beladung von 5,2 g H₂O/100 g Kieselgel.

Zur Absorption von 9 g H₂O
9 / 5,2 x 100 g
= sind also ca. 200 g Kieselgel erforderlich.

Berechnung der benötigten Menge an Trocknungsmittel für die dynamische Trocknung:

In diesem Fall befindet sich der größere Teil des Trocknungsmittels im Gleichgewicht mit dem Wassergehalt von 10 mg/l des in die Säule einströmenden Gases. Demzufolge ist eine höhere Beladung – etwa 20 g H₂O/100 g Kieselgel – als bei der statischen Trocknung möglich, bei der das gesamte Trocknungsmittel im Gleichgewicht mit dem geringen Restwassergehalt ist.

Selbst wenn bei der dynamischen Trocknung die Hälfte des Trocknungsmittels ungenutzt bleibt, sind 100 g hierbei bereits ausreichend gegenüber 200 g bei der statischen Trocknung.

Da das durchströmende Gas bei der dynamischen Trocknung viel kürzer mit dem Trocknungsmittel in Kontakt ist als bei der statischen Methode, werden die in der Literatur angegebenen, weitaus geringeren Restwassergehalte der statischen Trocknung nicht ganz erreicht. Um solche niedrige Restwassergehalte zu erhalten, muss eine weitere Säule mit einem wirksameren Trocknungsmittel zugeschaltet werden.

Wird das Gas in einem geschlossenen Raum über eine Trockensäule umgewälzt, so lässt sich mit dieser dynamischen Methode natürlich trotzdem nur die Kapazität der statischen Methode erreichen.

Säulenabmessungen

Um das Trocknungsmittel vollständig nutzen zu können, müssen die Mass Transfer Zone [MTZ] und die Länge der ungenutzten Säule möglichst klein gehalten werden.

In diesem Fall haben sich schmale Säulen als vorteilhaft erwiesen:

- Für Gase wird ein Verhältnis von Länge zu Durchmesser größer als 5 empfohlen. Säulen, die mit Kieselgel in Perl- bzw. Granulatform befüllt sind, sollten mindestens 1 m lang sein.
- Für Flüssigkeiten werden Säulen mit einer Länge von 60 cm und 2 bis 3 cm Durchmesser bis hin zu 2 m Länge und 6 cm Durchmesser empfohlen (weitergehende Informationen finden Sie unter »Trocknung von Lösungsmitteln«).

Zur Ermittlung des benötigten Säulenvolumens wird die benötigte Menge an Trocknungsmittel durch das Schüttgewicht dividiert. Beispiel: 100 g Kieselgel mit einem Schüttgewicht von 70 g / 100 ml haben ein Volumen von 143 ml.

Strömungsgeschwindigkeit

Das Verhältnis von Länge zu Querschnitt darf allerdings nicht so groß werden, dass daraus derart hohe Strömungsgeschwindigkeiten entstehen, dass die MTZ erheblich länger wird. Empfohlene Strömungsgeschwindigkeiten (bezogen auf den freien Querschnitt der Säule) für Gase: 5 bis 15 m pro Minute, für Flüssigkeiten: 2,5 bis 30 cm pro Minute. Diese Werte wurden experimentell als optimal ermittelt.

Berechnung des Säulendurchmessers

Anhand der Strömungsgeschwindigkeit und dem gegebenen Volumenstrom (Volumen / Zeiteinheit) lässt sich der kleinste zulässige Säulenquerschnitt berechnen. Beispiel: 3,6 l 2-Propanol sind pro Stunde zu trocknen (= 3.600 ml / 60 min).

Bei einer Strömungsgeschwindigkeit von 10 cm / min* beträgt die Querschnittsfläche mindestens 6 cm² entsprechend einem Durchmesser von ca. 30 mm.

Trocknung von Gasen

Gase sollten normalerweise mittels dynamischer Methode getrocknet werden (siehe »Trocknungsverfahren«). Sehr feuchte Gase sollten zunächst mit einem Trocknungsmittel hoher Kapazität getrocknet werden: CaH₂, CaSO₄, Mg(ClO₄)₂, Molekularsieb oder Kieselgel.

Eine Feintrocknung kann dann mit Phosphor-pentoxid, Sicapent[®], CaH₂, Mg(ClO₄)₂ oder Molekularsieb erreicht werden. Weitergehende Informationen können Sie dem entsprechenden Abschnitt zum jeweiligen Trocknungsmittel entnehmen.



* Experimentell ermittelter Wert

Lösungsmittel	Trocknungsmittel:											
	CaCl ₂ – Calciumchlorid	CaH ₂ – Calciumhydrid	CaO – Calciumoxid	Destillation	K ₂ CO ₃ – Kaliumcarbonat	KOH – Kaliumhydroxid	LiAlH ₄ – Lithiumaluminiumhydrid	Molekularsieb 0,4	Molekularsieb 0,5	Na – Natrium	Na ₂ SO ₄ – Natriumsulfat	P ₂ O ₅ – Phosphorpentoxid
n-Amylacetat					•			•				
n-Amylalkohol								•				
Anilin						•			•			
Anisol	•	•		•					•	•		
Benzol	•	•		•					•	•		
Benzylalkohol				•					•			
Bromobenzol	•			•					•			
Bromoform	•								•			•
tert-Butylmethylether		•					•		•	•		
Schwefelkohlenstoff	•											•
Tetrachlorkohlenstoff	•			•				•				•
Chlorbenzol	•			•					•			
Chloroform	•							•				•
Cyclohexan	•					•		•	•			
Cyclopentan		•					•		•	•		
n-Decan		•					•	•				
1,2-Dichlorbenzol	•			•					•			
Dichlormethan	•							•				
Dichlorethan	•			•					•			
Diethylether	•	•					•	•		•		
Diethylketon					•			•				
Diethylenglycoldibutylether	•	•						•	•	•		
Diisoamylether		•					•	•	•	•		
Diisopropylether	•	•						•	•	•		
Dipropylether		•					•	•	•			
Ethylmethylketon					•			•				
n-Heptan		•					•	•		•		
n-Hexan		•					•	•		•		
Isoamylalkohol			•		•				•			
Isobutylmethylketon	•				•				•			
Isooctan		•					•		•	•		
Nitrobenzol	•			•					•			•
Nitropropan	•			•					•			•
n-Pentan		•					•	•		•		
Petrolether, Petroleum, Petroleumbenzin	•					•	•		•			
Tetrachlorethylen				•	•				•		•	
Toluol	•	•		•				•		•		
1,1,1-Trichlorethan	•			•					•			
Trichlorethylen				•	•				•		•	
1,1,2-Trichlortrifluorethan		•						•				
Xylen	•	•		•				•		•		

Trocknungsmittel für Lösungsmittel mit geringem Wasseraufnahmevermögen

Trocknung von Lösungsmitteln

Lösungsmittel mit geringem Wasseraufnahmevermögen lassen sich in der Regel problemlos mit dem statischen Verfahren trocknen. Dazu sollten sie bis zu mehreren Tagen im Vorratsgefäß stehen gelassen, ab und zu geschüttelt und in Kontakt mit einem geeigneten Trocknungsmittel gebracht werden (z. B. 100 bis 200 g Molekularsieb (MS) je Liter Lösungsmittel).

Für zahlreiche Anwendungen eignet sich das speziell getrocknete Lösungsmittel SeccoSolv® besonders. Bitte fordern Sie dazu unsere Broschüre »Maßgeschneiderte Lösungsmittel« an.

Der mit Molekularsieben (MS) erzielbare Restwassergehalt liegt unter 10^{-4} Gewichtsprozent entsprechend 1 ppm = 1 mg H₂O = ca. 0,05 mmol H₂O pro Liter Lösungsmittel. 250 g Molekularsieb trocknen mehr als 10 l hydrophober Lösungsmittel und werden dabei mit 14 bis 18 % H₂O beladen.

Natürlich kann auch die dynamische Trocknung gemäß den entsprechenden Fachbüchern verwendet werden.

Werden hydrophobe Lösungsmittel dynamisch mit Kieselgel oder Molekularsieb getrocknet, sollte die Strömungsgeschwindigkeit bis zu 30 cm pro Minute betragen. Demnach können durch eine Säule mit einem Durchmesser von 2,5 cm und einem Querschnitt von 5 cm² bis zu 6 l pro Stunde strömen. Säulen mit einem Durchmesser von 2,5 cm und einer Länge von 60 cm, die etwa 200 g Molekularsieb enthalten, haben sich für diese Anwendungen bewährt.

Lösungsmittel	Wasseradsorption [g H ₂ O / 100 g Lösungsmittel]	Trocknungsmittel:																
		Ca – Calcium	CaCl ₂ – Calciumchlorid	CaH ₂ – Calciumhydrid	CaO – Calciumoxid	CuSO ₄ – Calciumsulfat	Destillation	K ₂ CO ₃ – Kaliumcarbonat	KOH – Kaliumhydroxid	Mg – Magnesium	MgO – Magnesiumoxid	MgSO ₄ – Magnesiumsulfat	Molekularsieb 0,3	Molekularsieb 0,4	Molekularsieb 0,5	Na – Natrium	Na ₂ SO ₄ – Natriumsulfat	P ₂ O ₅ – Phosphorpentoxid
Essigsäure	∞					•												
Aceton	∞								•				•					
Acetonitril	∞		•						•				•					•
Acetylaceton	∞								•					•				
tert-Amylalkohol	14				•										•			
1-Butanol	20							•	•					•				
2-Butanol	44							•	•						•			
tert-Butanol	∞				•										•			
n-Butylacetat	2,9										•			•				
Cyclohexanol	11				•										•			
Cyclohexanon	8,7								•						•			
Diethylenglycol	∞							•						•				•
Diethylenglycoldiethylether	∞		•	•											•	•		
Diethylenglycoldimethylether	∞		•	•											•	•		
Diethylenglycolmonobutylether	∞		•	•											•	•		
Diethylenglycolmonoethylether	∞		•	•											•	•		
Diethylenglycolmonomethylether	∞		•	•											•	•		
N,N-Diethylformamid	∞			•				•							•			
N,N-Dimethylformamid	∞			•				•							•			
Dimethylsulfoxid	∞			•				•					•					
1,4-Dioxan	∞		•	•										•		•		
Ethanol	∞				•				•	•			•					
Ethanolamin	∞								•				•					
(2-Ethoxyethyl)acetat	6,5								•					•			•	•
Ethylacetat	9,8								•					•			•	•
Ethylenglycoldimethylether	∞			•				•						•				
Ethylenglycol	∞							•						•				•
Ethylenglycolmonobutylether	∞							•										•
Ethylenglycolmonoethylether	∞							•										•
Ethylenglycolmonomethylether	∞							•										•
Ethylformiat	∞										•			•				•
Formamid	∞				•								•					•
Glycerin	∞							•										
1,1,1,3,3,3-Hexafluor-2-propanol	∞													•				
Isobutanol	15	•			•			•		•				•				
Methanol	∞				•				•	•			•					
Methylacetat	8				•			•						•				
Methylformiat	24							•						•			•	•
Methylpropylketon	3,6							•						•				
Methylpyridin	∞								•					•				
1,2-Propandiol	∞				•				•	•				•				
1,3-Propandiol	∞				•				•	•				•				
1-Propanol	∞				•				•	•				•				
2-Propanol	∞				•				•				•					
Pyridin	∞				•				•	•			•					
Tetraethylenglycol	∞								•					•				
Tetrahydrofuran	∞			•					•					•				
Triethanolamin	∞								•					•				
Triethylenglycol	∞							•						•				•
Triethylenglycoldimethylether	∞							•										

Trocknungsmittel für Lösungsmittel mit mittlerem bis unbegrenztem Wasseraufnahmevermögen

Lösungsmittel mit mittlerem bis hohem Wasseraufnahmevermögen

$\text{H}_2\text{O} + \text{Trocknungsmittel}$	\rightleftharpoons	$\text{H}_2\text{O} / \text{Trocknungsmittel} / \text{Verbindung}$ (1)
$\text{H}_2\text{O} + \text{Lösungsmittel}$	\rightleftharpoons	H_2O solvatisiert (2)
$\text{Lösungsmittel} + \text{Trocknungsmittel}$	\rightleftharpoons	$\text{Lösungsmittel} / \text{Trocknungsmittel} / \text{Verbindung}$ (3)

Aufgrund der Konkurrenzreaktionen (2) und (3) sind die erzielbaren Restwassergehalte etwa 1.000 mal höher als in Luft – es sei denn, es werden Trocknungsmittel wie Calciumhydrid verwendet, bei denen sich kein Gleichgewicht einstellt, da eines der Reaktionsprodukte (in diesem Fall H_2) die Gleichung verlässt.

Im Allgemeinen genügen Restwassergehalte von 10^{-3} Gewichtsprozent. Eine weitere Trocknung ist insbesondere dann nicht sinnvoll, wenn man das getrocknete Lösungsmittel an der Luft umfüllt: Auch unter schnellem Gießen steigt der H_2O -Gehalt von $1 \cdot 10^{-3}$ auf 2 bis $4 \cdot 10^{-3}$ Gewichtsprozent. Eine weitere Quelle für die Verunreinigung mit Wasser sind beispielsweise ungefettete Schlitze (z. B. bei Exsikkatoren), durch die bedeutende Mengen an Wasserdampf diffundieren können.

Geeignete Trocknungsmittel werden in der nachstehenden Tabelle empfohlen. Da die herkömmlichen Trocknungsverfahren mit chemisch wirkenden Trocknungsmitteln ausführlich in den Fachbüchern der präparativen organischen Chemie beschrieben sind, wird hier nur auf die dynamische Trocknung von mit Wasser mischbaren Lösungsmitteln und Molekularsieben (MS) eingegangen.

Mit diesem Verfahren sind folgende Werte erreichbar:

- Restwassergehalt:
0,001 bis 0,005 Gewichtsprozent H_2O im Lösungsmittel
- Kapazität:
bei einem gewünschten Restwassergehalt von maximal 0,001 Gewichtsprozent darf die Beladung des verwendeten Molekularsiebes nicht größer werden als:

Diethylether	14 g H_2O / 100 g Molekularsieb
Ethylacetat	6 g H_2O / 100 g Molekularsieb
Dioxan	4 g H_2O / 100 g Molekularsieb
Pyridin	2 g H_2O / 100 g Molekularsieb

Die Beladung ist abhängig von der Reaktionsgleichung (2) der Lösungsmittel.

Getrocknete Menge Lösungsmittel

Dynamische Trocknung von Lösungsmitteln mit Molekularsieben und einer Säule von 25 x 600 mm (250 g Molekularsieb) oder von 50 x 2.000 mm (2 kg Molekularsieb).

Lösungsmittel	Anfangs- wassergehalt [Gewichtsprozent]	Rest- wassergehalt [Gewichtsprozent]	Menge des getrockneten Lösungsmittels [l]	Typ [nm]
Acetonitril	0,05 – 0,2	0,003	3 – 4	0,3
Benzol	0,07	0,003	>10	0,4
Chloroform	0,09	0,002	>10	0,4
Cyclohexan	0,009	0,002	>10	0,4
Dichlormethan	0,17	0,002	>10	0,4
Diethylether	0,12	0,001	10	0,4
Diisopropylether	0,03	0,003	10	0,4
Dimethylformamid	0,06 – 0,3	0,006	4 – 5	0,4
1,4-Dioxan	0,08 – 0,3	0,002	3 – 10	0,5
Ethanol	0,04	0,003	10	0,3
Ethylacetat	0,015 – 0,2	0,004	8 – 10	0,4
Methanol	0,04	0,005	10	0,3
2-Propanol	0,07	0,006	7	0,3
Pyridin	0,03 – 0,3	0,004	2 – 10	0,4
Tetrachlorkohlenstoff	0,01	0,002	>10	0,4
Tetrahydrofuran	0,04 – 0,2	0,002	7 – 10	0,5
Toluol	0,05	0,003	>10	0,4
Xylen	0,045	0,002	>10	0,4

Die Menge an getrocknetem Lösungsmittel kann für gut mit Wasser mischbare Lösungsmittel nicht genau angegeben werden, da sie vom anfänglichen Wassergehalt abhängt, der meist nicht bekannt ist. Wird das Lösungsmittel jedoch statisch auf einen geringen Wassergehalt vorgetrocknet (z. B. mit ca. 100 g Molekularsieb für 1 l Lösungsmittel), lassen sich mit der anschließenden dynamischen Methode 10 l Lösungsmittel mit 200 g Molekularsieb auf 0,001 bis 0,002 Gewichtsprozent Wasser trocknen. Zur Trocknung der stark hygroskopischen Alkohole Methanol, Ethanol und 2-Propanol auf einen Restwassergehalt von 0,002 Gewichtsprozent werden etwa 2 kg Molekularsieb 0,3 nm benötigt. Säulenabmessungen: Ø 50 mm, Länge 2 m.

Eine Übersicht über den erreichbaren Trocknungseffekt bei einer Reihe wassergesättigter Lösungsmittel ist in der oben stehenden Tabelle aufgeführt.

Beispiele für die Strömungsgeschwindigkeit

Die Strömungsgeschwindigkeit sollte bei mit Wasser mischbaren Lösungsmitteln unter 10 cm / Minute liegen. Das entspricht maximalen Durchflussraten von:

50 ml / min	für Säulendurchmesser von 25 mm
70 ml / min	für Säulendurchmesser von 30 mm
200 ml / min	für Säulendurchmesser von 50 mm

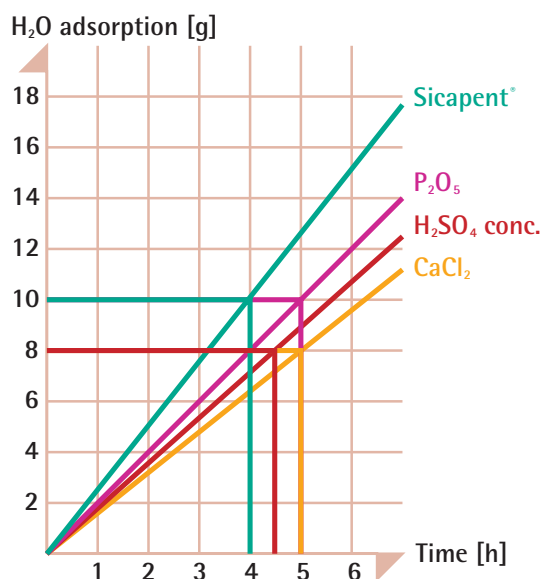
Praktisches Vorgehen

Zunächst ist zu prüfen, ob neben dem Wasser das zu trocknende Lösungsmittel vom Molekularsieb adsorbiert wird. Zu diesem Zweck füllt man 10 bis 20 Kügelchen in ein Reagenzglas und übergießt diese mit einigen Millilitern des Lösungsmittels. Eine erhebliche Temperaturerhöhung – unter Umständen bis zum Sieden – weist auf die Koadsorption gemäß (3) hin. In diesen Fällen weicht man entweder auf ein Molekularsieb mit kleinerer Porengröße aus, mit dem keine Koadsorption mehr stattfindet, oder man setzt die Durchflussgeschwindigkeit auf max. 2,5 cm pro Minute herab. Die geeigneten Porengrößen, bei denen keine Koadsorption mehr stattfindet, sind in der Tabelle angegeben.

Zunächst gibt man das Lösungsmittel langsam in die Säule, bis diese innerhalb von etwa 15 bis 30 Minuten ganz befeuchtet ist. In der Regel enthält die erste gesammelte Fraktion einen erhöhten Wassergehalt, weshalb sie entweder verworfen oder erneut der Säule zugeführt wird. Bei neuen Molekularsieben kann die erste Fraktion kleine Partikel enthalten und getrübt sein, so dass diese anschließend verworfen oder filtriert werden muss.

Wasseraufnahmegeschwindigkeit einiger Trocknungsmittel

Versuchsordnung: 100 g Sicapent® bzw. 75 g anderer Trocknungsmittel wurden in einem Vakuumexsikkator neben eine Schale mit Wasser gestellt. Nach 1 Stunde wurde die Gewichtszunahme der Trocknungsmittel durch eine gravimetrische Analyse bestimmt. Die dabei erhaltenen Messergebnisse sind in der Abbildung dargestellt.



Beschreibung einiger herkömmlicher Trocknungsmittel

Calcium [Ca]

Artikel	Packungsgröße	Art.-Nr.
Calcium, gekörnt, ~ 2 – 6 mm	100 g	1.02053.0100
	500 g	1.02053.0500
Für die Trocknung von:	Alkoholen	
Anwendung:	Während des Trocknungsvorgangs bildet sich zunächst unlösliches Metallhydroxid, anschließend Metallalkoholat, welches sich in Alkohol löst. Daher muss die Lösung nach der Trocknung destilliert werden.	
Kapazität:	stöchiometrisch	

Calciumchlorid [CaCl₂]

Artikel	Packungsgröße	Art.-Nr.
Calciumchlorid, wasserfrei, gepulvert	500 g	1.02378.0500
Calciumchlorid, wasserfrei, gekörnt ~ 1 – 2 mm	1 kg	1.02379.1000
	5 kg	1.02379.5000
Calciumchlorid, wasserfrei, gekörnt ~ 2 – 6 mm	1 kg	1.02391.1000
	5 kg	1.02391.5000
	25 kg	1.02391.9025
Calciumchlorid, wasserfrei, gekörnt ~ 6 – 14 mm	1 kg	1.02392.1000
	5 kg	1.02392.5000
	25 kg	1.02392.9025

Für die Trocknung von: Aceton, Ethern, zahlreicher Ester, aliphatischen, olefinischen, aromatischen und halogenierten Kohlenwasserstoffen, neutralen Gasen.

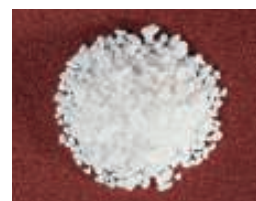
Ungeeignet für die Trocknung von: Alkoholen, Ammoniak, Aminen, Aldehyden, Phenolen, einigen Estern und Ketonen: diese Verbindungen werden von CaCl₂ gebunden.

Anwendung: Trocknung von Flüssigkeiten, zur Füllung von Trockenrohren, ungeeignet für die Trocknung schnell strömender Gase, da die Porendiffusion durch das Zerfließen bei der Wasseraufnahme behindert wird.

Restwassergehalt in der Luft: 0,14 mg H₂O/l bis 16 % H₂O-Gehalt
0,7 mg H₂O/l bis 32 % H₂O-Gehalt
1,4 mg H₂O/l bis 65 % H₂O-Gehalt

Kapazität 98 %

Regenerierung: Bei 250 °C im Trockenschrank.



Calciumhydrid [CaH₂]

Artikel	Packungsgröße	Art.-Nr.
Calciumhydrid zur Synthese, ~ 1 – 10 mm	100 g	8.02100.0100
	500 g	8.02100.0500

Für die Trocknung von:	Gasen, organischen Lösungsmitteln, einschließlich Ketonen und Estern.
Ungeeignet für die Trocknung von:	Verbindungen mit aktivem Wasserstoff, Ammoniak, Alkoholen. Achtung: Reagiert explosionsartig mit Wasser!
Anwendung:	Da Calciumhydrid ein sehr wirksames Trocknungsmittel ist, das sehr heftig mit Wasser reagiert, sollten die zu trocknenden Stoffe nur geringe Mengen Wasser enthalten. Bei der Reaktion mit Wasser bildet sich Wasserstoff (stets im Abzug arbeiten!) gemäß der Gleichung $\text{CaH}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{H}_2 + \text{CaO}$. Das sich dabei bildende feine, voluminöse Pulver kann die Trockentürme u. U. verstopfen. CaH ₂ ist der Trocknung mit Natrium vorzuziehen, da dieses eine viel größere Oberfläche besitzt. Das gebildete CaO haftet nicht an der CaH ₂ -Oberfläche und wirkt selbst als Trocknungsmittel. $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2$.
Nachteil:	Aufgrund der gegenüber Na höheren Aktivität und Reaktivität ist CaH ₂ bei unsachgemäßer Lagerung weniger haltbar. Nach dem Öffnen der Packung sollte diese also stets in einem Exsikkator aufbewahrt werden.
Restwassergehalt in der Luft:	< 0,00001 mg H ₂ O/l
Kapazität:	stöchiometrisch

Calciumoxid [CaO]

Artikel	Packungsgröße	Art.-Nr.
Calciumoxid aus Marmor, 3 – 20 mm	1 kg	1.02109.1000
	25 kg	1.02109.9025
Calciumoxid aus Marmor, 13 – 100 mm	1 kg	1.02107.1000
	25 kg	1.02107.9025

Für die Trocknung von:	Neutralen und basischen Gasen, Aminen, Alkoholen, Ethern.
Ungeeignet für die Trocknung von:	Säuren, Säurederivaten, Aldehyden, Ketonen, Estern.
Restwassergehalt in der Luft:	0,003 mg H ₂ O/l
Kapazität:	Begrenzt, da die Oberfläche mit einer weniger durchlässigen Schicht überzogen ist, besonders in Gegenwart von CO ₂ .

Calciumsulfat [CaSO₄]

Artikel	Packungsgröße	Art.-Nr.
Calciumsulfat, wasserfrei, gekörnt, ~ 1 – 5 mm	1 kg	1.01987.1000

Für die Trocknung von:	Fast allen Flüssigkeiten und Gasen.
Anwendung:	Calciumsulfat ist besonders geeignet für die Trocknung von Gasen, in denen kleine Mengen organischer Verbindungen analysiert werden sollen, da diese von CaSO ₄ praktisch nicht adsorbiert werden. Bei Temperaturen über 80 °C besteht praktisch keine Trocknungswirkung mehr.
Restwassergehalt in der Luft:	0,004 mg H ₂ O/l bis 6,6 % 0,07 mg H ₂ O/l bei höherem Wassergehalt
Kapazität:	18 %
Regenerierung:	Bei 190 – 230 °C im Trockenschrank. Oberhalb von 300 °C wird Calciumsulfat überhitzt und hat dann keine trocknende Wirkung mehr.



Kupfersulfat [CuSO₄]

Artikel	Packungsgröße	Art.-Nr.
Kupfersulfat	250 g	1.02791.0250
	1 kg	1.02791.1000

Für die Trocknung von:	Niederen Fettsäuren, Alkoholen, Estern.
Ungeeignet für die Trocknung von:	Aminen, Nitrilen, Ammoniak.
Restwassergehalt in der Luft:	1,4 mg H ₂ O/l
Regenerierung:	Oberhalb 50 °C im Vakuum.
Vorteil:	Verwendung als Indikator möglich: Das farblose wasserfreie Kupfer(II)-sulfat färbt sich als Kupfer(II)-sulfat-5-hydrat blau.



Trockenmittelbeutel [SiO₂]

Artikel	Beutel	Packungsgröße	Art.-Nr.
Trockenmittelbeutel (3 g Kieselgel mit Indikator Orangegel)	4 x 7 cm	100 Beutel	1.03803.0001
		1.000 Beutel	1.03803.0002
Trockenmittelbeutel (10 g Kieselgel mit Indikator Orangegel)	7 x 9 cm	50 Beutel	1.03804.0001
Trockenmittelbeutel (100 g Kieselgel mit Indikator Orangegel)	15 x 14 cm	10 Beutel	1.03805.0001
Trockenmittelbeutel (250 g Kieselgel mit Indikator Orangegel)	15 x 20,5 cm	10 Beutel	1.03806.0001

Weitere Trockenmittelbeutel, z. B. 500 g, auf Anfrage erhältlich

Zur Trocknung von:	Feuchtigkeit
Anwendung:	Mit Kieselgel befüllte Trockenmittelbeutel schützen wertvolle und empfindliche Produkte vor den Auswirkungen von Feuchtigkeit. Als Verpackungsbeigabe für anfällige Maschinenteile und Werkzeuge verhindern diese während der Lagerung und des Transports Korrosion. Trockenmittelbeutel helfen, die Funktionstüchtigkeit empfindlicher optischer, elektrischer und elektronischer Komponenten und Geräte aufrechtzuerhalten.
Kapazität:	Kieselgel besitzt ein hohes Aufnahmevermögen für Feuchtigkeit: 20 % des Eigengewichts bei 25 °C und 80 % relativer Feuchtigkeit.
Indikatorumschlag Orangegel:	bei ca. 7 – 10 g adsorbiertem H ₂ O / 100 g Kieselgel von orange nach farblos.
Regenerierung:	Kieselgel (Orangegel) kann im Trockenschrank bei 130 – 140 °C regeneriert werden. Trockenmittelbeutel nur bis zu 80 °C, da das Klebmittel am Beutel schmelzen kann.

Lithiumaluminiumhydrid [Li(AlH₄)]

Artikel	Packungsgröße	Art.-Nr.
Lithiumaluminiumhydrid – Pulver, zur Synthese	25 g	8.18875.0025
Lithiumaluminiumhydrid – Tabletten, zur Synthese	25 g	8.18877.0025

Für die Trocknung von:	Kohlenwasserstoffen, Estern.
Ungeeignet für die Trocknung von:	Säuren, Säurederivaten (Chloriden, Anhydriden, Amidn, Nitrilen), aromatischen Nitroverbindungen.
Anwendung:	Li(AlH ₄) reagiert heftig, zum Teil sogar explosionsartig, mit Wasser und setzt dabei Wasserstoff frei. Daher sollten die zu trocknenden Lösungsmittel einen sehr geringen anfänglichen Wassergehalt haben.
Kapazität:	stöchiometrisch

Magnesium [Mg]

Artikel	Packungsgröße	Art.-Nr.
Magnesium – Späne nach Grignard, zur Synthese	250 g	8.05817.0250
	1 kg	8.05817.1000
Magnesium, Pulver, Korngröße ~ 0,1 – 0,3 mm	1 kg	1.05815.1000

Für die Trocknung von:	Alkoholen
Anwendung:	Magnesiumspäne müssen vor der Verwendung mit Iod aktiviert werden. Während des Trocknungsvorgangs bildet sich zunächst unlösliches Metallhydroxid, anschließend Metallalkoholat, welches sich in Alkohol löst. Daher muss nach der Trocknung destilliert werden.
Kapazität:	stöchiometrisch

Magnesiumoxid [MgO]

Artikel	Packungsgröße	Art.-Nr.
Magnesiumoxid	100 g	1.05865.0100
	500 g	1.05865.0500

Für die Trocknung von:	Alkoholen, Kohlenwasserstoffen, basischen Flüssigkeiten.
Ungeeignet für die Trocknung von:	Sauren Verbindungen.
Restwassergehalt in der Luft:	0,008 mg H ₂ O/l
Regenerierung:	Bei 800 °C

Magnesiumperchlorat [Mg(ClO₄)₂]

Artikel	Packungsgröße	Art.-Nr.
Magnesiumperchlorat-Hydrat Mg(ClO ₄) ₂ ·H ₂ O	500 g	1.05873.0500

Für die Trocknung von:	Inerten Gasen, Luft, adsorbiert Ammoniak ebenso stark wie Wasser.
Ungeeignet für die Trocknung von:	Zahlreichen Lösungsmitteln, in denen es sich löst, z. B. Aceton, Dimethylformamid, Dimethylsulfoxid, Ethanol, Methanol, Pyridin, organischen Verbindungen.
Anwendung:	In Trockentürmen zur Trocknung schnell strömender Gase; mit zunehmender H ₂ O-Beladung wird die Schüttung lockerer. Mg(ClO ₄) ₂ lässt sich ganz einfach entfernen, ohne dass es an den Wänden kleben bleibt.
Restwassergehalt in der Luft:	0,0005 mg H ₂ O/l bis 10 % H ₂ O-Gehalt 0,002 mg H ₂ O/l bis 32 % H ₂ O-Gehalt
Kapazität:	48 %, entsprechend 6 mol Kristallwasser
Sicherheitshinweise:	In Kontakt mit einer reduzierenden Atmosphäre, insbesondere in der Gegenwart von Säuren oder Verbindungen, die zu Säuren hydrolysiert werden können, besteht Explosionsgefahr. Mg(ClO ₄) ₂ darf nur in Gefäßen aus anorganischen Materialien erhitzt werden.
Regenerierung:	Bei 240 °C im Vakuum.

Magnesiumsulfat [MgSO₄]

Artikel	Packungsgröße	Art.-Nr.
Magnesiumsulfat, wasserfrei	1 kg	1.06067.1000

Für die Trocknung von:	Fast allen Verbindungen, einschließlich Säuren, Säurederivaten, Aldehyden, Estern, Nitrilen und Ketonen.
Restwassergehalt in der Luft:	1,0 mg H ₂ O/l
Regenerierung:	Bei 200 °C im Trockenschrank.



Molekularsiebe

Artikel	Packungsgröße	Art.-Nr.
Adsorptionsröhrchen für H ₂ O (Molekularsieb 0,3 nm mit Indikator Braungel) Länge 15 cm, Durchmesser 2 cm, Füllmenge ca. 30 g	3 Röhrchen	1.06107.0003
Molekularsieb 0,3 nm, Pulver	250 g	1.05706.0250
Molekularsieb 0,3 nm, Perlform ~ 2 mm ¹⁾	250 g	1.05704.0250
	1 kg	1.05704.1000
	10 kg	1.05704.9010
Molekularsieb 0,3 nm, Perlform, mit Indikator Braungel, ~ 2 mm ¹⁾	250 g	1.05734.0250
	1 kg	1.05734.1000
Molekularsieb 0,3 nm, Stäbchenform ~ 3,2 mm	1 kg	1.05740.1000
Molekularsieb 0,3 nm, Stäbchenform ~ 1,6 mm	250 g	1.05741.0250
	1 kg	1.05741.1000
	10 kg	1.05741.9010
Molekularsieb 0,4 nm, Perlform ~ 2 mm	250 g	1.05708.0250
	1 kg	1.05708.1000
	10 kg	1.05708.9010
Molekularsieb 0,4 nm, Perlform, mit Indikator, ~ 2 mm	250 g	1.05739.0250
	1 kg	1.05739.1000
Molekularsieb 0,4 nm, Stäbchenform ~ 3,2 mm	1 kg	1.05742.1000
Molekularsieb 0,4 nm, Stäbchenform ~ 1,6 mm	1 kg	1.05743.1000
Molekularsieb 0,5 nm, Perlform ~ 2 mm	250 g	1.05705.0250
	1 kg	1.05705.1000
Molekularsieb 0,5 nm, Stäbchenform ~ 3,2 mm	1 kg	1.05752.1000
Molekularsieb 0,5 nm, Stäbchenform ~ 1,6 mm	250 g	1.05753.0250
	1 kg	1.05753.1000
Molekularsieb 1,0 nm, Perlform ~ 2 mm	1 kg	1.05703.1000
	10 kg	1.05703.9010

Molekularsiebe eignen sich für die Trocknung von praktisch allen Gasen und Flüssigkeiten. Sie können in Exsikkatoren, Trockenrohren, zur Trockenhaltung absoluter Lösungsmittel, zum Befüllen von Säulen zum Trocknen von Gasen oder Lösungsmitteln bzw. für die selektive Adsorption (z. B. Phosgen aus Chloroform) eingesetzt werden.

Vorteile

- Einfache Handhabung: Chemisch weitgehend inert, ungiftig, keine Entsorgungsprobleme, getrocknete Flüssigkeiten können dekantiert werden.
- Hohes Adsorptionsvermögen, selbst bei geringem Wassergehalt des zu trocknenden Stoffes.
- Hohes Adsorptionsvermögen, auch bei hohen Temperaturen.
- Hohe Adsorptionsaffinität zu polaren und ungesättigten organischen Molekülen; H₂O wird jedoch immer bevorzugt adsorbiert.
- Selektive Adsorption: es werden nur die Moleküle adsorbiert, die durch die Poren strömen können.

¹⁾ Anwendung: Molekularsiebe 0,3 nm, Perlform, ~ 2 mm (1.05704) und 0,3 nm, Perlform, mit Indikator Braungel, ~ 2 mm (1.05734) sind ebenfalls geeignet für die Anwendung in Karl-Fischer-Titratoren.

Temperatur

Molekularsiebe adsorbieren H₂O bei nur wenig verringerter Kapazität noch bei Temperaturen, bei denen Aluminiumoxid und Kieselgel bereits Wasser abgeben. Zwischen 0 °C und 150 °C sinkt das Aufnahmevermögen allmählich von 23 auf 7 % bei einem Restwassergehalt von 10 mg H₂O/l.

Restwassergehalt in der Luft

Mindestens 0,0001 mg H₂O/l bei 25 °C. Je weniger ein Molekularsieb beladen ist, desto intensiver trocknet es.

Typische Werte für Molekularsieb 0,4 nm

Beladung in g H ₂ O / 100 g Molekularsieb	Restwassergehalt mg H ₂ O / l
1	0,0001
3	0,001
6	0,01
15	0,1
20	0,5

Das gelieferte originalverpackte Molekularsieb enthält etwa 1 bis 2 % Wasser, das in der Regel keine Auswirkungen auf den Trocknungsvorgang hat. Sind die Anforderungen des Trocknungsvorgangs jedoch besonders hoch, muss die Substanz wie unter »Regenerierung« beschrieben aktiviert werden.

Kapazität

15 bis 24 % bei 25 °C. Zum Erreichen niedriger Restwassergehalte kann die Kapazität nur zum Teil genutzt werden (siehe oben stehende Tabelle): Bei einem gewünschten Restwassergehalt von 0,01 mg H₂O/l sollte die Beladung 6 g H₂O / 100 g Molekularsieb nicht übersteigen.

Indikator

Der Indikator (Braungel) schlägt bei einer H₂O-Aufnahme von etwa 7 bis 10 g / 100 g Molekularsieb von braun nach gelblich um.

Regenerierung

Die Regenerierung kann beliebig oft ausgeführt werden, die maximale Regenerierungstemperatur liegt bei 450 °C.

Molekularsiebe können in einem Trockenschrank über 250 °C auf einen Wassergehalt von 2 bis 3 g / 100 g getrocknet werden. Das restliche Wasser kann bei 300 bis 350 °C in einem Ölpumpenvakuum (10⁻¹ bis 10⁻³ mbar) entzogen werden, wobei wie üblich eine Kühlfalle mit einem Kohlendioxid-Kältemittel-Gemisch bzw. flüssiger Luft anzuschließen ist. Wasserpumpen sind für diesen Zweck aufgrund ihres hohen Wasserdampfpartialdruckes völlig ungeeignet.

Aus Sicherheitsgründen müssen Molekularsiebe, die zur Trocknung von Lösungsmitteln eingesetzt wurden, vor der Regenerierung von möglichen Lösungsmittelrückständen durch das Vermischen mit Wasser befreit werden. Molekularsiebe mit Feuchtigkeitsindikator sollten nicht über 150 °C erhitzt werden.

Chemische und physikalische Eigenschaften

Molekularsiebe sind kristalline, synthetische Zeolithe. Ihre Kristallgitter weisen eine Käfigstruktur mit zahlreichen Hohlräumen auf. Die Hohlräume sind von allen Seiten her durch Poren mit genau festgelegten Abmessungen zugänglich: je nach Typ des Molekularsiebs können sie einen Durchmesser von 0,3, 0,4, 0,5 oder 1,0 nm haben. Wird das Wasser in den Hohlräumen durch Erwärmen entfernt, verwandelt sich das Material in äußerst aktive Adsorbentien. Es werden jedoch nur die Moleküle adsorbiert, die klein genug sind, um durch die Poren hindurchzugelangen (Siebeffekt).

Porendurchmesser [nm]	Typ	Zusammensetzung	Struktur
0,3	3A	Kalium-Natriumaluminiumsilikat	Sodalith
0,4	4A	Natriumaluminiumsilikat	Sodalith
0,5	5A	Natrium- und Calciumaluminiumsilikat	Sodalith
1,0	13A/X	Natriumaluminiumsilikat	Faujasit

Die bei der hydrothermalen Herstellung erhaltenen Molekularsieb-Kristallite werden mit 1 bis 2 % Ton als Bindemittel zu Stäbchen und Kugeln geformt. Durch den Transport hervorgerufene Erschütterungen können Abrieb verursachen, der sich bei der dynamischen Trocknung in der ersten Fraktion sammelt.

Schüttgewicht:	0,75 kg/l
Oberfläche (BET):	800 m ² /g
Lieferform:	Pulver, Perlform (~ 2 mm), Stäbchen (~ 1,6 mm, ~ 3,2 mm)
Effektiver Porendurchmesser je nach Typ:	0,3, 0,4, 0,5 oder 1,0 nm
Hohlraumvolumen:	0,3 cm ³ /g
Spezifische Wärme:	> 0,8 kJ/kg
Absorptionswärme pro kg adsorbiertes Wasser:	4.200 kJ

Phosphorpentoxid [P ₂ O ₅] und SICAPENT®		
Artikel	Packungsgröße	Art.-Nr.
Diphosphorpentoxid reinst	1 kg	1.00540.1000
	25 kg	1.00540.9025
Diphosphorpentoxid	100 g	1.00570.0100
	500 g	1.00570.0500
SICAPENT® mit Indikator (Phosphorpentoxid-Trocknungsmittel)	500 ml	1.00543.0500
	2,8 l	1.00543.2800

Für die Trocknung von:	Neutralen und sauren Gasen, gesättigten aliphatischen und aromatischen Kohlenwasserstoffen, Nitrilen, Alkyl- und Arylhalogeniden sowie Kohlenstoffdisulfid.
Ungeeignet für die Trocknung von:	Alkoholen, Aminen, Säuren, Ketonen, Ethern, chlorierten und fluorierten Kohlenwasserstoffen.
Restwassergehalt in der Luft:	0,00002 mg H ₂ O/l bis 25 % Wasseraufnahme mit Sicapent®, entsprechend 2 mol H ₂ O pro mol P ₂ O ₅ .
Kapazität:	P ₂ O ₅ : 40 % Sicapent®: 33 %
Anwendungshinweis:	Bei der Adsorption von Wasser überzieht sich Phosphorpentoxid mit einer Schicht Polymetaphosphorsäure, die die Diffusion von H ₂ O-Molekülen behindert. Durch den Einsatz von Sicapent® kann dieser Effekt vermieden werden, da sich die Polymetaphosphorsäure, die sich aus P ₂ O ₅ und Wasser bildet, sofort von dem Trägerstoff adsorbiert wird. Deshalb liegt das Trocknungsmittel als feines, rieselfähiges Granulat vor.
Regenerierung:	Nicht möglich

SICAPENT® mit Indikator

Zusammensetzung:	25 % inertes anorganisches Trägermaterial und 75 % Phosphorpentoxid.	
Korngröße des Trägers:	0,1 – 1,6 mm	
Schüttgewicht:	ca. 300 g/l	
Rieselfähig bis zu:	100 % Wasseraufnahme	
Indikatorgehalt:	0,1 %	
Wassergehalt / Indikatorfarbe:	H ₂ O-Gehalt [%]:	Farbe des Trocknungsmittels:
	0	Farblos
	20	Grün
	27	Blau-grün
	33	Blau

Anwendungshinweis:	Der entscheidende Vorteil bei der Verwendung granulierter Trocknungsmittel ist deren einfache Handhabung. Selbst nach erheblicher Wasseraufnahme (ca. 100 % des Eigengewichts) bleibt die körnige Struktur erhalten. Das Trocknungsmittel kann demzufolge nach dem Trocknungsvorgang ganz einfach aus dem Gefäß entfernt werden. Aufgrund seiner großen Oberfläche trocknet Sicapent® etwa 20 % schneller als einfaches Phosphorpentoxid. Anders gesagt werden also in der gleichen Zeit 20 % mehr Wasser adsorbiert.
Anwendung:	Trocknung von Flüssigkeiten, zur Füllung von Trockenrohren. Aufgrund seiner hohen Intensität und der Granulatform ist es besonders geeignet für die Trocknung schnell strömender Gase in Trockenrohren.
Sicherheitshinweise:	Beim Öffnen der Flasche können feine Partikel des Trocknungsmittels herausspritzen. Aus diesem Grund müssen beim Öffnen der Flasche stets die Anweisungen auf dem Etikett befolgt werden: Behälter vorsichtig öffnen und Schutzbrille tragen.



Kaliumcarbonat [K₂CO₃]

Artikel	Packungsgröße	Art.-Nr.
Kaliumcarbonat	500 g	1.04928.0500
	1 kg	1.04928.1000

Für die Trocknung von:	Ammoniak, Aminen, Aceton, Nitrilen, chlorierten Kohlenwasserstoffen.
Ungeeignet für die Trocknung von:	Säuren, Stoffen, die unter wasserentziehenden, basischen Bedingungen zur Reaktion neigen.
Anwendung:	Trocknung von Flüssigkeiten.
Regenerierung:	Bei 160 °C; wird ab 100 °C fein gepulvert.

Kaliumhydroxid [KOH]

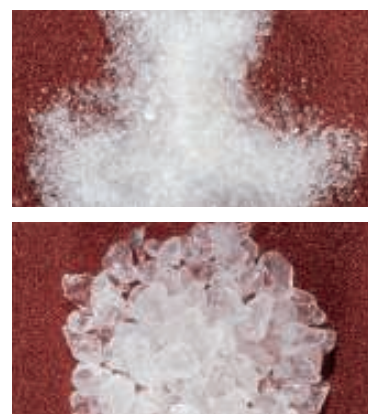
Artikel	Packungsgröße	Art.-Nr.
Kaliumhydroxid, Pellets	500 g	1.05033.0500
	1 kg	1.05033.1000
	5 kg	1.05033.5000

Für die Trocknung von:	Basischen Flüssigkeiten, z. B. Aminen und inerten sowie basischen Gasen.
Ungeeignet für die Trocknung von:	Säuren, Säurederivaten (Chloriden, Anhydriden, Amiden, Nitrilen).
Anwendung:	Trocknung von Flüssigkeiten. Ungeeignet für die Trocknung schnell strömender Gase, da die Porendiffusion durch Zerfließen behindert wird. Kann zur Trocknung von Gasen eingesetzt werden, wenn neben Feuchtigkeit auch saure Gase adsorbiert werden sollen.
Restwassergehalt in der Luft:	0,002 mg H ₂ O/l

Kieselgel [SiO₂]

Artikel	Packungsgröße	Art.-Nr.
Kieselgel (Weißgel), Granulat, ~ 0,2 – 1 mm	1 kg	1.01905.1000
Kieselgel (Weißgel), Granulat, ~ 2 – 5 mm	1 kg	1.01907.1000
	5 kg	1.01907.5000
Kieselgel (Weißgel), Perlform, ~ 2 – 5 mm	1 kg	1.07735.1000
Kieselgel mit Indikator (Orangegel), Granulat, ~ 1 – 3 mm	1 kg	1.01969.1000
	5 kg	1.01969.5000
	25 kg	1.01969.9025
Kieselgel mit Indikator (Braungel), Granulat, ~ 1 – 4 mm	1 kg	1.01972.1000
	5 kg	1.01972.5000
	25 kg	1.01972.9025

Für die Trocknung von:	Praktisch allen Gasen und Flüssigkeiten.	
Ungeeignet für die Trocknung von:	Alkalischen Flüssigkeiten (Basen und Aminen). Orangegel: stark saure und basische Gase, organische Lösungsmittel.	
Anwendung:	Im Exsikkator, zum Schutz feuchtigkeitsempfindlicher Güter während Lagerung und Transport und zum Trockenhalten wasserfreier Lösungsmittel, Füllung von Trockentürmen zum Trocknen von Gasen und Lösungsmitteln.	
Anwendungstemperatur:	Bis zu etwa 65 °C ist die Kapazität nahezu temperaturunabhängig. Bei höheren Temperaturen lässt die Kapazität merklich nach.	
Vorteil des Weißgels:	Chemisch weitgehend inert, ungiftig, keine Entsorgungsprobleme, einfache Handhabung. Getrocknete Flüssigkeiten können dekantiert werden.	
Restwassergehalt in der Luft:	Mindestens 0,02 mg H ₂ O/l entsprechend einem Taupunkt von –55 °C. Je weniger ein Kieselgel mit Wasser beladen ist, desto intensiver trocknet es und desto geringer ist der Restwassergehalt.	
	Beladung in g H ₂ O / 100 g:	
	Restwassergehalt mg H ₂ O/l:	
	1	0,003
	1,5	0,1
	3,2	0,5
	5,2	1
	14	5
	23	10
	30	13



Kapazität:	20 – 27 % bei 25 °C. Zum Erreichen niedriger Restwassergehalte kann die Kapazität nur zum Teil genutzt werden (siehe oben stehende Tabelle): Bei einem gewünschten Restwassergehalt von 1 mg/l darf die Beladung 5,2 g H ₂ O / 100 g Kieselgel nicht übersteigen.	
Indikatorumschlag Orangegel:	bei ca. 7 – 10 g adsorbiertem H ₂ O / 100 g Kieselgel von orange nach farblos.	
Indikatorumschlag Braungel:	bei ca. 7 – 10 g adsorbiertem H ₂ O / 100 g Kieselgel von braun nach gelblich.	
Regenerierung:	Weißgel bei etwa 100 – 180 °C im Trockenschrank (ca. 3 Stunden). Orangegel bei etwa 130 – 140 °C im Trockenschrank (ca. 3 Stunden). Braungel bei etwa 120 – 150 °C im Trockenschrank (ca. 3 Stunden). Beim Erhitzen über 500 °C trocknet Kieselgel nicht mehr.	
Typische chemische und physikalische Daten:	Analytische Daten: 98 % SiO ₂ , Rest Al ₂ O ₃ , TiO ₂ , Fe ₂ O ₃ . Schüttgewicht: etwa 0,7 kg/l. Korngröße: 0,2 – 1 mm, 1 – 3 mm, 2 – 5 mm. Spezifische Wärme: etwa 1 kJ/kg °C.	Indikator in Orangegel: Eisensalz Indikator in Braungel: Eisensalz. Oberfläche (BET): 700 m ² /g. Porengröße: 2,0 – 2,5 nm. Adsorptionswärme pro kg adsorbiertes Wasser: 3.200 kJ.

Natrium [Na]

Artikel	Packungsgröße	Art.-Nr.
Natrium-Stangen, ø 2,5 cm, Schutzflüssigkeit: Paraffinöl	250 g	1.06260.0250
	1 kg	1.06260.1000
Natrium-Stangen zur Synthese, Schutzflüssigkeit: Paraffinöl	250 g	8.22284.0250
	1 kg	8.22284.1000

Für die Trocknung von:	Ethern, gesättigten aliphatischen und aromatischen Kohlenwasserstoffen, tertiären Aminen.
Ungeeignet für die Trocknung von:	Säuren, Säurederivaten, Alkoholen, Aldehyden, Ketonen, Alkyl- und Arylhalogeniden, mit denen heftige explosionsartige Reaktionen ablaufen können.
Anwendung:	Einpressen von Natriumdraht mit Hilfe einer Natriumpresse zur Trocknung von Flüssigkeiten. Vorsicht! Natrium reagiert explosionsartig mit Wasser. Die Vernichtung von Natriumabfällen sollte zweckmäßigerweise mit einem hochsiedenden Alkohol wie z. B. tert-Butanol erfolgen.
Kapazität:	stöchiometrisch
Hinweis:	Praktisch alle Lösungsmittel, bei denen eine Trocknung mit Natrium möglich ist, lassen sich intensiver mit Calciumhydrid trocknen.

Natriumhydroxid [NaOH]

Artikel	Packungsgröße	Art.-Nr.
Natriumhydroxid, Plätzchen	500 g	1.06498.0500
	1 kg	1.06498.1000
	5 kg	1.06498.5000
Natriumhydroxid, Plätzchen, reinst	1 kg	1.06482.1000
	5 kg	1.06482.5000

Für die Trocknung von:	Basischen Flüssigkeiten, z. B. Aminen und inerten sowie basischen Gasen.
Ungeeignet für die Trocknung von:	Säuren, Säurederivaten (Chloriden, Anhydriden, Amiden, Nitrilen).
Anwendung:	Trocknung von Flüssigkeiten. Ungeeignet für die Trocknung schnell strömender Gase, da die Porendiffusion durch Zerfließen behindert wird. Kann zur Trocknung von Gasen eingesetzt werden, wenn auch saure Gase adsorbiert werden sollen.
Restwassergehalt in der Luft:	0,002 mg H ₂ O/l

Natriumsulfat [Na₂SO₄]

Artikel	Packungsgröße	Art.-Nr.
Natriumsulfat wasserfrei, gekörnt ~ 0,6 – 2 mm	500 g	1.06637.0500
	1 kg	1.06637.1000
Natriumsulfat wasserfrei, gekörnt für die organische Spurenanalyse	500 g	1.06639.0500
Natriumsulfat wasserfrei	500 g	1.06649.0500
	1 kg	1.06649.1000
	5 kg	1.06649.5000

Für die Trocknung von:	Fast allen Verbindungen, einschließlich Fettsäuren, Aldehyden, Ketonen und Alkyl- und Arylhalogeniden.
Anwendung:	Trocknung von Flüssigkeiten; mäßig wirksam.
Regenerierung:	Bei 150 °C im Trockenschrank.

Schwefelsäure [H₂SO₄]

Artikel	Packungsgröße	Art.-Nr.
Schwefelsäure 95 – 97 %	1 l	1.00731.1000
	2,5 l	1.00731.2500
Schwefelsäure 95 – 98 % EMPROVE	1 l	1.00713.1000
	2,5 l	1.00713.2500

Für die Trocknung von:	Luft, Gasen wie Chlorwasserstoff, Chlor, Kohlenmonoxid, Schwefeldioxid, Kohlenwasserstoffen und inerten Gasen.
Ungeeignet für die Trocknung von:	Oxidierenden Gasen wie Schwefelwasserstoffen und Iodwasserstoffen sowie ungesättigten und zahlreichen anderen organischen Verbindungen.
Anwendung:	Schwefelsäure wird in Waschflaschen zur Trocknung von Gasen oder in Exsikkatoren in offenen Schalen eingesetzt. Zur Vergrößerung der Oberfläche und zur Vermeidung des Risikos von Verätzungen.

Bestehende Gesetze und andere Vorschriften sind in jedem Falle von unseren Kunden zu beachten. Dies gilt auch hinsichtlich etwaiger Schutzrechte Dritter. Unsere Information und Beratung entbinden unsere Kunden nicht von der Erfordernis, unsere Produkte in eigener Verantwortung auf die Eignung für die vorgesehenen Zwecke zu prüfen.

W 283023 01/2010



Merck KGaA
64271 Darmstadt, Deutschland
Fax + 49 (0) 61 51 72-60 80
E-mail: inorganics@merck.de
www.merck-chemicals.de